

# Série Tecnologia Ambiental

## Estudo da Remoção do Íon Cobre por meio de Biossorção usando Biomassa de Levedura (*Saccharomyces cerevisiae*)

Jéssica Mesquita do Nascimento

Selma Gomes Ferreira Leite

Andréa Camardella de Lima Rizzo

# **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Estudo da Remoção do Íon Cobre por meio de  
Biossorção usando Biomassa de Levedura  
(*Saccharomyces cerevisiae*)**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

**Gilberto Kassab**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e  
Comunicações

**Elton Santa Fé Zacarias**

Secretário-Executivo

**Luiz Henrique da Silva Borda**

Coordenador-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações  
Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processos Minerais

**Durval Costa Reis**

Coordenador de Administração

**Robson de Araújo D'Ávila**

Coordenador Substituto de Planejamento, Gestão e Inovação

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

**Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN – 978-85-8261-053-4

STA - 89

## **Estudo da Remoção do Íon Cobre por meio de Bioissorção usando Biomassa de Levedura (*Saccharomyces cerevisiae*)**

**Jéssica Mesquita do Nascimento**

Engenheira Química, M.Sc. e Doutoranda EQ/UFRJ

**Selma Gomes Ferreira Leite**

Engenheira Química, D.Sc. Professora Titular EQ/UFRJ

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Engenheira Química, D.Sc. CETEM/MCTIC

**CETEM/MCTIC**

2016

## **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Luis Gonzaga Santos Sobral**

Editor

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Subeditora

### **CONSELHO EDITORIAL**

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

**Valéria Cristina de Souza**

Editoração Eletrônica

---

Nascimento, Jéssica Mesquita

Estudo da remoção do íon cobre por meio de bioissorção usando biomassa de levedura (*saccharomyces cerevisiae*) / Jéssica Mesquita do Nascimento [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016.

48p. il.: (Série Tecnologia Ambiental, 89)

1. Bioissorção. 2. Cobre. 3. *saccharomyces cerevisiae*. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Leite, Selma Gomes Ferreira. III. Rizzo, Andréa Camardella de Lima. IV. Título. V. Série.

CDD – 662.88

---

## SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	9
2   REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1   Metais e a Contaminação Ambiental	12
2.2   Cobre	13
2.3   Técnicas de Tratamento de Efluentes Contendo Metais	15
2.4   Micro-organismos Biossorventes	19
3   UM ESTUDO PROSPECTIVO	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35



## **RESUMO**

O crescimento populacional e industrial acarretou uma maior contaminação dos ecossistemas por metais potencialmente tóxicos. As técnicas convencionais de descontaminação (precipitação, troca iônica e métodos eletroquímicos) são onerosas e, na maioria das vezes, possuem pouca eficiência de descontaminação para teores baixos de poluentes. Uma alternativa para o processo de tratamento de efluentes contendo íons metálicos é a bioissorção que pode ser realizada por diversos bioissorventes como a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

### **Palavras-chave**

Bioissorção, Cobre, *Saccharomyces cerevisiae*.

## **ABSTRACT**

The population and industrial growth leads to greater contamination of ecosystems by potentially toxic metals. The conventional decontamination techniques (precipitation, ion exchange and electrochemical methods) are expensive and in most cases have low decontamination efficiency for low levels of pollutants. An alternative processes for treating effluents bearing metallic ions is biosorption, which may be accomplished by various biosorbents such as *Saccharomyces cerevisiae*.

## **Keywords**

Biosorption, Copper, *Saccharomyces cerevisiae*

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento industrial e populacional, a quantidade de resíduos gerados cresceu consideravelmente, acarretando, com isso, uma maior contaminação dos solos e recursos hídricos. Diante disso, a purificação da água tornou-se uma necessidade, pois diversos contaminantes podem ser carreados como, por exemplo, bactérias, vírus, compostos orgânicos e íons metálicos (YU, *et al.* 2013). Esses contaminantes são detectados nos resíduos de diferentes unidades industriais e domésticas, requerendo, muitas vezes, sistemas de tratamentos específicos (SONG, KONG & JANG, 2011).

Os metais são considerados, dentre as espécies químicas, os que mais apresentam riscos ao ambiente e ao organismo humano, pois alguns são extremamente tóxicos em baixas concentrações, além de poderem ser bioacumulados (SILVA, 2013).

As técnicas de tratamento convencionais de águas residuais, como os métodos físico-químicos (floculação, precipitação e troca iônica, por exemplo) muitas vezes são onerosas e requerem um período para a sua efetivação (JAIN, *et al.* 2015). Uma alternativa de baixo custo e de boa eficiência consiste na utilização da adsorção que pode ser realizada por biomassas de origem animal, vegetal ou microbiana (YU, *et al.* 2013).

O principal adsorvente utilizado na remoção de vários compostos orgânicos e íons metálicos é o carvão ativado. Porém, o alto custo deste material é um sério problema (GUPTA, *et al.* 2003). Entretanto, a procura de novos materiais

de fontes renováveis, baixo custo, fácil manuseio e com menor impacto ambiental vem sendo incentivada para este objetivo (HORSFALL, *et al.* 2006; AGARWAL, *et al.* 2006).

A biossorção pode ser definida como um processo de adsorção relacionado à ligação passiva de íons metálicos e orgânicos por biomassa viva ou morta. Diversas biomassas estão sendo estudadas como biossorventes de espécies metálicas (KUMAR, *et al.* 2013). Isto se deve ao fato da maioria desses biossorventes empregados serem ricos em ligantes orgânicos e/ou grupos funcionais. Na literatura existem diversas biomassas apontadas como biossorventes promissores como a casca de banana, casca de pequi, serragem de madeira, macrófitas aquáticas, microalgas, bactérias e leveduras, como a *Saccharomyces cerevisiae* (NASCIMENTO, *et al.* 2014).

A biossorção possui inúmeras vantagens no seu emprego de retenção de espécies metálicas em águas residuais, sendo que a sua principal vantagem está relacionada à fácil regeneração do biossorvente que, portanto, aumenta a economia do processo tornando possível a sua reutilização em ciclos de sorção múltipla (SELATNIA, *et al.* 2004).

O processo biossortivo depende de alguns parâmetros como, por exemplo, do pH, do tipo de íon metálico, da concentração iônica, da concentração do biossorvente, do volume de solução, da temperatura e do tempo de contato (PALLU, 2006).

A biossorção de metais potencialmente tóxicos por microrganismos ocorre pela retenção do íon ocasionada por meio de ligações de superfície. Vários ligantes químicos que estão presentes na superfície da biomassa estão relacionados com o processo de retenção de metais como acetamidas, polissacarídeos, carboxilas, hidroxilas, fosfatos, amidos e

sulfidrilas. Diversos estudos estão sendo realizados com a utilização de biomassa de microrganismos na retenção de espécies metálicas utilizando leveduras, microalgas e bactérias (AHMAD, ANSARI & AQIL, 2006).

O íon metálico cobre (II) pertence à classe de oligoelementos ou micronutrientes já que este íon é necessário, em pequenas quantidades, para plantas e animais (PINO, 2005). É um metal que tem como característica ser dúctil, maleável e possuir coloração avermelhada e pode ser extraído por processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos (RODRIGUES, SILVA & GUERRA, 2012).

O cobre possui muita utilidade e seu uso é datado desde os tempos antigos na obtenção de ligas metálicas. Para os seres vivos, o íon cobre (II) é um elemento traço essencial. Depois do ferro e do zinco, ele é o metal traço mais abundante em humanos, que necessitam de uma ingestão diária de 2 a 5 mg de cobre por dia (RODRIGUES, SILVA & GUERRA, 2012). Segundo a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que regulamenta a potabilidade da água, o limite de íons Cu(II) é de apenas 2 mg L<sup>-1</sup> em água potável para consumo humano.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 | Metais e a Contaminação Ambiental

O crescimento industrial e populacional de forma desordenada ocasionou inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, como a poluição dos recursos hídricos por metais potencialmente tóxicos. O íon Cu(II) é um exemplo de íon tóxico que pode ser encontrado em efluentes industriais, que, em determinadas concentrações, compromete, drasticamente, a qualidade do solo e da água.

Na Tabela 1 estão representados os padrões e valores orientadores da concentração permitida de íons Cu(II) em diversos ambientes como efluentes, solo e água, sendo a maioria fixada por resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

**Tabela 1.** Padrões e valores orientadores de cobre, (CETESB, 2012).

Meio	Concentração	Comentário	Referência
Efluente <sup>1</sup>	1,0 mg L <sup>-1</sup>	VM (Padrão de lançamento)	CONAMA 430/2011
Solo	60 mg kg <sup>-1</sup> * 200 mg kg <sup>-1</sup> * 400 mg kg <sup>-1</sup> * 600 mg kg <sup>-1</sup> *	Valor de prevenção VI Cenário agrícola-APMáx VI cenário residencial VI cenário industrial	CONAMA 429/2009
Água potável	12 mg L <sup>-1</sup>	Padrão de potabilidade	PORTARIA 2914/2011
Água subterrânea	2000 µg L <sup>-1</sup> 500 µg L <sup>-1</sup> 200 µg L <sup>-1</sup> 1000 µg L <sup>-1</sup>	VMP (consumo humano) VMP (dessedentação) VMP (irrigação) VMP (recreação)	CONAMA 396/2008

**Tabela 1a.** Padrões e valores orientadores de cobre, (CETESB, 2012).

Meio	Concentração	Comentário	Referência
Água doce	0,009 mg L <sup>-1</sup>	VM (classe 1 e 2)	CONAMA 357/2005
	0,013 mg L <sup>-1</sup>	VM (classe 3)	
Água salina	0,005 mg L <sup>-1</sup>	VM (classe 1)	CONAMA 357/2005
	7,8 µg L <sup>-1</sup>	VM (classe 2)	
Água salobra	0,005 mg L <sup>-1</sup>	VM (classe 1)	CONAMA 357/2005
	7,8 µg L <sup>-1</sup>	VM (classe 2)	

<sup>1</sup>cobre dissolvido; \*peso seco; APMáx (Área de Proteção Máxima); VI (Valor de Investigação); VMP (Valor Máximo Permitido); VM (Valor Máximo).

## 2.2 | Cobre

Os organismos vivos são compostos por biomoléculas orgânicas, como proteínas e lipídeos, além de possuírem elementos inorgânicos com a função de estarem presentes na estrutura de tecidos, biomoléculas e cofatores, além de participarem como cofatores enzimáticos (TORTORA, *et al.* 2010).

O cobre, do latim *cupprum*, é um elemento químico, representado na Tabela Periódica pelo símbolo Cu, com número atômico 29 e massa atômica 63,6. O metal cobre, na temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido. Este metal atua em diversos processos no organismo, como a metabolização de ferro por enzimas que são cobre- dependentes (SUN, *et al.* 2015).

Com o crescente aumento populacional, a necessidade de consumo e exploração de recursos naturais, como da mineração de cobre, que é muito explorada em virtude da vasta aplicação industrial desse metal, também cresceu acarretando, com isso, inúmeras consequências negativas para o ecossistema. (SANTOS JÚNIOR, 2005).

As principais características do cobre, que o torna um dos metais mais explorado, é o fato de ser um bom condutor, utilizado na fabricação de cabos e fios, eletroímãs, materiais elétricos, interruptores, tubos de vácuo, cunhagem de moedas, esculturas etc. Diante de sua grande aplicabilidade, este metal possui um alto valor de mercado, justificando a realização de estudos fundamentais para sua exploração e recuperação (MOÇO, 2013).

O uso de nanopartículas de cobre na indústria está sendo bastante difundido. Exemplos de compostos que contém nanopartículas de cobre são as nanopartículas de óxido de cobre (NPCuO) que tem uso crescente na indústria tecnológica. Como exemplo de aplicações de NPCuO podem ser citadas as células solares para a produção de hidrogênio, os semicondutores, as tintas antiincrustantes de barcos etc. (LALAU, 2014).

Com o uso crescente de nanopartículas de cobre na indústria, tornam-se essenciais estudos que visem a captação e a recuperação dessas partículas. Entretanto, essas nanopartículas tóxicas podem estar presentes em efluentes industriais que se lançadas no ambiente contaminam solo e lençóis freáticos (PASCHOALINO, *et al.* 2010). Diante do exposto, técnicas de tratamento de efluentes que contenham excesso de metais tornam-se fundamentais.

## 2.3 | Técnicas de Tratamento de Efluentes Contendo Metais

Efluentes oriundos de indústrias que contenham metais potencialmente tóxicos podem ser tratados de acordo com a utilização de diversas técnicas de descontaminação. Os métodos clássicos de tratamento de efluentes são baseados em processos físico-químicos (PINO, 2005).

### 2.3.1 | Precipitação

A técnica de precipitação fundamenta-se na precipitação dos íons em solução por meio de ajustes de pH, com a utilização de produtos químicos. Nesta metodologia as espécies metálicas, na forma de compostos insolúveis, sedimentam e são retiradas como lamas residuais. Esta técnica tem como vantagem a sua simplicidade e baixo custo, porém o processo de separação é difícil e não é muito efetiva na descontaminação (CASARIN, 2014).

### 2.3.2 | Troca iônica

O processo de troca iônica é baseado no uso de resinas sintéticas que propiciam a troca iônica. Estas resinas têm como função sequestrar os íons presentes em solução, mediante reação química, que se acumulam em suas estruturas. Devido à acumulação metálica, as resinas de troca iônica necessitam, periodicamente, serem regeneradas por meio de reagentes químicos como ácidos e bases que irão promover o efeito reverso (*i.e.*, a eluição). Esta metodologia tem como vantagem a sua efetividade em promover a recuperação do metal; porém, as resinas empregadas possuem custo elevado (PALLU, 2006).

### 2.3.3 | Processo eletroquímico

O método que emprega eletroquímica é baseado na redução dos íons metálicos presentes em meio aquoso através de uma corrente elétrica. A corrente elétrica promove a redução desses íons às suas formas metálicas. Esse processo exige a utilização de catodos com elevada área superficial específica para ser possível a eletrorrecuperação dos metais de soluções diluídas (MONTANHER, 2009).

### 2.3.4 | Biossorção

Uma técnica que tem se mostrado promissora no tratamento de sistemas contendo metais potencialmente tóxicos como, por exemplo, o íon Cu(II), consiste na biossorção, que pode ser realizada através de inúmeras biomassas.

A biossorção é o processo de adsorção que se refere à ligação passiva de íons metálicos em biomassas vivas ou mortas. Biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal, animal ou microbiana, incluindo os materiais procedentes de suas transformações naturais ou artificiais, podendo ser classificada em biomassa natural: produzida na natureza, sem intervenção humana; biomassa produzida: cultivada, com o propósito de obter um material para transformá-lo em um produto comercializável; biomassa residual: gerada como subproduto de atividades antropogênicas, como, por exemplo, processos da agroindústria. Os materiais que promovem a biossorção são chamados de biossorvente dentre eles a casca do coco verde (SOUSA, *et al.* 2007) e a casca de banana (BONILO & YAMURA, 2005). Os micro-organismos representam alternativas aos tratamentos de efluentes.

O estudo de biomassas para retenção de metais potencialmente tóxicos teve seu início na década de 80. Várias pesquisas confirmaram a habilidade desses materiais na remoção de diferentes espécies metálicas e de componentes orgânicos (AKSU, 2005) do meio aquoso, de modo que, logo em seguida, veio o reconhecimento como bioissorvente (CHUBAR, *et al.* 2004; PAVAN, *et al.* 2008).

Um dos requisitos fundamentais dos estudos visando à utilização de biomassa como adsorvente é avaliar sua capacidade de regeneração para ciclos sucessivos de sorção/dessorção. Os metais depositados na biomassa são lavados (dessorvidos) e o bioissorvente regenerado para aplicação em um novo ciclo. Este processo deve ter como premissas básicas não diminuir a capacidade de bioissorção e nem causar danos físico-químicos ao bioissorvente (MONTANHER, 2009).

A literatura já registra dados de captação com biomassa vegetal, (Tabela 2). Mimura, *et al.* (2010) utilizaram como adsorvente de íons Cu(II), Al(III), Ni(II) e Zn(II) a casca de arroz.

Nascimento, *et al.* (2014) utilizaram casca de pequi in natura e modificada com ácido cítrico para adsorção de íons Cd(II) e Pb(II). Os seus resultados apontaram que o íon mais bem sorvido foi o Cd(II) e que a modificação da biomassa por tratamento químico não interferiu no processo de adsorção do íon Cd(II).

Boas, *et al.* (2012) avaliaram a adsorção do endocarpo e mesocarpo da macadâmia in natura e modificada na adsorção de íons Cu(II). Na biomassa de mesocarpo de macadâmia

modificada por hidróxido de sódio os autores encontraram capacidade de adsorção superior em relação à biomassa *in natura* e aos outros tipos de modificações estudados.

**Tabela 2.** Adsorventes utilizados na bioadsorção de metais.

Adsorvente	Íon	Coc. do adsorvente (gL <sup>-1</sup> )	Conc. do metal (mg L <sup>-1</sup> )	q (mg g <sup>-1</sup> )	E (%)	Referência
Casca de arroz	Cu (II); Al (III); Ni (II) e Zn (II)	5	10	1,97	97	Mimura, <i>et al.</i> 2010
Casca de pequi	Cd (II) e Pb (II)	-	10	0,0012	99	Nascimento, <i>et al.</i> 2014
Casca da semente de castanha do Brasil	Cd (II), Pb (II) e Cr (III)	12	40	7-12	98	Casarin, 2014
Mesocarpo de macadâmia	Cu (II)	-	100	74,70	82,4	Boas, <i>et al.</i> 2012
Faia, serragem	Cu (II); Ni (II) e Zn (II)	20	200	4,5	-	Bozic, <i>et al.</i> 2013
Casca do Coco verde	As (V); Cd (II); Cr (III); Cr (VI); Ni (II) e Zn (II)	5	14,7	2,9	98,8	Pino, 2005
<i>Nymphaea</i> sp	Cr (III)	10	25	-	68,2	Elangovan, <i>et al.</i> 2008
<i>Moringa oleifera</i> Lamarck	As (III) e As (V)	10	25	4	85,6	Kumari, <i>et al.</i> 2006

O uso de biomassa microbiana também tem sido investigado como potencial para a remoção de metais tóxicos. Na literatura existem registros de captação de metais por *Pycnoporus sanguineus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Aspergillus niger* e outras biomassas microbianas (COLLA, *et al.* 2014).

## 2.4 | Micro-organismos Bioabsorventes

A biorremediação é um processo biológico de limpeza da poluição orgânica e inorgânica promovida de forma mais significativa por bactérias e fungos (GLASAUER, *et al.* 2013). O uso de micro-organismos vivos pode aprimorar a peculiaridade em virtude da absorção metabólica de metais, além de outras vantagens como o potencial desenvolvimento de micro-organismos resistentes a altas concentrações metálicas (CHOJNARA, 2010).

Os micro-organismos são capazes de se adaptarem e se desenvolverem em inúmeras condições extremas como altas concentrações de metais no meio extracelular. A principal habilidade desenvolvida por micro-organismos que crescem em ambientes com altas concentrações de íons metálicos consiste na bioabsorção que possui aplicabilidade no processo de biorremediação (GLASAUER, *et al.* 2013).

Os micro-organismos apresentam componentes da parede celular que oferecem ótimas propriedades de ligação a metais. A evolução das biomassas microbianas garantiram inúmeras medidas como resposta ao estresse de metais potencialmente tóxicos por meio de processos como o transporte mediante a

membrana celular, bioissorção pelas paredes celulares, aprisionamento em cápsulas extracelulares, bem como a precipitação e transformação de metais (MUÑOZ, *et al.* 2012).

A bioissorção é um mecanismo presente em organismos vivos, mortos e em seus componentes celulares, e tem sido relatada como um processo biotecnológico propício de remoção de poluentes. Os micro-organismos são capazes de decompor uma ampla gama de substâncias orgânicas além de afetarem a mobilidade e especiação de metais. Pelo fato de todo material biológico possuir afinidade por metais e outros poluentes, a quantidade de biomassas com propriedades bioissorventes é enorme (GADD, 2009).

A bioissorção por fungos é uma opção para o tratamento de efluentes carregados com íons metálicos potencialmente tóxicos. Esses micro-organismos podem acumular metais metabólicos e não metabólicos por precipitação ou pela ligação dos componentes presentes na parede celular ou na membrana celular, como carboxila, hidroxila, fosfatos e outros ligantes com carga negativa. Materiais intracelulares que podem ser liberados no meio, também podem se ligar a íons metálicos (CHOJNACKA, 2010).

A biomassa fúngica tem recebido considerável atenção devido à sua grande capacidade de fixação de metais, podendo ser usada em processos de tratamentos de rejeitos líquidos como resinas de troca iônica (AHMAD, *et al.* 2006).

Muitos fungos contêm quitina como parte integrante da estrutura da parede celular. A ligação de íons metálicos potencialmente tóxicos por quitosana ou por quitina é uma consequência direta da base forte dos grupos de aminas primárias. Estudos realizados com muitas espécies de fungos

indicam organismos como o *Neurospora crassa* (KIRAN & TUNALI, 2005) e *Mucor rouxii* com capacidade de remoção de íons chumbo (YAN & VIRARAGHAVAN, 2003), que também já foram utilizadas como biomassa em processos de bioissorção.

Souza, *et al.* (2008), em estudo comparativo concluíram que, a biomassa de *Saprolegnia subterranea* SPC 1244 superou as demais quanto à bioissorção de cobre ( $q = 7,48 \text{ mg.g}^{-1}$ ;  $R\% = 49,03$ ), a biomassa de *Pythium torulosum* SPC 1425 foi a melhor em relação à bioissorção de manganês ( $q = 4,13 \text{ mg.g}^{-1}$ ;  $R\% = 26,71$ ), enquanto que a biomassa de *S. subterranea* SPC 1431 foi superior em relação à bioissorção de cádmio ( $q = 6,75 \text{ mg.g}^{-1}$ ;  $R\% = 42,26$ ). Este é o primeiro relato sobre a bioissorção de cobre, manganês e cádmio por biomassas destes fungos zoospórios, indicando a potencialidade de removerem íons de soluções diluídas.

Entre os fungos, as leveduras são as mais exploradas cientificamente, devido ao fato de serem organismos eucarióticos mais facilmente manipulados e, assim, servirem de excelente modelo para o estudo (FERREIRA, *et al.* 2007).

Azevedo, *et al.* (2014), realizaram ensaios de bioissorção com uma levedura industrial do gênero *Saccharomyces carlsbergensis* e cascas de camarão da espécie *Litopenaeus vannamei* na bioissorção de íons Cu(II).

Çabuk, *et al.* (2007) avaliaram a biomassa de *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em cone de *Pinus nigra* na bioissorção de íons Pb(II) encontrando a maior capacidade de bioissorção de  $30,04 \text{ mg.g}^{-1}$  na concentração de biomassa de  $2 \text{ g.L}^{-1}$ .

Nascimento e Oliveira, (2014), nos seus estudos de bioissorção de íons Cd(II) e Pb(II) em biomassas de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb), serragem de madeira Teca (*Tectona grandis*) e o fungo Orelha de Pau (*Pycnoporus sanguineus*), encontraram para o íon Cd(II) eficiência de bioissorção de 99,9 %.

Buratto, Costa e Ferreira, (2012) estudaram biomassa de *Pleurotus ostreatus* na bioissorção de Cu(II) e encontraram eficiência máxima de 86% e capacidade máxima de adsorção, segundo modelo de isoterma de Langmuir, de 380,30 mg.g<sup>-1</sup>.

Yahaya, Don e Bhatia, (2009) avaliaram a biomassa do fungo orelha de pau (*Pycnoporus sanguineus*), imobilizado em alginato de cálcio, evidenciaram nos seus ensaios que a capacidade de bioissorção encontrada foi de 2,76 mg.g<sup>-1</sup> na concentração de 300 mg.L<sup>-1</sup> de íons Cu(II).

Pallu, (2006) estudou linhagens do fungo *Aspergillus sp* na bioissorção de íons Cd(II). Os seus resultados apontaram que no tempo de contato de 4 horas a biomassa fúngica morta sorveu 31,70% de íons Cd(II), enquanto que a biomassa viva, nas mesmas condições, sorveu 27,25%.

Colla, Hemkemeier e Gil, (2012) avaliaram a bioissorção de Cd(II) e produção de biossurfactantes pelos fungos filamentos *Aspergillus sp* e *Trichoderma sp* em fermentação submersa. Os dados revelaram que o fungo *Aspergillus sp* possuiu a maior retenção de Cd(II) como sendo de 100% em concentrações de 10 mg.L<sup>-1</sup> e 20 mg.L<sup>-1</sup>.

Na Tabela 3 estão resumidos alguns resultados de captação de espécies metálicas por diferentes fungos. Os dados demonstram que as espécies metálicas mais estudadas foram os íons Cd(II) e Cu(II).

**Tabela 3.** Resultados da captação de espécies metálicas por diferentes fungos.

Biomassa	Íon	Coc. da biomassa (g L <sup>-1</sup> )	Conc. do metal (mg L <sup>-1</sup> )	q (mg g <sup>-1</sup> )	E (%)	Referência
<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	Cu (II)	4	4	0,6	-	Azevedo, et al. 2014
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> imobilizada em cone de <i>P.nigra</i>	Pb (II)	2	100	30,04	30	Çabuk, et al. 2007
( <i>Pycnoporus sanguineus</i> )	Cd (II)	40	25	0,0016	99	Nascimento e Oliveira, 2014
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cu (II)	2	10	-	86	Buratto, et al., 2012
( <i>Pycnoporus sanguineus</i> ) imobilizado em alginato de cálcio	Cu (II)	30	300	2,76	-	Yahaya, et al. 2009
<i>Aspergillus sp</i>	Cd (II)	20	100	-	27,25	Pallu, 2006
<i>Streptomyces rimosus</i>	Cd (II)	3	100	30	95	Selatina, et al. 2004
<i>Aspergillus sp</i> e <i>Trichoderma sp</i>	Cd (II)	-	10,1	-	100	Colla, et al. 2012

### 2.4.1 | *Saccharomyces cerevisiae* como bioissorvente

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é muito relatada na literatura em ensaios de bioissorção. Pelo fato de ser um dos resíduos mais gerados em indústrias de alimentos, esta biomassa surge como um bioissorvente de baixo custo (NGUYEN & JUANG, 2015). No entanto, não é considerada bom bioissorvente por muitos autores por ter capacidade de bioissorção mediana quando comparada a outras biomassas (DEL RIO, 2004).

Ferreira, *et al.* (2007) trabalharam com fermento comercial da levedura de *Saccharomyces cerevisiae* proveniente da Fleischmann Royal®. Os seus resultados apontaram que na menor concentração de biomassa trabalhada (0,01g) foi atingida a capacidade de bioissorção de íons Pb(II) de 160, 14 mg.g<sup>-1</sup>.

Fadel, *et al.* (2015) trabalharam com *Saccharomyces cerevisiae* na bioissorção de íons Mn(II). Os seus resultados apontaram que em concentrações elevadas de metal, a eficiência de bioissorção é maior do que em quantidades menores de biomassa presente em solução.

Na Tabela 4 estão resumidos alguns trabalhos que utilizaram biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na bioissorção de metais. Os dados da Tabela 4 evidenciam que as melhores capacidades de bioissorção foram encontradas para biomassa imobilizada em suportes como a quitosana.

**Tabela 4.** Utilização da levedura *Saccharomyces sp* como bioadsorvente de metais.

Biomassa	Íon	Coc. de biomassa (g L <sup>-1</sup> )	Conc. do metal (mg L <sup>-1</sup> )	q (mg g <sup>-1</sup> )	E (%)	Referência
<i>S. cerevisiae</i> imobilizada em quitosana	Cu (II)	-	90	9,3	-	Araújo, et al. 2014
<i>S. cerevisiae</i> – biomassa morta	Cd (II)	20	-	4,2	-	Del Rio, 2004
<i>S. cerevisiae</i>	Pb(II)	0,1	5,5	160,14	-	Ferreira, et al. 2007
<i>S. cerevisiae</i> – imobilizada em nanopartículas magnéticas de quitosana	Cu (II)	1,5	400	140	50	Peng, et al. 2010
<i>S. cerevisiae</i> em sistema de biorreator contínuo	Cu (II) e Pb (II)	1,5	180	29,9	20	Amirnia, et al. 2015
<i>S. cerevisiae</i>	Mn (II)	2	5,6	-	3,4	Fadel, et al. 2015
<i>S. Carlsbergensis</i>	Cu (II)	4	4	0,6	-	Azevedo, et al. 2014
<i>S. cerevisiae</i> imobilizada em cone de <i>P. nigra</i>	Pb (II)	2	100	30,04	30	Çabuk, et al. 2007

### 2.4.2 | Dinâmica da avaliação de processos por biossorção.

Nos estudos sobre biossorção de metais potencialmente tóxicos, os mesmos são removidos de soluções na forma catiônica, visto que a maioria dos metais existe numa solução na forma catiônica. Entretanto, alguns metais podem existir em solução tanto como cátion ou ânion, dependendo do estado de valência do metal (AKAR & TUNALI, 2005).

A biossorção tem sido aplicada, principalmente, no tratamento de soluções sintéticas contendo um único íon metálico. A redução de um metal pode ser influenciada pela presença de outros metais. Os resíduos industriais aquosos contêm varias espécies de compostos poluentes, sistemas multicomponentes, por isso necessitam de estudos mais detalhados (VIJAYARAGHAVAN & YUN, 2008).

A assimilação do metal na biossorção pode ser feita pelos seguintes mecanismos químicos naturais: (1) complexação (coordenação ou quelação dos metais); (2) troca iônica; (3) adsorção; (4) microprecipitação inorgânica. Qualquer um desses processos, ou uma combinação desses processos, pode funcionar em vários graus de imobilização de uma ou mais espécies metálicas no biossorvente (CHOJNACKA, 2010).

O processo de biossorção inclui uma fase sólida (biossorvente) e uma fase líquida (solvente, normalmente água) que apresenta uma espécie dissolvida que é o adsorvato (por ex. íons metálicos). A afinidade eletrostática existente entre o biossorvente e as espécies metálicas que compõem o adsorvato, atraem o sólido pelos mecanismos acima citados (WANG & CHEN, 2006).

Este processo é constante, até a ocorrência da fase de equilíbrio entre a concentração do adsorvato dissolvido em solução e a concentração do adsorvato presente sobre o bioadsorvente (concentração de equilíbrio,  $C_e$ ) promovida pela saturação do adsorvato sobre o bioadsorvente. A associação entre o bioadsorvente e o adsorvato define a distribuição entre a fase sólida e a líquida do metal. A qualidade do bioadsorvente utilizado é classificada pela capacidade de atração e retenção do adsorvato (AKAR & TUNALI, 2005).

A quantificação da capacidade de bioadsorção ( $q$ ) do metal pelo bioadsorvente está relacionada ao balanço do material do sistema, ou seja, todo o adsorvato removido da solução deve estar presente no bioadsorvente. A capacidade de adsorção pode ser expressa em diversas unidades, dependendo do sistema; por exemplo, miligramas do metal sorvido por grama do material (seco) do bioadsorvente (quando se baseia em cálculos de balanço de massa), ou  $\text{mmol.g}^{-1}$  ou  $\text{meq.g}^{-1}$  quando se considera a cinética ou estequiometria da reação (WANG & CHEN, 2006).

O benefício do processo de descontaminação por bioadsorção, no tratamento de resíduos líquidos, sobre os métodos convencionais está relacionado à fácil regeneração do bioadsorvente que proporciona economia ao processo tornando possível a sua reutilização em ciclos de sorção múltipla (NASCIMENTO, *et al.* 2014).

A otimização do ciclo sorção/dessorção resulta em efluente livre de metal e pequeno volume de alta concentração desse metal em soluções dessorvidas, facilitando uma recuperação do metal por processos convencionais. Cabe ressaltar que o

biossorvente usado e carregado com metais pode ser incinerado em temperaturas moderadas e depositado em aterros reduzindo o volume de resíduos líquidos (WANG & CHEN, 2006).

### 2.4.3 | Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção são curvas muito úteis na indicação de como o adsorvente adsorverá, efetivamente, o soluto. Observa-se a necessidade da construção de isotermas quando existe o objetivo de obter informações sobre a área específica e a estrutura porosa do adsorvente (TAGLIAFERRO, *et al.* 2011).

Define-se isoterma de adsorção quando a uma temperatura constante a quantidade adsorvida aumenta com a concentração do adsorvato, onde a relação entre a quantidade adsorvida e a concentração é conhecida como isoterma (ARAÚJO, 2011). Na avaliação do processo de biossorção são utilizados diferentes modelos de isotermas, que serão descritos a seguir.

#### 2.4.3.1 | *Isoterma de Langmuir*

A isoterma de Langmuir é um dos modelos mais utilizados em estudos de adsorção onde se pressupõem que a superfície do adsorvente detém sítios energéticos sendo estes idênticos e homogêneos entre si onde cada molécula do adsorvato ocupa um único sítio; portanto; admite-se a formação de uma monocamada de cobertura do adsorvato na superfície do adsorvente (ARAÚJO, 2011).

Como ponto positivo ao modelo de Langmuir está o fato da possibilidade da quantificação da capacidade máxima de adsorção de espécies em adsorventes e a avaliação da constante relacionada com o equilíbrio de adsorção. Porém, este modelo não fornece valores sobre os mecanismos da reação (FERREIRA, *et al.* 2007). Portanto, este modelo considera que as partículas adsorvidas ficam alojadas em uma camada monomolecular onde todas as partes da superfície apresentam a mesma energia de adsorção. Consequentemente, este modelo considera que não há interação adsorvato – adsorvato e que as moléculas adsorvidas possuem localizações definidas na superfície (LAVARDA, 2010).

Nesse modelo é possível serem obtidos os parâmetros  $q_{max}$ , que representa a capacidade máxima de captação do bioadsorvente e  $b$ , que representa a afinidade do bioadsorvente pelo adsorvato.

Segundo Clark, (2010) as características fundamentais do modelo de Langmuir podem ser expressas pela constante  $R_L$  que está relacionada ao fator de separação adimensional ou parâmetro de equilíbrio, onde este prevê se o sistema de adsorção é favorável ou desfavorável. Os valores de  $R_L$  podem ser observados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Fator de separação ( $R_L$ ) e tipo de isoterma, Clark (2010).

$R_L$	Tipo de Isoterma
$R_L > 1$	Desfavorável
$R_L = 1$	Linear
$0 < R_L < 1$	Favorável
$R_L = 0$	Irreversível

### 2.4.3.2 | *Isoterma de Freundlich*

O modelo de Freundlich admite uma adsorção reversível e heterogênea sendo que, não há restrição a uma monocamada de cobertura do adsorvente. Neste modelo existe uma relação quantitativa onde a adsorção do soluto aumenta indefinidamente com o aumento da concentração (FERREIRA, *et al.* 2007). É um modelo utilizado para sistemas que possuem superfície heterogênea, e não prevê a saturação da superfície onde a adsorção ocorre em multicamadas com interação entre as moléculas de adsorvato, onde os sítios energéticos possuem energias adsorptivas diferentes (ARAÚJO, 2011). Em relação às constantes existentes no modelo de Freundlich a constante **K<sub>F</sub>** indica a capacidade de adsorção e a constante **n** relaciona-se com a intensidade de adsorção. Valores de **n** na faixa de  $1 < n < 10$  indicam adsorção favorável (LAVARDA,2010).

A análise da constante de Freundlich (K<sub>F</sub>) está relacionada com a capacidade de adsorção, segundo Falone e Vieira, (2004), e pode ser classificada em pequena, média, grande e elevada, como pode ser visto na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores de K<sub>F</sub> relacionados à adsorção, (Falone e Vieira, 2004).

Valor de K <sub>F</sub>	Adsorção
0 – 24	Pequena
25 – 49	Média
50 – 149	Grande
150 -	Elevada

### 2.4.3.3 | *Isoterma de Dubinin – Radushkevich (D–R)*

Com o uso do modelo de D–R pode-se estimar a porosidade que caracteriza o adsorvente e a energia livre de adsorção. Esta isoterma é de grande importância, pois a aplicação dos seus dados experimentais faz com que se distinga entre a adsorção física e a química. Sendo, portanto, mais generalizada do que a de Langmuir. Este modelo não assume uma superfície homogênea ou um potencial de adsorção constante (RUBIO, 2014).

A isoterma de D-R admite o processo como um efeito de preenchimento de poros, onde relaciona a energia livre de adsorção a esse preenchimento, sendo mais do que uma adsorção camada a camada, de forma que a isoterma de D–R varia para diferentes sistemas adsorvente – adsorvato e diferentes concentrações, ajustando-se apenas às concentrações baixas (STAFUSSA, 2014).

### 3 | UM ESTUDO PROSPECTIVO

O Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTIC), em parceria com a Escola de Química da UFRJ, desenvolveu, recentemente, estudo (NASCIMENTO, 2015b) com objetivo de avaliar o potencial do uso da biomassa de levedura *Saccharomyces cerevisiae* na biossorção de Cu(II).

O trabalho buscou:

- Investigar a captação de cobre preliminarmente por algumas linhagens de leveduras do gênero *Saccharomyces*;
- Avaliar as principais variáveis que podem influenciar o processo de biossorção de íons Cu(II) por biomassa comercial de *Saccharomyces cerevisiae*;
- Caracterizar a biomassa comercial quanto à quantificação de grupos ácidos e básicos e o Ponto de Carga Zero;
- Analisar a composição elementar da biomassa antes e após a biossorção de íons Cu(II).

Inicialmente foi realizada a seleção de linhagens de biomassa de leveduras do gênero *Saccharomyces*, entre as quais de *Saccharomyces cerevisiae*, com intuito de selecionar a de melhor capacidade bioissorçiva de Cu(II). As linhagens utilizadas foram duas *Saccharomyces cerevisiae* provenientes da Euroscarf - Frankfurt, Alemanha, sendo uma selvagem BY4741 (MATa; his3; leu2; met15; ura3) e a outra mutante lap4D isogênico, abrigando o LAP4 gene interrompido pelo gene KanMX4 e outra linhagem de *Saccharomyces cerevisiae* comercial na forma reidratada e cultivada proveniente da Perlage® BB.

Os ensaios de bioissorção evidenciaram que a biomassa comercial de *Saccharomyces cerevisiae* Perlage® BB apresentou a melhor capacidade ( $4,73 \text{ mg.g}^{-1}$ ) e eficiência de bioissorção (76%) nas concentrações de cobre estudadas ( $10 \text{ a } 100 \text{ mg.L}^{-1}$ ). O estudo do Ponto de Carga Zero evidenciou que o ponto isoelétrico da biomassa foi atingido em pH 4,4 enfatizando que abaixo deste pH ocorrerá, predominantemente, bioissorção de cargas negativas e acima cargas positivas, possivelmente justificando a maior captação de cobre no pH 5,0.

A análise por Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier evidenciou que houve modificação nos grupos funcionais da biomassa após o contato com íons Cu (II). As análises da superfície da biomassa por MEV-EDS, AFM e EDX comprovaram a presença de cobre na biomassa de levedura.

Como continuidade dos estudos, pretende-se:

- Avaliar outras variáveis que possam influenciar o processo biossorçivo, como cinética de biossorção, influência de outros íons metálicos e temperatura;
- Estudar o potencial de biossorção da biomassa de levedura usando efluente real;
- Realizar alguns tratamentos na biomassa de levedura para aumentar a capacidade de biossorção;
- Analisar por Microscopia Eletrônica de Transmissão a biomassa exposta a íons Cu(II) com intuito de possibilitar a visualização e localização de possíveis nanopartículas de Cu(II);
- Verificar se ocorreu alteração no estado de oxidação de íons Cu(II) após biossorção através de Espectroscopia Fotoeletrônica de Raios X –XPS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMIS, P. D. - Lap4, a vacuolar aminopeptidase I, is involved in cadmium-glutathione metabolism. *Biomeals*, vol. 22, n<sup>o</sup> 2, p. 243-249, 2008.
- AGARWAL, G. S.; BHUPTAWAT, H. K.; CHAUDHARI, S. - Biosorption of aqueous chromium (VI) by *Tamarindusindica* seeds. *Bioresource technology*, vol. 97, p. 949-956, 2006.
- AHMAD, I.; ANSARI, M. I.; AQIL, F. - Biosorption of Ni, Cr and Cd by metal tolerant *Aspergillus niger* and *Penicillium sp.* Using single and multi-metal solution. *Indian Journal of Experimental Biology*. vol. 44, p. 73-76, 2006.
- AHMADI, A. *et al.* - Optimization of heavy metal removal from aqueous solutions by maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) nanoparticles using response surface methodology. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 147, p. 151-158, 2014.
- AKAR, T.; TUNALI, S. - Biosorption performance of *Botrytis cinerea* fungal by - products for removal of Cd (II) and Cu (II) ions from aqueous solutions. *Minerals Engineering*. vol. 18, n<sup>o</sup> 11, p. 1099-1109, 2005.
- AKSU, Z., Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry*, vol. 40, p. 997-1026, 2005.
- ARAÚJO, R. R. L. - Modelagem do processo de bioissorção de chumbo utilizando a macrófita aquática *Eichhornia crassipes*. 2011.124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- ARAÚJO, S. W. C. *et al.* - Bioissorção do íon Cu (II) em leite fluidizado pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em quitosana. Anais de evento, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ, Florianópolis, 2014.

- AMIRNIA, S.; RAY, M. B.; MARGARITIS, A. - Heavy metals removal from aqueous solutions using *Saccharomyces cerevisiae* in a novel continuous bioreactor–biosorption system. *Chemical Engineering Journal*, vol. 264, 15 March 2015, p. 863-872.
- AZEVEDO, F. G. *et al.* - Aproveitamento de resíduos da indústria de bebida e de alimentos na biossorção do cobre. Anais de evento, X Encontro Brasileiro sobre Adsorção – EBA, Guarujá, 2014.
- BEN-MOSHE, T. *et al.* - Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. *Chemosphere*. vol. 90, p. 640-646, 2013.
- BOAS, N. V. *et al.* - Biossorção de cobre utilizando-se o mesocarpo e o endocarpo da macadâmia natural e quimicamente tratados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.16, nº 12, p.1359-1366, 2012.
- BOEHM, H. P. - Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon*, vol. 32, nº 5, p. 759-769, 1994.
- BONILO, M. R.; YAMURA, N. - Viabilidade do uso da casca de banana como absorvente de íons de urânio. In. *International Nuclear Atlantic Conference-INCA*, Associação Brasileira de Energia Nuclear-ABEN, p. 2-7, 2005.
- BOŽIĆ, D. *et al.* - Adsorption of heavy metal ions by beech sawdust – Kinetics, mechanism and equilibrium of the process, *Ecological Engineering*, vol. 58, p. 202-206, 2013.
- BURATTO, A. P.; COSTA, R. D.; FERREIRA, E. S. - Aplicação de biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* em processo de biossorção de íons cobre(II). *Eng. Sanit. Ambiente*. vol.17 nº 4, 413-420, 2012.
- CASARIN, J. - Adsorção de íons metálicos utilizando a casca da semente de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B. K) como biossorvente. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2014.

- ÇABUK, A. *et al.* - Biosorption of Pb (II) by industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on the biomatrix of cone biomass of *Pinus nigra*: Equilibrium and mechanism analysis. *Chemical Engineering Journal*, 131 (2007) 293-300.
- CAMBUIM, K. B. - Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações. 2009. 137 p. Tese (Doutorado em Química Analítica) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- CETESB, Ficha de informação toxicológica – cobre. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.
- CHEN, C.; WEN, D.; WANG, J. - Cellular surface characteristics of *Saccharomyces cerevisiae* before and after Ag (I) biosorption. *Bioresource Technology*, vol. 156, p. 380-383, 2014.
- CHOJNARA, K. - Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications. *Environment International*. vol. 36, p. 299-307, 2010.
- CHUBAR, N., CARVALHO, J. R., CORREIA, J. N. - Cork biomass as biosorbent for Cu (II), Zn (II) and Ni (II). *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 230, p. 57-65, 2004.
- CLARK, H. L. M. - Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- COLLA, L. M. *et al.* - Bioadsorção de cromo hexavalente de efluente utilizando resíduos agroindustriais fermentados por cepas de *Aspergillus*. *Ciência & Engenharia*, vol. 23, n<sup>o</sup> 2, p. 67-74, 2014.

- COLLA, L. M.; HEMKEMEIER, M.; GIL, A. S. L. - Biossorção de cádmio e produção de biossurfactantes por fungos filamentosos em fermentação submersa. Revista CIATEC – UPF, vol. 4, n° 1, p. 1-10, 2012.
- DASARI, T. P.; PATHAKOTI, K.; HWANG, H. M. - Determination of the mechanism of photoinduced toxicity of selected metal oxide nanoparticles (ZnO, CuO, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and TiO<sub>2</sub>) to *E. coli* bacteria. Journal of Environmental Sciences. vol. 25, n° 5, p. 882-888, 2013.
- DADVAR, S. *et al.* - A study on the kinetics of 2-chloroethyl ethyl sulfide adsorption onto nanocomposite activated carbon nanofibers containing metal oxide nanoparticles. Separation and Purification Technology, vol. 114, p. 24-30, 2013.
- DEL RIO, D. T. - Biossorção de cádmio por leveduras *Saccharomyces cerevisiae*. 2004. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- DOROBANTU, L. S.; GOSS, G. G.; BURRELL, R. E. - Atomic force microscopy: A nanoscopic view of microbial cell surfaces. Micron, vol. 43, n° 12, p. 1312-1322, 2012.
- ELANGOVAN, R.; PHILIP, L.; CHANDRARAJ, K. - Biosorption of chromium species by aquatic weeds: Kinetics and mechanism studies. J. Hazard. Mater., vol. 152, n° 1, p. 100-112, 2008.
- FADEL, M. *et al.* - Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. HBRC Journal, < <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.12.006>>, 2015.
- FAGUNDES-KLEIN, M. R. *et al.* - Modelagem do efeito do pH na biossorção de metais pela alga marinha *Sargassum filipendula*. Acta Scientiarum Technology, vol. 33, n° 4, p. 439-446, 2011.
- FALONE, S. Z.; VIEIRA, E. M. - Adsorção/dessorção do explosivo tetril em turfa e em argissolo vermelho amarelo. Química Nova, vol. 27, n° 6, 849-854; 2004.

- FARIAS, Y. M. M. - Biossorção de metais pesados pelo fungo *Penicillium corylophilum*. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- FERREIRA, J. M. *et al.* - Estudo do equilíbrio cinético da biossorção do  $Pb^{2+}$  por *Saccharomyces cerevisiae*, Química Nova, vol. 30, nº 5, p. 1188-1193, 2007.
- GADD, G. M. - Biosorption: Critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, vol. 84, p. 13-28, 2009.
- GLASAUER, S. M. *et al.* - Metals and metalloids, transformation by microorganisms. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2013.
- GUIMARÃES, I. S. - Oxidação de carvões ativados de endocarpo de coco da Bahia com soluções de  $HNO_3$  e uma investigação sobre o método de Boehm. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- GUPTA, V. K. *et al.* - Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash - a sugar industry waste. Water Research, vol. 37, p. 4038-4044, 2003.
- HORSFALL, M. J.; ABIA, A. A.; SPIFF, A. I. - Kinetic studies on the adsorption of  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  ions from aqueous solutions by cassava (*Manihot sculenta cranz*) tuber bark waste. Bioresearches Technology, vol. 97, p. 283 - 291, 2006.
- JAIN, R. *et al.* - Adsorption of zinc by biogenic elemental selenium nanoparticles. Chemical Engineering Journal. vol. 260, p. 855-863, 2015.

- JIMENEZ, R. S.; DAL BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. - Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeolite natural escolcita – Influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*. vol. 27, n° 5, p. 734-738, 2004.
- JUNGES A. - Estudo da síntese de nanopartículas metálicas de paládio para uso em catálise heterogênea. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- KIRAN, I., AKAR, T., TUNALI, S. - Biosorption of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solutions by pretreated biomass of *Neurospora crassa*. *Process Biochemistry*. vol. 40, n° 11, p. 3550-3558, 2005.
- KUMAR, K. Y. *et al.* - Low-cost synthesis of metal oxide nanoparticles and their application in adsorption of commercial dye and heavy metal ion in aqueous solution. *Powder Technology*. vol. 246, p. 125-136, 2013.
- KUMARI, P. *et al.* - Biosorption studies on shelled Moringa oleifera Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. *Int. J. Miner. Process.* 78 (2006) 131-139.
- LALAU, C. M. - Avaliação da toxicidade de nanopartículas de óxidos de cobre através de macrófitas da espécie *Landoltia punctata*. 2014. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- LAVARDA, F. L. - Estudo do potencial de biossorção dos íons Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pela macrófita *Eichhornia crassipes*. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010.
- LIMIN, D. *et al.* Mechanism of Pb(II) biosorption by *Saccharomyces Cerevisiae*. Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 978-0-7695- 3682-8/09, 2009 IEEE, DOI 10.1109/ESIAT.2009.450.

- MA, X. *et al.* - Efficient biosorption of lead(II) and cadmium(II) ions from aqueous solutions by functionalized cell with intracellular  $\text{CaCO}_3$  mineral scaffolds. *Bioresource Technology*, vol. 185, p.70-78, 2015.
- MIMURA, A. M. S. *et al.* - Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu(II), Al(III), Ni(II) e Zn(II). *Química Nova*, vol. 36, p. 1279-1284, 2010.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.
- MIYAZAKI, J. *et al.* - Adhesion and internalization of functionalized polystyrene latex nanoparticles toward the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Advanced Powder Technology*, vol. 25, nº 4, p. 1394-1397, 2014.
- MOÇO, S. S. S. - Impregnação de fibras de celulose com nanopartículas de prata, óxido de zinco e óxido de cobre para aplicações antibacterianas. 2013. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.
- MÓDENES, A. N., *et al.* - Remoção dos metais pesados Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pelo processo de bioadsorção utilizando a macrófita *Eichhornia crassipes*. *R. Esc. Minas*, vol. 66 nº 3, p. 355-362, 2013.
- MONTANHER, S. F. - Utilização da biomassa de bagaço de laranja como material sorvente de íons metálicos presentes em soluções aquosas. Tese (Programa de Pós- Graduação em Química) - Centro de Ciências Exatas. Universidade Estadual de Maringá, 2009.
- MOREIRA, D. R. - Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia. 2010, 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

- MUÑOZ, A. J., *et al.* - Heavy metal tolerance of microorganisms isolated from wastewaters: Identification and evaluation of its potential for biosorption. *Chemical Engineering Journal*, vol. 210, p. 325-332, 2012.
- NASCIMENTO, J. M. A. -Nanotecnologia e os nanomateriais. Ciências e Tecnologia. <http://cienciaetecnologias.com/nanotecnologia-nanomateriais/>. Acesso em 14 de setembro de 2015.
- NASCIMENTO, J. M. - Estudo da remoção do íon cobre por meio de bio-sorção usando biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*). Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 79f. 2015b.
- NASCIMENTO, J. M. *et al.* - Biossorção dos íons  $Cd^{2+}$  e  $Pb^{2+}$  utilizando a biomassa casca de pequi (*Caryocar brasiliense Camb*) modificada com ácido cítrico. *Revista de Ciências Ambientais*, vol. 8, p. 57-69, 2014.
- NASCIMENTO, J. M.; OLIVEIRA, J. D. - Caracterização das biomassas serragem de madeira teca (*Tectona granis*), casca de pequi (*Caryocar brasiliense Camb*) e orelha de pau (*Pycnoporus sanguineus*) pelo efeito do ponto de carga zero. *RQI*, vol. 742, p. 24-28, 2014.
- NGUYEN, M. L.; JUANG, R. S. - Modification of crosslinked chitosan beads with histidine and *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced Ni(II) biosorption. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, p. 1-7, 2015.
- PAGANINI, P. P. - Síntese e caracterização de trocadores iônicos inorgânicos a base de óxidos mistos estanho – titânio para utilização na recuperação de Cádmiio e Níquel e estudos fotoluminescentes. 2007. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) IPEN – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PALLU, A. P. S. - Biossorção de cádmio por linhagens de *Aspergillus sp.* 2006. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

- PASCHOALINO, M. P. - Os nanomateriais e a questão ambiental. Química Nova, vol. 33, nº 2, São Paulo, p. 421-430, 2010.
- PAVAN, F.A. *et al.* - Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. Journal of Hazardous Materials, vol.150, p. 703-712, 2008.
- PENG, Q. *et al.* - Biosorption of copper(II) by immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the surface of chitosan-coated magnetic nanoparticles from aqueous solution. Journal of Hazardous Materials, 177 (2010) 676-682.
- PINO, G. A. H. - Bioadsorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*). 2005. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- PORPINO, K. K. P. - Bioadsorção de ferro (II) por casca de caranguejo *ucides cordatus*. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- PRABHU, Y. T. *et al.* - A facile biosynthesis of copper nanoparticles: A micro-structural and antibacterial activity investigation. Journal of Saudi Chemical, 2015.
- REGALBUTO, J.R.; ROBLES, J. - "The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation". University of Illinois, Chicago, 2004.
- RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. - Cobre. Química Nova na Escola. vol. 34, nº 3, p. 161-162, 2012.
- RUBIO, F. T. V. - Estudo da bioadsorção de antocianinas da casca de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) em resíduo de indústria de cervejaria. 2014. 57f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

- SALARI, R. *et al.* - New aspects of *Saccharomyces cerevisiae* as a novel carrier for berberine. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 21, n° 73, p. 1-8, 2013.
- SANTOS JÚNIOR, A. V. - Avaliação da sustentabilidade da mineração de cobre e manganês em Carajás (PA) utilizando o método gaia e os indicadores de ecoeficiência. 2005. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- SCHRÖFEL, A. *et al.* - Applications of biosynthesized metallic nanoparticles – A review. *Acta Biomaterialia*, 10 (2014) 4023-4042.
- SELATNIA, A. *et al.* - Biosorption of  $Cd^{2+}$  from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. *Hydrometallurgy*. vol. 75, n° 1, p. 11-24, 2004.
- SHAW, B. J.; HANDY, R. D. - Physiological effects of nanoparticles on fish: A comparison of nanometals *versus* metal ions. *Environment International*. vol. 37, p. 1083-1097, 2011.
- SILVA, C. N. - Novos materiais ( $SiO_2 / Al_2O_3 / TiO_2$  e  $SiO_2 / Al_2O_3 / VOx$ ) obtidos pelo processo sol-gel para adsorção de contaminantes em água de produção da indústria de petróleo. 2013. 150f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- SON, J.; VAVRA, J.; FORBES, V. E. - Effects of water quality parameters on agglomeration and dissolution of copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) using a central composite circumscribed design. *Science of the total Environment*. vol. 521-522, p. 183-190, 2015.
- SONG, J. KONG, H.; JANG, J. - Adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by polyrhodanine-encapsulated magnetic nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. vol. 359, p. 505-511, 2011.

- SOUZA, F. W. *et al.* - Uso da casca de coco verde como adsorvente na remoção de metais tóxicos. Química Nova, vol. 30, n° 5, p. 1153-1157, 2007.
- SOUZA, J. I. *et al.* - Biossorção de cobre, manganês e cádmio por biomassas de *Saprolegnia subterranea* (Dissmann) R.L. Seym. e *Pythium torulosum* Coker & P. Patt. (Oomycetes). Acta Botânica Brasílica, vol. 22, n° 1, p. 217-223, 2008.
- SOUZA, J. S.; FERRÃO, M. F. - Aplicações da espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de medicamentos contendo diclofenaco de potássio. Parte 1: Dosagem por regressão multivariada. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, vol. 42, n° 3, jul./set., 2006.
- STAFUSSA, A. N. - Antocianinas do bagaço de uva: extração e biossorção em *Saccharomyces cerevisiae*. 2014. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- SUN, X. Y. *et al.* - Copper Tolerance and Biosorption of during Alcoholic Fermentation. Plos one, vol. 10, n° 6, p. 1-18, 2015.
- SUN, W.; YIN, K.; YU, X. - Effect of natural aquatic colloids on Cu(II) and Pb(II) adsorption by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. Chemical Engineering Journal, vol. 225, p. 464-473, 2013.
- TAGLIAFERRO, G. V. *et al.* - Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio(V) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea. Química Nova, vol. 34, n° 1, p. 101-105, 2011.
- TORTORA, G. J. *et al.* - Microbiology: an introduction. 10 ed, Pearson, 2010.
- VINOD, V. T. P. *et al.* - A facile synthesis and characterization of Ag, Au and Pt nanoparticles using a natural hydrocolloid gum kondagogu (*Cochlospermum gossypium*). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. vol. 83, p. 291-298, 2011.

- VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y. S. - Bacterial biosorbents and biosorption. *Biootechnology Advances*, vol. 24, p. 427-451, 2006.
- YAHAYA, Y. A.; DON, M. M.; BHATIA, S. - Biosorption of copper(II) onto immobilized cells of *Pycnoporus sanguineus* from aqueous solution: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, p. 189-195, 2009.
- YAN, G., VIRARAGHAVAN, T. - Heavy-metal removal from aqueous solution by fungus *Mucor rouxii*. *Water Research*, vol. 37, n° 18, p. 4486-4496, 2003.
- YU, K. *et al.* - Copper ion adsorption by chitosan nanoparticles and alginate microparticles for water purification applications. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. vol. 425, p. 31-41, 2013.
- WANG, J.; CHEN, C. - Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. *Biootechnology Advances*, vol. 24, p. 427-451, 2006.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2015, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 300 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-88 – **Separação seletiva de zinco em efluentes industriais empregando extração por solvente.** Flávio de Almeida Lemos e Roosevelt de Almeida Fernandes, 2015.

STA-87 – **Drenagem ácida aspectos ambientais – Uma revisão.** Vicente Paulo de Souza, 2015.

STA-86 – **Avaliação de risco à saúde humana da aplicação de resíduos gerados na lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia como carga no setor polimérico.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Cristiane Andrade de Lima e Tatiana da Costa Reis Moreira, 2015.

STA-85 – **Extração de ouro a partir de placas de circuito impresso por cianetação intensiva.** Ana Luiz Agostinho M. Santos, Naiara Soares Bello, Luis Gonzaga S. Sobral e Débora Monteiro de Oliveira, 2015.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 38 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.