

ESTUDO DA TOLERÂNCIA DE METAIS PESADOS NAS LINHAGENS FÚNGICAS *Rigidoporus lineatus* E *Aspergillus niger*

Data de aceite: 03/06/2024

Hellen Patrícia da Costa Marques

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/5351765647851779>

Camylle de Oliveira Carvalho da Silva

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/6985885036478368>

Lanniele Drika Carneiro Sousa

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/2716838434928571>

Carolyne Alecrim de Oliveira

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/9827296860531729>

Andrey Moacir do Rosário Marinho

UFPA/Instituto de Ciências Exatas e
Naturais/ Faculdade de Química/LA Biomi
Belém-Pará
<http://lattes.cnpq.br/2511998363000599>

Patrícia Santana Barbosa Marinho;

UFPA/Instituto de Ciências Exatas e
Naturais/ Faculdade de Química/LA Biomi
Belém-Pará
<http://lattes.cnpq.br/4826647905254039>

Marilene Nunes Oliveira;

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/0204590454010990>

Simone Yasue Simote Silva

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/4637413931051021>

Ulisses Brigatto Albino

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/1485924743638488>

João Batista Pereira Junior

UFBA/Campus Ondina/Instituto de
Química
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/8067391313688681>

Sebastião da Cruz Silva

Unifesspa/Instituto de Ciências Exatas/
Faculdade de Química
Marabá-Pará
<http://lattes.cnpq.br/5097476970597467>

RESUMO: O impacto causado pelo descarte de rejeitos no meio ambiente, tem se tornando uma preocupação mundial, pois estes provocam grandes danos ao ambiente. E uma forma de diminuir estes danos é a utilização de microrganismos como biorremediadores, pois estes podem adsorver, reter e até mesmo remover metais pesados desses ambientes. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de absorção de metais pesados pelos fungos *Rigidoporus lineatus* e *Aspergillus niger*, isolados da área de mineração. Os microrganismos foram inoculados em placas de petri contendo meio sólido BDA (batata-dextrose e ágar) enriquecidos com concentrações de 100 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L dos metais pesados cobalto, cromo, chumbo, cobre e níquel, em seguida as placas de petri foram colocadas na BOD e acompanhadas por um período de 10 dias. Para realizar a análise microscópica por Absorção Atômica com Chama, os microrganismos foram cultivados em erlenmeyers contendo meio líquido BD (batata e dextrose) enriquecidos com metais pesados cobre e chumbo, nas concentrações de 100 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L, os quais foram deixados por 10 dias na câmara de agitação com temperatura de 30°C e rotação de 250 rpm. Foi observado que as espécies *A. niger* e *R. lineatus* foram tolerantes a altas concentrações de cobre e chumbo, apresentando um bom desenvolvimento nas placas de petri e nas análises realizadas por Absorção Atômica, os fungos também mostraram ter um bom potencial adsorvente frente aos metais chumbo e cobre.

PALAVRAS-CHAVE: microrganismos, metais pesados, mineração

STUDY OF HEAVY METAL TOLERANCE IN FUNGAL STRAINS *Rigidoporus lineatus* AND *Aspergillus niger*

ABSTRACT: The impact caused by the discharge of waste on the environment has become a worldwide concern, as these disposals cause significant damage to the environment. One way to diminish these impacts is the use of microorganisms as bioremediators, because they are able to adsorb, to retain, and even to remove heavy metals from these environments. Therefore, this study aims to evaluate the capacity of adsorption of heavy metals by the fungi *Rigidoporus lineatus* and *Aspergillus niger*, isolated from a mining area. The microorganisms were inoculated in Petri dishes containing solid medium PDA (potato-dextrose-agar) enriched with concentrations of 100 mg/L, 500 mg/L and 1000 mg/L of the heavy metals cobalt, chromium, lead, copper, and nickel. Then, the Petri dishes were placed in the BOD and monitored for a period of ten days. To execute the Flame Atomic Absorption Microscopy Analysis, the microorganisms were cultivated in Erlenmeyer flasks containing liquid medium PD (potato and dextrose) enriched with the heavy metals copper and lead, at the concentrations of 100 mg/L, 500 mg/L and 1000 mg/L, which were left for ten days on the shaking chamber, at the temperature of 30°C and rotation of 250 rpm. It was observed that the species *A. niger* and *R. lineatus* were tolerant to high concentrations of copper and lead, having a good development on Petri dishes. The fungi were shown to have a good absorption potential related to the metals copper and lead on the analysis made by Atomic Absorption as well.

KEYWORDS: microorganisms, heavy metals, mining

INTRODUÇÃO

Uma das principais causas da poluição do meio ambiente é o desenvolvimento desproporcional que gera diversos resíduos sem fins adequados, sendo nocivos ao meio ambiente (CARVALHO E PONDOLA, 2022). Assim, conseqüentemente elevou os agentes de poluição ao meio ambiente, crescendo a presença de pragas tornando necessário a utilização de produtos químicos, como os agrotóxicos (ALVES E OLIVEIRA SILVA, 2003). E, juntamente, resultou em problemas sociais, como: escolas superlotadas, invasões territoriais, violências e principalmente a contaminação de solos e rios, que se encontram nas proximidades destas áreas de mineração, tornando necessários buscar medidas para descontaminar estas áreas impactadas (PALHETA et al, 2017).

Um das atividades nocivas é a mineração, um dos principais setores básicos responsáveis pela economia brasileira. As áreas de mineração, depois de exploradas não são renováveis e sua fonte é finita, possuindo assim danos futuros inevitáveis a partir do fechamento de minas ou falência de empresas trazendo conseqüências aos dependentes da região, que se encontra em maioria (ARAÚJO E FERNANDES, 2016).

Os países da América Latina são exemplos de exploração mineral, por serem ricos em recursos minerais, havendo conseqüências da elevada extração que afeta diretamente questões ambientais e econômica. Na Colômbia, hoje, há um pensamento mais crítico sobre os impactos ambientais, o que levou o país a procurar alternativas para sanar estes impactos (LÓPEZ-SÁNCHEZ et al, 2017).

A mineração é uma das atividades econômicas mais importantes do Brasil, principalmente na região paraense que tem como saldo comercial 77,5 do Estado. Apesar da importância econômica, a região sofre com muitos problemas ambientais, afetando diretamente o ambiente, tais como: plantas, animais e pessoas, principalmente as que moram no entorno da área (SILVA E ALVES, 2018).

No processo de recuperação de áreas degradadas, como as de mineração, é importante o retorno da atividade microbiana do solo, para facilitar o estabelecimento da vegetação. O solo possui uma biodiversidade específica de cada região, possuindo uma variedade de fungos, tornando-se assim um ambiente promissor para estudos químicos de espécies que vivem nesse habitat, muitas dessas espécies de fungos ainda são desconhecidas e merecem atenção para serem estudadas, como remediadores destas áreas impactadas (SUCCAR et. Al, 2019).

Um dos processos para a descontaminação dessas áreas com baixo custo é a biorremediação, que utiliza organismos vivos, como plantas e microrganismos, para transformar os contaminantes em substâncias inertes [8]. Entretanto, é uma técnica muito sensível e que demanda grandes estudos sobre os microrganismos a serem utilizados para o tratamento, pois o processo depende das condições do local a ser tratado, a concentração dos contaminantes, pH, salinidade e umidade do solo (RAMOS et al, 2022).

No processo de biorremediação por microrganismos, os fungos desempenham um papel importante devido à sua capacidade metabólica de degradar diferentes compostos tóxicos e recalcitrantes, como poluentes orgânicos, corantes têxteis, efluentes têxteis, petróleo, hidrocarbonetos poliaromáticos, plásticos e pesticidas (MENEZES et al, 2017).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento fúngico microscópico e macroscopicamente dos fungos, isolados da área de mineração da Mina do Sossego, *Rigidoporus lineatus* e *Aspergillus niger* em meios sólido e líquido enriquecidos com os metais pesados cobalto, cromo, cobre, chumbo e níquel.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção dos fungos

Os microrganismos estudados foram selecionados da coleção de fungos da micoteca do Laboratório Multidisciplinar de Biologia da Faculdade de Química-UNIFESSPA, as linhagens utilizadas para este trabalho foram o *Aspergillus niger* e *Rigidoporus lineatus*. (Figura 1), isoladas da Lagoa de Rejeito de Mineração da Mina do Sossego, localizada em Canaã dos Carajás/PA.

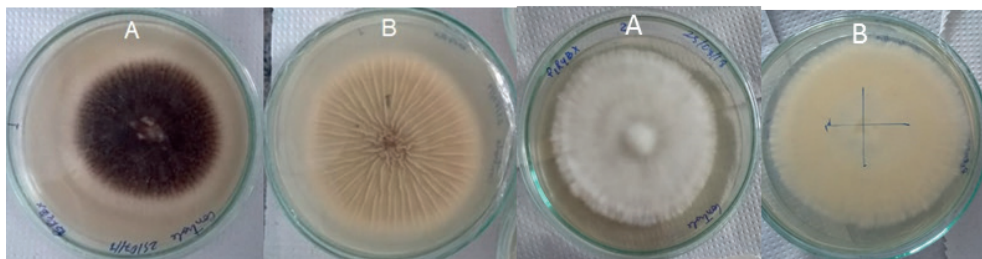


Figura 1: Linhagem fúngica *A. niger* e *R. lineatus* frente e verso, respectivamente (A e B)

Preparação do meio de cultura sólido com metais

Para o cultivo das linhagens fúngicas em meio de cultura BDA (batata, dextrose e ágar) enriquecido com sal metálico, utilizou-se frascos de erlenmeyers de 500 mL. Após determinar a massa de sal necessária para preparar as concentrações desejadas realizou-se o preparo da solução com uma quantidade específica de cada metal previamente calculado para um volume de 200 mL. Para a preparação da solução metálica, foram utilizados, separadamente, os sais CuSO_4 , $\text{CoCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, nas concentrações de 100, 500 e 1000 mg/L.

As soluções preparadas foram transferidas para erlenmeyers de 500 mL, sendo posteriormente vedados por bonecas (algodão e gazes) e em seguida foram cobertos com papel Kraft, evitando-se o contato com o meio externo, e posteriormente foram esterilizados em autoclave Primatec, modelo CS, série n.14190, voltagem 220V, potência 4.0 kv à 121 °C, pressão de 1 atm, durante 15 minutos.

Após esterilização, o meio foi vertido em placas de petri, para observar se houve contaminação no meio, o mesmo foi incubado na BOD vertical Cientec®, modelo CT-705-330, série n.1011358, voltagem 220V, potência 600W, por um período de 24h. Em seguida, inoculou-se discos de micélio das linhagens fúngicas em estudo, sendo acompanhado o seu desenvolvimento micelial por um período de 240h (10 dias).

Análise da inibição do crescimento micelial (PIC)

A avaliação do desenvolvimento micelial das linhagens fúngicas, foi analisada de acordo com a concentração de cada metal através do crescimento radial obtido a partir das medidas do diâmetro médio do micélio do fungo a cada 48 horas. A inibição do crescimento micelial (PIC) foi calculada pela equação abaixo.

$$\%PIC = \frac{CRTE - CRTX}{CRTE} \times 100$$

Equação 1 - Equação de inibição do crescimento micelial

Onde,

PIC: Inibição do crescimento micelial;

CRTE: Crescimento radial da placa controle (cm);

CRT: Crescimento radial da placa em tratamento (cm).

Preparação do meio de cultura líquido contendo os metais chumbo e cobre

Para o cultivo das linhagens em meio líquido preparou-se 1000 mL do meio de cultura líquido BD (batata e dextrose) e em seguida foi esterilizado em autoclave Primatec, modelo CS, série n.14190, voltagem 220V, potência 4.0kv, à 121 °C, pressão de 1 atm, durante 15 minutos. Após realizar o cálculo da quantidade de sal necessário, para cada concentração desejada (100, 500 e 1000 mg/L) os mesmos foram dissolvidos em determinado volume de meio BD, em seguida transferiu-se 20 mL de cada solução de metal para tubos tipo Falcon esterilizados e após 24h inoculou-se fragmentos de micélios dos fungos. Posteriormente, os tubos falcon foram levados para a incubadora com agitação SOLAB, modelo SL-223, modelo SL-223, série n.15-015, potência 1500 w, voltagem 220V, durante 10 dias, a temperatura de 30 °C e rotação de 150 rpm, o experimento foi realizado em triplicata.

Preparo das amostras para análise por espectrometria de absorção atômica com chama

Antes de realizar as análises no equipamento de Espectrometria de absorção atômica com chama - FAAS, foi necessário seguir algumas condições instrumentais específicas para cada metal, as quais são apresentadas na Tabela 1. O limite de detecção (L.O.D) foi calculado seguindo a relação $3 \times s/b$ (s = estimativa do desvio padrão do branco analítico e b = coeficiente angular da curva analítica). Em seguida, foram preparadas soluções padrões dos metais chumbo e cobre, afim de montar a curva analítica para os metais no FAAS, com uma solução padrão de 100 mg/L para cada metal.

Parâmetros	Metais	
	Cobre	Chumbo
Resolução espectral (nm)	0,2	0,2
Corrente de lâmpada (mA)	4,0	4,0
Comprimento de onda (nm)	324,8	217,0
L.O.D (mg/L)	0,02	1,21

Tabela 1 - Condições instrumentais para determinação de cobre e chumbo por FAAS

Preparação da solução de cobre, para análise por FAAS

A partir da solução estoque de cobre (100 mg/L), foram preparadas cinco soluções com as concentrações de 1,0 a 5,0 mg/L, as quais foram utilizadas para montar a curva analítica do metal cobre. As soluções preparadas, foram aferidas com HNO₃ 5%, sendo as concentrações de 1,0 mg/L a 4,0 mg/L aferidas até 50 mL e a concentração de 5,0 mg/L aferida até 100 mL.

As amostras contendo o fungo mais o metal cobre, com concentrações de 100, 500 e 1000 mg/L, foram diluídas para em seguida serem analisadas no FAAS Thermo Scientific, série n. 164056, potência 100-240 V. Da concentração de 100 mg/L, foi retirado uma alíquota de 1 mL e aferido até 10 mL com água destilada. Para as concentrações de 500 e 1000 mg/L foram pipetados de cada, separadamente, 100 µL e aferido até 10 mL com água destilada.

Preparação da solução de chumbo, para análise por FAAS

A partir da solução estoque de chumbo (100 mg/L), foram preparadas soluções com as concentrações de 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 mg/L, as quais foram utilizadas para montar a curva analítica do metal chumbo. As soluções preparadas, foram aferidas com HNO₃ 5%, sendo as concentrações de 2,0 a 8,0 mg/L aferidas até 50 mL e a concentração de 10,0 mg/L aferida até 100 mL.

As amostras contendo o fungo mais o metal chumbo, com concentrações de 100, 500 e 1000 mg/L, foram diluídas para em seguida serem analisadas no FAAS. Da concentração de 100 mg/L foi retirado uma alíquota de 1 mL e aferido até 10 mL com água destilada. Para as concentrações de 500 e 1000 mg/L foram pipetados de cada, separadamente, 100 μ L e aferido até 10 mL com água destilada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da concentração dos metais no desenvolvimento dos fungos

A linhagem fúngica *R. lineatus* se desenvolveu bem nas concentrações de 100 mg/L, em quase todos os metais, exceto no metal cromo, pois nesta concentração o metal foi tóxico para a espécie, sendo observado apenas um pequeno desenvolvimento micelial na placa de petri. Nas demais concentrações, de 500 mg/L e 1000 mg/L, observa-se que a espécie fúngica é tolerante somente ao metal chumbo (Figura 2). Já a espécie *A. niger*, se desenvolveu bem em todos os metais, na concentração de 100 mg/L, nas demais concentrações a espécie foi tolerante somente a altas concentrações do metal chumbo (Figura 3).

Apesar do cobre ser um constituinte natural presente nos solos, principalmente do solo de onde os fungos *R. Lineatus* e *A. niger* foram isolados, observou-se que as espécies não foram resistentes a elevadas concentrações deste metal.

No entanto, as espécies foram resistentes a elevadas concentrações do metal chumbo, mesmo com seu alto potencial de toxicidade, os dois fungos tiveram um bom desenvolvimento micelial. Essa relação do metal chumbo com os fungos do solo está relacionado significativamente com o ambiente em um todo, como o pH, as propriedades do solo, o teor de óxido de carbono que são as mais importantes características para um bom desenvolvimento microbiológico no local (YOGABAANU, et al, 2017).

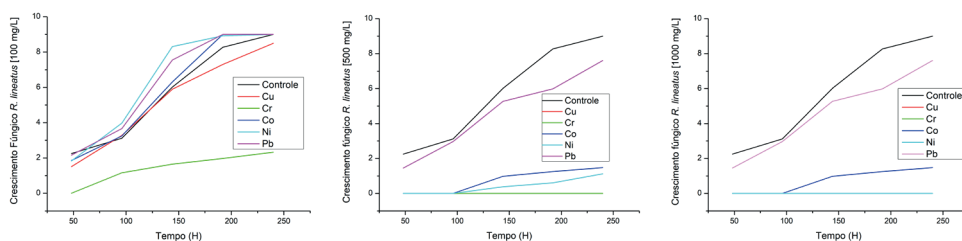


Figura 2: Crescimento fúngico do fungo *R. lineatus*, na presença dos metais Cobalto, Chumbo, Cobre, Cromo e Níquel em concentrações de 100 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L

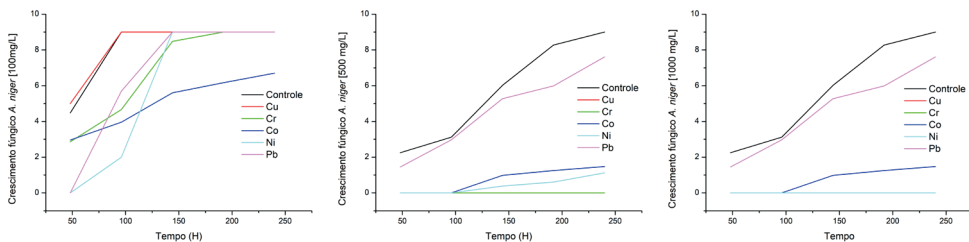


Figura 3: Crescimento fúngico do fungo *A. niger*, na presença dos metais Cobalto, Chumbo, Cobre, Cromo e Níquel em concentrações de 100 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L

De acordo com os resultados exibidos na Tabela 2, observa-se que apenas na concentração de 100 mg/L de Cu^{2+} e Cr^{6+} houve inibição de crescimento da linhagem fúngica. Em 500 mg/L houve desenvolvimento apenas no íon metálico Pb^{2+} , mostrando que o fungo é tolerante ao chumbo mais que os outros metais estudados, no entanto, no mesmo metal, em 1000 mg/L houve aumento da inibição do desenvolvimento micelial.

Os fungos foram isolados de uma área de mineração, de onde é extraído os minérios ferro e cobre, pela mineradora VALE, e a análise química do rejeito desta área, revelou a presença de diversos metais em diferentes concentrações, além do ferro e cobre. Portanto, pode-se inferir que estes fungos apresentaram resultados de tolerância de acordo com o ambiente que foram isolados.

Concentração (mg/L)	PIC (%)				
	Cu^{2+}	Co^{2+}	Pb^{2+}	Cr^{6+}	Ni^{2+}
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	28,00	0,00	0,00	74,02	0,00
500	100	100	0,00	100	87,5
1000	100	100	15,41	100	100

Tabela 2. Efeito da dosagem de metais na percentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) do fungo *R. lineatus* em 240 horas de experimento.

Análise por absorção atômica

Nas amostras contendo cobre, foram detectados que houve diminuição das concentrações iniciais de todas as concentrações utilizadas (100 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L).

Analisando os dados do fungo *Rigidoporus lineatus*, na solução de 100 mg/L de cobre, verificou-se que o fungo adsorveu 4,7 mg/L, ou seja, 4,7 % da concentração inicial. Em 500 mg/L, o fungo adsorveu, 34,5 mg/L, ou seja, 6,9 % da amostra inicial. Já em 1000 mg/L, houve a adsorção de 110,0 mg/L, logo, 11,0% da quantidade inicial de Cu^{2+} na amostra. (Tabela 3).

Cu²⁺	[Cu²⁺] na solução (mg/L) ± desvio padrão	[Cu²⁺] adsorvida pelo fungo (mg/L)	Remoção (%)
100	95,3±0,70	4,7	4,7
500	465,5±0,23	34,5	6,9
1000	890,0±0,25	110,0	11,0

Tabela 3 - Análise de adsorção do meio líquido enriquecido com metal Cu²⁺ da linhagem *R. lineatus*

Estando em constante movimento por 240h, observou-se que a percentagem de adsorção se elevou conforme o aumento da concentração. O fungo se desenvolveu nas concentrações de cobre em meio líquido diferentemente do meio sólido, algumas pesquisas mostraram que microrganismos expostos a perturbação constante aumentam a sua tolerância e degradação de substâncias tóxicas do que as células em suspensão (XIA, et al, 2017).

A linhagem fúngica *Aspergillus niger* na concentração de 100 mg/L de cobre, o fungo adsorveu 6,6 mg/L, ou seja, 6,6 % da concentração inicial. Em 500 mg/L, o fungo adsorveu, 464,0 mg/L, ou seja, 92,8 % da concentração. Em 1000 mg/L, houve a adsorção de 143,0 mg/L, cerca de 14,3% (Tabela 4).

Cu²⁺	[Cu²⁺] detectada na solução (mg/L) ± Desvio padrão	Concentração de Cu²⁺ adsorvida pelo fungo (mg/L)	Remoção (%)
100	93,37 ± 1,05	6,63	6,6
500	35,82 ± 0,09	464	92,8
1000	857,26 ± 0,90	143	14,3

Tabela 4: Análises de íons Cu²⁺ presentes na solução de diferentes concentrações de amostras da linhagem *Aspergillus niger*

A partir dos resultados obtidos, o fungo *Aspergillus niger* apresentou valores de adsorção que está acima de 50% na concentração de 500 mg/L, porém na concentração de 1000 mg/L o valor foi inferior a 20%. Cada organismo possui uma capacidade para determinadas substâncias, logo a tolerância do fungo em estudo pode ser alterada conforme a concentração de metal. Assim, o fungo *A. niger* pode tolerar o metal cobre até determinada concentração (ZAFAR, et al, 2017).

Nas amostras com o fungo *R. lineatus* enriquecidas com o metal chumbo, observou-se que o fungo teve um potencial de adsorção maior, quando comparado ao metal cobre, conforme observado na tabela 5, o fungo adsorveu 4,3 mg/L, ou seja, 4,3% da concentração inicial, da solução de 100 mg/L de chumbo. Em 500 mg/L, o fungo adsorveu, 306,5 mg/L, ou seja, 61,3 % da amostra inicial. Já na concentração de 1000 mg/L, houve a adsorção de 817,0 mg/L, logo, 81,7% da quantidade inicial de chumbo na amostra.

Pb²⁺	[Pb²⁺] na solução (mg/L) ± desvio padrão	[Pb²⁺] adsorvida pelo fungo (mg/L)	Remoção (%)
100	95,7±1,93	4,3	4,3
500	193,5±0,15	306,5	61,3
1000	183,0±0,76	817,0	81,7

Tabela 5 - Adsorção do meio líquido enriquecido com metal Pb²⁺ com o fungo *R. lineatus*

Comparando os resultados das amostras contendo cobre, com as amostras contendo chumbo, nestas amostras se teve melhor potencial de adsorção, com o aumento da concentração do metal chumbo, observando a diminuição da presença de íons metálicos na solução. Logo, pode se observar que o fungo *R. lineatus* é um bom adsorvente de íons Cu²⁺ e Pb²⁺, adsorvendo mais que a metade da concentração presente.

Esse comportamento pode ser explicado a partir do estudo com fungos filamentosos onde observou que em suas propriedades, grande biomassa de cepas são capazes de absorver metais pesados, não apenas um, mas vários metais simultaneamente. Sendo assim, podendo ser utilizados em tratamentos de fluidos. E o uso efetivo desses fungos exigiria que eles tivessem alta tolerância aos metais e que eles fossem capazes de remover metais pesados com eficiência (OLIVEIRA, et al, 2022).

Na análise das amostras do fungo *Aspergillus niger* que continha chumbo foi detectado que houve diminuição das concentrações iniciais de todas as concentrações utilizadas. Na solução de 100 mg/L de Pb²⁺, o fungo adsorveu 97,3% da concentração inicial. Em 500 mg/L, o fungo adsorveu, 496,0 mg/L, ou seja, 99,2% da concentração inicial. Já em 1000 mg/L, houve a adsorção de 997,0 mg/L, cerca de 99,7% (Tabela 6).

Pb²⁺	[Pb²⁺] detectada na solução (mg/L) ± Desvio padrão	Concentração de Pb²⁺ adsorvida pelo fungo (mg/L)	Remoção (%)
100	2,67 ± 1,55	97,3	97,3
500	4,02 ± 0,33	496,0	99,2
1000	2,06 ± 0,57	997,0	99,7

Tabela 6: Análises de íons Pb²⁺ presentes na solução de diferentes concentrações de amostras da linhagem *Aspergillus niger*

Do estudo realizado por Junior e Pereira (JUNIOR e PEREIRA, 2008) sobre a tolerância da linhagem *Aspergillus sp.* ao metal chumbo, os autores observaram que os isolados do gênero *Aspergillus sp* apresentam um bom crescimento no tratamento com metal chumbo.

CONCLUSÃO

As espécies *Rigidoporus lineatus* e *Aspergillus niger* são microrganismos com certo potencial para ser aplicado em tratamento de ambientes contaminados com metais pesados, não só solos como também em efluentes, tendo em vista que se mostraram-se bastante tolerantes ao metal Pb^{2+} no meio sólido, mesmo em grandes quantidades deste metal. Quando realizado as análises por absorção atômica com os metais Pb^{2+} e Cu^{2+} , observou-se que os mesmos são um bom adsorvente, resultados estes que corroboram com aqueles obtidos em meio sólido.

Fungos do gênero *Aspergillus* são aplicáveis em tratamento de ambientes contaminados por possuírem grande capacidade de tolerar e remover metais pesados mesmo estando em elevadas concentrações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a empresa VALE pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S.R., OLIVEIRA-SILVA, J.J., **Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente** [online]. Rio de Janeiro (RJ): FIOCRUZ; 2003.
- ARAÚJO, E.R., FERNANDES, F.R.C., **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In. Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente**. Rio de Janeiro (RJ): CETEM; 2016.
- CARVALHO, F.R., PODOLAN, P.G., **Agrotóxicos: desigualdade, agentes politraumáticos e proteção do trabalhador**. *Veredas do Direito*, 2022 19 (45): 221-247.
- JUNIOR, F.M.R.S., PEREIRA, S.V., **Ecologia e fisiologia de fungos filamentosos isolados de solo contaminados por metais pesados**. *Revista Brasileira de Biociências*, 2008 March 5 (S2): 903-905, <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115296>.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ, L.M., LÓPEZ-SANCHÉZ, M.L., MEDINA-SALAZAR, G., **La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica**. *Entremado*, 2017 July 13(1): 78-91.
- MENEZES, G., CARVALHO, T.A., ALMEIDA, W.S., SUSSUCHI, E.M., VIÉGAS, P.R.A., MARINO, R., **Bioremediation potential of filamentous fungi in methylene blue: Solid and liquid culture media**. *Ciência e Agrotecnologia*, 2017 October 41 (5): 526–532.
- OLIVEIRA, A.F., FLORENTINO, A.C., VALENTE, A.S., BEZERRA, R.M., ZAMORA, R.M., CARVALHO, J.T., MACIEL, A.F., **Study of biofilms with kefir associated with soy germs (*Glycine max* (L.) Merrill)**. *Ciência e Natura*, 2022 September 44: e47.
- PALHETA, J.M., SILVA, C.N., OLIVEIRA, A., NASCIMENTO, F.R., **Conflitos pelo uso do território na Amazônia mineral**. *Mercator*, 2017, september 16:1-18.

RAMOS, M.A.O., RAMOS, V.A.A., **Soil recovery proposal in the city of Brumadinho – MG**. Ensaios USF, 2022 November 6 (1): 1-19.

SILVA, D., ALVES, L., **Mineração e pobreza, um retrato dos municípios paraenses que exploram recursos minerais [online]**. Pará c2018.

SUCCAR, J.B., PINTO, G.M., PEREIRA, T.F., DIREITO, I.C.N., ASSIS, M.C., VICTÓRIO, C.P., **Atividade antibacteriana de óleos essenciais de plantas de Myrtaceae contra bactéria multirresistentes**. In. **Análise Crítica das Ciências Biológicas e da Natureza 2**. Ponta Grossa (PR): Atenas, 2019. p. 181-192.

XIA, L., ZHANG, D., QING, H., **Adsorption characteristics of copper (II), Zinc (II) and Mercury (II) by four kinds of immobilized fungi residues**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017 January 147: 357-366.

YOGABAANU, U., WEBER, J.F.F., CONVERY, P., RIZMAN-IDID, M., ALIAS, S.A., **Antimicrobial properties and the influence of temperature on secondary metabolite production in cold environment soil fungi**. Polar Science, 2017 December 14: 60–67.

ZAFAR, Z.L., ASHRAF, M., **Selective leaching kinetics of calcareous phosphate rock in lactic acid**. Chemical Engineering Journal, 2017 July 131 (1-3): 41-48.