

## Avaliação da degradação biológica de embalagens plásticas metalizadas utilizando mecanismos da biolixiviação

## Evaluation of biological degradation of metallized plastic packing using bioleaching mechanisms

### RESUMO

Ana Cristina de Souza Andrete  
[anaandrete@alunos.utfpr.edu.br](mailto:anaandrete@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Reinaldo Yoshio Morita  
[rmorita@utfpr.edu.br](mailto:rmorita@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

As embalagens plásticas metalizadas, utilizadas principalmente para armazenar alimentos, têm sido um grande problema na reciclagem por depender da separação do polímero (polipropileno) e do metal (alumínio), portanto não têm uma destinação correta. O objetivo deste trabalho foi propor uma destinação apropriada e sustentável para estas embalagens, utilizando microrganismos que fazem o processo de biolixiviação para recuperar o metal e os microrganismos eficientes (ME) em um biorreator *airlift* para fazer a degradação biológica do polímero. Devido a pandemia pelo COVID-19, os experimentos não foram realizados. Contudo, espera-se que os microrganismos empregados à biotecnologia venham de modo a contribuir na inovação quanto a destinação de embalagens plásticas metalizadas de forma sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Embalagem. Biolixiviação. Microrganismos eficientes.

### ABSTRACT

Metallized plastic packaging, used mainly for storing food, has been a major problem in recycling because it depends on the separation of the polymer (polypropylene) and the metal (aluminum), so it does not have a correct destination. The objective of this work was to propose an appropriate and sustainable destination for these packages, using microorganisms that make the bioleaching process to recover the metal and the efficient microorganisms (ME) in *airlift* bioreactor to do the biological degradation of the polymer. Due to the COVID-19 pandemic, the experiments were not carried out. However, it is expected that the microorganisms used in biotechnology will come in a way to contribute innovation in terms of the destination of metallized plastic packaging in a sustainable way.

**KEYWORDS:** Packing. Bioleaching. Effective microorganisms.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

A produção de embalagens plásticas vem crescendo a cada ano em decorrência do consumo e, em consequência disso há o aumento no descarte destes materiais. De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), entre janeiro de 2016 a junho de 2019, a produção de embalagens plásticas cresceu significativamente, sendo as embalagens flexíveis as mais consumidas. Entende-se por embalagem flexível qualquer estrutura laminada composta por plástico, alumínio ou multicamadas. Um exemplo são as embalagens de salgadinhos (snacks) e biscoitos. Essas embalagens são de polipropileno (PP) contendo uma folha de alumínio para garantir maior eficiência como barreira a agentes externos nas embalagens alimentícias (SHAGUFTALSHTHEYAQ et al., 2019).

No entanto, na publicação da Associação Brasileira de Indústria do Plástico (ABIPLAST) de 2018, consta que este tipo de material apresenta grandes dificuldades no processo de reciclagem já que depende da separação do material plástico (polímero) e do metal, sendo assim seu potencial de reciclagem se torna muito baixo. Por outro lado, uma das maiores empresas que utiliza este tipo de embalagem, promove a reciclagem sem a separação do metal e inclusive utiliza o material reciclado na confecção de displays de exposição de produtos.

A degradação biológica de polímeros se dá através da atividade enzimática de microrganismos que utilizam o polímero como fonte de carbono (COSTA et al., 2014). Os microrganismos utilizados nesse processo podem ser fungos, bactérias ou algas (LEJA; LEWANDOWICKZ, 2011). A biolixiviação é um processo biotecnológico que utiliza bactérias acidófilas estritas e fungos filamentosos para solubilizar e fazer a recuperação de metais. A bactéria mais conhecida e utilizada nos processos de biolixiviação é *Acidithiobacillus ferrooxidans*, uma vez que esta espécie possui grande eficiência na oxidação de íons ferrosos, sulfetos minerais e compostos reduzidos de enxofre (GIESE, 2014). Já o principal fungo utilizado nesse processo é o *Aspergillus niger*, pois é um produtor comprovado de ácidos orgânicos.

Os microrganismos eficientes (ME) normalmente são utilizados na agricultura natural para a fertilização de solos, pois utilizam a matéria orgânica como principal fonte de energia, auxiliando na sua decomposição. Esse conjunto de microrganismos consiste em leveduras, actinomicetos, bactérias produtoras de ácido lático e bactérias fotossintéticas (BONFIM et al., 2011). Além da agricultura natural, os ME também podem ser empregados em aterros sanitários, em descontaminação de lagoas atuando na decomposição de efluentes e resíduos sólidos (SOUZA, 2019).

De acordo com Cerri (2009), os biorreatores do tipo “airlift” são os mais utilizados para a cultura de microrganismos em processos aeróbios, uma vez que promovem grande transferência de oxigênio e movimento a partir da própria entrada de ar resultando em maior economia de energia.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi investigar a degradação biológica das embalagens plásticas metalizadas através de ferramentas biotecnológicas, como a biolixiviação na recuperação do alumínio e a degradação biológica do polímero por meio dos microrganismos eficientes, utilizando um bioreator *airlift*.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### EMBALAGENS PLÁSTICAS METALIZADAS

Conforme dito anteriormente, a produção, o consumo e o descarte de embalagens plásticas cresce muito a cada ano (ABRE, 2019). Atualmente, as embalagens mais consumidas são as embalagens plásticas metalizadas, também chamadas de embalagens flexíveis ou multicamadas (LANDIM et al., 2016). Essas embalagens apresentam alta durabilidade e resistência, já que são compostas por PP com uma folha de alumínio, por isso são muito utilizadas na embalagem de produtos alimentícios (SHAGUFTALSHTHEYAQ et al., 2019). Porém, de acordo com a Associação Brasileira de Indústria do Plástico (2018) as embalagens plásticas metalizadas são um grande problema na cadeia da reciclagem, pois dependem da separação do metal e do polímero, o que na maioria das vezes não acontece. Sendo assim, o material pós-uso e descartado é levado para os aterros sanitários, onde permanece intacto por décadas, ou seja, sem sofrer qualquer tipo de degradação contribuindo na poluição do ambiente (LANDIM et al., 2016). Como consequência surgem inúmeras alternativas para a melhor destinação e separação desses materiais pós-uso, uma delas é a degradação biológica por meio de microrganismos.

### DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DO POLIPROPILENO

Apesar da alta resistência biológica do PP (COSTA et al., 2014), já existem estudos que comprovam que este polímero pode ser degradado biologicamente através da ação enzimática de microrganismos (FARIA; WISBECK; DIAS, 2015). Longo et al. (2011) estudaram e identificaram a ação de microrganismos na degradação do PP através de erosões causadas em sua superfície depois de 11 meses enterrado no aterro sanitário de São Giácomo em Caxias do Sul/RS. A degradação biológica de materiais poliméricos se dá, principalmente, porque os microrganismos utilizam o polímero como fonte de carbono. Nesse processo podem ser utilizados fungos, algas ou bactérias (LEJA; LEWANDOWICKZ, 2011).

### BIOLIXIVIAÇÃO

De acordo com Bosecker (1997), a biolixiviação é um processo biotecnológico que faz a recuperação de minérios através da solubilização de metais. Esse processo ocorre naturalmente em minas de minérios com a ação de microrganismos. A bactéria mais conhecida e utilizada na biolixiviação é *Acidithiobacillus ferrooxidans*, também chamada de *Thiobacillus ferrooxidans* (GIESE, 2014).

Segundo Oliveira et al. (2010), *A. ferrooxidans* é acidófilo estrito, ou seja, vive apenas em ambientes ácidos, sendo seu pH ótimo para crescimento de 1,8 a 2,5. Além disso, é através da oxidação de compostos inorgânicos que consegue energia para fixar o CO<sub>2</sub>. Esta bactéria é gram-negativa, não patogênica, se move através de flagelos e sua reprodução é realizada por divisão binária simples. Este microrganismo é muito utilizado em processos de biolixiviação por possuir grande

eficiência na catálise da oxidação de metais, através da produção de ácido sulfúrico (SCHIPPERS, 2004).

O processo de biolixiviação também pode ser realizado com a utilização de fungos, principalmente *Aspergillus niger*, já que este microrganismo produz derivados de ácidos orgânicos, como citrato, glucanato e oxalato, capazes de recuperar metais. Além disso, a biolixiviação fúngica tem vantagem sobre a bacteriana uma vez que os fungos podem crescer entre pH 1,5 e 9,8 (RASOULNIA; MOUSAVI, 2016). Brandl, Bosshard e Wegmann (2001) fizeram um comparativo entre fungos e bactérias para analisar a capacidade de biolixiviação do alumínio e outros metais encontrados em rejeitos elétricos e eletrônicos. Através desse estudo foi possível constatar que a bactéria utilizada (*T. ferrooxidans*) recuperou cerca de 90% do alumínio e o fungo, *A. niger*, foi capaz de recuperar cerca de 95% do mesmo metal. Isso indica que ambos os microrganismos são eficientes para a biolixiviação do alumínio.

### MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) E BIORREATOR AIRLIFT

Os ME são utilizados tanto na fertilização de solos agrícolas, quanto na biorremediação em áreas contaminadas com resíduos orgânicos (BONFIM et al., 2011). Ting et al. (2013) testaram o potencial dos ME na remoção de metais em meio líquido com essas células livres e imobilizadas por alginato, porém não obtiveram grande sucesso. Dentre as células que compõem os ME estão as típicas bactérias que produzem ácido lático, leveduras, bactérias fotossintéticas, fungos fermentativos e actinomicetos (BONFIM et al., 2011; TING et al., 2013).

Os biorreatores *airlift* são grandes aliados quando se trata de cultivo de microrganismos, uma vez que conseguem transferir grandes taxas de oxigênio para o meio, agitando e homogeneizando. Esse tipo de biorreator tem vantagens sobre biorreatores convencionais, pois além de consumir menos energia e o oxigênio não ser um fator limitante, sua construção e aumento de escala também são facilitados (CERRI, 2009).

Durante o funcionamento do biorreator *airlift* o meio de cultura é movido de baixo para cima seguida de retorno de cima para baixo, em que o volume líquido é dividido em duas partes e apenas uma delas recebe a corrente de ar, conforme a Figura 1. Isso garante que, a partir da agitação, todo o meio contendo microrganismos receba o oxigênio e todos os outros nutrientes (ROSSI, 2006).

Figura 1 – Desenho esquemático do biorreator *airlift* de circulação interna



Fonte: Cerri (2009).

## METODOLOGIA

### Preparo das amostras

Será utilizada uma embalagem plástica metalizada de snacks da marca Elma Chips de tamanho 37,5 cm x 28,7 cm. A embalagem será lavada com detergente e água corrente, a fim de retirar os resíduos. Após a secagem a temperatura ambiente, a embalagem será cortada em quadrados de 3 cm x 3 cm.

### BIOLIXIVIAÇÃO

De acordo com Oliveira (2014), o inóculo de *A. ferrooxidans* será feito em meio T&K-agarose, sendo que os açúcares presentes no ágar inibem o crescimento desta espécie. O meio T&K consiste em duas soluções (A e B) que serão misturadas na proporção 4:1. Os reagentes utilizados nas soluções A e B estão descritas na Tabela 1. A solução de agarose 0,9 % (m/v) será preparada em volume igual ao meio T&K.

Tabela 1 – Reagentes utilizados nas soluções A e B do meio T&K

Solução A (g L <sup>-1</sup> )	Solução B (g L <sup>-1</sup> )
0,8 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
0,1 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	66,8 FeSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O
0,8 MgSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	
800 mL de água destilada	200 mL de água destilada

Fonte: Oliveira (2014).

A solução A será autoclavada a 121 °C por 20 min. A solução B será filtrada em membrana de acetato de celulose 0,22 µm. Ambas as soluções deverão ter o pH ajustado para 1,8 com a adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. As soluções de agarose e T&K serão aquecidas e misturadas em banho termostatizado a 55 °C. A solução de T&K-agarose será distribuída em placas de Petri em condições estéreis e incubadas a 30 °C e 130 RPM em incubadoras shakers.

Depois de inocular *A. ferrooxidans* no meio sólido e analisar seu crescimento, o ensaio de biolixiviação nas embalagens plásticas metalizadas deverão ser testadas. O ensaio de biolixiviação consiste em uma solução com volume em cerca de 150mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> estéril (pH 2,0) contendo a bactéria e o material a ser lixiviado em um erlenmeyer. A solução do ensaio não terá a adição de nutrientes de modo que apenas o alumínio supra as necessidades energéticas do microrganismo. Além do frasco contendo o ensaio de biolixiviação, também será necessário fazer um frasco apenas com cerca de 150 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e a embalagem plástica metalizada e outro frasco apenas com o microrganismo e a solução lixiviante como controle e verificar a taxa de degradação das embalagens sem a adição do microrganismo. A manutenção do pH deverá ser feita em todos os frascos para que não haja a formação de precipitados no meio. Os frascos serão incubados sob agitação a 130 RPM em incubadora shaker a 30 °C por 60 dias.

A determinação da ação de *A. ferrooxidans* no alumínio será realizada através da diferença de massa da embalagem antes e depois do inóculo, assim como a

diferença entre a embalagem que está no meio com a bactéria e a embalagem presente no meio sem a bactéria. Além disso, esse microrganismo, quando está inoculado, altera a coloração do meio para marrom avermelhado (OLIVEIRA, 2014).

### MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) E BIORREATOR AIRLIFT

O consórcio de microrganismos será coletado na mata, utilizando a proposta de captura (A) por Bonfim et al. (2011) e seguida da ativação (B) dos ME descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Captura e ativação de microrganismos eficientes

A	B
<ul style="list-style-type: none"><li>• Serão colocados 700 g de arroz cozido sem sal em uma bandeja de plástico</li><li>• Será coberta com tela fina para proteger</li><li>• A bandeja preparada deverá ser colocada na borda da mata virgem</li><li>• A bandeja será coberta com serapilheira</li><li>• Entre o 10º e 15º dia os ME serão capturados</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• O arroz com os microrganismos será distribuído em 5 garrafas de plástico</li><li>• Serão colocados 200 mL de melação em cada garrafa</li><li>• A garrafa será completada com água limpa, sem cloro, ou água de arroz</li><li>• As garrafas serão fechadas e deixadas à sombra por 10 a 20 dias</li><li>• O gás armazenado nas garrafas deverá ser liberado de 2 em 2 dias</li><li>• A tampa será colocada e a garrafa deverá ser apertada dos lados a fim de tirar todo o ar de dentro dela, pois a fermentação ocorrerá em ambiente anaeróbio.</li></ul>

Fonte: Bonfim et al. (2011).

Os ME serão transferidos para um biorreator *airlift*. No biorreator será colocado amostras de embalagem plástica metalizada.

### RESULTADOS ESPERADOS

#### BIOLIXIVIAÇÃO

Conforme relatado anteriormente o uso da *Acidithiobacillus ferrooxidans* nos processos de biolixiviação é importante, no entanto, a presença deste microrganismo não foi encontrada nos bancos de cepas dos câmpi da UTFPR. Desta forma, foi realizado a busca preliminar nas plataformas digitais de outras universidades e instituições brasileiras de modo a solicitar amostras desta cepa, mas infelizmente não foi possível encontrar.

Mesmo não realizando os ensaios de degradação utilizando os mecanismos da biolixiviação devido a paralisação das atividades acadêmicas e restrição da entrada no câmpus por conta da Covid-19, a ação da *A. ferrooxidans* no meio tornaria possível a separação do material plástico e do alumínio, possibilitando a retirada do polímero sem impurezas e obtenção do sal de alumínio.

Segundo Solisio, Lodi e Veglio (2002), com baixas concentrações de alumínio no meio espera-se que a bactéria *A. ferrooxidans* utilize o metal como sua principal fonte de energia, assim, com a produção de ácido sulfúrico e reagindo com o metal presente na embalagem plástica metalizada espera-se que haja a formação do sal  $Al_2(SO_4)_3$  e então, o material polimérico pode ser enviado à reciclagem ou ser submetido a degradação biológica (BÓ et al., 2011).

### MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME) E BIORREATOR AIRLIFT

Tendo uma parte da embalagem plástica metalizada inserida no biorreator juntamente com os ME, que são constituídos principalmente de leveduras, actinomicetos, bactérias produtoras de ácido lático e bactérias fotossintéticas, espera-se que haja a degradação parcial ou total do material, uma vez que os microrganismos eficientes são capazes de fazer fermentação aeróbia, produzir ácidos orgânicos, além de fazer a decomposição de resíduos sólidos presentes no solo (BONFIM et al., 2011; TING et al., 2013). Com a agitação, homogeneização e inserção de oxigênio por parte do biorreator *airlift* (ROSSI, 2006), o meio se torna ideal para o cultivo e o crescimento de microrganismos, assim como sua aderência ao material polimérico.

Portanto, a proposta do uso do biorreator *airlift* com os microrganismos eficientes para a recuperação do alumínio e a degradação biológica de embalagens plásticas metalizadas é interessante e promissora na área de estudo, pois pode ser uma alternativa barato e viável para a destinação destes materiais pós-uso. Este trabalho seguirá a metodologia e o cronograma proposto, logo após a volta das atividades presenciais na universidade.

### CONCLUSÕES

Em vista da atual realidade das embalagens plásticas e as consequências no ambiente, a busca por técnicas inovadoras de destinação, promovendo a sustentabilidade é fundamental. Assim, o uso de microrganismos em processos biotecnológicos vem de modo a atribuir um valor inovador a destinação das embalagens metalizadas trazendo a possibilidade de reciclar um material plástico sem a presença de impurezas.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Embalagens – ABRE. (2016). Estudo macroeconômico da embalagem. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2016/>>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

Associação Brasileira de Embalagens – ABRE. (2017). Estudo macroeconômico da embalagem. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2017/>>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

Associação Brasileira de Embalagens – ABRE. (2018). Estudo macroeconômico da embalagem. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2018/>>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

Associação Brasileira de Embalagens – ABRE. (2019). Estudo macroeconômico da embalagem. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/>>. Acesso em: 12 de out. 2019.

Associação Brasileira de Indústria do Plástico - ABIPLAST. (2018). Reciclabilidade de materiais plásticos pós-consumo. São Paulo. Disponível em: <[http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha\\_reciclabilidade\\_abiplast\\_web.pdf](http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha_reciclabilidade_abiplast_web.pdf)>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

BÓ, M. D.; et al. Reciclagem de embalagens poliméricas contendo filme de alumínio metálico via processamento químico. Polímeros, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 335-339, 28 out. 2011. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282011005000056>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

BONFIM, F. P. G. et al. Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. 2. ed. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Fitotecnia, 2011. Disponível em: <<http://estaticog1.globo.com/2014/04/16/caderno-dos-microrganismos-eficientes.pdf>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

BOSECKER, K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms. Fems Microbiology Reviews, [s.1], v. 20, n. 3-4, p.591-604, 1997. Oxford University Press (OUP). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00340.x>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

BRANDL, H; BOSSHARD, R; WEGMANN, M. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. Hydrometallurgy, [S.L.], v. 59, n. 2-3, p. 319-326, fev. 2001. Elsevier BV. Disponível em:

<[http://dx.doi.org/10.1016/s0304-386x\(00\)00188-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-386x(00)00188-2)>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

CERRI, M. O. Hidrodinâmica e transferência de oxigênio em três biorreatores Airlift de circulação interna geometricamente semelhantes. 2009. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Bioquímica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3864/2378.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

COSTA, C. Z. et al. Degradação Microbiológica e Enzimática de Polímeros: Uma Revisão. Química Nova. Rio de Janeiro. v.XY, n. 00, p. 1-9, 2014. Disponível em:  
<[http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=6138](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6138)>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

FARIA, P. C. de; WISBECK, E.; DIAS, L. P. Biodegradação de polipropileno reciclado (ppr) e de poli (tereftalato de etileno) reciclado (petr) por *Pleurotus ostreatus*. Matéria (Rio de Janeiro), [s.l.], v. 20, n. 2, p.452-459, 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620150002.0045>>. Acesso em 03 de set. de 2020.

GIESE, E. C. Biofilmes: A interação micro-organismo/substrato mineral na Biolixiviação, Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Disponível em:  
<<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1828/1/sta-72.pdf>>. Acesso em 03 de set. de 2020.

LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. Polímeros, [s.1], v. 26, p.82-92, 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1897>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

LEJA, K.; LEWANDOWICKZ, G. Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review. Polish Journal of environmental studies, Poland, v. 19, n. 2, p. 255- 266, 2011. Disponível em: <<http://www.pjoes.com/Polymer-Biodegradation-and-Biodegradable-Polymers-a-Review,88379,0,2.html>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

LONGO, C. et al. Degradation study of polypropylene (PP) and bioriented polypropylene (BOPP) in the environment. Materials Research, [s.l.], v. 14, n. 4, p.442- 448, 2011. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392011005000080>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

OLIVEIRA, D. M. de; et al. Biolixiviação: utilização de micro-organismos na extração de metais, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em:

<<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/317/1/sta-53.pdf>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

OLIVEIRA, L. E. L. de. Identificação e isolamento de bactérias envolvidas na formação de drenagem ácida mineira na região de Jacobina (Bahia) e o seu uso na biolixiviação de cobre. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em:

<[https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16455/1/Dissertação\\_ICS\\_%20Luiz%20Eduardo%20Lacerda%20de%20Oliveira.pdf](https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16455/1/Dissertação_ICS_%20Luiz%20Eduardo%20Lacerda%20de%20Oliveira.pdf)>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

RASOULNIA, P.; MOUSAVI, S.M. Maximization of organic acids production by *Aspergillus niger* in a bubble column bioreactor for V and Ni recovery enhancement from power plant residual ash in spent-medium bioleaching experiments. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 216, p. 729-736, set. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.114>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

ROSSI, M. J. Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em biorreator airlift. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88954/226190.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 03 de set. de 2020.

SCHIPPERS. A. Biogeochemistry of metal sulfide oxidation in mining environments, sediments, and soils. *Geological Society of America, Colorado*, p. 49-62, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1130/0-8137-2379-5.49>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

SHAGUFTALSHTHEYAQ et al. Physical Properties and Biodegradable Study of Metalized and Non-Metalized Polypropylene (PP) Films: A Comparative Research. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, Karachi, Pakistan, v. 12, n. 3, p.001-005, 2019. Juniper Publishers. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19080/aibm.2019.12.555838>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

SOLISIO, C.; LODI, A.; VEGLIO', F. Bioleaching of zinc and aluminium from industrial waste sludges by means of *Thiobacillus ferrooxidans*. *Waste Management*, [s.l.], v. 22, n. 6, p.667-675, 2002. Elsevier BV. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00052-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00052-6)>. Acesso em: 03 de set. de 2020.

SOUZA, C. S. P. Avaliação da degradação do papel em substrato com incorporação de microrganismos eficientes. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO, 2., 2019, Foz do Iguaçu: 2019. P. 1-4. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/IV-131.pdf>>. Acesso em 13 de mai. de 2020.

TING, A. S. Y.; et al. Investigating metal removal potential by Effective Microorganisms (EM) in alginate-immobilized and free-cell forms. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 147, p. 636-639, nov. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.064>>. Acesso em: 03 de set. de 2020.