

SÉRIE Tecnologia Ambiental

**Aplicação de Substâncias
Poliméricas Extracelulares
(EPS) com viés
biotecnológico: Ênfase na
produção por *Paenibacillus***

Diogo Simas Bernardes Dias
Natália Franco Taketani
Cláudia Duarte da Cunha



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Aplicação de Substâncias Poliméricas Extracelulares (EPS) com viés biotecnológico: Ênfase na produção por *Paenibacillus*

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Julio Francisco Semeghini Neto

Secretário Executivo

Gerson Nogueira Machado de Oliveira

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Cesar Augusto Rodrigues do Carmo

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Gustavo Silva Menezes

Coordenador de Administração - COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo - CONES

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-113-5

STA - 107

Aplicação de Substâncias Poliméricas Extracelulares (EPS) com viés biotecnológico: Ênfase na produção por *Paenibacillus*

Diogo Simas Bernardes Dias

Eng. Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Bolsista PCI do CETEM/MCTIC

Natália Franco Taketani

Microbiologista e Imunologista, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Professora da Universidade São Francisco, Campinas/SP

Cláudia Duarte da Cunha

Eng. Química, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Tecnologista Sênior do CETEM/MCTIC

CETEM/MCTIC

2019

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), Silvia 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

Editoração Eletrônica

Revisão

Diogo Simas Bernardes Dias

Ana Maria Silva Vieira de Sá

CRB7 3982

Catologação na Fonte

Dias, Diogo Simas Bernardes

Aplicação de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) com viés biotecnológico: Ênfase na produção por *Paenibacillus* / Diogo Simas Bernardes Dias [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019.

56p.: il. (Série Tecnologia Ambiental, 107)

1. Substâncias poliméricas extracelulares. 2. *Paenibacillus*.
I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Dias, Diogo Simas Bernardes.
III. Taketani, Natália Franco. IV. Cunha, Cláudia Duarte da. IV. Título. V. Série.

CDD – 668.9

SUMÁRIO

RESUMO _____	7
ABSTRACT _____	8
1 INTRODUÇÃO _____	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____	12
2.1 Histórico de Biopolímeros _____	12
2.2 Classificação _____	13
2.3 Aplicação de EPS Microbianas _____	17
2.4 Novas Aplicações _____	23
2.5 Aplicação de <i>Paenibacillus</i> e suas EPS _____	38
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	44

RESUMO

Os biopolímeros de origem microbiana são conhecidos como exopolímeros, gomas ou substâncias poliméricas extracelulares (EPS) e sua natureza química influencia em suas características podendo ser formado por carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos, lipídeos e substâncias húmicas, em diferentes concentrações e formas. Os componentes dominantes das EPS são as proteínas e os carboidratos, correspondendo a 75-90% em massa. Durante as últimas duas décadas tem crescido o interesse para a aplicação biotecnológica de *Paenibacillus* e suas EPS, com uma ampla faixa de propriedades e aplicações, incluindo a bioflotação, biofloculação, biossorção e biorremediação, atraindo interesse em diferentes processos industriais e na agricultura sustentável. As mais recentes informações apresentam a aplicação de *Paenibacillus* e suas EPS em diversos campos, como nos processos minerais e ambientais, com atrativos econômicos e destaque por ser ambientalmente adequado. Com isso, a presente série tecnológica apresenta um breve histórico das EPS e sua classificação. Em seguida abrange suas aplicações, com diferentes focos, desde o uso como produto da indústria alimentícia e farmacêutica, a aplicações na área mineral e ambiental e na bioagricultura. Também é dado destaque ao microrganismo *Paenibacillus*, apresentando diversas aplicações principalmente na biomineração. Por fim, se constata o potencial biotecnológico das EPS e dos microrganismos do gênero *Paenibacillus* e a necessidade de dar continuidade aos investimentos em pesquisa neste campo.

Palavras-chave:

Substâncias poliméricas extracelulares; *Paenibacillus*.

ABSTRACT

Biopolymers of microbial origin are known as exopolymers, gums or extracellular polymeric substances (EPS) and their chemical nature influences their characteristics and may be formed by carbohydrates, proteins, nucleic acids, lipids and humic substances, in different concentrations and forms. The dominant components of EPS are proteins and carbohydrates, corresponding to 75-90% by mass. During the last two decades, the interest for the biotechnological application of *Paenibacillus* and its EPS has grown, with a wide range of properties and applications, including bioflotation, bioflocculation, biosorption and bioremediation, attracting interest in different industrial processes and sustainable agriculture. The latest information presents the application of *Paenibacillus* and its EPS in various fields both in biomining and environmental processes, with economic attractions and the emphasis on being environmentally appropriate. Thus, this technological series presents a brief history of EPS and its classification. It then covers its applications, with different focuses, from use as a product of the food and pharmaceutical industries, to applications in the mining and environmental area and in bioagriculture. *Paenibacillus* microorganism is also highlighted, presenting several applications, mainly in the biomining. Finally, the biotechnological potential of *Paenibacillus* genus microorganisms and the need to continue investing in research in this field are noted.

Keywords:

Extracellular polymeric substances; *Paenibacillus*.

1 | INTRODUÇÃO

Os biopolímeros de origem microbiana são conhecidos como exopolissacarídeos, gomas ou substâncias poliméricas extracelulares (EPS), que tem a capacidade de formar géis e soluções viscosas em meio aquoso. A natureza química das EPS influencia suas características podendo ser de diversas estruturas, variando na concentração de carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos, lipídeos e substâncias húmicas e na sua forma. Os componentes dominantes das EPS são as proteínas e carboidratos, correspondendo a 75-90%, além de seus derivados como lipopolissacarídeos, glicoproteínas e lipoproteínas. Suas características são dependentes da proporção e concentração de seus componentes, o que implica no tipo de aplicação das EPS, como por exemplo, na capacidade de adsorção, na biodegradação e na hidrofobicidade / hidrofiliicidade (SHI et al., 2017; MORE et al., 2014; PÉREZ et al., 2008; BHASKAR; BHOSLE, 2006; GUINÉ et al., 2007; JOHNSON; CYGAN; FEIN, 2006; LAMELAS et al., 2006; OMOIKE; CHOROVER, 2006; MOREIRA et al., 2005).

A produção de EPS é atribuída, em geral, a microrganismos eucariotos e procariotos em ambientes naturais, podendo ser obtidas em reatores, em condições controladas, e sua obtenção acontece por diferentes mecanismos incluindo secreção e lise celular. As vantagens desta tecnologia incluem, principalmente, a disponibilidade e o baixo custo da biomassa. Como desvantagem, a eficiência das interações eletrostáticas de cátions pode ser imprevisível, sobretudo, a especificidade da interação. Além disso, a capacidade de ligação do cátion à biomassa pode depender da natureza e da abundância do mesmo (SHI et al., 2017; GUTNICK; BACH, 2000).

Uma abordagem para utilização das EPS seria na recuperação de metais em ambientes contaminados, que envolve a formação de complexos estáveis entre os metais e o biopolímero, sendo, geralmente, resultado de interações eletrostáticas entre os metais e suas cargas negativas. Sendo assim, há um impacto sobre a mobilidade dos íons metálicos em muitos processos, contribuindo para recuperação desses ecossistemas ou mesmo para a exploração dos metais. Os biopolímeros não só possibilitam a diminuição da toxidez do metal pela adsorção, como podem ser utilizados na recuperação deste mesmo metal em solução aquosa (FEIN, 2006; GUTNICK; BACH, 2000; KRATOCHVIL; VOLESKY, 1998).

Além das constantes contaminações ambientais por metais, ocorre uma pressão da sociedade, em especial contra o uso de produtos sintéticos, petroquímicos e derivados para remediação destes ambientes. Já os fatores econômicos ainda atuam a favor de seu uso. Desta forma, o desenvolvimento de pesquisa em tecnologias que utilizem materiais e produtos cujas propriedades atendam aos requisitos ambientais e econômicos se torna premente (VERBEEK, 2017).

Durante as últimas duas décadas têm crescido o interesse para a aplicação biotecnológica das EPS, que possui uma ampla faixa de propriedades e aplicações, atraindo interesse considerável por seu potencial biotecnológico em diferentes processos industriais e na agricultura sustentável (LAL; TABACCHIONI, 2009; BERWANGER, 2005).

As mais recentes informações apresentam a produção de várias EPS de *Paenibacillus* com aplicações em diversos campos, como na biorremediação, que podem ser utilizadas na

remoção e na degradação de poluentes ambientais, na biofloculação, ou na promoção do desenvolvimento da agricultura. Adicionalmente, por apresentar potencial econômico pela alta produtividade e ser ambientalmente adequado, a ideia de seu uso sustentável vem prevalecendo e no futuro muitas novas EPS já estarão no mercado (DAUD et al., 2019; LIANG; WANG, 2015).

Além disso, as EPS têm demonstrado interessantes características físico-químicas e biológicas, sendo consideradas com potencial em diversas áreas como na biolixiviação, biorremediação de solos multicontaminados, tratamento de efluentes, já sendo utilizadas em grande escala na indústria farmacêutica. Adicionalmente, com uma compreensão maior das interações nos processos de adsorção, o uso será altamente proveitoso e ainda auxiliará na projeção de novos materiais e tecnologias para aplicação em biossensores, integração de implantes, processamento e logística de alimentos e medicamentos (MUKHERJEE et al., 2017; MORE et al., 2014; LI; YU, 2014; LIN et al., 2014; FIEMMING; WINGERNDER, 2010; PERRY et al., 2009). Com isso, a presente série tecnológica aborda a importância das EPS, iniciando com um breve histórico e sua classificação. Em seguida abrange suas aplicações, com diferentes focos, desde o uso como produto nas indústrias alimentícia e farmacêutica, até em aplicações na área mineral e ambiental como, por exemplo, na bioadsorção, na bioflotação, na biofloculação e na bioagricultura. Também é dado destaque ao microrganismo *Paenibacillus* produtor destas EPS, apresentando diversas aplicações biotecnológicas.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 | Histórico de Biopolímeros

Biopolímero é uma palavra derivada de dois termos gregos: “*bio*” que significa vida e é utilizado em palavras que tenham alguma relação com um ser vivo; “polímero”, que vem do vocábulo *polumeres*, que significa muitas partes. O polímero é uma macromolécula formada por repetições de várias unidades constituídas, principalmente, por carbono e hidrogênio. Estas unidades são chamadas de unidades monoméricas e são unidas por ligações covalentes, originando uma molécula bastante longa, de alta massa molecular, ou seja, uma macromolécula. (BEZERRA, 2011).

As primeiras descobertas de polímeros de bactérias foram em meados do século XIX, quando Louis Pasteur descobriu a dextrana como produto microbiológico no vinho e Van Tieghem identificou a bactéria *Leuconostoc mesenteriodes* como responsável pela produção da dextrana. A descoberta foi seguida pela produção de celulose em 1886. Logo depois, a primeira reserva intracelular, a poliamida cianoficina, foi descoberta em Actinobacteria. Quarenta anos mais tarde foi descoberto o polihidroxibutirato em *Bacillus megaterium*. Muitos outros polímeros originários de bactérias com finalidades industriais e para medicamentos relevantes foram descobertos desde o início a meados do século XX, tal como alginato, xantana, poli- γ -glutamato e polifosfato (REHM, 2010).

Próximo à metade do século XX, na década de 1940, os biopolímeros foram utilizados por Henry Ford que os incluiu na construção de carros. Entretanto, com a descoberta de polímeros provenientes da petroquímica devido,

principalmente, ao seu baixo custo, o uso dos biopolímeros foi superado rapidamente, sendo até negligenciado devido à predominância do uso de produtos petroquímicos (VERBEEK, 2017).

A primeira EPS produzida em escala industrial foi a goma xantana, que continua a ser uma das mais produzidas até os dias atuais, em nível de comercialização, com produção de 30.000 toneladas por ano pela bactéria *Xanthomonas campestris*. Hoje em dia sua produção está com apenas 6% do valor de mercado de polissacarídeos, com expectativa de crescimento anual em torno de 5-10%. Atualmente, os grupos de EPS compreendem uma grande variedade de moléculas, possuindo propriedades específicas para várias aplicações industriais, sendo mais de 400 EPS conhecidos, tendo diferentes estruturas e propriedades químicas (PESSÔA, et al., 2019).

2.2 | Classificação

Como consequência da ampla produção mundial de plásticos não renováveis e não biodegradáveis baseados na indústria do petróleo, a comunidade científica vem pesquisando uma solução para resolver o problema dos resíduos que são gerados. Uma nova geração de materiais inteligentes, “baseados na cadeia do petróleo”, de origem em fontes naturais, fornece uma alternativa que vem se mostrando viável economicamente e são denominados biopolímeros (YOUNES, 2016).

Os polímeros podem ter diferentes origens que são separadas em dois grandes grupos, sintéticos e naturais, também conhecidos como biopolímeros. Polímeros sintéticos

normalmente usam fontes de hidrocarbonetos de petróleo como matéria-prima principal de sua síntese. Este tipo de polímero foi muito usado com os avanços das indústrias petroquímicas, porém o uso deste recurso gerou grandes impactos ao meio ambiente. Atualmente os principais estudos de polímeros sintéticos estão direcionados à área de nanotecnologia atribuindo um uso mais nobre para tais materiais (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017; MICULESCU et al., 2016).

O desenvolvimento tecnológico e utilização industrial de polímeros naturais ou biopolímeros vêm ao encontro da necessidade de redução da adição de compostos recalcitrantes e poluentes ao meio ambiente. Estes polímeros obtidos por vias bioquímicas tendem a ser facilmente biodegradáveis por microrganismos do próprio ambiente, se apresentando como uma estratégia de utilização ecologicamente mais amigável. Os biopolímeros naturais são produzidos por organismos vivos, incluindo, principalmente, proteínas e polissacarídeos, sendo a proteína mais usual na área da medicina. Recentemente, a soja e a seda estão sendo testadas para aplicações na bioengenharia. Comumente usados, os polissacarídeos incluem celulose, hialuronato, quitina, quitosana, ácido algínico com seus sais e heparina (EKIERT et al., 2015).

Os biopolímeros de origem microbiana, que são conhecidos como Substâncias Poliméricas Extracelulares (EPS, do Inglês *Extracellular Polymeric Substances*) são uma complexa mistura de polímeros de alto peso molecular, que consiste de polissacarídeos, proteínas, ácidos húmicos, ácidos urônicos, ácidos nucleicos, lipídeos etc., com grupos funcionais ionizáveis, como carboxílico, fosfórico, amino e hidroxílico. A proporção de cada componente dessa complexa mistura

influencia diretamente nas características da EPS, e conseqüentemente na sua aplicação biotecnológica, seja para adsorção, biodegração, biofloculação ou bioflotação (SHI et al., 2017; MORE et al., 2014; OMOIKE; CHOROVER, 2006).

As EPS também estão presentes em agregados microbianos e fora da célula, sendo principalmente produto de secreções microbianas de alto peso molecular. Adicionalmente, essa mistura entre agregados microbianos e seus polímeros podem adsorver materiais orgânicos, o que pode facilitar a produção das EPS. As EPS podem ser divididas em duas principais frações: EPS ligadas à célula (polímeros capsulares, polímeros fracamente ligados, géis condensados e materiais orgânicos anexados) e EPS solúveis (macromoléculas solúveis, camada limosa ou lodo, e coloide) (Figura 1) (SHI et al., 2017; SHENG et al., 2010).

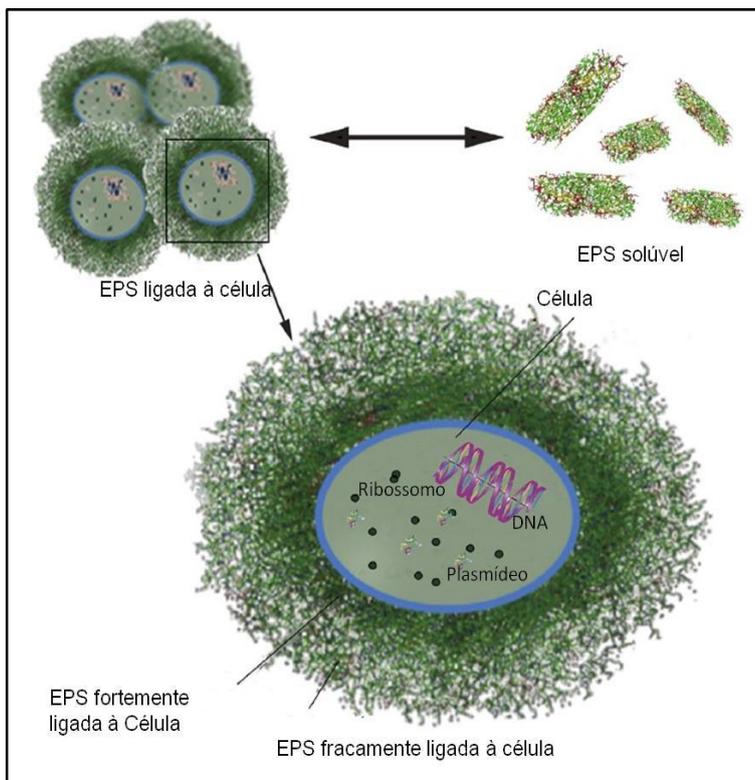


Figura 1. Esquema da estrutura das substâncias poliméricas extracelulares (Adaptado SHI et al., 2017).

As EPS solúveis também são chamadas de SMP (produtos microbianos solúveis, do inglês *Soluble Microbial Products*), são fracamente ligadas à célula ou totalmente dissolvidas em solução, enquanto as EPS ligadas formam uma cobertura discreta com uma margem distinta fora da parede celular. As EPS ligadas à célula exibem uma estrutura dinâmica de dupla camada, e pode ser classificada como fortemente ligada

(TB-EPS, do inglês *tightly bound-EPS*) formando uma camada interna, e fracamente ligada (LB-EPS, do inglês *Loosely bound-EPS*) difundindo para a parte mais externa (WEI et al., 2018).

2.3 | Aplicação das EPS Microbianas

As EPS microbianas se apresentam como um inexplorado mercado, que podem ser produzidas por vários grupos de microrganismos, tais como fungos filamentosos, leveduras e bactérias. Para identificar as melhores condições para as diferentes cepas com a finalidade de aperfeiçoar sua produção e melhorar o entendimento de sua rota metabólica, vários estudos vêm sendo conduzidos. Portanto, a procura por microrganismos apropriados para produzir EPS é uma emergente estratégia. Com isso, a seleção e o isolamento de microrganismos produtores de EPS e a caracterização das moléculas produzidas representam um importante passo para o desenvolvimento de novos aditivos industriais e processos de produção. O crescente interesse em recursos renováveis está conduzindo também à expansão do mercado de EPS microbianas. (PESSÔA et al., 2019).

As EPS apresentam um importante papel para os microrganismos, sendo principalmente associadas à proteção das células contra condições adversas, como, por exemplo, na formação de biofilmes, responsáveis pela resistência ao estresse ambiental e à formação de agregados celulares, que é uma importante característica para os processos de tratamento de efluentes e de solos contaminados. Podem ser usadas como substituto aos polímeros sintéticos, melhorando as características reológicas de vários produtos industriais. Adicionalmente, as EPS são consideradas de alto potencial

para produção de moléculas bioativas como as imunestimulatórias, antitumorais, antioxidantes, anti-ulcerativa e redutoras do colesterol (PESSÔA et al., 2019; LIANG; WANG, 2015).

As EPS bacterianas vêm sendo utilizadas extensivamente em aplicações de alto valor, tais como nas indústrias de alimento, farmacêutica, médica e cosmética, nas quais são utilizadas, principalmente, como agentes espessantes, estabilizantes e encapsulantes, como resultado de seu comportamento como um fluido não newtoniano e de alta viscosidade em meios aquosos. Quando a aplicação é voltada para produtos da indústria alimentícia, devem-se manter suas propriedades quando incorporadas à formulação, podendo apresentar variação significativa de pH e força iônica, junto com a influência de outro componente alimentar (FREITAS et al., 2011).

Devido ao potencial de aplicação das EPS, tem crescido o desenvolvimento de pesquisas sobre o tema, no qual o Google Patentes (KIM et al., 2017) mostrou um aumento no desenvolvimento de patentes principalmente depois do ano 2000, atingindo seu máximo no período de 2013 à 2017. Os autores procuraram métodos de produção usando diferentes cepas microbianas e aplicação na área alimentícia, farmacêutica e médica como, por exemplo, na proteção da pele contra os raios UV, como imunoreguladores usando EPS produzidas por *Ceriporia lacerate*, e na prevenção e tratamento de desequilíbrios do sistema imunológico do corpo (efeito imunomodulador e antibacteriano) usando EPS produzidas por *Leuconostoc mesenteroides* (KIM et al., 2017).

As pesquisas vêm ao encontro de materiais para a criação de novas estruturas (micro/nano esferas, esferas de polímeros e cápsulas) contendo produtos seguros, em que os compostos bioativos (antioxidantes, vitaminas, pró-bióticos ou pré-bióticos) estejam encapsulados. As técnicas de encapsulamento são projetadas para proteger as substâncias bioativas e promover sua liberação de forma controlada. Alguns polissacarídeos possuem estabilidade física e química, que resultam numa matriz polimérica coesa, capaz de formar um filme. Algumas pesquisas são voltadas para filmes com propriedades específicas, como transparência, propriedades mecânicas de barreiras, biocompatibilidade e bioatividade, em aplicações nomeadas como revestimentos comestíveis para produtos alimentícios (FREITAS et al., 2011; AGUILERA et al., 2008). A faixa de aplicações das EPS originárias de bactérias é ampla; na Tabela 1 são apresentadas algumas EPS, suas principais aplicações, suas cargas, faixa de massa molecular e composição.

Tabela 1. Principais características de algumas EPS produzidas por bactérias e suas aplicações (Adaptado de Freitas et al., 2011).

EPS	Componentes	Carga	Massa Molecular	Principais propriedades	Principais aplicações
Xantana	Glicose Manose Ácido glicurônico Acetato Piruvato	Aniônica	$2,0-50 \times 10^6$	Hidrocoloide	Alimentos Indústria do petróleo Farmacêuticos Cosméticos e produtos de cuidado pessoal Agricultura
Gelana	Glicose, Raminose Ácido glicurônico Acetato Glicerato	Aniônica	$5,0 \times 10^5$	Hidrocoloides Capacidade de gelificação Géis termoreversíveis	Alimentos Alimentos de animais Farmacêuticos
Alginato	Ácido glicurônico Ácido manurônico, Acetato	Aniônica	$3,0-13 \times 10^5$	Hidrocoloides Capacidade de gelificação Formação de filmes	Hidrocoloides de alimentos Medicina
Celulose	Glicose	Neutra	10^6	Alta cristalinidade Insolubilidade em muitos solventes Alta resistência à tração Moldabilidade	Alimentos Biomedicina

Tabela 1a. Principais características de algumas EPS produzidas por bactérias e suas aplicações (Adaptado de Freitas et al., 2011).

EPS	Componentes	Carga	Massa Molecular	Principais propriedades	Principais aplicações
Dextrana	Glicose	Neutra	10^6 - 10^9	Não iônico Boa estabilidade Comportamento de fluido não newtoniano	Alimentos Indústria farmacêutica cromatográficos
Curdiana	Glicose	Neutra	5×10^4 - 2×10^6	Habilidade de formar gel Insolúvel em água Comestível e não tóxico Atividade biológica	Alimentos Indústria farmacêutica Remoção de metais pesados Aditivos do concreto
Levana	Frutose	Neutra	$3,0 \times 10^6$	Baixa viscosidade solubilidade em água Atividade biológica (anti-tumoral e anti-inflamatória) Resistência à adesão Formação de filme	Alimentos Medicina Cosméticos

Algumas EPS têm aplicações já estabelecidas no mercado. Dentre as EPS comerciais se destaca a Biofill, que é um produto microbiano derivado da celulose produzida por *Acetobacter xylinum* que pode ser usada como material para implante em cirurgias plásticas, patenteado nos Estados Unidos (U.S. Pat. No. 6599518). Esse produto tem grande potencial para outros usos, como na proteção de pacientes com queimaduras ou úlceras crônicas. Os gêneros *Agrobacterium* e *Rhizobium* produzem uma importante EPS, denominada curdlana, que tem sido amplamente usada na indústria alimentícia para melhorar a textura dos alimentos, como por exemplo, na composição do tofu e massas de peixes, principalmente no Japão. A curdlana sulfatada possuiu atividade antitrombótica e outras aplicações biomédicas. Já a Gelana, isolada de *Sphingomonas paucimobilis*, conhecida comercialmente como Kelcogel[®] ou Gelrite[®], tem o uso aprovado nos Estados Unidos e na União Europeia como gelificante, estabilizante e agente de suspensão numa ampla faixa de alimentos (MADHURI; PRABHAKAR, 2014).

A xantana produzida por *Xanthomonas campestris*, é o principal biopolímero comercial. O polissacarídeo é incorporado aos alimentos para alterar as propriedades reológicas e tem encontrado aplicações que levam vantagens das suas propriedades físicas. Para a indústria de laticínios, as EPS têm aplicações principalmente na melhora da textura, percepção de gosto e estabilidade dos produtos e tem sido amplamente usada na produção de fermentados (NOUHA et al., 2018).

2.4 | Novas Aplicações

Muitos estudos reportam que EPS têm importante função na sorção de metais. A capacidade de sorção pelas EPS é atribuída à concentração de proteínas, polissacarídeos e lipídeos. Os diferentes grupos funcionais, tal como amino, carboxílas, hidroxílas, fosfatos e outros, induzem as forças entre os cátions e a biomassa. Os sítios totais de ligação, presente na matriz das EPS, definem sua capacidade de sorção. Em geral, a adsorção do metal pelas EPS envolvem interações físico-químicas entre os metais e os grupos funcionais das EPS. A sorção envolve vários mecanismos incluindo adsorção física, troca iônica, complexação e precipitação (MUKHERJEE et al., 2017; MUTHU et al., 2017; MORE et al., 2014; SHENG et al., 2010).

Os mecanismos de sorção podem ser (i) dependente do metabolismo ou (ii) independente do metabolismo de acordo com a atividade da biomassa, sendo por acumulação/precipitação extracelular, sorção/precipitação na superfície da célula e/ou acumulação intracelular. A Figura 2 reporta o diagrama de blocos e ilustração esquemática do mecanismo de sorção dependendo da presença/ausência do metabolismo e a localização dos metais sorvidos (MORE et al., 2014).

Os processos metabólicos que ocorrem nos organismos vivos podem afetar os mecanismos de sorção físico-químicos, bem como a biodisponibilidade de poluentes, especiação química e acúmulo ou transformação por propriedades dependentes do metabolismo. Já a sorção passiva é independente do metabolismo, também denominada biossorção, e as interações físico-químicas entre metais e superfície microbiana são mais estáveis (ABBAS et al., 2014; MORILLO et al., 2008).

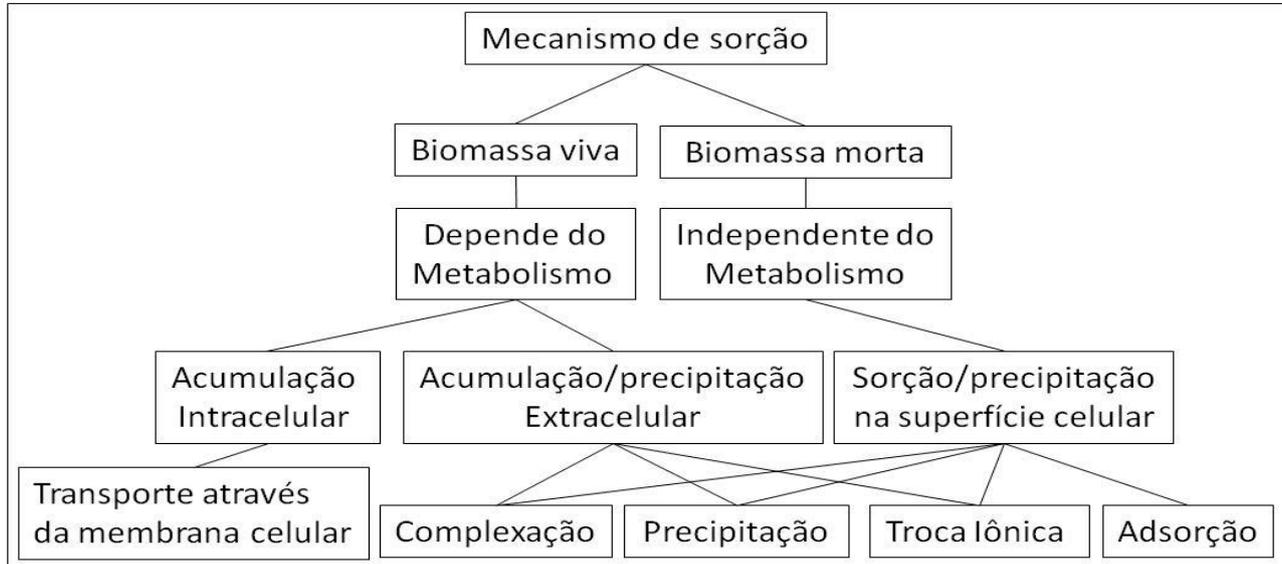


Figura 2. Correlações dos mecanismos de sorção de acordo com metabolismo e a localização de remoção do metal (Adaptado Papirio et al., 2017).

Quando se tem a dependência do metabolismo, com acúmulo de metais (íons) absorvidos intracelularmente por microrganismos vivos, esse processo é denominado de bioacumulação, sendo esse processo mais lento comparado à sorção passiva. Na Tabela 2 são listadas as características do processo de biosorção e de bioacumulação de metais utilizando EPS.

A efetividade da sorção pelas EPS depende de fatores como pH, temperatura, área efetiva de contato entre as EPS e o adsorbato, tempo de contato, concentração e estrutura do adsorbato, força iônica e o tipo do microrganismo. O pH do meio afeta o estado de ionização dos grupos funcionais das EPS. Os grupos carboxilas e fosfatos, que carregam cargas negativas, permitem que as EPS tenham um grande potencial de atrair cátions (MORE et al., 2014). Na Tabela 3 são listadas as vantagens e desvantagens de se utilizar a metodologia de sorção de metais utilizando EPS.

Tabela 2. Comparação das características da biossorção e da bioacumulação de metais (MORE et al., 2014; SHENG et al., 2010).

Características	Processo de biossorção	Processo de bioacumulação
Definição	A sorção passiva na parede celular de microrganismo morto (ou inativo) é referido como biossorção	O processo ativo de absorção de metal por células vivas é referido como bioacumulação
Afinidade com metal	Maior dentro das condições favoráveis	A toxicidade afeta a absorção de metal pelas células vivas, mas em alguns casos, há alta acumulação de metal
Taxa de sorção do metal	Geralmente rápido, em poucos segundos	Normalmente processos mais lentos
Seletividade	Variedade de ligantes envolvidos	Maior seletividade, mas menor que algumas tecnologias químicas
Temperatura	Dentro de uma faixa modesta	Inibido em baixas temperaturas
Versatilidade	Características metálicas podem ser afetadas por anions ou outras moléculas. Extensão da sorção de metal geralmente dependente do pH	Requer uma fonte de energia. Dependente da atividade ATPásica da membrana plasmática

Tabela 3. Principais vantagens e desvantagens de utilizar EPS para mediar a sorção de metais (Adaptado de GUPTA et al., 2017).

Vantagens	Desvantagens
<p>Ambientalmente seguro e adsorvente rentável.</p> <p>Geralmente não são tóxicos ao ambiente.</p> <p>Células mortas podem ser utilizadas na adsorção de metais.</p> <p>Requer condições de operação mais brandas em comparação aos métodos físico-químicos convencionais.</p> <p>Podem ser reciclados depois da dessorção do metal adsorvido.</p> <p>Sensíveis e podem conduzir o sequestro de íons metálicos em menores concentrações.</p>	<p>Baixa eficiência de sorção em amostras industriais</p> <p>Ausência de seletividade e especificidade do adsorvente iônico</p> <p>Mantém a viabilidade de células vivas maiores as concentrações de metais ou intoxicantes, é quelante</p> <p>A adsorção é extremamente sensível para parâmetros físico-químicos como pH, temperatura, força iônica, presença de outras ligações biológicas na qual se faz amostras reais com dificuldade de aplicação.</p> <p>A reutilização requer o uso de produtos químicos de dessorção fracos que, alternativamente, resultam em redução da eficiência de dessorção.</p> <p>O máximo de reutilização consecutiva é limitada de 5-10 ciclos de sorção-dessorção</p>

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área de sorção. Segundo Papiro et al., (2017) a presença de EPS resulta num aumento do rendimento do processo, especialmente em sistemas envolvendo colônias de bactérias formadoras de biofilmes. Inúmeras EPS têm uma abundância de grupos funcionais carregados negativamente, que fazem deles um potencial adsorvente. Além de distintas características, os dois grupos (EPS ligadas à célula e solúveis) têm diferentes eficiências de sorção dependendo do metal. Para Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} e Cd^{2+} , a remoção é maior com EPS solúveis do que com EPS ligados à célula. Em contrapartida, se a concentração de EPS ligadas à célula for maior quando comparada a biomassa suspensa, a eficiência de adsorção é maior para alguns metais (PAPIRIO et al., 2017; COMTE et al., 2006).

A interação entre EPS e metais pesados também depende do pH. Além de modificar as propriedades dos metais, o pH afeta a atividade dos grupos funcionais nos biopolímeros e a competição dos metais pelos sítios de ligação. Um aumento da captação de Pb e Hg pode ser alcançado em pH ácido pelas EPS de *Azotobacter chroococcum* XU1. De forma oposta, uma baixa sorção em pH alcalino é atribuída à precipitação de hidróxidos. A concentração de metal e a coexistência de outros metais também afeta a sorção pelas EPS. A captação de Pb e Hg melhora ao aumentar as concentrações desses metais, embora a saturação dos sítios de ligação ocorra mais rapidamente. Já a presença simultânea de Ni e Zn afeta, significativamente, a sorção de Pb e Hg pelas EPS de *Ensifer meliloti* MS-125 (RASULOV et al., 2013; SALEHIZADEH; SHOJAOSADATI, 2003).

Em condições alcalinas, geralmente se favorece a troca iônica devido à baixa presença de prótons competindo com metais pela ligação com os sítios ativos. Entretanto, altos valores de pH conduzem a formação de metais solúveis em espécies monoméricas e poliméricas hidroxiladas e depois em óxidos cristalinos que precipitam, resultando em baixa quantidade de metal sorvido (WANG et al., 2016).

Processos de remediação de metais, através de culturas puras de bactérias e suas EPS, são praticados desde os anos 80. As EPS produzidas por bactérias metilotróficas (*methylobacterium organophilum*) foram reportadas por exibir cobre e conduzir a remoção de íons não específicos com 1 hora e meia de incubação em pH ótimo (7,0). Uma bactéria Gram negativa, *Heminiimonas arsenicoxydans*, foi encontrada não somente para iniciar ou induzir à formação de biofilme, em resposta a exposição a arsênio, mas também para remover íons de arsênio através da produção de exopolissacarídeos com tolerância de 5mM da concentração do íon. A bactéria *Thiomonas* sp. CB2 foi, também, reportada por secretar biomoléculas para formar biofilme na superfície em resposta ao estresse induzido pelo arsênio dentro do ambiente, efetuando, assim, a indução da síntese de EPS, e também adsorção deste metal (GUPTA et al., 2017).

2.4.1 | Sorção de Terras Raras (TR)

Um tópico que surge com grande destaque atualmente é a sorção de Terras Raras. Esses elementos são os lantanídeos com número atômico variando do 57 ao 70, geralmente excluindo o promécio, devido aos seus isótopos instáveis, e incluindo também escândio (21) e ítrio (39) que tem

interessantes propriedades físicas e químicas, tornando-os indispensáveis à uma ampla variedade de aplicações tecnológicas. São frequentemente referendados como as “sementes da tecnologia” e são partes importantes de produtos como *smartphones*, computadores, dentre outros. No setor energético, especialmente pelo rápido crescimento, os TR estão sendo usados para conversão catalítica, como fósforo de lâmpadas fluorescentes, baterias recarregáveis e ímãs permanentes em turbinas eólicas (HELMUT et al., 2016).

Nos últimos anos, surgiram várias publicações sobre a interação de microrganismos e TR, através de reações metabólicas e imobilização desses elementos, principalmente através da sorção pela biomassa e sua influência no crescimento microbiano. Quando os microrganismos são utilizados como material sorvente na extração de íons metálicos, a metodologia é considerada mais adequada ao ambiente, bem como mais eficiente, reduzindo a utilização de reagentes tóxicos e de alto custo (HIDAYAH et al., 2017; HELMUT et al., 2016).

Os microrganismos mais comumente usados na sorção de TR são *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Paracoccus denitrificans*, *Schwannella putrefaciens* e *Alcaligenes faecalis*. Segundo Moriwaki e Yamamoto (2012) há quatro tipos de mecanismos de sorção que envolvem interações entre microrganismos e íons metálicos, que são a adsorção superficial à parede celular, adsorção ao biopolímero extracelular, absorção e adsorção sobre o biomineral extracelular (Figura 3).

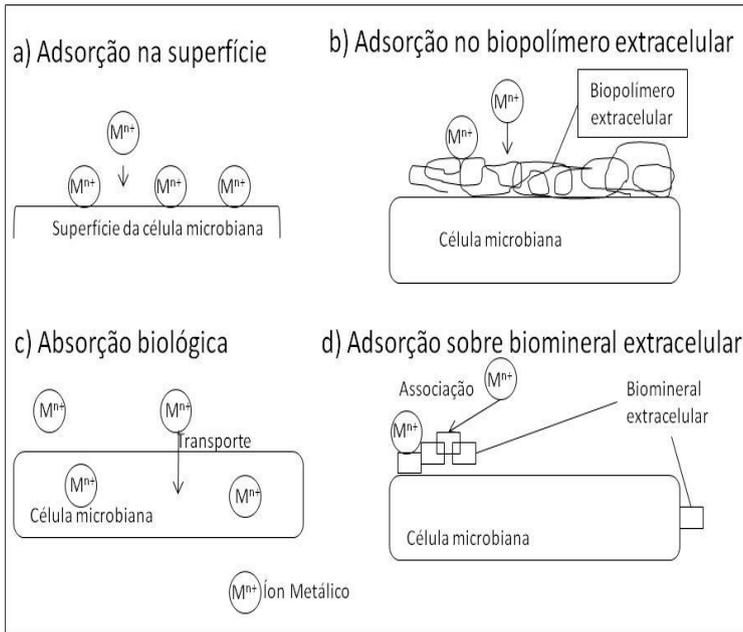


Figura 3. Esquema de interação de íons de terras raras com bactérias (Adaptado de MORIAWAKI et al., 2012).

A adsorção superficial apresenta vantagens que incluem alta eficiência de adsorção e de dissolução de metais, por causa das células microbianas terem uma alta área superficial e por ter relativamente um impacto pequeno ao ambiente. A grande desvantagem é a dificuldade de separação dos TR, pois suas propriedades físico-químicas, tais como raio iônico, valência e propriedades magnéticas, são muito similares. Atualmente a separação de TR é predominantemente realizada por procedimentos como extração por solventes, que requerem

amplas quantidades de solventes orgânicos. Entretanto, adsorventes que exibem seletividade para TR podem satisfazer tal necessidade (MORIWAKI, et al., 2012).

O acúmulo seletivo de TR usando microrganismos já vem sendo utilizado como, por exemplo, a remoção por adsorção de Tm(III) (cerca de 89%) que é maior quando comparada a uma solução de Fe(II), cuja adsorção é de apenas 5,3%, utilizando *B. subtilis*. As propriedades dos TR incluem força do ácido de Lewis e sua afinidade por heteroátomos como oxigênio. Íons de terras raras são conhecidos por interagir com grupos fosfatos e a adsorção desses íons com o átomo de oxigênio do grupo fosfato da parede celular bacteriana é mais forte que a do íon Fe (II). Isto explica a seletiva adsorção de íons de terras raras com a parede celular. Por exemplo, a acumulação por *Arthrobacter nicotianae* foi maior para $\text{Sm}^{3+} \gg \text{Cu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$ e Cd^{2+} (TSURUTA, 2006).

Adicionalmente, algumas células microbianas podem produzir EPS, que conduz à formação de flocos devido à aglomeração de bactérias. As EPS promovem uma extensa área superficial por unidade volumétrica para ligações com íons metálicos, sugerindo que as EPS podem proteger a bactéria em seu *habitat*, uma vez que essas substâncias podem facilitar a fixação dos metais impedindo seu efeito tóxico à célula (HIDAYAH et al., 2017; MORIWAKI, et al., 2012)

O resultado da oxidação bacteriana na precipitação biogênica de espécies minerais tais como sílica, óxidos de ferro e óxidos de manganês pode auxiliar na adsorção de TR. Somados a algumas moléculas orgânicas, como os sideróforos, o ácido iminodiacético, o ácido nitrilotriacético e o ácido etilenodiamino

tetra-acético, o comportamento de sorção de TR nas superfícies celulares é influenciado pela formação de complexos (MORIWAKI, et al., 2012; TANAKA et al., 2010).

2.4.2 | Biofloculação

A interação entre as EPS e as células tem efeito significativo sobre a habilidade de floculação microbiana. A energia total de adesão é o resultado da atração das forças de Van der Waals e da interação repulsiva da dupla camada elétrica. Adicionalmente, outras importantes variáveis são as interações polares e as forças do movimento Browniano. A floculação em sistemas biológicos é explicada pelo mecanismo de pontes (caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, com massa molar $> 10^6$, os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e às outras partículas), na qual as partículas e as células se agregam intermediadas pelo biopolímero floculante e neutralizam as cargas (MORE et al., 2014).

Durante a formação da ponte, os biopolímeros atraem diferentes partículas e incentivam a agregação. Neste caso, quando o biopolímero adsorve outras partículas, ocorre a floculação. A distância entre as partículas diminui e as forças atrativas tornam-se mais efetivas que as forças repulsivas entre as partículas. A efetividade do mecanismo de ponte depende do peso molecular das EPS, de suas cargas e da partícula, da força iônica de suspensão e da natureza da mistura (ATES, 2015; MORE et al., 2014).

Ultimamente, inúmeros trabalhos vêm sendo realizados com aplicação das EPS produzidas por diferentes microrganismos no tratamento de águas de rios e águas residuais de indústrias; no primeiro caso visando o consumo e no outro apenas descarte de acordo com as normas de cada país. As EPS são consideradas vantajosas na etapa de coagulação na purificação da água devido às EPS serem não tóxicas e naturalmente biodegradáveis. Em contra partida, esses tratamentos tem restrita aceitação, pois o tratamento biológico de águas tem o risco de contaminação por microrganismos, o que traz uma nova etapa de desinfecção ou filtração. Neste caso, os tratamentos com adição exclusiva das EPS são mais interessantes do ponto de vista prático e operacional. As EPS são utilizadas como agentes floculantes, como alternativa ao sulfato de alumínio (coagulante inorgânico), visando tratamento industrial de água para consumo, redução da demanda química de oxigênio (DQO) em tratamento de águas de rio, bem como na remoção de materiais orgânicos naturais, devido à sua capacidade de sorção e floculação (NOUHA et al., 2018; MORE et al., 2014).

Muitos grupos de pesquisa têm avaliado a atividade de floculação das EPS produzidas por *Paenibacillus spp.* Vijayalakshmi, et al. (2002) testaram a biofloculação de carvão ativado usando *P. polymyxa*, e o tratamento apresentou uma diminuição de 60% de cinzas, sugerindo a ocorrência de floculação seletiva de carvão. As EPS de *P. polymyxa* SQR-21 também apresentaram alta atividade de floculação junto com carvão ativado (RAZA et al., 2011). Já o *P. polymyxa* P13 foi reportado como produtor de EPS tendo exibido uma significativa capacidade de adsorção de Cu^{2+} produzido em várias indústrias (ACOSTA et al., 2005).

P. jamilae CP-38 foi capaz de crescer e produzir EPS em efluentes da produção de azeitonas como única fonte de nutrientes, com redução na toxicidade do resíduo (AGUILERA et al., 2008). As EPS produzidas por *P. polymyxa* tiveram capacidade de sorção em soluções aquosas (MOKADDEM, et al., 2009). Particularmente, Li et al., (2013) descobriram um novo Biofloculante de amplo espectro baseado em EPS produzidas por uma cepa de *P. elgii* B69. Este biofloculante possui alta atividade confirmada através de testes com diversos poluentes, incluindo argila de caulim, pigmento usado em tingimento, íons de metais pesados e efluentes reais, se mostrando altamente eficaz.

2.4.3 | Bioflotação

A bioflotação é uma tecnologia biológica que utiliza microrganismos, principalmente bactérias, na adesão aos minerais visando uma separação mais seletiva que atenda às necessidades industriais. Suas principais vantagens são a especificidade para determinado mineral e a redução dos impactos ambientais causados pelos reagentes convencionais, além de serem de baixo custo. Desde que as reservas de minérios com elevados teores nos metais de interesse vêm diminuindo, o desenvolvimento para recuperação de metais a partir de minérios com baixos teores nesses metais e baixos valores agregados vem aumentando. Ou seja, os microrganismos, e seus produtos metabólicos extracelulares associados estão sendo usados na separação seletiva de espécies mineralógicas com baixa granulometria da polpa de minérios, sendo reportados como modificadores, coletores e depressores ambientalmente adequados. Esses microrganismos podem atuar como biorreagentes e induzir

propriedades hidrofóbicas, uma vez que aderem à superfície do mineral. A presença de grupos funcionais apolares, tais como cadeias de hidrocarbonetos e grupos polares (carboxila, hidroxila e fosfatos), na superfície celular microbiana ou em produtos metabólicos pode modificar, diretamente ou indiretamente, a superfície do mineral, conferindo aos microrganismos características de moléculas surfatantes. Ao aderir à superfície dos minerais, as bactérias alteram as características superficiais dos minerais como resultado de sua interação com os mesmos. Adicionalmente, a produção de metabólitos pode proporcionar o aumento da eficiência da flotação (OLIVEIRA et al., 2017; SANWANI et al., 2015).

Alguns microrganismos apresentam potencial para flotação de sulfetos e óxidos como, por exemplo, *Mycobacterium phlei*, *Paenibacillus polymyxa*, *Rodococcus opacus*. Adicionalmente, algumas bactérias têm se tornado destaque não somente na bioflotação, mas também na biofloculação; entretanto, o foco dos estudos tem sido para flotação de sulfetos minerais e óxidos, em especial em óxidos de ferro. *Mycobacterium phlei* foi um dos primeiros microrganismos utilizados na flotação de outros tipos de minerais que não sulfetos, como a hematita. A carga negativa e a hidrofobicidade da bactéria permite a atração, por cargas opostas ou minerais menos negativamente carregados, via forças eletrostáticas ou interações hidrofóbicas e, desta forma, a bactéria apresenta ótima característica como coletora para hematitas finas. A bactéria *Rodococcus opacus* também funciona como coletora de hematita, e vem sendo utilizada para separar magnesita e calcita, com boa sorção para metais como zinco e cádmio (DWYER et al., 2012; GOVENDER; GERICKE, 2011).

A bactéria *Paenibacillus polymyxa* vem se apresentando como eficaz no beneficiamento mineral. Alguns trabalhos apresentam várias estirpes associadas aos seus metabólitos extracelulares (incluindo as EPS), sendo usadas na solubilização de cálcio e ferro. Seus metabólitos extracelulares foram, também, avaliados com relação à ação na superfície da calcita, hematita, corindo, caulinita e quartzo. Os resultados mostraram que os minerais interagiram mais com os microrganismos, enquanto havia maior crescimento no meio (que apresentou proteína extracelular e polissacarídeos - EPS), indicando que o biorreagente gerado pela bactéria tem potencial para aplicação como reagente de flotação (DWYER et al., 2012).

Parte da produção de proteínas produzidas por *Paenibacillus polymyxa* foi purificada em um trabalho realizado por Patra e Natajaram (2008; 2003) para aferir a interação com pirita, calcopirita, sulfeto de chumbo, sulfeto de zinco e quartzo. Frações de proteínas isoladas interagiram distintamente com cada mineral. Com os polissacarídeos derivados de bactérias, os minerais pré-condicionados com proteínas bacterianas mostraram um aumento na separação de minerais em pirita/calcopirita com misturas de PbS, ZnS ou quartzo (1: 1: 1% w/v) atuando como um depressor ou um coletor (PATRA E NATARAJAN, 2008, 2003). Na presença de um coletor de xantato convencional, o pré-condicionamento com proteínas bacterianas resultou em recuperações minerais ainda maiores (DWYER et al., 2012). Deo e Natarajan (1997, 1998, 1999) demonstraram que polissacarídeos produzidos por *P. polymyxa* aderiram a uma superfície do minério de ferro (i.e., hematita) e causaram mudanças químicas, tornando-a mais hidrofílica. Eles e outros autores demonstraram que esta bactéria produz

proteínas e polissacarídeos que podem atuar como depressivos ou coletores com sulfetos minerais insolúveis e solúveis em ácido, e vários outros minerais (gangas).

2.5 | Aplicação de *Paenibacillus* e suas EPS

As espécies de *Paenibacillus* foram originalmente incluídas no gênero *Bacillus*, no qual, historicamente, foi baseado em sua morfologia, similar à espécie *Bacillus subtilis*, isolada em 1872. Essas bactérias foram classificadas como *Bacillus* por terem a forma de bastonete, serem aeróbicas ou anaeróbicas facultativas e com capacidade de formar endosporos, permitindo que o microrganismo permaneça inativo em condições inóspitas. Devido às suas características morfológicas e sua grande variedade de produtos, em 2002 este microrganismo foi ranqueado, pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency* - EPA), com grande potencial para aplicação no comércio mundial (GRADY et al., 2016; RAFIGH et al., 2014; CHENU, 1993).

As mais recentes informações apresentam a produção de várias EPS por *Paenibacillus* com aplicações em diversos campos, como na biorremediação, na remoção ou degradação desses poluentes ambientais. Adicionalmente, com a ideia de sustentabilidade se tornando mais premente, produtos e tecnologias ambientalmente adequados vêm prevalecendo. Os métodos de produção de EPS por diversos microrganismos estão sendo desenvolvidos para aplicação, em curto prazo, e as EPS já estão sendo esperadas para serem comercializadas. As EPS que possuem importantes e diferentes propriedades biotecnológicas podem ser produzidas por diferentes espécies

de *Paenibacillus*. Estas EPS têm sido estudadas, como por exemplo, a EPS constituída de glucana, e produzida por *P. polymyxa* JB115, isolada de um solo coreano, sendo utilizada como aditivo em ração animal por apresentar efeito antitumoral em gado. A goma curdlana, produzida por *P. polymyxa* ATCC 21830, apresenta potencial na aplicação de produtos manufaturados para a indústria alimentícia, sendo utilizado, também, como um transportador de medicamentos e como matriz suporte para imobilização de enzimas. Adicionalmente, a curdlana tem sido utilizada junto com carvão ativado para adsorção de metais (LIANG; WANG, 2015).

A literatura tem apresentado inúmeros estudos utilizando *Paenibacillus* com a finalidade de obter produtos com diversas aplicações biotecnológicas. Por exemplo, Rütering et al., (2017) estudaram a produção de uma das EPS denominada paenana, testando suas propriedades reológicas, com destaque para a sua capacidade surfatante que foi superior a de polímeros como a goma xantana e gelana. Já a Curdlana é um polímero que vem ganhando destaque no mercado, sendo aplicada na área médica, farmacêutica e alimentícia. Assim, surgiram estudos que visavam aumentar sua produção como os realizados por El-Sayed et al., (2016). Outros estudos, porém, ainda estão em fase de caracterização molecular das EPS e seus resultados apresentam potencial para aplicação em diversos campos da biotecnologia (BOUKHELATA et al., 2018; XU et al., 2017; MORILLO, et al., 2006).

2.5.1 | *Paenibacillus* na promoção do crescimento de plantas

O desenvolvimento de agriculturas sustentáveis é definido como gestão e conservação dos recursos agrícolas, baseados

num caminho apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável. O aumento da produção agrícola vem demandando maior consumo de reagentes químicos, com o objetivo de nutrir as plantas, e evitar pragas e doenças. Isto acaba levando a várias consequências negativas ao meio ambiente, como diminuição da produtividade do solo e seu esgotamento. Para solucionar este problema, as rizobactérias vêm sendo utilizadas como promotoras de crescimento de plantas (RPCP) atuando na produção de fitohormônios, no aumento da disponibilidade de nutrientes, e na redução de estresse hídrico, ou de forma indireta, na supressão de patógenos por antibiose, na síntese de enzimas líticas e na indução de sistemas de resistência. Em resumo, esses microrganismos são categorizados como biofertilizantes, por conter microrganismos que fixam nitrogênio e solubilizam fósforo, fitoestimuladores, por produzir fitohormônios, e biopesticidas, por conter microrganismos que controlam fitopatogênicos, além de reter água pela produção das EPS (KAUSHAL, 2017).

O gênero *Paenibacillus* contém muitas espécies que promovem o crescimento de plantas, como, por exemplo, populus, abóbora, arroz, mudas, entre muitas outras. Além desta característica, espécies de *Paenibacillus* ajudam a controlar fitopatogênicos produzindo uma variedade de substâncias biocidas. As plantas podem produzir seus próprios hormônios e quando associadas a espécies de bactérias do gênero *Paenibacillus* podem ser influenciadas pela produção de ácido indol-3-acético e outros fitohormônios, solubilizando fósforos e tornando-o biodisponível para as plantas, sendo que algumas espécies podem fixar nitrogênio atmosférico. A inoculação de *Paenibacillus*, portanto, pode reduzir a utilização de fertilizantes

comerciais. A solubilização do fósforo foi confirmada por inúmeros trabalhos que utilizaram diferentes espécies de *Paenibacillus* (*elgii*, *kribbensis*, *macerans*, *mucilaginous*, *polymyxa*, *xilanilyticus* e inúmeras outras espécies ainda não classificadas) (SILVA et al., 2017; GRADY, et al., 2016; WANG et al., 2012). As auxinas são hormônios cruciais na regulação de genes de expressão e desenvolvimento da planta, participando da divisão celular, alongamento, desenvolvimento da fruta etc., (SILVA et al., 2017; GRADY et al., 2016; PHI, et al., 2010; DELKER et al., 2008; ZHOU, et al., 2008; AKHTAR; SIDDIQUI, 2007; HAGGAG, 2007; PICHARD; THOUVENOT, 1999).

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas EPS microbianas possuem grande potencial para aplicação; entretanto, para sua industrialização e comercialização, com a finalidade de se tornar atrativa, é necessário envidar esforços na etapa de produção, visando aumentar a produtividade e redução dos custos. Esforços recentes focam na utilização de nutrientes mais baratos e na minimização dos custos de *downstream*, principalmente na caracterização e nos estudos de aplicação, como, por exemplo, no tratamento de efluentes contaminados. Nos estudos realizados com as EPS microbianas, elas têm-se apresentado com excelente termoestabilidade, ampla tolerância a variação de pH e concentração de sais. Para garantir estas características, novas ferramentas moleculares podem ser usadas com maior facilidade para identificar o genoma microbiano através do sequenciamento em larga escala, confirmando a produção de substâncias que definem características importantes das EPS.

As possíveis aplicações das EPS, em processos biotecnológicos, devem ser intensamente investigadas, utilizando microrganismos naturalmente produtores, como espécies de *Paenibacillus*, que são conhecidos produtores de curdlana, levana, dentre outras que ainda estão em fase de caracterização. Essas EPS têm potencial de aplicação nas áreas médica, farmacêutica, agrícola e de alimentos, além de serem usadas no tratamento de efluentes e Drenagem Ácida de Minas (DAM), tendo por finalidade a redução dos impactos ambientais causados pela presença de metais em corpos

d'água, podendo, ainda, serem aplicadas nos processos de biossorção, biofloculação, bioflotação e no desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Com o intuito de minimizar etapas e buscar melhores rendimentos nos processos de bioflotação ou de biofloculação, esforços devem ser realizados nas pesquisas relacionadas ao beneficiamento de minérios. Por exemplo, quando se utiliza bactérias, ou seus metabólitos, como reagentes para flotação e/ou floculação, a adaptação de microrganismos endógenos, presentes nos depósitos minerais, representa uma vantagem em relação às estirpes provenientes de coleções de cultura. Neste contexto, há uma considerável perspectiva para pesquisas na área de biobeneficiamento mineral. Poucos estudos vêm sendo realizados com microrganismos isolados dos depósitos minerais *in-loco*, apresentando grande potencial para sua bioprospecção e utilização em diversos bioprocessos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, S.H.; ISMAIL, I.M.; MOSTAFA, T.M.; SULAYMON, A.H. Biosorption of Heavy Metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*, v. 3, p. 74-102, 2014.

ACOSTA, P.M. Biosorption of copper by *Paenibacillus polymyxa* cells and their exopolysaccharide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 21, p. 1157-1163, 2005.

AGUILERA, M.; QUESADA, M.T.; ÁGUILA, V.G.D.; MORILLO, J.A.; RIVADENEYRA, M.A.; RAMOS-CORMENZANA, A.; MONTEOLIVA-SÁNCHEZ, M. Characterisation of *Paenibacillus jamilae* strains that produce exopolysaccharide during growth on and detoxification of olive mill wastewaters. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 5640-5644, 2008.

AKHTAR, M.S.; SIDDIQUI, Z.A. Biocontrol of a chickpea root-rot disease complex with *Glomus intraradices*, *Pseudomonas putida* and *Paenibacillus polymyxa*. *Australasian Plant Pathology*, v. 36, p.75-180, 2007.

ATES, O. Systems Biology of Microbial Exopolysaccharides Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 3, p.1-16, 2015.

BERWANGER, A.N.S. Produção e Caracterização de biopolímero sintetizado por *Sphingomonas capsulata*. Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Regional Integrada do Alto do Uruguai e das Missões, URI – Campus de Erichim, RS, 2005.

BEZERRA, A.M. Síntese e avaliações físico-químicas e biológicas de derivados de quitosana de alta e baixa massa molecular. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. 2011.

BHASKAR, P.V.; BHOSLE, N.B. Bacterial extracellular polymeric substance (EPS): a carrier of heavy metals in the marine food chain. *Environment international*, v. 32, p. 191-198, 2006.

BOLSCHIVER, S.; ALMEIDA, L.F.M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. *Polímeros*, v.18, p. 256-261, 2008.

BOUKHELATA, N.; TAGUETT, F.; KACI, Y. Characterization of an extracellular polysaccharide produced by Saharan bacterium *Paenibacillus tarimensis* REG 0201M. *Annal of Microbiology*, v. 69, p. 93-106, 2018.

CHENU, C. Clay or sand polysaccharide associations as models for the interface between microorganisms and soil: water related properties and microstructure. *Geoderma*, v. 56, p. 143-156, 1993.

COMTE, S.; GUIBAUD, G.; BAUDU, M. Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) resulting from activated sludge according to their type: soluble or bound. *Process Biochemical*, v. 41, p. 815-823, 2006.

DAUD, N.S.; DIN, A.R.J.M.; ROSLI, M.S.; AZZAM, Z.M.; OTHMAN, N.Z.; SARMIDI, M.R. *Paenibacillus polymyxa* bioactive compounds for agricultural and biotechnological applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 18, p. 1-7, 2019.

DELKER, C.; RASCHKE, A.; QUINT, M. Auxin dynamics: the dazzling complexity of a small molecule's message. *Planta*, v. 227, p. 929-941, 2008.

DEO, N.; NATARAJAN, K. Studies on interaction of *Paenibacillus polymyxa* with iron ore minerals in relation to beneficiation. *International Journal of Mineral Processing*, v. 55, p. 41-60, 1998.

DWYER R.; Bruckard, W.J.; Rea1, S.; Holmes, R.J. Bioflotation and Bioflocculation review: microorganisms relevant for mineral beneficiation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, v. 121, p.65-71, 2012.

EKIERT, M.; MLYNIEC, A.; UHL, T. The influence of degradation on the viscosity and molecular mass of poly(lactide acid). *Biopolymer*, v.16, p.63-69, 2015.

EL-SAYED, M.H.; ARAFAT, H.H.; ELSEHEMY, I.A.; BASHA, M. Optimization, purification and physicochemical characterization of curdlan produced by *Paenibacillus sp.* Strain NBR-10. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, v. 13, p. 901-909, 2016.

FEIN, J.B. Thermodynamic Modeling of Metal Adsorption onto Bacterial Cell Walls: Current Challenges. In: SPARKS, D.L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press, v. 90, p. 179-202, 2006.

FIEMMING, H.C.; WINGERNDER, J. The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*, v. 8, p. 623-633, 2010.

FREITAS, F.; ALVES, V.D.; REIS, M.A.M. Advances in bacterial exopolysaccharides from production to biotechnological applications. *Trends In Biotechnology*, v.28, p. 388-398, 2011.

FREITAS, F., A.V.; TORRES, C., A.M. REIS, M. Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. *Bioresource Technology*, v. 243, p. 1674-1683, 2017.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, v.3, p.1-5, 2017.

GOVENDER, Y.; GERICKE, M. Extracellular polymeric substances (EPS) from bioleaching systems and its application in bioflotation. *Minerals Engineering*, v. 24, p.1122-1127, 2011.

GRADY, E.N.; MACDONALD, J.; LIU, L.; RICHMAN, A.; YUAN, Z. Current knowledge and perspectives of *Paenibacillus*: a review, v. 15, p. 1-18, 2016.

GUINÉ, V. Effect of cultivation and experimental conditions on the surface reactivity of the metal resistant bacteria *Cupriavidus metallidurans* CH34 to protons, cadmium and zinc. *Chemical Geology*, v. 236, p. 266-280, 2007.

GUPTA, S.K.; DAS, P.; SINGH, S.K.; AKHTAR, M.S.; MEENA, D.K.; MANDAL, S.C. Microbial levan, an ideal prebiotic and immunonutrient in aquaculture. *World aquaculture*, p. 61-66, 2017.

GUTNICK, D.L.; BACH, H. Engineering bacterial biopolymers for the biosorption of heavy metals; new products and novel formulations. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 54, p. 451-60, 2000.

HAGGAG, W.T.; TIMMUSK, S. Colonization of peanut roots by biofilm-forming *Paenibacillus polymyxa* initiates biocontrol against crown rot disease. *Journal of Applied Microbiology*, v.104, p. 961-969, 2007.

HELMUT, B.; BARMETTLER, F.; CASTELBERG, C.; CARLOTTA, F. Microbial mobilization of rare earth elements (REE) from mineral solids: a mini review. *AIMS Microbiology*, v.2, p. 190-204, 2016.

HIDAYAH, N.N.; ABIDIN, S.Z. The evolution of mineral processing in extraction of rare earth elements using solid-liquid extraction over liquid-liquid extraction: A review. *Minerals Engineering*, v.112, p. 103-113, 2017.

JOHNSON, K.J.; CYGAN, R.T.; FEIN, J.B. Molecular simulations of metal adsorption to bacterial surfaces. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, v. 70, p. 5075-5088, 2006.

KAUSHAL, M. Rhizobacterial Efficacy for Sustainable Crop Productivity in Agroecosystems. *Microbes and Sustainable Agriculture*, p. 50-61, 2017.

Kim, Y.S., Yoon, S.K., & Shin, E.J., 2017. U.S. Patent nr. KR101682101. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark office.

KRATOCHVIL, D.; VOLESKY, B. Advances in the biosorption of heavy metals, v. 16, p. 291-300, 1998.

LAI, S.; TABACCHIONI, S. Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. *Indian Journal Microbiol*, v. 49, p.2-10, 2009.

LEE I.Y.; SEO, W.T.; KIM, G.J.; KIM, M.K.; AHN, S.G.; KWON, G.S.; PARK, Y.H. Optimization of fermentation conditions for production of exopolysaccharide by *Bacillus polymyxa*. *Bioprocess Engineering*, v.16, p. 71-75, 1997.

LAMELAS, C. et al. Characterization of H⁺ and Cd²⁺ binding properties of the bacterial exopolysaccharides. *Chemosphere*, v. 65, p. 1362-1370, 2006.

LI, O.; LU, C.; LIU, A.; ZHU, L.; WANG, P.; QIAN, C.; JIANG, X.; WU, X. Optimization and characterization of polysaccharide-based bioflocculant produced by *Paenibacillus elgii* B69 and its application in wastewater treatment. *Bioresource Technology*, v. 134, p. 87-93, 2013.

LI, W.; YU, H. Insight into the roles of microbial extracellular polymer substances in metal biosorption. *Bioresource Technology*, v. 160, p. 15-23, 2014.

LIANG, T.; WANG, S. Recente advances in exopolysaccharides FROM *Paenibacillus spp.*: Production, Isolation, structure, and Bioactivities. *Marine drugs*, v. 13, p. 1847-1863, 2015.

LIN, H., ZHANG, M., WANG, F., MENG, F., LIAO, B.Q., HONG, H., CHEN, J., GAO, W. A critical review of extracellular polymeric substances (EPSs) in membrane bioreactors: Characteristics, roles in membrane fouling and control strategies. *Journal of Membrane Science*, v. 460, p. 110-125, 2014.

MADHURI, K.V.; PRABHAKAR, K.V. Microbial Exopolysaccharides: Biosynthesis and Potential Applications. *Oriental Journal of Chemistry*, v. 30, p. 1401-1410, 2014.

MICULESCU, M., THAKUR, V.K., MICULESCU, F., & VOICU, S.I. Graphene-based polymer nanocomposite membranes: a review. *Polymers for Advanced Technologies*, v. 27, p. 844-859, 2016.

MOKADDEM, H.; SADAOU, Z.; BOUKHELATA, N.; AZOUAOU, N.; KACI, Y. Removal of cadmium from aqueous solution by polysaccharide produced from *Paenibacillus polymyxa*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 172, p. 1150-1155, 2009.

MORE, T.T. et al. Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications. *Journal of Environmental Management*, v. 144, p. 1-25, 2014.

MOREIRA, A.N.; MOREIRA, A.S.; DIA, P.S.; VENDRUSCOLO, C. T. comportamento reológico e composição química do biopolímero da bactéria *Beijerinckia sp.* 7070 produzido por via enzimática. *Brazilian Journal. Food Technology*, v.8, p. 135-142, 2005.

MORILLO, J.A., AGUILERA, M., RAMOS-CORMENZANA, A., MONTEOLIVA-SANCHEZ, M. Production of a metal-binding exopolysaccharide by *Paenibacillus jamilae* using two-phase olive-mill waste as fermentation substrate. *Current microbiology*, v. 53, p. 189-193, 2006.

MORILLO, J.A.P.; GÁRCIA-RIBERA, R.; QUESADA, T.; AGUILERA, M.; RAMOS-CORMENZANA, A.; MONTEOLIVASÁNCHEZ, M. Biosorption of heavy metals by the exopolysaccharide produced by *Paenibacillus jamilae*. World Journal Microbiology and Biotechnology, v.24, p. 2699-2704, 2008.

MORIWAKI, M.; YAMAMOTO, H. Interactions of microorganisms with rare earth ions and their utilization for separation and environmental technology. Appl Microbiol Biotechnol, p. 1-8, 2012.

MUKHERJEE, A.; DAS, R.; SHARMA, A.; PAL, A.; PAUL, A.K. Production and partial characterization of extracellular polysaccharide from endophytic *Bacillus cereus* RCR 08. Microbiological Communication, v.10, p. 612-622, 2017.

MUTHU, M.; WU, H.; GOPAL, J.; SIVANESAN, I.; CHUN, S. Exploiting Microbial Polysaccharides for Biosorption of Trace Elements in Aqueous Environments—Scope for Expansion via Nanomaterial Intervention. Polymers, v. 721, p. 1-12, 2017.

NOUHA, K.; KUMAR, R.S.; BALASUBRAMANIAN, S.; TYAGI, R. D. Critical review of EPS production, synthesis and composition for sludge flocculation. Journal of Environmental Sciences, v. 66, p. 225-245, 2018.

OLIVERA, C.A.C.; MERMA, A.G.; PUELLES, J.G.S.; TOREM, M.L. On the fundamentals aspects of hematite bioflotation using a Gram positive strain. Minerals Engineering, v. 106, p. 55-63, 2017.

OMOIKE, A.; CHOROVER, J. Adsorption to goethite of extracellular polymeric substances from *Bacillus subtilis*. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 70, p. 827-838, 2006.

PAPIRIO, S.; FRUNZO, L.; MATTEI, M.R.; FERRANO, A.; RACE, M.; D'ACUNTO, B.; PIROZZI, F.; ESPOSITO, G. Heavy metal removal from wastewaters by biosorption: mechanisms and modeling. *Sustainable Heavy Metal Remediation, Environmental*, v.8, p. 25-64, 2017.

PATRA, P.; NATARAJAN, K.A. Microbially-induced flocculation and flotation for pyrite separation from oxide gangue minerals, *Mineral Engineering.*, v. 16, p. 965-973, 2003.

PATRA, P.; NATARAJAN, K.A. Role of mineral specific bacterial proteins in selective flocculation and flotation, *International Journal of Mineral Processing*, v. 88, p. 53-58, 2008.

PÉREZ, J.A.M.; GÁRCIA-RIBERA, R.; QUESADA, T.; AGUILERA, M.; RAMOS-CORMENZANA, A.; MANTEOLIVA-SÁNCHEZ, M. Biosorption of heavy metals by the exopolysaccharide produce by *Paenibacillus jamilae*. *World journal Microbiol Biotechnol*, v. 24, p. 2699-2704, 2008.

PERRY, C.C.; PATWARDHAN, S.V.; DESCHAUME, O. From biominerals to biomaterials: the role of biomolecule–mineral interactions. *Biochememical Society Transactions*, v. 37, p. 687-691, 2009.

PESSÔA, M.G.; VESPERMANN, K.A.C.; PAULINO, B.N.; BARCELOS, M.C.S.; PASTORE, G.M.; MOLINA, G. Newly isolated microorganisms with potential application in biotechnology. *Biotechnology Advances*, v. 19, p. 1-54, 2019.

PHI, Q.; PARK, Y.; SEUL, K.; RYU, C.; PARK, S.; KIM, J.; GHIM, S. Assessment of Root-Associated *Paenibacillus polymyxa* Groups on Growth Promotion and Induced Systemic Resistance in Pepper. *Journal Microbiology Biotechnology*, v. 20, p. 1605-1613, 2010.

PICHARD, B.; THOUVENOT, D. Effect of *Bacillus polymyxa* seed treatment on control of black rot and damping off of cauliflower. *Seed Science and Technology*, v. 27, p. 455-465, 1999.

RAFIGH, A.S.M.; YAZDI, A.V.; VOSSOUGHIB, M.; SAFEKORDIA, A.A.; ARDJMANDC, M. Optimization of culture medium and modeling of curdlan production from *Paenibacillus polymyxa* by RSM and ANN. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 70, p. 463-473, 2014.

RASULOV, B. A.; YILI, A.; AISA, H. A. Biosorption of metal ions by exopolysaccharide produced by *Azotobacter chroococcum* XU1. *Indian Journal of Environment Protection*, v. 4, p. 989-993, 2013.

RAZA, W.; HONGSHENG, W.; QIRONG, S. Response of *Paenibacillus polymyxa* to Iron: Alternations in Cellular Chemical Composition and the Production of Fusaricidin Type Antimicrobial Compounds. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 53, p. 1145-1154, 2010.

REHM, B.H.A. Bacterial polymers: Biosynthesis, modifications and applications. *Applied and industrial microbiology*, v. 8, p. 578-592, 2010.

RÜTERING, M.; SCHMID, J.; RÜHMANN, B.; SCHILLING, M. SIEBER, V. Controlled production of polysaccharides-exploiting nutrient supply for levan and heteropolysaccharide formation in *Paenibacillus sp.* *Carbohydrate Polymers*, v. 148, p. 326-334, 2017.

SALEHIZADEH, H.; SHOJAOSADATI, S.A. Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*. *Water Research*, v. 37, p. 4231-4235, 2003.

SANWANI, E.; CHAERUN, S.; MIRAHATI, R.; WAHYUNINGSIH, T. Bioflotation: Bacteria-Mineral Interaction for Eco-friendly and Sustainable Mineral Processing. *Procedia Chemistry*, v. 19, p. 666-672, 2015.

SHENG, G.; YU, H.; LI, X. Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review. *Biotechnology Advances*, v. 28, p. 882-894, 2010.

SHI, Y.; HUANG, J.; ZENG, G.; GU, Y.; CHEN, Y.; HU, Y.; TANG, B.; ZHOU, J.; YANG, Y.; SHI, L. Exploiting extracellular polymeric substances (EPS) controlling strategies for performance enhancement of biological wastewater treatments: An overview. *Chemosphere*, v. 180, p. 396-411, 2017.

SILVA, V.N.; SILVA, L.E.S.F.; SILVA, A.J.N.; STAMFORD, N.P.; MACEDO, G.R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, v. 51, p. 142-147, 2017.

TANAKA, K.; TANI, Y.; TAKAHASHI, Y.; TANIMIZU, M.; SUZUKI, Y.; KOZAI, N.; OHNUKI, T. A specific Ce oxidation process during sorption of rare earth elements on biogenic Mn oxide produced by *Acremonium sp.* Strain KR21-2. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 74, p. 5463-5477, 2010.

TSURUTA, T. Selective accumulation of light or heavy rare earth elements using gram-positive bacteria. *Colloids and Surfaces*, v. 52, p. 117-122, 2006.

VERBEEK, C.J.R. Products and applications of biopolymers. *In Tech*. 2017.

VIEIRA, M.G.A.; SILVA, A.S.; SANTOS, L.O.; BEPPU, M.M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, v. 47, p. 254-263, 2011.

VIJAYALAKSHMI, S.P.; RAICHUR, A.M. Bioflocculation of high-ash Indian coals using *Paenibacillus polymyxa*. *Int. J. Miner. Process*, v. 67, p. 199-210, 2002.

WANG, X., DONG, J., XU, G., HAN, R., NI, Y. Enhanced curdlan production with nitrogen feeding during polysaccharide synthesis by *Rhizobium radiobacter*. Carbohydrate Polymers, v. 150, p. 385-391, 2016.

WANG, Y.; SHI, Y.; Li, B.; SHAN, C.; IBRAHIM, M.; JABEEN, A.; XIE, G.; SUN, Gl. Phosphate solubilization of *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus macerans* from mycorrhizal and non-mycorrhizal cucumber plants. African Journal of Microbiology Research, v. 6, p. 4567-4573, 2012.

WEI, H.; GAO, B.; REN, J.; LI, A.; YANG, H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. Water Research, v. 143, p. 608-631, 2018.

XU, H.; LI, J.; FU, R.; CHENG, R.; WANG, S.; ZHANG, J. Flocculation of coal washing wastewater using polysaccharide produced by *Paenibacillus mucilaginosus* WL412. Environmental Science and pollution research international, v. 24, p. 28132-28141, 2017.

YOUNES, B. Classification, characterization, and the production processes of biopolymers used in the textiles industry. The journal of the textile institute, v. 108, p. 674-682, 2016.

ZHOU, W W.; HUANG, J.X.; NIU, T.G. Isolation of an antifungal *Paenibacillus* strain HT16 from locusts and purification of its medium-dependent antagonistic component. Journal of applied Microbiology, v. 105, p. 912-919, 2008.

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 2018, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 340 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-106 – **Geração de sílica grau metalúrgico oriunda de resíduos de quartzitos.** Alessandra de Almeida Ferreira, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro e Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2019.

STA-105 – **Biorremediação de solos multicontaminados e de áreas impactadas pela mineração; acessando a diversidade microbiana através do sequenciamento de nova geração.** Sandy Sampaio Videira, Cláudia Duarte Cunha, 2018.

STA-104 – **Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas.** Maria Angélica Kramer Sant´ana, Mônica Castoldi Borlini Gadioli, 2018.

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
E-mail: 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 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 41 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.