



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS
AMBIENTAIS

JESSYCA CAMILLA BANDEIRA ALVES

**ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE
METAIS PESADOS (CÁDMIO E CHUMBO) E
BIOSURFACTANTE NA FISIOLOGIA DA
GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Sorghum*
bicolor L.Moench**

Recife, 27 de fevereiro de 2024

JESSYCA CAMILLA BANDEIRA ALVES

**ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE
METAIS PESADOS (CÁDMIO E CHUMBO) E
BIOSSURFACTANTE NA FISIOLOGIA DA
GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Sorghum*
bicolor L.Moench**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Biotecnologia e Meio Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Galba Maria de Campos Takaki

Co-orientador: Dr. Josimar Gurgel Fernandes (IPA)

Recife, 27 de Fevereiro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

A474e Alves, Jessyca Camilla Bandeira.
Estratégias de avaliação dos efeitos de metais pesados (cádmio e chumbo) e biossurfactante na fisiologia da germinação de sementes de *Sorghum bicolor* L. Moench / Jessyca Camilla Bandeira Alves, 2024.
65 f.: il.

Orientadora: Galba Maria de Campos Takaki.
Coorientador: Josimar Gurgel Fernandes.

Mestrado (Dissertação) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais. Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2024.

1. Biotecnologia. 2. Fitorremediação. 3 Meio ambiente.
4. Condução elétrica. 5. Biossurfactantes. 6. Metais

pesados.

I. Título.

CDU 574.6

Luciana Vidal - CRB4/1338

**ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE
METAIS PESADOS (CÁDMIO E CHUMBO) E
BIOSSURFACTANTE NA FISIOLOGIA DA
GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Sorghum
bicolor* L.Moench**

JESSYCA CAMILLA BANDEIRA ALVES

Examinadores:

Documento assinado digitalmente
 **GALBA MARIA DE CAMPOS TAKAKI**
Data: 07/06/2024 17:27:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Galba Maria de Campos Takaki (Orientadora)
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Documento assinado digitalmente
 **ROSILEIDE FONTENELE DA SILVA ANDRADE**
Data: 04/06/2024 00:07:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rosileide Fontenele da Silva Andrade (Titular interno)
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP



Profa. Dra. Helvia Waleska Casullo de Araujo (Titular externo)
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Defendida em: 27/02/2024

Coordenador: Prof. Dr. Sérgio Mendonça de Almeida

DEDICATÓRIA

“Agradeço a DEUS
por ter segurado minha mão e
conduzido meus passos até mais uma vitória”.

“As pessoas fazem muitos planos,
mas quem decide é DEUS, o
SENHOR” – Provérbios 19:21 116:12

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria, saúde, forças e discernimento concedido.

Ao meu noivo, Allan David Francisco Pereira, por todo incentivo e ajuda por todo o curso.

Aos meus pais, Ivaneide Simplicio Bandeira Alves e José Marques Alves Filho, por toda dedicação, esforço e incentivo durante o curso.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Galba Maria de Campos Takaki, pela oportunidade, sabedoria, paciência, ajuda, confiança com os experimentos, ensinamentos e aprendizados durante essa trajetória. E por todos os nossos trabalhos realizados no Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais e Biotecnologia (NPCIAMB) - UNICAP.

Agradeço ao meu co-orientadora Prof. Dr. Josimar Gurgel Fernandes, pelos ensinamentos e aprendizados durante essa trajetória.

Aos meus colegas do Curso de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais (UNICAP), pelo companheirismo e apoio, em especial, Salatiel Henrique Pereira de Lima, Pollyana Pereira do Nascimento e Christian Matheus Barbosa de Menezes, pela força, ajuda, parceria e por sempre me apoiar.

Aos meus amigos do NPCIAMB – UNICAP, pelo apoio e companheirismo, em especial, Dra. Adriana Ferreira Souza, Dra. Isabela Natália da Silva Ferreira, Prof. Dr. Sérgio Mendonça de Almeida pela sabedoria, ensinamentos, força, auxílio e incentivo, durante o curso.

Ao Reitor da Universidade Católica de Pernambuco, Prof. Dr. Pedro Rubem de Ferreira, por disponibilizar o acesso aos laboratórios do NPCIAMB, e pelo uso para a realização dos experimentos.

Aos órgãos de fomento à pesquisa FACEPE, CNPq e CAPES pelo suporte financeiro e apoio com bolsas para formação acadêmica e científica. Agradeço a todos que, diretamente e indiretamente, me ajudaram durante o curso.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1 INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Geral	19
2.2 Específicos.....	19
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1 Bioacumulação por metais em plantas	20
3.1.1 Aspectos gerais do <i>Sorghum bicolor</i>	21
3.1.2 Cádmio	22
3.1.3 Chumbo	22
3.2 Aspectos gerais do Sorgo	23
3.3 Dormência e germinação de sementes.....	24
3.4 Condutividade Elétrica	25
3.5 Microrganismos de Interesse Agrícola	25
3.5.1. Aspectos gerais <i>Pseudomonas fluorescens</i>	25
3.5.2 Aspectos gerais <i>Bacillus cereus</i>	26
3.5.3 Aspectos gerais <i>Bacillus subtilis</i>	27
3.5.4.Aspectos gerais <i>Enterobacter cloacae</i>	28
3.6 Tolerância das Bactérias a metais pesados Chumbo e Cádmio	30
3.7 Biossurfactante.....	30
3.7.1 Propriedades do Biossurfactantes	31
3.7.1.1 Redução da Tensão superficial/ Interfacial.....	31
3.7.1.2 Concentração Micelar Crítica (CMC)	32
3.7.1.3 Classificação química dos Biossurfactantes.....	33
3.8 Aplicação dos Biossurfactantes	34
3.8.1 Aplicação na Agricultura	34
3.8.2 Biossurfactantes: No Crescimento de Planta.....	34
3.8.3 Biorremediação de metais pesados por Biossurfactantes	35
REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO II – Capítulo.....	37
CAPÍTULO III.....	53
<i>Artigo I – Submetido: Revista GEAMA Ciências Ambientais e Biotecnologia - QUALIS</i>	
<i>CAPES B1.....</i>	<i>53</i>
Biossurfactante potencializa a germinação e fitoproteção de sementes de <i>Sorghum</i>	

***bicolor* L. Moench com qualidade fisiológica e expostas ao cádmio**Erro! Indicador não definido.

Introdução	55
Condutividade Elétrica	55
Produção e extração do Biosurfactante.....	56
Influência do Cádmio na germinação de sementes de sorgo.....	56
Conclusões	57
Referências	58
CAPÍTULO IV.....	59
ANEXOS.....	61

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Metais pesados presente no solo e principais danos á saúde humana.....	19
Tabela 2 – Classificação da <i>Enterobacter cloacae</i>	26

CAPÍTULO II

Tabela 1 -Bactéria com tolerância e habilidade de biorremoção de cádmio.....	43
Tabela 2 -Capacidade bacteriana de tolerar diferentes concentrações de chum.....	45

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Efeitos do cádmio em associação com o biossurfactante na indução da germinação de sementes de <i>Sorghum bicolor</i>	59
---	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Estruturas vegetativas e reprodutivas do sorgo.....	24
Figura 2 – <i>Pseudomonas fluorescens</i>	26
Figura 3 - <i>Bacillus cereus</i>	27
Figura 4 - <i>Bacillus subtilis</i>	28
Figura 5 - <i>Enterobacter cloacae</i>	29
Figura 6 - Representação de uma molécula biossurfactante.....	31
Figura 7 - Esquema representativo da formação de micelas através da medição da Concentração Micelar Crítica (CMC).....	32
Figura 8 - Classificação dos biossurfactantes de acordo com o peso molecular, composição química, origem microbiana e quanto a sua carga.....	33

RESUMO

O ambiente enfrenta desafios consideráveis relacionados á formas de vida, desde animais, seres humanos e plantas, inclusive comprometendo a cadeia alimentar. Assim, a elevada concentração de metais pesados no solo vêm causando impactos severos às plantas, afetando principalmente, folhas e sementes. Nesse contexto, os estudos iniciais foram dirigidos para avaliar o potencial das bactérias *Pseudomonas fluorescens* UCP 1514, *Bacillus cereus* UCP 1528, *Bacillus subtilis* UCP 1602 e *Enterobacter cloacae* UCP 1597 frente as concentrações de cádmio e chumbo, em atendimento ao processo de biorremediação de *Sorghum bicolor* L. Moench. Assim, foram avaliados o grau de resistência aos metais pesados pelas bactérias. Os resultados obtidos indicaram que as bactérias *B. cereus* UCP 1528 e *B. subtilis* apresentam resistência a elevadas concentrações de cádmio e chumbo, do que as bactérias Gram negativas *E. cloacae* UCP 1597 e *P. fluorescens* UCP 1514. Essas informações foram confirmadas pela literatura e fazem parte um capítulo de livro. Outras investigações foram realizadas com o objetivo de avaliar a qualidade fisiológica das sementes de *Sorghum bicolor* com e sem exposição ao metal pesado cádmio nas concentrações de 0,5mM e 3 mM, por meio da condutividade elétrica. Os resultados da condutividade elétrica indicaram aumento proporcional com o aumento da concentração do cádmio e tempos de embebição. Os estudos realizados com a germinação de sementes de *S. bicolor* sob a ação de biossurfactante, observou-se um aumento significativo a partir da concentração mínima do biossurfactante (1,565% - CMC de 2%) expressou um aumento de 35% no crescimento total do índice germinativo (70,46 mm) em comparação com o controle água destilada (51,86 mm) e na concentração máxima (100% - CMC de 2%) o biossurfactante demonstrou impacto ainda mais pronunciado resultando em um crescimento total (83,85 mm) com um aumento de 61% quando comparado ao grupo controle da água, destacando a eficiência desse lipopeptídeo na indução da germinação e na fitoproteção contra o cádmio. Na germinação foi observado que a interação biossurfactante e cádmio intensificou os efeitos fitoprotetor para o desenvolvimento da radícula na concentração (100% - CMC de 2%) . As ramificações e o hipocótilo aumentaram na presença do biossurfactante em comparação com a exposição apenas com o cádmio. Nesse sentido, o biossurfactante produzido por *E. cloacae* demonstrou ser uma biomolécula estável e eficiente, desempenhando um papel crucial na germinação e fitoproteção de *S. bicolor*, possibilitando uma ação promissora em processo de fitorremediação e promoção da sustentabilidade ambiental, com práticas agrícolas de qualidade e segurança.

Palavras-chave: Condutividade elétrica. Fitorremediação. Meio ambiente. Metais pesados

ABSTRACT

The environment faces considerable challenges related to forms of life, from animals, humans and plants, including compromising the food chain. Thus, the high concentration of heavy metals in the soil has been causing severe impacts to plants, mainly affecting leaves and seeds. In this context, the initial studies were aimed at evaluating the potential of the bacteria *Pseudomonas fluorescens* UCP 1514, *Bacillus cereus* UCP 1528, *Bacillus subtilis* UCP 1602 and *Enterobacter cloacae* UCP 1597 against concentrations of cadmium and lead, in compliance with the bioremediation process of *Sorghum bicolor* L. Moench. Thus, the degree of resistance to heavy metals by bacteria was evaluated. The results obtained indicated that the bacteria *B. cereus* UCP 1528 and *B. subtilis* are more resistant to high concentrations of cadmium and lead than the Gram-negative bacteria *E. cloacae* UCP 1597 and *P. fluorescens* UCP 1514. This information was confirmed by the literature. and form part of a book chapter. Other investigations were carried out with the objective of evaluating the physiological quality of *Sorghum bicolor* seeds with and without exposure to the heavy metal cadmium at concentrations of 0.5mM and 3mM, through electrical conductivity. The electrical conductivity results indicated a proportional increase with increasing cadmium concentration and imbibition times. Studies carried out with the germination of *S. bicolor* seeds under the action of biosurfactant, a significant increase was observed from the minimum concentration of biosurfactant (1.565% - CMC of 2%) expressing an increase of 35% in the total growth of the germination index (70.46 mm) compared to the control distilled water (51.86 mm) and at maximum concentration (100% - CMC of 2%) the biosurfactant demonstrated an even more pronounced impact resulting in total growth (83.85 mm) with an increase of 61% when compared to the water control group, highlighting the efficiency of this lipopeptide in inducing germination and phytoprotection against cadmium. During germination, it was observed that the biosurfactant and cadmium interaction intensified the phytoprotective effects for radicle development at the concentration (100% - CMC of 2%). Branching and hypocotyl increased in the presence of biosurfactant compared to exposure with cadmium alone. In this sense, the biosurfactant produced by *E. cloacae* demonstrated to be a stable and efficient biomolecule, playing a crucial role in the germination and phytoprotection of *S. bicolor*, enabling a promising action in the phytoremediation process and promotion of environmental sustainability, with quality agricultural practices. and security.

Keywords: Electrical conductivity. Phytoremediation. Environment. Heavy metals.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O aumento da poluição mundial vem intensificando a contaminação ambiental por meio de resíduos e efluentes contaminantes. Essas substâncias destacam-se como um dos grandes problemas ambientais do século XIX. A mineração, efluentes industriais, lixiviação de fertilizantes e pesticidas, são as principais causadoras da poluição ambiental por metais pesados. Tendo em vista que a deposição de solutos na água e no solo pode ocorrer em diferentes pHs e concentrações variadas de composto (DAVIS *et al.*, 2020).

A bioacumulação de metais pesados são algumas das preocupações globais emergentes que afetam várias formas de vida, incluindo plantas, animais e seres humanos. Esses metais são absorvidos pelas raízes das plantas a partir do solo ou água acumulando-se em suas partes aéreas, como folhas e grãos. O cádmio, em particular, é identificado como um contribuinte significativo e agente primário entre os metais pesados tóxicos. Sua fonte de perturbação ambiental distinta e alta toxicidade são destacadas em diversos estudos (DAVIS *et al.*, 2020).

O chumbo é outro metal pesado tóxico, presente em proporções crescentes nas águas residuais por ser um componente dos combustíveis veiculares, principalmente em ambientes urbanos (PILON-SMITS, 2005; GNANSOUNOU E, *et al.* 2014; ALMODARES *et al.* 2021).

Na agricultura, estão sendo exploradas alternativas para reduzir a poluição por metais pesados. No entanto, muitos desses materiais podem conter substâncias químicas tóxicas ou persistentes que, se não forem gerenciadas adequadamente, podem contribuir para a poluição ambiental (RAWAT *et al.*, 2020). Os biossurfactantes são estudados como biomoléculas produzidos por microrganismos, como bactérias, leveduras e fungos. Essas substâncias apresentam um notável potencial para substituir os surfactantes sintéticos devido às suas propriedades favoráveis, como baixa toxicidade, biodegradabilidade e especificidade (RAWAT *et al.*, 2020; KARNWAL *et al.*, 2023).

Além disso, é uma alternativa que desempenha um papel significativo ao serem empregados para combater patógenos que afetam as plantas, ao mesmo tempo em que promovem o aumento da biodisponibilidade de nutrientes essenciais (PURWASENA *et al.*, 2019). Existem numerosos estudos dedicados ao aprimoramento da germinação de sementes, nos quais os biossurfactantes têm sido objeto de pesquisa e aplicação para proteger as sementes e promover a fertilidade das mudas.

O processo de germinação e condutividade elétrica desempenha um papel fundamental no ciclo de vida das plantas, envolve interações bidirecionais entre o embrião e o endosperma, com o endosperma atuando como um sensor ambiental que regula o crescimento do embrião e o embrião controlando a degradação do endosperma (YAN *et al.*, 2014).

O uso de micro-organismos na remediação de metais tem se mostrado eficiente, econômico e ecologicamente amigável, a qual representa uma alternativa em processos ambientais. Micro-organismos como bactérias gram positivas, com suas características distintivas de parede celular, metabolismo diversificado e capacidade de adaptação a ambientes desafiadores, têm demonstrado notável eficiência na remoção e transformação de metais pesados no meio ambiente (JIN *et al.*, 2018). Devido as suas propriedades bioquímicas que favorecem a precipitação de íons metálicos, contribuindo assim para a redução da concentração desses poluentes (CHAERUN, *et al* 2017).

Diante desse contexto, investigações foram conduzidas para analisar o potencial de bactérias na tolerância a metais pesados e avaliar o vigor de sementes de *Sorghum bicolor* na presença e ausência de metais e de biossurfactante. Este estudo visa ampliar os conhecimentos sobre a interação entre metais pesados e a agricultura desse importante cereal, considerando também a adição de sementes de *sorghum* como um componente adicional de interesse biotecnológico.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Investigar o potencial de bactérias na tolerância a metais pesados (Cádmio e Chumbo) e avaliar vigor de sementes de *Sorghum bicolor* na presença e ausência de metais pesados e de biossurfactante.

2.2 Específicos

- Avaliar a resiliência de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas ao cádmio e ao chumbo, identificando diferenças na tolerância desses grupos bacterianos a esses metais pesados;
- Investigar a capacidade de resistência a metais pesados em bactérias com potencial para biorremediação, focando especificamente nas suas respostas adaptativas ao cádmio e ao chumbo, com o objetivo de destacar candidatas promissoras para futuras aplicações em biorremediação;
- Examinar o vigor de sementes de *Sorghum bicolor* em condições controladas de exposição ao cádmio e ao chumbo, a fim de entender como esses metais influenciam a viabilidade e o desenvolvimento inicial da planta;
- Avaliar a influência de biossurfactantes na germinação de sementes de *Sorghum bicolor* em presença de cádmio, explorando o potencial de mitigação de biossurfactantes nos impactos negativos do metal pesado no processo de germinação..

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Bioacumulação por metais em plantas

O meio ambiente sofre inúmeros impactos ambientais, dentre eles, a bioacumulação de metais pesados. Este fenômeno refere-se à capacidade desses elementos de se acumularem em organismos vivos ao longo da cadeia alimentar. Altas concentrações dos metais cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e boro (B) podem contaminar o solo e consequentemente absorver as raízes das plantas, acumulando-se em suas partes aéreas, como folhas e grãos. Essa acumulação representa uma ameaça para a saúde humana e contribui para a contaminação ambiental (RAMALHO, 2024).

A bioacumulação de metais pesados em plantas ocorre através de mecanismos complexos de transporte e armazenamento celular. As plantas absorvem esses metais do solo através de suas raízes, utilizando mecanismos de transporte ativo e passivo. No transporte ativo, proteínas transportadoras específicas, como os canais de cátions e transportadores de membrana, desempenham um papel crucial na absorção de íons metálicos. Já no transporte passivo, a difusão simples permite que os metais pesados atravessem as membranas celulares, principalmente quando há uma alta concentração desses elementos no solo. Uma vez absorvidos, os metais podem ser translocados para diferentes partes da planta, como folhas e grãos, onde se acumulam em níveis potencialmente tóxicos (RAMALHO, 2024).

Segundo Leite et al., (2024) a toxicidade dos metais pesados para as plantas depende de vários fatores, incluindo a espécie vegetal, o tipo de solo e as condições ambientais. Em níveis elevados, esses metais podem interferir nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, prejudicando a fotossíntese, a respiração e a absorção de nutrientes essenciais. Por exemplo, o cádmio pode substituir o zinco em várias enzimas, inibindo sua atividade e causando estresse oxidativo nas células vegetais. O chumbo, por sua vez, pode se ligar aos grupos sulfidríla das proteínas, desativando-as e provocando desbalanços iônicos. Essas perturbações não apenas comprometem a saúde das plantas, mas também reduzem sua produtividade agrícola.

A mitigação dos efeitos da bioacumulação de metais pesados em plantas requer abordagens integradas de manejo ambiental. Práticas como a remediação do solo através da fitorremediação, o uso de emendas orgânicas e a aplicação de quelantes podem ajudar a reduzir a biodisponibilidade de metais pesados. A fitorremediação, em particular, utiliza plantas hiperacumuladoras para extrair metais do solo, acumulando-os em seus tecidos de maneira segura. Além disso, técnicas de engenharia genética estão sendo desenvolvidas para criar plantas transgênicas com maior capacidade de tolerância e acumulação de metais pesados. Essas estratégias, aliadas a uma gestão ambiental consciente, são essenciais para

minimizar os riscos de contaminação e proteger a s

3.1.1 Aspectos gerais do *Sorghum bicolor*

Segundo Ramalho (2024), a contaminação de solos por metais pesados é uma preocupação ambiental que decorre em zonas industriais e de mineração, devido ao intenso tráfego de veículos, esgoto e pilhas. Os impactos de poluentes na saúde humana decorre da inalação e ingestão através de alimentos e água contaminada que manifestam-se de maneira constante ao longo do tempo.

Além disso, a maioria das plantas é sensível aos metais pesados quando estes ultrapassam certas concentrações. No entanto, algumas espécies são capazes de crescer em ambientes contaminados, pois desenvolveram vários mecanismos de desintoxicação, evitando o efeito do excesso de metais pesados sobre seu metabolismo, crescimento e reprodução (LEITE *et al.* 2024).

Segundo Leite *et al.* (2024), alguns possíveis mecanismos de resistência aos metais pesados presentes nas plantas incluem: imobilização dos íons metálicos na parede celular; impedimento da permeabilidade por meio da membrana celular; formação de quelatos por proteínas ou fitoquelatinas, que se ligam aos metais pesados no citoplasma, protegendo a célula contra o efeito tóxico destes; compartimentalização dos metais nos vacúolos; e exportação ativa pela membrana celular. Com relação à resposta das plantas à biodisponibilidade de metais pesados no solo, estas podem ser classificadas como sensíveis, tolerantes, acumuladoras ou hiperacumuladoras. As plantas tolerantes, quando sujeitas a esse estresse, desenvolvem a habilidade de evitar ou excluir metais com o intuito de reduzir a sua incorporação celular. Já as plantas acumuladoras ou hiperacumuladoras acumulam enormes concentrações de determinados metais pesados, mas para isso desenvolvem mecanismos detoxificação de metais (BENAVIDES *et al.* 2024).

É importante destacar que os impactos prejudiciais dos metais na semente *Sorghum bicolor* podem desencadear efeitos nocivos, afetando não apenas a estrutura e fisiologia da planta, mas também toda a cadeia alimentar e, conseqüentemente, a saúde humana como mostra na tabela 1. A contaminação por metais pesados pode resultar em problemas gastrointestinais, danos ao sistema nervoso e efeitos carcinogênicos (BENAVIDES *et al.* 2024).

Tabela 1 - Metais pesados presentes no solo e principais danos à saúde humana

Elemento	Principais danos causado a saúde humana
----------	---

Alumínio	Contaminação crônica pelo alumínio, como um dos fatores ambientais e ocorrência de Alzheimer.
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração. Possui meia – vida de 30 anos nos rins; casos de intoxicação crônica podem gerar desclassificação óssea, lesão renal.
Cromo	Armazena-se nos pulmões e pelos músculos
Chumbo	Acumula-se nos ossos, cérebro e rins, em poucas concentrações causa anemias e dores de cabeça. Exerce ação tóxicas no sistema nervoso.
Bário	Provoca efeito no coração e elevação da pressão arterial.

Fonte: Adaptado ABDI, 2021

3.1.2 Cádmio

O cádmio (Cd) é um metal pesado tóxico e muito prevalente na camada superficial do solo, devido a sua introdução por fertilizantes sintéticos e pesticidas . Além disso, é um metal venenoso para plantas, animais e humanos sendo classificado como carcinógeno humano (LIU, TONG-TONG *et al.*, 2020).

Vale destacar, sua toxicidade em plantas pode causar distúrbios enzimáticos, pois o alvo do metal são principalmente enzimas e proteínas. Algumas enzimas são compostas por metais o que facilita a substituição de algum desses metais com o cádmio, afetando a atividade da enzima. Com isso, o metal pode interferir em processos essenciais da planta como a germinação e a fotossíntese (SHARRI, *et al.*, 2022).

O cádmio é um metal não essencial. Sua fitotoxicidade tem impacto negativo nas plantas, retardando várias atividades fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares das espécies vegetais. São facilmente absorvido pelas raízes, causando graves danos em seu sistema. Pode causar a morte quando em altas concentrações ou induzir a produção de proteínas de estresse e outros metabólitos secundários quando em baixas concentrações (SILVA, 2015).

3.1.3 Chumbo

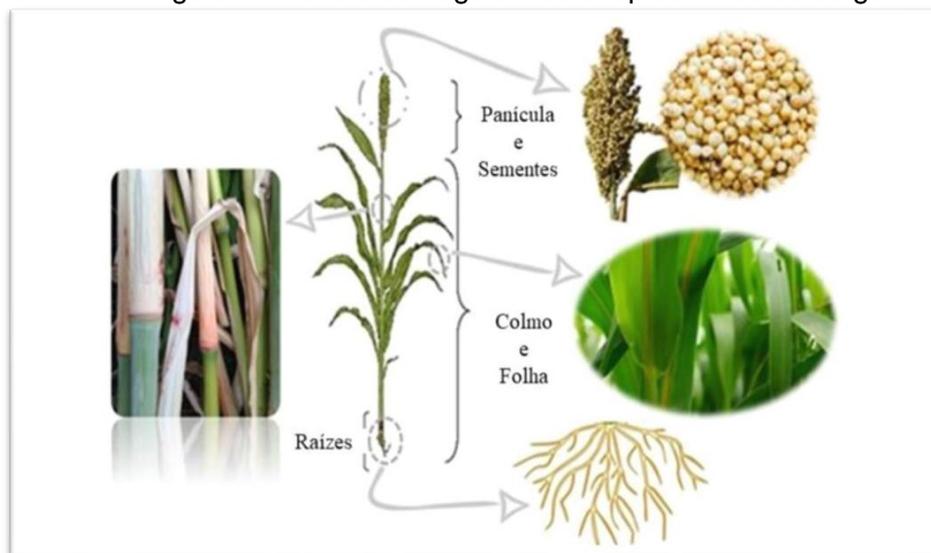
O chumbo (Pb) emerge como um poluente ambiental significativo, associado a diversas disfunções, comprometimento do sistema nervoso central e periférico, deterioração da memória e redução da capacidade intelectual em crianças (LIMA, 2022). Devido a sua toxicidade presente em proporções crescentes nas águas residuais e solo por ser um componente dos combustíveis veiculares, principalmente em ambientes urbanos. A remediação/fitorremediação de plantas é um método líder para a descontaminação do solo. As raízes das plantas, o solo e os esgotos podem ser tratados através da degradação, absorção, armazenamento ou transferência de reagentes poluídos (PILON-SMITS,2020; GNANSOUNOU E, *et al.* 2014; ALMODARES *et al.* 2021).

3.2 Aspectos gerais do Sorgo

O sorgo pertence à família Poaceae, ao gênero *Sorghum*, sendo a espécie cultivada o *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Originário de regiões de clima tropical no continente africano, há evidências indicando a possibilidade de duas regiões independentes de dispersão: África e Abissínia, atualmente conhecida como Etiópia . O sorgo destaca-se como uma das culturas alimentares mais versáteis e eficientes do ponto de vista fotossintético (SOUZA *et al.*, 2022).

A planta do *Sorghum* adapta-se a uma ampla variação de ambientes e produz sob condições menos favoráveis, onde à maioria dos outros cereais não se tem mostrado com sucesso. O sorgo possui um sistema radicular fibroso que se desenvolve principalmente na camada superficial do solo como mostra na (figura 1). Essa capacidade de adaptação às condições desfavoráveis de cultivo, torna a cultura do sorgo uma alternativa viável para regiões áridas com chuvas escassas (KARAM *et al.*, 2021).

Figura 1 - Estruturas vegetativas e reprodutivas do sorgo



Fonte: Jardiet *et al.*, 2020

As características fisiológicas do sorgo que permitem que a planta estacione o seu crescimento e reduza suas atividades metabólicas durante o período de estresse, sendo capaz de reiniciar seu crescimento e aumentar suas atividades metabólicas quando o estresse é aliviado. Provavelmente, no início do estresse a planta acumula fotoassimilados, os quais podem induzir a um nível mais acelerado de crescimento após o término do estresse (MACHADO *et al.*, 2014).

Do ponto de vista agrícola, o sorgo apresenta maior tolerância ao déficit hídrico e a altas temperaturas do que o milho. Além disso, há possibilidade de aproveitamento da rebrota do sorgo, com produção de até 60% do primeiro corte (MACHADO *et al.*, 2014) o que reflete em menor risco para o produtor rural quando comparado com o cultivo de milho, especialmente na segunda safra (MACHADO *et al.*, 2014).

3.3 Dormência e germinação de sementes

As sementes apresentam características complexas que englobam tolerância ao envelhecimento, dormência das sementes, viabilidade, germinação rápida e estabelecimento de plântulas, especialmente em condições ótimas.

A dormência é uma característica adaptativa em plantas silvestres por evitar a germinação em condições que não seriam propícias à sobrevivência das mudas (DOS SANTOS *et al.*, 2021).

A dormência pode ser considerada primária, na qual sementes na maturidade apresenta condições específicas, quanto ao seu resfriamento úmido ou pós- amadurecimento seco, antes de se tornarem capazes de germinar as secundárias, as sementes não dormentes em condições ambientais desfavoráveis reverterem para um estado de dormência. A dormência primária pode ser imposta através de características físicas (por exemplo, tegumentos de sementes resistentes à água em muitos pulsos, que impedem a hidratação dos tecidos zigóticos (SILVA *et al.*, 2021).

Em tecnologia de sementes, o conceito de germinação é definido como a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, dando origem a uma plântula normal, em condições ambientais favoráveis. Para avaliar a máxima germinação da semente, faz-se o teste de germinação, que é feito obrigatoriamente em laboratório e é o teste que tem sido mais amplamente utilizado para avaliar a qualidade de sementes, em conjunto com outros testes. Os resultados dos testes de germinação são utilizados para comparar a qualidade fisiológica de lotes, determinar a taxa de semeadura e servir como parâmetro de comercialização o de sementes (DOS SANTOS *et al.*, 2021).

Os testes são feitos seguindo uma metodologia padronizada, sob condições artificiais favoráveis controladas em laboratório, de forma que se obtenha a maior porcentagem de

germinação em menor tempo possível, de acordo com as características de cada planta. Como os testes são realizados em condições ótimas para a germinação, podem ocorrer discrepâncias quando comparado aos resultados obtidos em campo, visto que as condições climáticas e qualidade de solo podem variar, motivando o desenvolvimento de conceitos de vigor e de novos testes para aprimorar a eficiência da avaliação da qualidade fisiológica das sementes (CHAHTANE *et al.*, 2017).

O processo de germinação envolve interações bidirecionais entre o embrião e o endosperma, com o endosperma através do sensor ambiental que regula o crescimento do embrião e o embrião controlando a degradação do endosperma. Tendo em vista, múltiplos fatores que controlam a germinação. Estudos voltados para melhorar a germinação de sementes e os biossurfactantes têm sido investigados para melhorar a proteção das sementes e a fertilidade das mudas (DA SILVA, 2023).

3.4 Condutividade Elétrica

O teste de condutividade elétrica avalia a qualidade de sementes de forma indireta e baseia-se na concentração de eletrólitos lixiviados pelas sementes durante a embebição, fornecendo resultados no prazo de 24 horas (Silva, Patrícia Cândido da Cruz *et al.*, 2021). Baseia-se também no processo de deterioração, que ocorre aumento da lixiviação dos constituintes celulares das sementes embebidas em água, devido à perda da integridade dos sistemas de membranas celulares. Segundo Silva *et al.* (2019), pesquisas realizadas com sementes de *Sorghum bicolor* e de grandes culturas têm demonstrado que o decréscimo na germinação e no vigor é diretamente proporcional ao aumento da concentração de eletrólitos liberados pelas sementes.

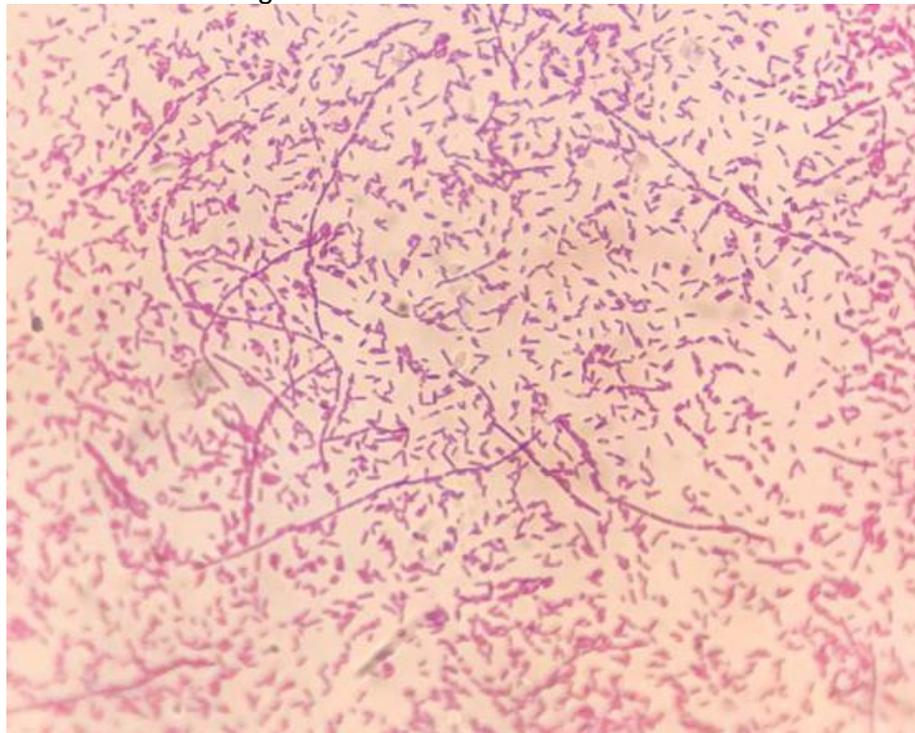
Dessa forma, uma baixa condutividade elétrica indica sementes com alto vigor, enquanto uma alta condutividade, refletida por uma maior quantidade de lixiviados, sugere baixo vigor. Tendo em vista, os resultados têm sido consistentemente respaldados por várias pesquisas, as quais evidenciam que a redução da germinação e do vigor está diretamente associada ao aumento da concentração de eletrólitos liberados pelas sementes durante a embebição. Neste sentido, a determinação da condutividade elétrica da água de embebição tem sido proposta como um dos testes bastantes sensíveis para a avaliação do vigor. A deterioração de sementes pode ter início antes da colheita, após a maturidade fisiológica das sementes e continuar durante a colheita (NETA, IZABEL COSTA DA SILVA, 2024).

3.5 Microrganismos de Interesse Agrícola

3.5.1. Aspectos gerais *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens é um dos mais efetivos antagonistas selecionados no solo, para supressão de doenças. É uma bactéria Gram-negativa comum, em forma de bastonete, apresenta um metabolismo extremamente versátil e pode ser encontrado em solo e água. É uma alternativa para reduzir custos e diminuir riscos ambientais causados pela utilização inadequada de fertilizantes e defensivos é a produção de inoculantes de baixo custo com rizobactérias, como por exemplo, a *Pseudomonas fluorescens*, promotoras do crescimento de plantas (Humphris *et al.*, 2016; Coelho *et al.*, 2022).

Figura 2 - *Pseudomonas florescens*



Fonte: Autoria própria (2023).

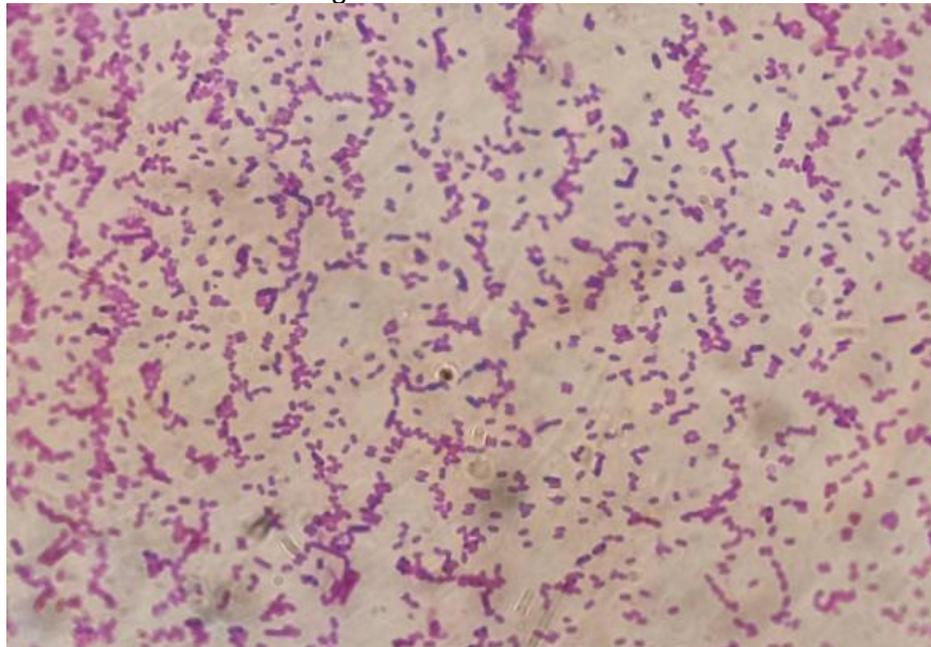
De acordo com Vessey (2018), esses microrganismos têm participação ativa nas transformações do fósforo no solo, influenciando sua solubilização e disponibilidade para as plantas, uma vez que essas transformações se originam da decomposição de compostos orgânicos, reduzindo a imobilização na microbiomassa e aumentando a solubilização de formas inorgânicas. Portanto, devido ao seu rápido crescimento, a cultura do milho apresenta elevada demanda por nutrientes, podendo assim beneficiar-se das associações com as rizobactérias.

3.5.2 Aspectos gerais *Bacillus cereus*

Os *Bacillus cereus* é uma bactéria gram-positiva que apresenta formato de bastonete de grandes dimensões geralmente móveis e é caracterizada pela sua capacidade de formação

de esporos esféricos na presença de oxigênio. São transmitidos através de alimentos contaminados sendo seus esporos bacterianos altamente resistentes ao calor. Algumas cepas de *Bacillus cereus* têm a capacidade de agir como promotoras de crescimento de plantas. Elas podem formar associações benéficas com as raízes das plantas, melhorando a absorção de nutrientes e promovendo o crescimento e resistência a doenças. (MELLEGLARD, *et al.*, 2011).

Figura 3 - *Bacillus cereus*



Fonte: Autoria própria (2023).

O *Bacillus cereus* é responsável por algumas intoxicações alimentares podendo provocar dois tipos de síndromes: diarreica e emética. A síndrome emética é produzida pelas células em crescimento no alimento e, se manifesta como náuseas e vômitos dentro de 1 a 5h após o consumo de alimentos contaminados já na síndrome diarreica a intoxicação alimentar é causada pela presença de enterotoxinas complexas

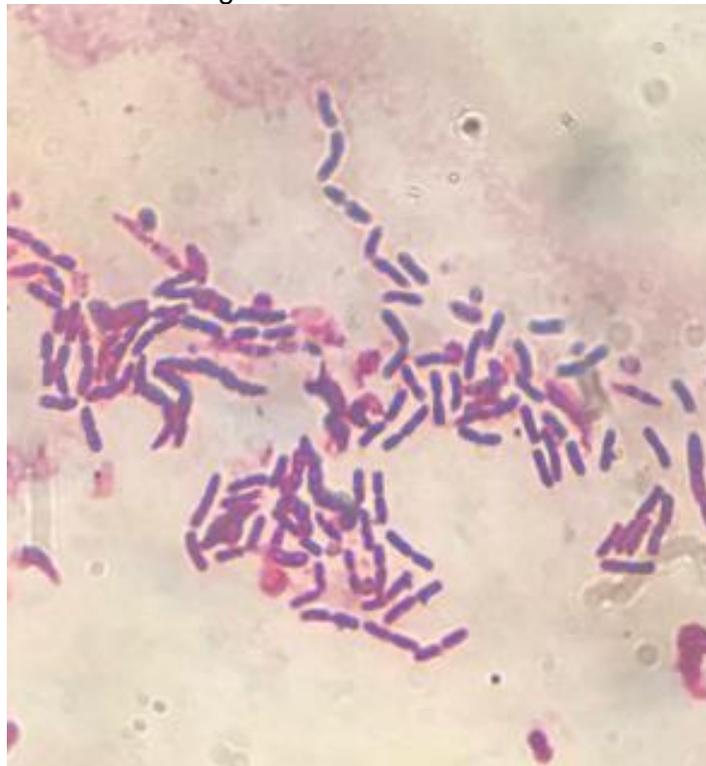
Essas toxinas são produzidas durante o crescimento vegetativo de *B.cereus* no intestino delgado, onde os indivíduos contaminados apresentam como sintomas: dores abdominais, diarreia aquosa profusa, náuseas e vômitos (MENDES *et al.*, 2020).

3.5.3 Aspectos gerais *Bacillus subtilis*

O *Bacillus subtilis* é uma bactéria gram-positiva aeróbia facultativa em formato de bastonete encontrado no solo em associação com as raízes das plantas, não patogênica. Sua característica é notável na formação de esporos que são resistentes a condições adversas, como calor, dessecação e radiação. Isso permite que a bactéria sobreviva em ambiente

Bacillus desempenha um papel positivo na agricultura de várias maneiras: promover o crescimento das plantas por meio da produção de substâncias promotoras de crescimento, como hormônios vegetais; têm a capacidade de melhorar a tolerância das plantas ao estresse abiótico, como seca, salinidade ou temperaturas extremas e resistência sistêmica nas plantas, tornando-as mais capazes de se defender contra patógenos. Isso contribui para reduzir a necessidade de produtos químicos sintéticos para o controle de doenças. (WANG; WANG; YANG, 2019).

Figura 4 - *Bacillus subtilis*



Fonte: Autoria própria (2023).

Ao interagir com as raízes das plantas, essa bactéria auxilia na fixação de nitrogênio e na decomposição de matéria orgânica, melhorando a qualidade do solo e a nutrição das plantas. Além disso, sua habilidade em secreção de antibióticos naturais ajuda na supressão de várias doenças fúngicas e bacterianas, reduzindo assim a incidência de patógenos prejudiciais nas lavouras. Essas ações biológicas contribuem para um sistema agrícola mais sustentável e menos dependente de insumos químicos, alinhando-se com práticas de agricultura mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

3.5.4.Aspectos gerais Enterobacter cloacae

A *Enterobacter cloacae*, bactéria Gram negativa, anaeróbica facultativa e apresenta formato de bastonete apresentando uma ampla aplicação biotecnológica, sua classificação

pode ser observada na Tabela 2. Pode ser encontrada em uma série de habitats como água, esgoto, solo e alimento. Apresenta patogenicidade e as infecções causadas por estes microrganismos incluem infecções do trato urinário e meningites do recém-nascido. É cultivado a 30° C em meio de Ágar Nutriente (DAVIN-REGLI *et al.*, 2021).

Tabela 2 - Classificação da *Enterobacter cloacae*

Reino	Bactéria
Filo	Proteobacteria
Classe	Gammaproteobacteria
Ordem	Enterobacteriales
Gênero	<i>Enterobacter</i>

Fonte: DAVIN-REGLI *et al.*, 2021

Apresenta patogenicidade e as infecções causadas por estes microrganismos incluem infecções do trato urinário e meningites do recém-nascido. É cultivado a 30° C em meio de Ágar Nutriente.

Figura 5 - *Enterobacte cloace*



Fonte: Autoria própria (2023)

Além disso, são promotoras de crescimento, facilitando a absorção de nutrientes pelas plantas e promovendo o desenvolvimento das raízes. Estes microrganismos podem aumentar a eficiência da utilização dos nutrientes e melhorar a qualidade do solo, o que resulta em plantas mais saudáveis e produtivas (DAVIN-REGLI *et al.*, 2021)

3.6 Tolerância das Bactérias a metais pesados Chumbo e Cádmio

O chumbo e o cádmio são metais perigosos, muito estáveis, tóxicos e não se degradam na natureza. Ambos os metais tem a capacidade de entrar nas células de bactérias pelo sistema de regulação de íons, uma vez que as proteínas transmembranas não diferenciam os metais de outros íons divalentes (NOGUEIRA, 2024).

No interior dos microrganismos, o cádmio e o chumbo causam danos irreversíveis às células, pois se ligam a proteínas respiratórias e produzem oxigênios reativos. Além disso, ambos os metais provocam nas células bacterianas redução na taxa de crescimento, diminuição da densidade celular e causam a sua morte mesmo. Porém, algumas bactérias se adaptam a presença desses metais e proliferam e se tornam dominantes no ambiente (LIU, TONG-TONG *et al.*, 2020).

As bactérias tolerantes a metais pesados apresentam interessantes aplicações biotecnológicas. Dentre elas, a biorremediação é um processo biotecnológico que remove ou reduz poluentes do ambiente, alterando muito pouco a matriz do solo, ao contrário de processos físicos ou químicos, como escavação, incineração e extração com solventes que além de caros não garantem a remoção permanente do contaminante. Logo, a biorremediação é uma técnica promissora para despoluir (SILVA, 2021).

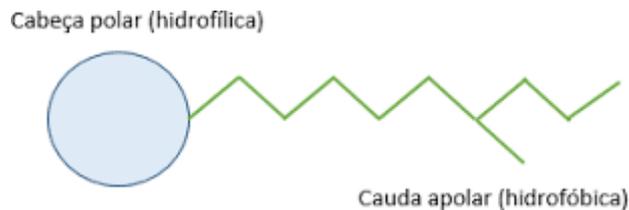
O ambiente como uma das principais ferramentas a rizorremediação e a fitoremediação consiste na degradação de poluentes por microrganismos que se encontram nas raízes de plantas. Segundo Benavidesl, (2024) podem ser classificadas em rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (Plant Growth Promoting Rhizobacteria – PGPR). São exsudatas como fontes de carbono os quais estimulam a sobrevivência e a ação das rizobactérias no solo. Algumas rizobactérias produzem hormônios (auxinas, citocinas, giberelinas) que promovem o desenvolvimento das plantas hospedeiras além de auxiliar na sobrevivência destas em ambientes contaminados por metais pesados.

3.7 Biossurfactante

O Biossurfactante é um surfactante natural que são produzidos como parte da membrana celular de bactérias, leveduras e fungos. Além disso, apresentam algumas vantagens em relação aos surfactantes sintéticos: baixa toxicidade, aceitabilidade ambiental e a possibilidade de produção por fontes renováveis, além de tolerância a temperatura, pH e força iônica, e são biodegradáveis no solo e na água (SANTOS *et al.* 2016). Estas vantagens permitem seu enquadramento em uma gama de aplicações industriais, no entanto os altos custos de produção associados a métodos ineficientes de recuperação e purificação não

permitem a sua utilização em larga escala (JUMA *et al.*, 2020).

Figura 6 - Representação de uma molécula biossurfactante



Fonte: SILVA *et al* (2014)

Enquanto a cabeça hidrofílica geralmente contém grupos funcionais polares, como carboidrato, aminoácido, fosfato, ácido carboxílico ou álcool, a cauda hidrofóbica geralmente contém a cadeia hidrocarbonada de ácidos graxos γ -hidroxi. Devido à sua natureza anfifílica, podem acumular-se entre fases como líquido/sólido, líquido/ gás, líquido/líquido (óleo/água), reduzindo a tensão superficial entre essas duas fases e formando uma emulsão (NAUGHTON *et al.*, 2019) (Figura 2). Com essas propriedades, os tensoativos exercem grande influência em diversas áreas industriais, pois constituem o principal componente da maioria dos produtos que utilizamos no dia a dia (GÜRKÖK; ÖZDAL, 2021).

Os biossurfactantes desempenham uma função crucial na promoção e manutenção de um ambiente agrícola saudável e fértil. Substâncias como ramnolipídeos, sofrorlipídeos e lipopeptídeos desempenham um papel duplo, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo agrícola e atuando como valiosos nutrientes para as plantas (ARAÚJO *et al.*, 2019).

A aplicação de biossurfactante ajudam a manter e melhorar o ambiente agrícola, removendo o material indesejado do solo e restaurando a melhor qualidade do solo. Além disso, os biossurfactante exibem certas propriedades notáveis como formação de espuma, dispersão, umectação, emulsificação, penetração e espessamento que ganharam grande atenção de pesquisadores em todo o mundo nos últimos anos para uso como formulações agroquímicas (RAWAT *et al.*, 2020).

3.7.1 Propriedades do Biossurfactantes

3.7.1.1 Redução da Tensão superficial/ Interfacial

A capacidade de reduzir a tensão superficial e interfacial é uma função crucial das moléculas de biossurfactante. Essa propriedade é essencial para a formação de emulsões cineticamente estabilizadas. Moléculas anfifílicas, incluindo biossurfactantes, têm a

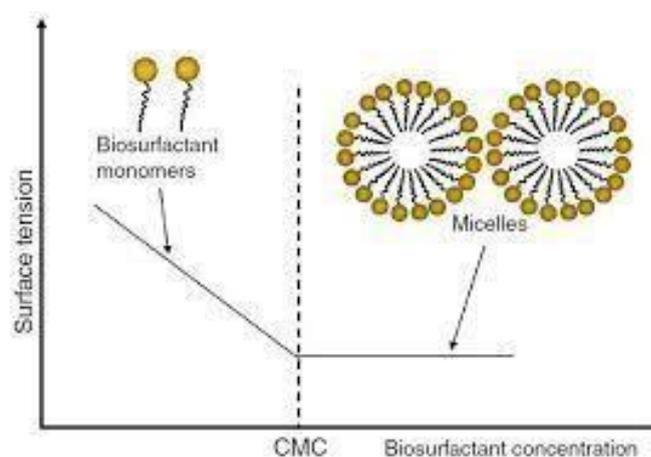
capacidade de adsorver nas interfaces, seja entre (ar/líquido, líquido/líquido ou sólido/líquido), devido à sua dupla natureza hidrofóbica-hidrofílica à medida que as moléculas de surfactante substituem as moléculas de água ou óleo ao longo da interface, elas reduzem efetivamente as forças intermoleculares entre as moléculas do solvente, reduzindo assim a tensão superficial ou interfacial (DRAKONTIS; AMIN, 2020).

3.7.1.2 Concentração Micelar Crítica (CMC)

A propriedade de maior importância para os agentes tensoativos é a tensão superficial, que é a força de atração existente entre as moléculas dos líquidos. A tensão superficial diminui quando a concentração de surfactante do meio aquoso aumenta, ocorrendo a formação de micelas, que são moléculas anfipáticas agregadas com as porções hidrofílicas posicionadas para a parte externa da molécula e as porções hidrofóbicas para a parte interna. (GAUR *et al.*, 2020; SHI *et al.*, 2021)

A concentração destas micelas forma a Concentração Micelar Crítica (CMC). Esta concentração corresponde à mínima concentração de surfactante necessária para que a tensão superficial seja reduzida ao máximo. Quando a CMC é atingida, várias micelas são formadas (Figura 3) (GAUR *et al.*, 2020; SHI *et al.*, 2021).

Figura 7 - Esquema representativo da formação de micelas através da medição da Concentração Micelar Crítica (CMC)



Fonte: AKBARI, 2018.

O CMC é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a atividade dos surfactantes. Também pode ser definido como a solubilidade de um surfactante na fase aquosa. A eficiência e efetividade são as características básicas que determinam um bom Surfactante. A eficiência é medida pelo CMC, enquanto a eficácia está relacionada com tensão superficial e interfacial (SANTOS *et al.*, 2016).

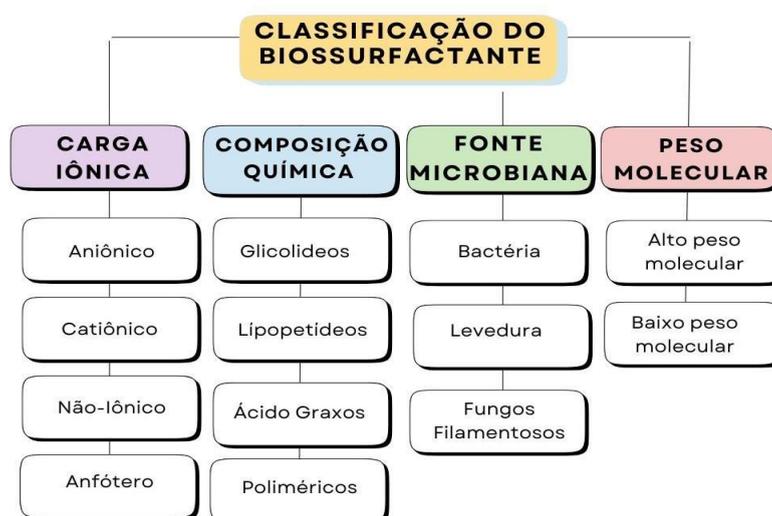
3.7.1.3 Classificação dos Biossurfactantes

Os biossurfactantes apresenta diversas áreas de classificação e são divididos em tensoativos de baixo peso molecular, sendo eficientes redutores de tensões superficiais e interfaciais; polímeros de alto peso molecular, que são agentes estabilizadores de emulsões eficazes (KHAN *et al.*, 2014). Quanto à sua composição química, algumas das classes existentes de biossurfactantes de baixo peso molecular são os glicolipídios, fosfolipídios, ácidos graxos, lipopeptídeos, policetideglicosídeos e ácido espiculispórico, enquanto os tensoativos de alto peso molecular compreendem tensoativos poliméricos e particulados (PACWA-PŁOCINICZAK *et al.* 2011).

Quanto à origem microbiana, existe uma ampla diversidade de microrganismos produtores distribuídos nos mais variados gêneros, abrangendo diferentes espécies de bactérias, leveduras e fungos filamentosos. Tais microrganismos são responsáveis pela produção de biossurfactantes com notável diversidade estrutural e funcional (GUPTA *et al.*, 2020).

Além disso, biossurfactantes podem ser classificados quanto a carga, sendo ele aniônico (carga negativa), catiônico (carga positiva), não-iônico (possui as duas cargas) e anfótero (não possui carga) (VIEIRA *et al.*, 2021). A Figura 4 mostra as classificações dos biossurfactantes de acordo com o peso molecular, composição química, origem microbiana e quanto a sua carga.

Figura 8 - Classificação dos biossurfactantes de acordo com o peso molecular, composição bioquímica, origem microbiana e quanto a sua carga.



Fonte: Próprio Autor (2023).

A maioria dos biossurfactantes são neutros ou aniônicos, enquanto catiônicos são aqueles que contêm grupos amina. A porção hidrofílica pode ser qualquer aminoácido,

carboidrato, peptídeo cíclico, álcool ou ácido fosfato carboxílico e a porção hidrofóbica consiste em ácidos graxos de cadeia longa. A massa molar dos biossurfactantes normalmente varia de 500 a 1500 Da (AKBARI *et al.*, 2018). A maioria dos biossurfactantes são glicolipídeos, estes são carboidratos ligados a ácidos alifáticos de cadeia longa ou ácidos alifáticos hidroxila por um grupo éster. Os glicolipídios bem conhecidos são ramnolipídios, trealolipídios e soforolipídios (MNIF; GHRIBI, 2016).

3.8 Aplicação dos Biossurfactantes

3.8.1 Aplicação na Agricultura

Os biossurfactantes desempenham um papel crucial na preservação de um ambiente agrícola saudável e produtivo, sua aplicação ajuda na proteção contra infecções microbianas de culturas e outras pragas (ARAÚJO *et al.* 2019). Os biossurfactantes também desempenham um papel fundamental na preservação e aprimoramento do ambiente agrícola ao contribuir para a remoção de materiais indesejados do solo, promovendo assim uma melhoria na qualidade do solo. Essas moléculas têm a capacidade única de interagir com poluentes, auxiliando na sua solubilização e facilitando sua remoção do solo. Em particular, os biossurfactantes mostraram eficácia na remoção bem-sucedida de produtos químicos de risco biológico, como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), fenantreno, antraceno e metais pesados (Akbari *et al.*, 2018).

3.8.2 Biossurfactantes: No Crescimento de Planta

Estudos têm demonstrado a introdução de biossurfactantes antes do processo de germinação oferece benefícios para aprimorar a proteção das sementes e a fertilidade das mudas, uma vez que esses compostos possuem propriedades antimicrobianas favoráveis. Além de proporcionarem proteção às sementes por meio de suas propriedades antimicrobianas, os biossurfactantes também desempenham um papel na absorção de substâncias biogênicas pelas plantas. Além disso podem ser aplicados e conjunto com produtos químicos fitofarmacêuticos e contribuem para aumentar a sua solubilidade e níveis de pulverização (SIMÕES *et al.*, 2023).

O mecanismo pelo qual os biossurfactantes promovem o desenvolvimento das plantas estimulando a germinação das sementes. Esse processo inicia-se quando a água entra na semente permitida pelo tegumento, gerando a ativação do metabolismo, o que aumenta o tamanho do eixo embrionário, esse crescimento só ocorre quando os tecidos da bainha embrionária estão permeáveis à água. As moléculas de biossurfactantes, por serem anfifílicas, possuem efeitos duplos equivalentes, protegendo sementes e plantas devido à atividade

antimicrobiana e promovendo imunidade vegetal local e sistêmica, resultando em ampla proteção (SIMÕES *et al.*, 2023).

Todas essas propriedades são citadas, unidas à grande consistência ambiental dessas moléculas biológicas, resultando na aplicação adequada de biossurfactantes na agricultura, reduzindo o uso de agroquímicos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental (SIMÕES *et al.*, 2023).

3.8.3 Biorremediação de metais pesados por Biossurfactantes

Os metais pesados são poluentes nocivos e perigosos e difíceis de degradar eles podem ser transformados ou reduzidos a um estado menos tóxico por meio de biotransformação ou desintoxicação ou podem ser biomineralizados e bioacumulados em células microbianas (Mishra *et al.*, 2020). Tendo em vista que, os biossurfactantes emergem como compostos promissores capazes de eliminar poluentes de metais pesados, utilizando diversas estratégias de interação, como mobilização, solubilização, emulsificação e complexação. Parâmetros físico-químicos, incluindo pH e temperatura podem reduzir ou aumentar a eficiência desses processos, influenciando a estabilidade e a biodisponibilidade de íons de metais pesados (Akbari *et al.*, 2018).

Segundo (Lal *et al.*, 2018) os surfactantes microbianos podem interagir com íons metálicos, gerando complexos biossurfactante-metal por meio de interações eletrostáticas, precipitação e troca iônica. Dois mecanismos subjacentes aos fenômenos de dessorção de metais em solos contaminados foram propostos. O primeiro mecanismo envolve a complexação biossurfactante-metal, e o outro envolve o acúmulo de íons de metais pesados em surfactantes microbianos em solos poluídos por metais pesados.

A complexação de metais pesados com surfactantes microbianos é um mecanismo geral no qual a atividade da fase de solução dos metais é diminuída e a dessorção de metais de solos contaminados é induzida (Tang *et al.*, 2017). Esse mecanismo é considerado o principal, envolvendo a interação direta entre o biossurfactante e os íons de metais pesados, que são adsorvidos na interface da interfase da solução sólida sob atividade interfacial reduzida, permitindo o acúmulo de metal pelo biossurfactante na solução sólida (Guan *et al.*, 2017).

A atividade interfacial reduzida e a tensão superficial dos biossurfactantes desempenham papéis importantes na eliminação de metais pesados do solo, promovendo a formação de micelas (COSTA ET AL., 2010).

As micelas podem se ligar a íons metálicos com carga oposta e auxiliar na recuperação de metais pesados, aumentando a solubilidade e a mobilidade dos metais pesados. A solubilização e mobilização dependem do mecanismo de formação de micelas e da CMC

(SAR-UBBO *ET AL.*, 2015).

A concentração de biossurfactante é um parâmetro importante para a remediação de metais pesados (LIMA *ET AL.*, 2011; MARCHANT E BANAT, 2012). Uma concentração mais elevada de biossurfactante resulta numa maior taxa de remoção de metais pesados, enquanto uma concentração mais baixa resulta numa menor taxa de remoção de metais pesados. relataram que o aumento da concentração do biossurfactante de 0,5% para 3% aumentou a afinidade de ligação ao metal pesado do biossurfactante. A tensão interfacial entre uma superfície sólida e metais pesados diminuiu com a adição de biossurfactantes, aumentando assim a mobilidade dos metais pesados (SAR-UBBO *ET AL.*, 2015).

REFERÊNCIAS

ABOU-ALY *et al.*, Reduction of heavy metals bioaccumulation in sorghum and its rhizosphere by heavy metals- tolerant bacterial consortium. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 31, 101-150, 2021.

ALMODARES A *et al.*, Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweetsorghum cultivars and lines. *J Environ Biol* v.28, n.3, p.527-531, 2021.

AKBARI, Sweeta *et al.* Biosurfactants—a new frontier for social and environmental safety: a mini review. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 2, n. 1, p. 81-90, 2018.

ARAÚJO, H. W., Andrade, R. F., Montero-Rodríguez, D., Rubio-Ribeaux, D., Alves da Silva, C. A., & Campos-Takaki, G. M. (2019). Sustainable biosurfactant produced by *Serratia marcescens* UCP 1549 and its suitability for agricultural and marine bioremediation applications. **Microbial Cell Factories**, v. 18, n. 1, p. 1-1310.1186/s12934-018- 1046-0.

BENAVIDES, Oscar Oswaldo Prieto *et al.* Benefícios das micorrizas arbusculares em técnicas de fitorremediação para descontaminação de solos no Equador. **PENTACIENCIAS Revista Científica Multidisciplinar Referida** , v. 6, não. 1 pág. 187-202, 2024.

CHAHTANE, Hicham; KIM, Woohyun; LOPEZ-MOLINA, Luis. Primary seed dormancy: a temporally multilayered riddle waiting to be unlocked. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 4, p. 857-869, 2017

DAVIN-REGLI, Anne; PAGÈS, Jean-Marie. Enterobacter aerogenes and Enterobacter cloacae; versatile bacterial pathogens confronting antibiotic treatment. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 392- 432, 2021.

DE PAULA, Fernanda *et al.* A Comparison of Microbial Communities of Mango and Orange Residues for Bioprospecting of Biosurfactant Producers. **Ecologies**, v. 3, n. 2, p. 120-130, 2022.

DRAKONTIS, Constantina Eleni; AMIN, Samiul. Biosurfactants: Formulations, properties, and applications. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 48, p. 77-90, 2020.

DOS SANTOS SILVA, Bruna Regina *et al.* Germinação e alterações anatômicas em sementes de *Erythrina velutina* Willd. escarificadas com ácido sulfúrico (H₂SO₄). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11092-11106, 2021.

HENNEBEL, T.; BOON, N.; MAES, S.; LENZ, M. Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R & D priorities and future perspectives. **New Biotechnology**, v. 32, p. 121- 127,2015.

GUPTA, Bulbul *et al.* Enhanced pyrene degradation by a biosurfactant producing *Acinetobacter baumannii* BJ5: Growth kinetics, toxicity and substrate inhibition studies. **Environmental Technology & Innovation**, v. 19, p. 100804, 2020.

GAUR, Vivek Kumar *et al.* Rhamnolipids from *Planococcus* spp. and their mechanism of action against pathogenic bacteria. **Bioresource technology**, v. 307, p. 123-206, 2020.

GURKOK, Sumeyra; OZDAL, Murat. Purification and characterization of a novel extracellular, alkaline, thermoactive, and detergent-compatible lipase from *Aeromonas caviae* LipT51 for application in detergent industry. **Protein expression and purification**, v. 180, p. 105819, 2021.

JUMA, Abulaziz *et al.* Microscopic investigation of the combined use of antibiotics and biosurfactants on methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 1477, 2020.

LAL, Shatrohan *et al.* Biosurfactant and exopolysaccharide-assisted rhizobacterial technique for the remediation of heavy metal contaminated soil: An advancement in metal phytoremediation technology. **Environmental Technology & Innovation**, v. 10, p. 243- 263, 2018.

LEITE, Ranyele Renata *et al.* Toxic effect of elements on the germination and initial development of barley seeds (*Hordeum vulgare* L.). **Brazilian Journal of Science**, v. 3,n. 2, p. 123-131, 2024.

LIU, T. T.; HUANG, D. Y.; ZHU, Q. H.; ZHOU, J. L.; ZHANG, Q.; ZHU, H. H.; XU, C. Increasing soil moisture facilitates the outcomes of exogenous sulfate rather than element sulfur in reducing cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). **Ecotoxicology and environmental safety**, v.191, p.110- 200, 2020.

KARAM, D.; DA CRUZ, M. B. Características do herbicida Foramsulfuron Iodosulfuron-Methyl-Sodium na cultura do milho. 2021.

MACHADO, JR de A.; FONTANELI, Renato Serena. Inserção das culturas de milho e sorgo na agricultura familiar na região sul brasileira. 2014.

MENDES, R. A., COELHO, A. Í. M., & AZEREDO, R. M. C. D. Contaminação por

- Bacillus cereus em Bacillus cereus ATCC 14579. **BMC Microbiol**, v. 8, n. 62, 2020.
- MELLEGARD, Hilde *et al.* A inibição da Bacillus cereus consequência de esporos ea multiplicação por quitosana. **Jornal Internacional de microbiologia de alimentos**, v. 149, n.3, p.218-225, 2011.
- MNIF, Inès; GHRIBI, Dhouha. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 13, p. 4310-4320, 2016.
- NAUGHTON, P. J. *et al.* Microbial biosurfactants: current trends and applications in agricultural and biomedical industries. **Journal of applied microbiology**, v. 127, n. 1, p. 12-28, 2019.
- NETA, Izabel Costa Silva *et al.* Teste de condutividade elétrica em sementes de Crambe abyssinica Hoechst. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 1, p. 1469-1481, 2024.
- MISHRA, Sandhya *et al.* Carbofuran toxicity and its microbial degradation in contaminated environments. **Chemosphere**, v. 259, p. 127419, 2020.
- NOGUEIRA, Maíra Oliveira; FERNANDES, Alana. descarte e reaproveitamento do e-lixo nas lojas de assistência técnicas de equipamentos eletrônicos na cidade de xapuri- acre. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, 2024.
- PACWA-PŁOCINICZAK, Magdalena *et al.* Environmental applications of biosurfactants: recent advances. **International journal of molecular sciences**, v. 12, n. 1, p. 633-654, 2011.
- PHULPOTO, I. A. *et al.* Production and characterization of surfactin-like biosurfactant produced by novel strain Bacillus nealsonii S2MT and it's potential for oil contaminated soil remediation. **Microbial Cell Factories**, v. 19, n. 1, p. 1–12, 2020.
- PILON-SMITS E . Phytoremediation . **Annu Rev Plant Biol** v. 56, p.15-39, 2005.
- RAMALHO, Jair Felipe Garcia Pereira; AMARAL SOBRINHO, Nelson Moura Brasil do. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, p. 120-129, 2024.
- RAWAT, Geeta; DHASMANA, Anupam; KUMAR, Vivek. Biosurfactants: the next generation biomolecule for diverse applications. **Environmental Sustainability**, v. 3, p. 353-369, 2020.
- SANTOS, Danyelle Khadydja F. *et al.* Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 3, p. 401, 2016
- SHAARI, N. E. M. *et al.* Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 143- 252, 2022.

SHI, Lingli *et al.* Anti-agglomeration evaluation and Raman spectroscopic analysis on mixed biosurfactants for preventing CH₄ hydrate blockage in n-octane+ water systems. **Energy**, v. 229, p. 120755, 2021.

SILVA, Patrícia Cândido da Cruz *et al.* Qualidade de sementes de *Handroanthus serratifolius* (Vahl) SO Grose avaliada pelo teste de condutividade elétrica¹. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, 2021

SILVA, Edevaldo; SANTOS, Pedro; DE FÁTIMA GUILHERME, Maria. Chumbo nas plantas: uma breve revisão sobre seus efeitos, mecanismos toxicológicos e remediação. **Agrarian Academy**, v. 2, n. 03, 2015.

SACRAMENTO SILVA, Rita De Cássia FS *et al.* Applications of biosurfactants in the petroleum industry and the remediation of oil spills. **International journal of molecular sciences**, v. 15, n. 7, p. 12523-12542, 2014.

SWAIN G, *et al.* Phytoremediation of Copper and Cadmium from Water Using Water Hyacinth, *Eichhornia Crassipes*. **International Journal of Agricultural Science and Technology** v. 2, n. 1, p. 1-7, 2014.

SILVA DC, Alves EU, Santos-Moura SS, Ursulino MM, Araújo Estresse salino e diferentes temperaturas alteram a fisiologia em sementes de *Clitoria fairchildiana* Howard. **Ciência Florestal** v. 29, p. 1129-1141, 2019.

SIMÕES, Luara Aparecida *et al.* Biosurfactants and their benefits for seeds. In: **Advancements in Biosurfactants Research**. Cham: Springer International Publishing, p. 309-329, 2023.

SOUZA, V.F.; PARRELLA, R.A.C.; TARDIN, F.D.; COSTA, M.R.; CARVALHO, G.A.; SCHAFFERT, R.E. Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** v.13, p.144-151, 2022.

TANG, Jian *et al.* Removal of heavy metals with sequential sludge washing techniques using saponin: optimization conditions, kinetics, removal effectiveness, binding intensity, mobility and mechanism. **RSC advances**, v. 7, n. 53, p. 33385-33401, 2017.

U, T.; RASTEGAR, S.O.; MOUSAVI, S.M.; LI, M.; ZHOU, M. **Advances in bioleaching for recovery of metals and bioremediation of fuel ash and sewage sludge**. *Bioresource Technology*, v. 261, p. 428- 440, 2018.

VIEIRA, Isabela Maria Monteiro *et al.* An overview of current research and developments in biosurfactants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 100, p. 1-18, 2021.

WANG, H.; WANG, Y.; YANG, R. Recent progress in *Bacillus subtilis* spore-surface display: concept, progress, and future. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.101, n. 3, p. 933-949, 2019. doi: 10.1007/s00253-016-80809.

ID - 1897

CAPÍTULO II – Capítulo Publicado: Editora Amplia

DINÂMICAS AMBIENTAIS E RECURSOS NATURAIS

PERSPECTIVAS GLOBAIS E AÇÕES LOCAIS

ORGANIZADOR
HIGOR BRITO



Organizador: Higor Brito

ISBN: 978-65-5381-200-0

DOI: 10.51859/ampla.dar4100-0

Ano da publicação: 2024

CAPÍTULO XIV

ABORDAGENS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS APLICADAS NA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL APPROACHES APPLIED IN THE RECOVERY OF ENVIRONMENTS CONTAMINATED BY CADMIUM AND LEAD

DOI: 10.51859/ampla.dar4100-14

Jessyca Camilla Bandeira Alves ¹
Isabela Natália Ferreira da Silva ²
Adriana Ferreira Souza ³
Josimar Gurgel Fernandes ⁴
Galba Maria de Campos-Takaki ⁵

¹ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

² Pós-Doutorado em Biotecnologia -CNPq, Univer. Vale dos Sinos-UNISSINOS/Univers. Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

³ Curadora do Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais-NPCIAMB, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

⁴ Pesquisador, Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Recife-PE.

⁵ Professor Titular Escola ICAM TECH, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

RESUMO

As contaminações causadas pelos metais pesados cádmio (Cd) e chumbo(Pb) tornam-se um problema ambiental generalizado que requer solução profunda e sustentável. Esses elementos tóxicos podem ocorrer naturalmente na crosta terrestre ou ser de origem artificial. O cádmio e o chumbo podem acumular-se e translocar-se no solo a longo prazo, aumentando a toxicidade e infertilidade do solo. Dessa forma, o risco de entrar na cadeia alimentar é extremamente elevado e os efeitos sobre os organismos vivos na cadeia alimentar são de grande preocupação. A exposição humana ao cádmio e ao chumbo pode causar doenças graves a saúde, além da ameaça ao sistema nervoso. Portanto, é essencial a remoção de cádmio e chumbo do solo antes de entrarem na cadeia alimentar, além de monitorar as principais fontes de contaminação para um ecossistema sustentável. Neste sentido, a revisão apresenta o risco para a saúde humana de cádmio e chumbo, além da busca de práticas agrícolas ecologicamente corretas,

visando uma produção segura sustentável de alimentos, em especial *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Palavras-chave: Metais pesados. Toxicidade. Conservação Ambiental. Cadeia Alimentar. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Contamination caused by the heavy metals cadmium (Cd) and lead (Pb) has become a widespread environmental problem that requires a profound and sustainable solution. These toxic elements can occur naturally in the Earth's crust or be of artificial origin. Cadmium and lead can accumulate and translocate in the soil over the long term, increasing soil toxicity and infertility. Therefore, the risk of entering the food chain is extremely high and the effects on living organisms in the food chain are of great concern. Human exposure to cadmium and lead can cause serious health illnesses, in addition to threatening the nervous system. Therefore, it is essential to remove cadmium and lead from the

ABORDAGENS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS APLICADAS NA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS POR CÁDMIO E CHUMBO

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL APPROACHES APPLIED IN THE RECOVERY OF ENVIRONMENTS CONTAMINATED BY CADMIUM AND LEAD

Jessyca Camilla Bandeira Alves¹

jessycamilla@gmail.com

Isabela Natália Ferreira da Silva²

isabelanatalia670@gmail.com

Adriana Ferreira Souza³

adriana.souza@unicap.br

Josimar Gurgel Fernandes⁴

josimar.gurgel@ipa.br

Galba Maria de Campos-Takaki⁵

galba.takaki@unicap.br

¹ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

² Pós-Doutorado em Biotecnologia -CNPq, Univer. Vale dos Sinos-UNISSINOS/
Univers. Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

³ Curadora do Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais-NPCIAMB
Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

⁴ Pesquisador, Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Recife-PE.

⁵ Professor Titular Escola ICAM TECH, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife-PE

RESUMO

As contaminações causadas pelos metais pesados cádmio (Cd) e chumbo(Pb) tornam-se um problema ambiental generalizado que requer solução profunda e sustentável. Esses elementos tóxicos podem ocorrer naturalmente na crosta terrestre ou ser de origem artificial. O cádmio e o chumbo podem acumular-se e translocar-se no solo a longo prazo, aumentando a toxicidade e infertilidade do solo. Dessa forma, o risco de entrar na cadeia alimentar é extremamente elevado e os efeitos sobre os organismos vivos na cadeia alimentar são de grande preocupação. A exposição humana ao cádmio e ao chumbo pode causar doenças graves a saúde, além da ameaça ao sistema nervoso. Portanto, é essencial a remoção de cádmio e chumbo do solo antes de entrarem na cadeia alimentar, além de monitorar as principais fontes de contaminação para um ecossistema sustentável. Neste sentido, a revisão apresenta o risco para a saúde humana de cádmio e chumbo, além da busca de práticas agrícolas ecologicamente corretas, visando uma produção segura sustentável de alimentos, em especial *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Palavras-chave: Metais pesados. Toxicidade. Conservação Ambiental. Cadeia Alimentar. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Contamination caused by the heavy metals cadmium (Cd) and lead (Pb) has become a widespread environmental problem that requires a profound and sustainable solution. These toxic elements can occur naturally in the Earth's crust or be of artificial origin. Cadmium and

lead can accumulate and translocate in the soil over the long term, increasing soil toxicity and infertility. Therefore, the risk of entering the food chain is extremely high and the effects on living organisms in the food chain are of great concern. Human exposure to cadmium and lead can cause serious health illnesses, in addition to threatening the nervous system. Therefore, it is essential to remove cadmium and lead from the soil before they enter the food chain, in addition to monitoring the main sources of contamination for a sustainable ecosystem. In this sense, the review presents the risk to human health of cadmium and lead, in addition to the search for ecologically correct agricultural practices, aiming at safe sustainable food production, especially *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Keywords: Heavy metals. Toxicity. Environmental Conservation. Food chain. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O Cádmi (Cd) ocorre naturalmente na crosta terrestre e nas rochas sedimentares, variando de 0,1 a 15 mg kg⁻¹[GARG *et al.*, 2014]. Da mesma forma, o Chumbo (Pb) está abundantemente presente na crosta terrestre, com concentrações de até 14 mg kg⁻¹ [WILK *et al.*, 2016]. Portanto, a toxicidade de metais pesados para todas as formas de vida pode ser desde pequenas a elevadas quantidades [KHALID *et al.*, 2017; BAKR *et al.*, 2023]. E, quando ocorre acumulação de elevadas concentrações de metais pesados nos recursos hídricos e no solo, observa-se danos irreversíveis, prejudiciais ao meio ambiente, afetando negativamente a fertilidade do solo e a produtividade das culturas [AHMAD, 2011; ARORA *et al.*, 2017; ALI *et al.*, 2020].

Assim, a toxicidade e a bioacumulação de metais pesados são algumas das preocupações globais emergentes que afetam as várias formas de vida, incluindo plantas, animais e seres humanos. Na maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, a contaminação por Cádmi nos arrozais e a sua subsequente transferência nos sistemas solo-arroz são particularmente preocupantes. Existem discrepâncias significativas no processo de transferência de fontes de poluição por Cádmi do solo para o arroz, causando graves danos ao meio ambiente [WANG *et al.*, 2023].

E, tradicionalmente os métodos convencionais vêm sendo utilizados para descontaminar e recuperar ambientes impactados por metais pesados Cádmi empregando metodologias físico-químicas, destacando-se: adsorção [ZHANG, *et al.*, 2022], precipitação química [CHEN *et al.*, 2018], remoção baseada em nano material [YU *et al.*, 2021], osmose reversa [LI, 2017], troca iônica [BENDERRAG *et al.*, 2019], filtração por membrana [PENG,

2020] e espectrometria por absorção atômica [BAKR *et al.*, 2023]. No entanto, essas estratégias empregadas enfrentam limitações em sua aplicabilidade e frequentemente, mostram-se inadequadas e não econômicas para a remediação ambiental, devido aos elevados custos operacionais envolvidos.

Diante desse cenário, está sendo apresentado novas abordagens, em especial as biotecnológicas, que não apenas oferecem uma alternativa mais econômica, mas também são ecologicamente sustentáveis, proporcionando uma remediação de metais pesados mais eficaz e amigável ao meio ambiente [ZHANG *et al.*, 2022]. Neste sentido, a revisão está dirigida para estudos relevantes com os metais pesados Cádmio e Chumbo relacionados às contaminações ambientais agrícolas, em especial, com *Sorghum bicolor*, considerando a importância desse cereal e valor nutricional para a saúde humana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impactos ambientais causados pela contaminação com Cádmio (Cd) No Solo e em *Sorghum Bicolor*

A toxicidade do Cádmio de fato, torna-se um problema significativo em muitos países e amplamente reconhecido pelo impacto prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente. Segundo a Portaria SDA Nº 811, de 29 de maio de 2023, Secretária de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, declaram que, em especial, para os limites de concentrações de metais pesados no solo padrão Cádmio (Cd) é de 0,7 mg/kg e Chumbo (Pb) de 45 mg/kg. Contudo, essas concentrações dos metais pesados Cádmio e Chumbo excedem estes limites recomendados podendo ser uma importante fonte de contaminação do solo e sendo perigoso para o equilíbrio ecológico.

O Cádmio ocupa a sétima posição de acordo com a classificação da Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR). O Cádmio é um metal pesado tóxico, muito prevalente na camada superficial do solo, devido a introdução de fertilizantes sintéticos e pesticidas, sendo um metal venenoso para plantas, animais e humanos, classificado como carcinogênico [PIUS, 2009; CHARKIEWICZ *et al.*, 2023].

O aumento de Cádmio (Cd) no ambiente vem sendo decorrente do aumento populacional e da urbanização, bem como, do desenvolvimento da industrialização, tornando-se necessário a remediação do Cádmio presente no solo, na água e em outros recursos

naturais. Contudo para resolver esta questão, diversas técnicas de remediação vêm sendo realizadas, entre as quais, a biorremediação vem emergindo como o melhor método.

Assim, várias técnicas convencionais para remediação de solos contaminados com cádmio e os desafios associados a essas técnicas vêm demonstrando a necessidade de aplicar diferentes abordagens no processo de remediação. As técnicas com maior indicação é remediação eletro cinética, eluição química, estabilização e solidificação, e fitorremediação. É recomendado estabelecer foco nas abordagens, na busca da eficiência e praticidade, das metodologias, além do destaque das limitações e implicações ambientais [ALENGEBAWY *et al.*, 2021; DUBEY, SIKKA and SINGH, 2022; SIKKA *et al.*, 2024].

A poluição por Cádmio (Cd) pode causar uma série de ameaças ao crescimento das plantas e à saúde humana. Embora, os mecanismos que controlam a resposta ao Cádmio tenham sido elucidados em outras espécies, no entanto, permanece desconhecido em Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), um importante cereal na alimentação. Estudos foram realizados com mudas de sorgo de uma semana de idade, expostas a diferentes concentrações (0, 10, 20, 50, 100 e 150 μM) de CdCl_2 . Os resultados obtidos demonstraram que o estresse por Cádmio está relacionado à redução das atividades das enzimas peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), glutathione S-transferase (GST) e catalase (CAT). No entanto, promove o aumento dos níveis de malondialdeído (MDA), levando à inibição da altura das plantas, diminuição da densidade de raízes laterais e na produção de biomassa vegetal [JIAO *et al.*, 2023].

2.2. Papel dos micro-organismos na conservação do solo e na biorremediação da poluição causada por Cádmio (Cd)

O solo é o habitat para um grupo diversificado de micro-organismos que desempenham um papel importante no solo. Os micro-organismos são considerados sensores de perturbações no ecossistema do solo, considerando a composição do microbioma, uma vez que são muito mais sensíveis ao estresse ambiental do que os macro-organismos [ZHANG *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2016; CHAUHAN *et al.*, 2023]. E, o cádmio (Cd) como um oligoelemento não essencial, está amplamente distribuído no meio ambiente. As fontes geogênicas como antropogênicas podem elevar as concentrações de Cádmio nos solos e nas águas subterrâneas, que são importantes para manter o abastecimento saudável de alimentos e

água potável segura. Contudo, doses elevadas de Cádmio são cancerígenas para os seres humanos. [KUBIER *et al.*, 2019].

Além disso, os micro-organismos do solo estão principalmente envolvidos na decomposição de materiais, um processo importante na manutenção da atividade biológica do solo, bem como, na regulação da circulação de nutrientes no solo. Assim, as comunidades microbianas estáveis atuam protegendo e estabilizando estrutura do solo, além de manter as condições físicas e químicas do solo [BISSETT *et al.*, 2013; YU *et al.*, 2021; CHAUHAN *et al.*, 2023].

Portanto, a presença de micro-organismos com elevado potencial biotecnológico, além das características de composição e atividade da comunidade microbiana vêm sendo frequentemente utilizadas como indicadores da qualidade do solo [HAMMAN *et al.*, 2007; RUBIN *et al.*, 2013; YU *et al.*, 2021]. Além disso, vários micro-organismos do solo foram relatados como eficazes na remediação de metais pesados. Neste contexto, Suksabye *et al.* (2016) relataram que a adição de *Pseudomonas aeruginosa* ou *Bacillus subtilis* ao solo apresentou elevado potencial de biorremediação, reduzindo a quantidade de Cd em grãos de arroz plantado em solo contaminado com Cádmio. Atualmente, a remediação microbiana de solos contaminados com metais pesados é considerada uma abordagem biotecnológica eficiente e econômica [JIN *et al.*, 2018].

Estudos recentes demonstraram que três bactérias resistentes ao Cádmio com base na tolerância ao Cádmio, identificadas como *Bacillus velezensis* QZG6, *Enterobacter cloacae* QZS3 e *Bacillus cereus* QZS8, e inoculadas com *Sorghum bicolor* promoveu significativamente a biomassa das plantas de sorgo em 31,52%, 50,20% e 26,93%, respectivamente, quando com as plantas não inoculadas e sob exposição ao Cádmio. W ainda, as enzimas SOD, POD e MDA em plantas de *S. bicolor* estressadas com a presença de Cádmio foram reduzidas reduzida em 65,74%, 31,52% e 80,91%, respectivamente. Os experimentos em vasos com as cepas QZG6, QZS3 e QZS8 promoveram significativamente a biomassa de plantas de *Sorghum bicolor* em 47,30%, 19,27% e 58,47%, em comparação com aquelas de plantas não inoculadas e sob a exposição de Cádmio. Todas as bactérias estudadas aumentaram significativamente a eficiência de remoção de Cádmio das plantas em 42,16% (QZG6), 18,76% (QZS3) e 21,06% (QZS8). Os resultados indicaram que as três bactérias apresentam elevado potencial biotecnológico para promover o crescimento das plantas de sob estresse por Cádmio, provavelmente através da desintoxicação do Cádmio pelos sideróforos, facilita a regulação do

crescimento fornecendo nutrientes N/P e fitohormônio. E como conclusão o estudo mostrou uma nova visão da associação micro-organismos-plantas, visando a remediação de Cádmiu em solos contaminados [CHEN *et al.*, 2024].

Investigações foram realizadas com bactérias Gram positivas *Bacillus cereus* UCP1528 e *B. subtilis* UCP 1602 que confirmaram a elevada tolerância ao Cádmiu, bem como as bactérias Gram negativas *Pseudomonas fluorescens* UCP1514 e *Enterobacter cloacae* UCP 1597 também demonstram potencial na tolerância ao Cádmiu (**Tabela 1**). Os resultados obtidos sugerem o emprego dessas bactérias no cultivo agrícola de *Sorghum bicolor*, destacando-se as bactérias do gênero *Bacillus* no processo de biorremediação de Cádmiu, como evidenciado por Chen *et al.* (2024).

Tabela 1. Bactérias com tolerância e habilidade de biorremediação de Cádmiu (Cd)

BACTÉRIAS/ COLEÇÃO UCP	TOLERÂNCIA / CÁDMIO - Cd (mg/mL)
<i>Bacillus cereus</i> UCP 1528	25,0
<i>B. subtilis</i> . UCP 1602	25,0
<i>Pseudomonas fluorescens</i> UCP1514	12,5
<i>Enterobacter cloacae</i> UCP 1597	12,5

Fonte: Autoria própria.

As bactérias, em especial, do gênero *Bacillus* demonstraram ser importantes micro-organismos, com elevado potencial biotecnológico no processo de biorremediação de Cd, e ainda, apresentam reconhecidamente ser agentes de biocontrole de vários fitopatógenos [JANGIR *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2024].

2.3 Chumbo (Pb): Características Gerais, Poluição, Toxicidade e Biorremediação

O chumbo é considerado o metal tóxico causador das ameaças mais diversas, gerando preocupações da conservação ambiental [JOHNSON *et al.*, 2013, WIEMEYER *et al.*, 2017]. O chumbo é um dos metais pesados mais tóxicos conhecidos que afetam a saúde de diferentes

espécies e vêm sendo um problema mundial de contaminação por envenenamento, em especial para aves de vida livre [De FRANCISCO *et al.*, 2003].

Na área ambiental, a poluição por chumbo nos solos é preocupante em todo o mundo, sendo um elevado risco para o ambiente e para a saúde humana, além de terras agrícolas, devido a insumos antropogênicos provenientes da mineração, fundição, queima de combustíveis fósseis, fertilizantes fosfatados e lamas de esgoto (NAVARRO *et al.*, 2008). A intoxicação por chumbo é mais comum em bovinos e cães (animais de estimação) na medicina veterinária. Fatores de risco significativos associados às toxicidades incluem animais jovens com maior acessibilidade ao chumbo. A toxicidade do chumbo em animais pode servir como sentinela para detectar a contaminação ambiental por chumbo e os riscos relacionados para a saúde humana. Os autores sugerem O uso de tinta sem chumbo, a mudança para gralha não tóxica em vez de gralha de chumbo e outras práticas poderiam eventualmente minimizar os efeitos do chumbo no meio ambiente e na saúde do gado, da vida selvagem e dos seres humanos a longo prazo. [SHIKHA *et al.*, 2024].

Considerando ainda, a elevada toxicidade do chumbo, o solo agrícola poluído afeta o crescimento das culturas e a qualidade dos produtos agrícolas, além de ser uma ameaça à saúde humana através da contaminação na cadeia alimentar. O envenenamento por chumbo em humanos e animais é um problema sério em escala global [JAGOTA *et al.*, 2024].

Neste contexto, um estudo multidisciplinar considerou os fatores químicos, físicos e biológicos que afetam a biodisponibilidade de metais tóxicos nos solos e que podem ser incorporados às culturas, através da mobilização de metais nos solos, acúmulo nas culturas de sorgo e risco toxicológico. Os resultados mostraram que as concentrações de Pb nos solos de vários locais estavam acima dos níveis máximos. A biodisponibilidade dos metais não foi diretamente relacionada ao pH, a percentagem de micro-organismos ou condutividade elétrica, não sendo observada associação entre os metais e diferentes gêneros de fungos. As culturas de sorgo acumularam Pb, principalmente nas raízes em todas as fases de crescimento em baixos níveis, sem risco toxicológico Os autores sugerem que o sorgo pode ser utilizado um como um possível fitoestabilizador de chumbo em solo [BLANCO *et al.*, 2016]

O chumbo (Pb), elemento tóxico que não é necessário para nenhuma função conhecida nos organismos vivos; portanto, não é considerado essencial, considerando que não se decompõe e persiste no meio ambiente por um período de tempo indeterminado, inclusive no solo, na água e no ar. O Pb causa graves problemas a saúde e ao meio ambiente,

sendo necessário desenvolver soluções de remediação que eficazes e eficientes. As bactérias se protegem do chumbo de muitas maneiras, incluindo biossorção, efluxo e síntese de quelantes metálicos, como sideróforos e metalotioneínas, produção de exopolissacarídeos, sequestro extracelular e bioacumulação intracelular. As bactérias também produzem quelantes de metais, como sideróforos e metalotioneínas, sendo uma alternativa promissora para a remoção da contaminação por chumbo. Neste contexto, as estratégias de remediação microbiana vêm crescendo, uma vez que são processos eco amigáveis e económicas. Os micro-organismos normalmente têm a capacidade de remover eficientemente metais pesados devido à sua elevada relação superfície/volume e estão disponíveis em grandes quantidades a baixo custo [GUPTA *et al.*, 2024].

Assim, a biorremediação de múltiplos poluentes, inclusive metais pesados, pode ocorrer bioacumulação ou biossorção, dependendo do tipo de micro-organismo e da espécie de metal pesado. Acredita-se que a parede celular bacteriana, que contém muitos grupos funcionais aniônicos capazes de se ligar a metais pesados, de forma eficaz para adsorver cátions metais pesados [PRIYADARSHANEE and DAS., 2024]. Baseado nestes fatos, avaliamos a tolerância ao metal chumbo por bactérias isoladas de solos, mantidas em coleção de cultura e utilização no processo de biorremediação ambiental por chumbo, como apresentado na Tabela 2.

As bactérias utilizadas foram efetivamente capazes de tolerar diferentes concentrações de chumbo (112,5 a 125,0 mg/mL) demonstrando elevado crescimento, sugerindo o emprego em processos de biorremediação. Com os resultados obtidos fica evidenciado que o *Bacillus subtilis* e o *B. cereus* demonstraram o potencial mais elevado de tolerância ao Pb, além de apresentarem habilidade de adaptar à exposição de chumbo.

Tabela 2. Capacidade bacteriana de tolerar diferentes concentrações de Chumbo (Pb)

BACTÉRIAS/ COLEÇÃO UCP	TOLERÂNCIA / CHUMBO - Pb (mg/mL)
<i>Bacillus cereus</i> UCP 1528	125,0
<i>B. subtilis.</i> UCP 1602	125,0
<i>Pseudomonas fluorescens</i> UCP1514	112,5
<i>Enterobacter cloacae</i> UCP 1597	112,5

Fonte: Autoria própria.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a presente revisão demonstra que os problemas e riscos ambientais, na saúde e em especial, na agricultura dos metais pesados Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb). Ressalta-se o uso promissor da Biorremediação com o uso de micro-organismos com tolerância a elevadas concentrações de metais pesados, cujo potencial possibilita o aumento da capacidade de remediar ambientes contaminados com metais pesados. Adicionalmente, os riscos do consumo de culturas alimentares contaminadas com metais pesados que podem atingir a cadeia alimentar, gerando uma rota de exposição a danos para a saúde humana. E ainda, os recursos naturais contaminados (solo e água) necessitam de atenção urgente para a remediação, à medida que são transferidos através da cadeia alimentar, criando riscos ecológicos e de saúde nos níveis tróficos relacionados. No entanto, presença da biodiversidade microbiana de cada ecossistema tem capacidade intrínseca para remediar as contaminações causadas por Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb), além de oferecer regulação nutricional para as plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq)- (GMCT Processo N^o. 312242/2022-4) e (INFS Processo N^o. 384208/2023-1) e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE)- JCBA Processo IBPG -0851-3.06/22).

REFERÊNCIAS

ALENGEBAWY A, ABDELKHALEK ST, QURESHI SR, WANG M-Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*, v.9, n.3, p. 2, 2021.

AHMAD, I.; AKHTAR, M.J.; ZAHIR, Z.A.; JAMIL – PAK, A. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, v.44, n.5, p. 1569-1574, 2012.

ARORA, V.; SONI, U.; MITTAL, M.; YADAV, S.; SAPRA, S. Synthesis of trap emission free cadmium sulfide quantum dots: Role of phosphonic acids and halide ions. Journal of Colloid and Interface Science, v. 491, p. 329-335, 2017.

ALI, U., ZHONG, M., SHAR, T. *et al.* The Influence of pH on Cadmium Accumulation in Seedlings of Rice (*Oryza sativa* L.). Journal Plant Growth Regulation, v. 39, p.930–940, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10034>

BAKR, S.; SAYED, M.A.; SALEM, K.M.; E MORSI, E.M.; MOHAMED MASOUD, M.; EZZAT, E.M. Lead (Pb) and cadmium (Cd) blood levels and potential hematological health risk among inhabitants of the claimed hazardous region around Qaroun Lake in Egypt. BMC Public Health, v.23 -1071, p1-11, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16007-w>

BENDERRAG, A.; HADDOU, B.; DAAOU, M.; BENKHEDJA, H.; BOUNACEUR B.; KAMECHE, M. Experimental and modeling studies on Cd (II) ions extraction by emulsion liquid membrane using Triton X-100 as biodegradable surfactant. Journal Environmental Chemical Engineering, v. 7, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103166>

BISSETT, A.; BROWN, M. V.,; SICILIANO; S. D., THRALLO P. H. Microbial community responses to anthropogenically induced environmental change: towards a systems approach. Ecology Letters, v.16, p. 128–139, 2013.

BLANCO A., SALAZAR M.J., VERGARA CID C., PEREYRA C., CAVAGLIERI L.R., BECERRA A.G., PIGNATA M.L., RODRIGUEZ J.H. Multidisciplinary study of chemical and biological factors related to Pb accumulation in sorghum crops grown in contaminated soils and their toxicological implications. Journal Geochemical Exploration, v. 166, p. 18-26, 2016.

CHAUHAN, P.; SHARMA, N.; TAPWAL, A. *et al.* Soil Microbiome: Diversity, Benefits and Interactions with Plants. Sustainability, v. 15, p. 2023. <https://doi.org/10.3390/su151914643>

CHARKIEWICZ, A.E.; OMEJANIUK, W.J.; NOWAK, K.; GARLEY, M.; NIKLINSKI, J. Cadmium Toxicity and Health Effects—A Brief Summary, Molecules v. 28, n.18, p.6620; 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28186620>

CHEN, H.; ZHANG, W.; YANG, X.; WANG, P.; MCGRATH, S.P.; ZHAO, J.F. Effective methods to reduce cadmium accumulation in rice grain. Chemosphere, v. 207, p.699-707, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.143>

CHEN, Y.; WU, X.; LIN, Z.; TENG, D.; ZHAO, Y.; CHEN, S.; HU, X. Screening of cadmium resistant bacteria and their growth promotion of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 272, p.1-10, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116012>

De FRANCISCO, N.; RUIZ TROYA, J.D.; AGÜERA, E.I.. Lead and lead toxicity in domestic and free-living birds. Avian Pathology, v. 32, n. 1, p.3-13, 2003. <https://doi.org/10.1080/0307945021000070660>

DUBEY S., SIKKA R., DHALIWAL J. Bioavailability of Cd and Pb to Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) as influenced by Biochar. *Agric Res J* 59(5):864–9.2022. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2022.00121.1>

GARG, V.K.; YADAV, S.; MOR, B.; SINGH, V.; PULHANI, P. Heavy metals bioconcentration from soil to vegetable sand assessment of health risk caused by their ingestion, *Biology Trace Elements Research*, v.157 p.256–265,2014. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9892-z>.

GUPTA, S. *et al.* (2024). Biotechnological Approaches in Remediation of Lead Toxicity. In: Kumar, N., Jha, A.K. (eds) *Lead Toxicity Mitigation: Sustainable Nexus Approaches. Environmental Contamination Remediation and Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46146-0_13

HAMMAN, S. T.; BURKE, I. C.; STROMBERGER, M. E. (2007). Relationships between microbial community structure and soil environmental conditions in a recently burned system. *Soil Biology Biochemistry*, v.39,p.1703–1711, 2007. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2007. 01.018

JAGOTA, N., SINGH, S., KAUR, H., KAUR, R., SHARMA, A. (2024). Oxidative Stress in Lead Toxicity in Plants and Its Amelioration. In: Kumar, N., Jha, A.K. (eds) *Lead Toxicity Mitigation: Sustainable Nexus Approaches. Environmental Contamination Remediation and Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46146-0_14

JANGIR, M.; PATHAK, R.; SHARMA, S.; SHARMA, S. Biocontrol mechanisms of *Bacillus* sp., isolated from tomato rhizosphere, against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Biological Control*, v. 123,p 60–70, 2018. doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.04.018

JIAO, Z.; SHI, Y.; WANG, J.; WANG, Z., ZHANG, X., JIA, X., *et al.* Integration of transcriptome and metabolome analyses reveals sorghum roots responding to cadmium stress through regulation of the flavonoid biosynthesis pathway. *Frontiers Plant Science*, v14, p.1144265, 2023. doi: 10.3389/fpls.2023.1144265

JIN, Y.; LUAN, Y.; NING, Y.; WANG, L. Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: a critical review. *Applied Science*, v. 8, p.1336, 2018. doi: 10.3390/app8081336

JOHNSON, C. K.; KELLY, T. R.; RIDEOUT, B. A. Lead in Ammunition: A Persistent Threat to Health and Conservation. *Eco Health*, v.10, p. 455–464, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0896-5>

KHALID, S., SHAHID, M., NIAZI, NK, MURTAZA, B., BIBI, I., DUMAT, C. Uma comparação de tecnologias para remediação de solos contaminados com metais pesados. *J. Geoquímica. Explorar*. 182, 247–268, 2017.

KUBIER, A.; WILKIN, E.T.; PICHLERA,T. Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemical*, v.108, p. 1–16, 2019. doi:10.1016/j.apgeochem.2019.104388

LI, Q., ZHONG, H., CAO, Y., Effective extraction, and recovery of rare earth elements (REEs) in contaminated soils using a reusable biosurfactant. *Chemosphere*, v. 256, p.1-28, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020>

PENG, ZHEN-DONG,; LIN, XUE-MING; ZHANG, YU-LONG; *et al.* Removal of cadmium from wastewater by magnetic zeolite synthesized from natural, low-grade molybdenum. *Science of The Total Environment*, v.772,p. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145355>

PIUS, J. Mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Pharmacology*, v.238, n.3, p.272- 279, 2009. doi: 10.1016/j.taap.2009.01.01

PRIYADARSHANEE, M.; DAS, S. Spectra metrology for interaction of heavy metals with extracellular polymeric substances (EPS) of *Pseudomonas aeruginosa* OMCS-1 reveals static quenching and complexation dynamics of EPS with heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, v.466, p. , 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133617>

RUBIN, B. E.; GIBBONS, S. M.; KENNEDY, S.; HAMPTON-MARCELL, J.; OWENS, S. ; GILBERT, J. A.). Investigating the impact of storage conditions on microbial community composition in soil samples. *PloS One* v. 8, p. e70460, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0070460

SIKKA, R., SAHNI, T., VERMA, D., P. CHAITRA, SINGH, A. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soil. *Cadmium Toxicity Mitigation* , p 327–347, 2024.

SHIKHA, D.; PAUL, A., DEBROY, S.; VERMA, M.K. (2024). Lead Exposure and Poisoning in Livestock and Wildlife. In: Kumar, N., Jha, A.K. (eds) *Lead Toxicity Mitigation: Sustainable Nexus Approaches*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46146-0_3

SUKSABYE, P.; PIMTHONG, A.; DHURAKIT, P.; MEKVICHITSAENG, P.; THIRAVETYAN, P. Effect of biochars and microorganisms on cadmium accumulation in rice grains grown in Cd-contaminated soil. *Environmental Science Pollution Resesearch*, v. 23, p.962–973, 2016. doi: 10.1007/s11356-015-4590-8

WANG, F.; ZHANG, Y.; WU,T.; WU, L.; SHI, G.; AN, Y. The high-dimensional geographic dataset revealed significant differences in the migration ability of cadmium from various sources in paddy fields. *Scientific Reports*, v. 13, Article number: 1589, p. 1-9, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28812-9>

WILK, E.; KALISIN'SKA, D.I.KOSIK, BOGACKA,M.; ROMANOWSKI, J.; RO'Z AN'SKI, K.; CIECHANOWSKI; SŁOJEWSK, M. I. ; ŁANOCHA-ARENDARCZYK, N. Cadmium, lead and mercury concentrations in pathologically altered human kidneys. *Environment Geochemical Health*, v. 39, p. 889–899, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9860-y>.

WIEMEYER, M.; PÉREZ, M.A.; BIANCHINI, L.T. *et al.* Repeated conservation threats across the Americas: High levels of blood and bone lead in the Andean. *Environmental Pollution*, v.220, Part A, p. 672-679, 2017.

YANG, Y.J.; XIONG, J.; CHEN, R.J.; FU, G.F.; CHEN, T.T.; TAO, L.X. Excessive nitrate enhances cadmium (Cd) uptake by up regulating the expression of OsIRT1 in rice (*Oryza sativa*). *Environmental Experimental Botany*, v.122, p.141–149, 2016.

YU 1, ANQI YANG 1, KEJI WANG 1, QIN LI, DAIHUA YE, HUAGANG HUANG, XIZHOU ZHANG, YONGDONG WANG, ZICHENG ZHENG, TINGXUAN LI . The role of polysaccharides functional groups in cadmium binding in root cell wall of a cadmium-safe rice line. *Ecotoxicology and Environmental Safety* v. 226, p. 2021, p.1-7, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112818>

YU, X; ZHAO, J.T.; LIU, X.; SUN, L.X.; JIAN TIAN, J.; WU, N. Cadmium Pollution Impact on the Bacterial Community Structure of Arable Soil and the Isolation of the Cadmium Resistant Bacteria. *Frontiers Microbiology*, v.12, p. 1-11, 2021. doi: 10.3389/fmicb.2021.698834

ZHANG, N.; WANG, D.; LIU, T.; LI, S.; SHEN, Q.; ZHANG, R. Effects of different plant root exudates and their organic acid components on chemotaxis, biofilm formation and colonization by beneficial rhizosphere-associated bacterial strains. *Plant Soil* 2014, 374, 689– 700., 2014.

ZHANG, S.; CHEN, J.; YU, J.; Q YU, Q.; X QIU, X. Remediation of Cd-contaminated soil through different layered double hydroxides: The weakness of delamination and mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, Issue 3, 107815 , 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107815>

CAPÍTULO III

**Artigo I – Submetido:
Revista Geama – Ciências
Ambientais e Biotecnologia
QUALIS CAPES **B1****



**Efeito do biossurfactante na germinação e fitoproteção de sementes de
Sorghum bicolor L. Moench com qualidade fisiológica e exposição ao
 cádmio**

*Effect of biosurfactant on germination and phytoprotection of Sorghum bicolor L.
 Moench seeds with physiological quality under cadmium exposure*

Palavras-Chave:
 Tensoativo
 Remediação
 Condutividade
 Metal pesado
*Enterobacter
 cloacae*

RESUMO

O *Sorghum bicolor* é uma planta conhecida por sua adaptabilidade a condições adversas, destacando -se como fitorremediadora de metais. Este estudo foi investigado o potencial do biossurfactante produzido por *Enterobacter cloacae* UCP 1597 na promoção da germinação de sementes de sorgo e a interação com o metal pesado cádmio. O biossurfactante foi produzido em meio alternativo com óleo pós fritura e extrato de levedura e extraído com acetato de etila e metanol (1:3 v/v). O teste de condutividade elétrica foi realizado em sementes de sorgo para avaliar a qualidade fisiológica, seguido de exposição a diferentes concentrações de cádmio. A indução da germinação de sementes pelo biossurfactante foi realizada com soluções diluídas a partir da Concentração Micelar Crítica (CMC) (2%) e a água destilada, como controle. Os efeitos do cádmio em associação com o biossurfactante foi também investigado. Os resultados da condutividade elétrica demonstraram indicaram qualidade fisiológica das sementes. No entanto, as curvas de condutividade elétrica foram proporcionais ao aumento da concentração do cádmio e tempos de embebição. O processo de germinação de sementes *Sorghum bicolor* tratadas com biossurfactante mostrou o efeito bioestimulante significativo em comparação com o controle (água destilada). A interação do biossurfactante com o cádmio intensificou os efeitos fitoprotetores no desenvolvimento da radícula das sementes, induzindo maior número de ramificações e maior hipocótilo, quando comparado apenas a exposição da semente ao cádmio sem a presença do biossurfactante. Os efeitos indutores e fitoprotetores mediado pelo biossurfactante produzido por *E. cloacae* na presença do cádmio em sementes de *Sorghum bicolor* sugerem o emprego na fitorremediação de solos contaminados por metal pesado.

Key-word
 Tensoative
 Remediation
 Conductivity
 Heavy metal

ABSTRACT

Sorghum bicolor is a plant known for its adaptability to adverse conditions, standing out as a metal phyto-remediator. This study was investigated the potential of the biosurfactant produced by *Enterobacter cloacae* UCP 1597 in promoting the germination of sorghum seeds and the interaction with the heavy metal cadmium. The biosurfactant was produced in an alternative medium with post-frying oil and

Enterobacter cloacae

yeast extract and extracted with ethyl acetate and methanol (1:3 v/v). The electrical conductivity test was performed on sorghum seeds to evaluate physiological quality, followed by exposure to different concentrations of cadmium. The induction of seed germination by the biosurfactant was carried out with diluted solutions from the Critical Micellar Concentration (CMC) (2%) and distilled water, as control. The effects of cadmium in association with the biosurfactant were also investigated. The electrical conductivity results demonstrated the physiological quality of the seeds. However, the electrical conductivity curves were proportional to the increase in cadmium concentration and soaking times. The germination process of *Sorghum bicolor* seeds treated with biosurfactant showed the significant biostimulant effect compared to the control (distilled water). The interaction of the biosurfactant with cadmium intensified the phytoprotective effects on the development of the seed radicle, inducing a greater number of branches and a larger hypocotyl, when compared to just exposing the seed to cadmium without the presence of the biosurfactant. The inductive and phytoprotective effects mediated by the biosurfactant produced by *E. cloacae* in the presence of cadmium in *Sorghum bicolor* seeds suggest its use in the phytoremediation of soils contaminated by heavy metal.

Introdução

Sorghum bicolor (L.) Moench é originário de regiões de clima tropical no continente Africano, contudo evidências indicam que tenha ocorrido dispersão para duas regiões África e Etiópia, devido principalmente, a temperatura e umidade do solo. Assim, considerando a notável adaptabilidade a condições climáticas e solos, o sorgo torna-se uma cultura fundamental na agricultura em regiões de clima quente e seco (Wu, Han, et al., 2024).

Na atividade comercialização do sorgo é realizado apenas avaliação da qualidade das sementes por meio de testes de germinação, observando a capacidade das sementes de produzirem plântulas normais sob condições ideais de temperatura e umidade do solo. Nesse contexto, apenas o teste de germinação de sementes do sorgo não oferece uma diferenciação clara entre lotes, indicando que se torna indispensável a realização de testes para demonstrar o vigor das sementes para complementar e aprimorar a análise de qualidade das sementes (Ribeiro et al., 2022). Portanto, a determinação da condutividade elétrica oferece avaliação de vigor de sementes, sendo considerado um parâmetro empregado devido a uma metodologia simples, eficiente e confiável. E, ainda deve ser considerado que estágios avançados de deterioração ocorre a perda da integridade da membrana celular e reduzida capacidade de restaurar rapidamente o processo de imersão, resultando na liberação de maior quantidade de solutos na água e inviabilidade na germinação (Costa Silva Neta et al., 2024).

Os biossurfactantes são moléculas com estrutura constituída por uma cauda hidrofóbica e uma cabeça hidrofílica, desempenham um papel crucial em diversas aplicações (Ahmar Siddiqui et al., 2022). Esses compostos

anfífilos agregam-se nas interfaces líquido-óleo, reduzindo a tensão superficial e têm sido investigados para melhorar a proteção das sementes e a fertilidade das mudas. Além da proteção das sementes pela ação antimicrobiana, os biossurfactantes também contribuem para a absorção de substâncias biogênicas pelas plantas. Os biossurfactantes apresentam ação muito importante no desenvolvimento das plantas, estimulando a germinação das sementes (Simões et al., 2023;)

Assim, o teste de condutividade elétrica como abordagem valiosa demonstra tanto a perda de viabilidade das sementes com a saída de eletrólitos, bem como, indica o vigor de sementes (Silva et al., 2021).

Neste sentido, investigações foram realizadas determinando a qualidade de sementes de sorgo por condutividade elétrica e expostas ao cádmio, além de avaliar o efeito potencializador do biossurfactante na germinação e na proteção de sementes de *Sorghum bicolor* L. Moench e frente ao cádmio.

Material e métodos

Micro-organismo

O biossurfactante foi obtido de *Enterobacter cloacae* (UCP 1597). Esta cepa foi isolada de sedimento de manguezal situado no distrito de Rio Formoso, Pernambuco, Brasil, e adquirida do Banco de Culturas UCP da Universidade Católica de Pernambuco, registrada na World Federation for Culture Collection (WFCC). *E. cloacae* foi mantido a 4 ° C em inclinações de agar nutriente e transferido para um novo meio a cada 3 meses. Este micro-organismo é uma fonte potencial de biossurfactante (De Souza Fonseca et al., 2022).

Condutividade Elétrica

A avaliação da Condutividade Elétrica ocorreu a uma temperatura de 25 °C, considerando diferentes intervalos de tempo (0, 2, 4, 20, 24 horas de embebição), utilizando um volume fixo de 50 mL de água. O teste foi conduzido pelo método de massa, empregando três replicatas para cada amostra, consistindo de 50 sementes de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Estas foram devidamente pesadas com precisão de 0,01g e imersas em tubos de Falcon de 50 mL, sendo submetidas ao cádmio em concentrações de 0,5 mM e 3,0 mM.

As sementes imersas exclusivamente em água ultrapura e as soluções aquosas contendo o metal, em suas concentrações mínima e máxima, foram empregadas como grupos de controle. Após o período de embebição, a avaliação da condutividade elétrica da solução foi conduzida utilizando um condutivímetro, com os resultados apresentados em microsiemens por centímetro por grama de sementes ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$). As leituras de cada subamostra foram realizadas após a retirada do material da incubadora, sendo seguido de uma agitação vigorosa de cada tubo de Falcon, com o intuito de uniformizar os eletrólitos lixiviados na solução (Vieira, 1999).

Produção e extração do Biosurfactante

Para a produção de biosurfactante, a bactéria foi cultivada em meio ágar nutriente a 37 °C por 24 horas. Após esse período, uma suspensão celular foi preparada e ajustada para atingir a densidade óptica de 0,8 a 600nm. Uma alíquota de 10% mL da suspensão foi inoculada em 1000 mL de meio de cultivo contendo 2,0% (v/v) de extrato de levedura e 0,2% (v/v) de óleo pós fritura. Os substratos e concentrações foram estabelecidas em estudo preliminar (De Souza, et al., 2022). As condições de cultivo (72 h, agitação a 150 rpm, 37 °C). Após o período de incubação, o líquido metabólico foi separado das células por centrifugação.

O líquido metabólico livre de células foi submetido a extração com acetato de etila e metanol na proporção 1:3:3 (López-Prieto, et al., 2020). A mistura foi agitada vigorosamente por 15 minutos e deixado em repouso à temperatura ambiente por 24 horas. Após esse tempo, a fase orgânica foi cuidadosamente separada em balão volumétrico e evaporado a 60°C em rotoevaporador. O precipitado obtido foi submetido à liofilização e depois mantido em dessecador até peso constante. O peso do biosurfactante após a extração foi determinada por gravimetria e o rendimento expresso em g/L.

Germinação das sementes de *Sorghum bicolor* sobre tratamento de biosurfactante

Foram colocada dez sementes da variedade IPA-SF15 forrageiras do *Sorghum bicolor* em Placas de Petri (100 x 15 mm) contendo uma camada de papel filtro. Oito tratados com biosurfactante, a partir da Concentração Micelar Crítica de 2%, e um teste controle com água destilada foram estabelecidos para fins de irrigação. As amostras tratadas T0,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7 e T8 com as concentrações 0; 1,5625; 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50; 75; and 100%, respectivamente. Além disso, foi avaliada a influência do

cádmio (3 mM) e a associação do metal (3mM) com o biosurfactante (2%) no processo de germinação das sementes.

A disposição de cada placa de Petri foi em delineamento inteiramente casualizado sendo adicionado 5 mL da solução para cada tratamento correspondente com foto período de 12h e a $25^{\circ} \pm 1$ °C, durante 120 h de exposição (Tigre et al. 2012, Rede et al. 2019). Após cinco dias de incubação o índice de germinação (IG) foi avaliado e calculado os dados do crescimento radicular, ramificação radicular e hipocótilo aplicando o teste de Kruskal- Wallis .

Resultados e discussão

Condutividade Elétrica

A Figura 1 apresenta os resultados da condutividade elétrica para sementes de sorgo imersas em 50 mL e submetidas a diferentes concentrações de cádmio (0,5 mM e 3 mM). Observou-se um aumento nos valores de condutividade elétrica à medida que o tempo de embebição das sementes e a concentração de cádmio aumentavam. Esse resultado era esperado, uma vez que as imersões prolongadas das sementes resultaram na liberação progressiva de solutos para o meio (Haesbaert et al., 2017; Nunes et al., 2019; Silva et al., 2023). A presença de metais pesados, conforme destacado por Lima et al. (2020), promove um aumento na condutividade elétrica.

Os resultados obtidos demonstraram que quanto maior o valor da condutividade elétrica, maior é a lixiviação de solutos das sementes, como observado nas duas concentrações analisadas de cádmio, quando comparado com o controle (água), demonstrou que as sementes apresentavam qualidade fisiológica. Os resultados obtidos indicam que o cádmio interfere na velocidade de reorganização do sistema de membranas celulares, possibilitando uma maior liberação de exsudatos. Nesse sentido, sugere-se que o metal pesado cádmio exerce um efeito danoso ao sistema de membranas das sementes de sorgo.

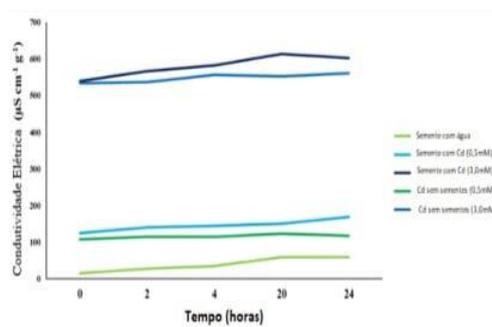


Figura 1. Histograma apresentando a determinação da Condutividade elétrica em sementes de *Sorghum bicolor* controle (água) e tratadas com soluções de Cádmio 0,5 mM e 3 mM durante 24h

Influência do biosurfactante na germinação de semente de *Sorghum bicolor*

Os resultados ao crescimento relativo foram derivados da aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, revelando de maneira consistente as oito condições de tratamento expostas as concentrações do biossurfactante (Figura 2). Houve um desempenho promissor em termos de crescimento radicular e ramificação radicular em comparação com o tratamento inicial apenas com água destilada (Figura 2).

Na análise comparativa do crescimento do hipocótilo, verificaram-se flutuações nos resultados, possivelmente devido a variações nas características individuais das sementes, tais como tamanho, idade e qualidade fisiológica. Esses fatores podem contribuir para a heterogeneidade observada nos padrões de crescimento.

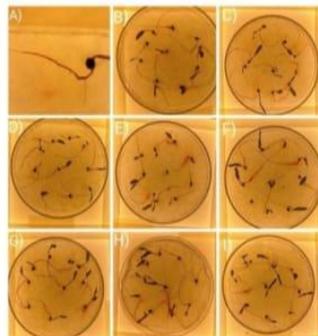
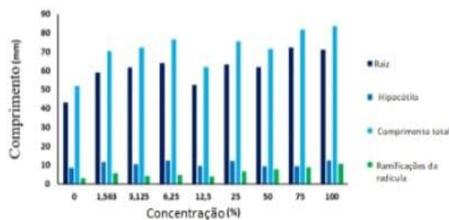


Figura 2. Ação do biossurfactante no comprimento da raiz e do hipocótilo. A) Controle (água destilada); B) Concentração de BS 1,5925%; C) Concentração de BS 3,125%; D) Concentração de BS 6,25%; E) Concentração de BS 12,5%; F) Concentração de BS 25%; G) Concentração de BS 50%; H) Concentração de BS 75%; I) Concentração de BS 100%.

Com base nos resultados obtidos, é possível inferir que o biossurfactante exerce um impacto positivo e significativo na germinação da semente de sorgo, quando comparado ao grupo controle representado pela água (0% de concentração). A evidência visualizada na Figura 3 revela que a concentração mínima do biossurfactante (1,563% da Concentração Micelar Crítica - 2%) estimulou um aumento expressivo de 35% no crescimento total (70,46 mm), superando significativamente o crescimento observado no grupo controle tratado apenas com água (51,86 mm). Na concentração máxima (100% da CMC - 2%), o biossurfactante demonstrou um impacto ainda mais pronunciado, resultando em um crescimento total de 83,85 mm (61%).



Esses resultados sugerem claramente que o biossurfactante possui um potencial notável para promover a germinação e o desenvolvimento inicial das sementes de sorgo em comparação com as condições tradicionais de imersão em água.

Influência do Cádmi na germinação de sementes de *Sorghum bicolor*

Figura 3. Histograma apresentando o comprimento da raiz, hipocótilo, comprimento total e ramificação radicular das sementes do *Sorghum bicolor* em diferentes concentrações de biossurfactante.

A Tabela 1 mostra que o biossurfactante promoveu um aumento na absorção de cádmio pelas sementes de sorgo, o que resultou na intensificação dos efeitos adversos no desenvolvimento principalmente da radícula e no crescimento total das plântulas. Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos nos parâmetros de crescimento da radícula, do hipocótilo e no crescimento total. No entanto, essas diferenças não foram significativas para a variável de ramificação do sistema radicular.

Além disso, o coeficiente de variação foi elevado em todos os parâmetros analisados, indicando uma considerável variabilidade nos dados. Esse alto coeficiente pode indicar uma resposta heterogênea das sementes aos tratamentos.

Tabela 1. Efeitos do cádmio e em associação com biossurfactante na indução da germinação de sementes de *Sorghum bicolor*

Tratamento	Rad (mm)	Hipoc (mm)	Comp. Total (mm)	Ram. Rad. (mm)
Controle	59,31 ± 26,71	9,14 ± 1,75	68,46 ± 27,15	3,38 ± 3,35
Cd ⁺²	24,60 ± 15,22	6,42 ± 1,78	31,02 ± 15,63	2,63 ± 2,54
Cd ⁺² + BS	16,15 ± 8,86	7,58 ± 1,66	23,74 ± 9,61	3,34 ± 2,68

Radícula: Rad.; Hipocótilo: Hipoc.; Comprimento Total: Comp. Total; Ramificações de Radícula: Ram. Rad.

Os biossurfactantes são reconhecidos por suas propriedades de redução da tensão superficial e no aumento da solubilidade de diversas substâncias, facilitando, assim, processos de bioacumulação (SARANRAJ et al., 2022). Essas propriedades criam condições favoráveis para a entrada de cádmio nas sementes, o que intensifica a interação complexa entre o biossurfactante e o cádmio, potencializando os impactos tóxicos nas plantas (Parus et al., 2024).

Conclusão

O estudo revelou que a *Enterobacter cloacae* UCP 1597, isolada de um sedimento de manguezal, apresenta um grande potencial na produção de biossurfactantes que podem estimular a germinação das sementes de *Sorghum bicolor*. A presença de cádmio demonstrou ter um efeito negativo na integridade das sementes, resultando em maior lixiviação de solutos. Apesar disso, o biossurfactante contribuiu positivamente para o crescimento inicial das sementes, especialmente em concentrações mais baixas. Contudo, a combinação do biossurfactante com o cádmio levou a um

aumento na absorção do metal pesado, intensificando seus efeitos adversos no desenvolvimento das plântulas. Esses resultados ressaltam a necessidade de explorar como os biossurfactantes interagem com contaminantes, visando estratégias eficazes para a remediação de solos afetados por metais pesados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro do Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq)- (GMCT Processo N0. 312242/2022-4) e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE)- JCBA Processo IBPG -0851-3.06/22).

PARUS, Anna et al. Critical evaluation of the performance of rhamnolipids as surfactants for (phyto) extraction of Cd, Cu, Fe, Pb and Zn from copper smelter-affected soil. **Science of The Total Environment**, v. 912, p. 168382, 2024.

Referências

- NETA, Izabel Costa Silva et al. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Crambe abyssinica* Hochst. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 1, p. 1469-1481, 2024.
- RIBEIRO, Anna Júlia Henrique et al. Seleção do método mais eficaz para produção de grafeno: Selection of the most effective method for graphene production. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 9, p. 63219-63227, 2022.
- SILVA, Patrícia Cândido da Cruz et al. Qualidade de sementes de *Handroanthus serratifolius* (Vahl) SO Grose avaliada pelo teste de condutividade elétrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, 2021.
- VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Brasília, DF: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.
- WU, Han et al. Somatic embryogenesis from mature sorghum seeds: An underutilized genome editing recipient system. **Heliyon**, v. 10, n. 1, 2024.
- LIMA, Joameson Antunes et al. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Crambe abyssinica* Hochst tratadas com metais pesados. 2020.
- SILVA, Wesley Costa et al. Physiological maturation of sweet sorghum seeds produced under water restriction. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217942, 2023.
- HAESBAERT, Fernando Machado et al. Tamanho de amostra para determinação da condutividade elétrica individual de sementes de girassol. **Bragantia**, v. 76, p. 54-61, 2017.
- NUNES, LUMA RAYANE DE LIMA; PINHEIRO, PALOMA RAYANE; DUTRA, ALEK SANDRO. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 158-167, 2019.
- DE SOUZA FONSECA, Tainã Crisia et al. Multifunctional, stable and low-cost lipopeptide biosurfactant produced by *Enterobacter cloacae* UCP 1597. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e41111536353-e41111536353, 2022.
- SARANRAJ, P. et al. Microbial biosurfactants sources, classification, properties and mechanism of interaction. In: **Microbial surfactants**. CRC Press, 2022. p. 1-24.

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As bactérias Gram positivas *Bacillus cereus* e *Bacillus subtilis* apresentam elevada tolerância aos metais pesados cádmio e chumbo;
- O biossurfactante produzido por *Enterobacter cloacea* apresenta efeito promissor na germinação do *Sorghum bicolor*;
- O biossurfactante propiciou o aumento na absorção do cádmio pelas sementes, o que pode ser explorado de maneira positiva em termos de fitorremediação;
- Concentrações mais altas do biossurfactante apresentaram efeitos mais acentuados, indicando seu potencial para promover a germinação e desenvolvimento inicial das sementes;
- A presença do Cádmio, em associação com o biossurfactante, intensificou os efeitos adversos no desenvolvimento da radícula e no crescimento total das sementes;

ANEXOS

Publicações, Capítulo de livro e participação em eventos científicos no período do mestrado

Capítulo de livro

VIABILIDADE ECONÔMICA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS COM MEMBRANA DE CERÂMICA

Dayana Gouveia de Lemos 1 Pollyana Pereira do Nascimento 2 Igor Santana Augusto Da Silva 3 Christian Matheus Barbosa de Menezes 4 Jessyca Camila Bandeira Alves 5 Maria Inez Campello Barata 6 Eliana Cristina Barreto Monteiro 7 Galba Maria de Campos-Takaki

AGROBIOTECNOLOGIA APLICADA NA REDUÇÃO DE USO DE INSUMOS QUÍMICOS

Christian Matheus Barbosa de Menezes 1 Jessyca Camila Bandeira Alves 2 Maria Inez Campello Barata 3 Hozana de Souza Ferreira 4 Luanna Júlia Silva de Melo 5 Sérgio Selisman Silva Dantas 6 Eliana Cristina Barreto Monteiro 7 Galba Maria de Campos-Takaki 8

Participação em eventos científicos

Certificamos que SALATIEL HENRIQUE PEREIRA DE LIMA apresentou o trabalho

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE LIPÍDIOS EXTRAÍDOS DE *Salicornia neei*, de autoria de Salatiel Henrique Pereira de Lima, Rafael De Souza Mendonça, Jessyca Camilla Bandeira Alves, Rosileide Fontenele da Silva Andrade, Josimar Gurgel Fernandes e Galba Maria de Campos-Takaki, na Sessão E-poster, durante o VI SIMPÓSIO DA REDE DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS DO NORDESTE, realizado de 7 a 10 de novembro de 2023.