

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Relatório de pós-doc será
disponibilizado somente a partir de
19/09/2027.

NATALIA SARMANHO MONTEIRO LIMA

**IDENTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS COM ATIVIDADE BIOHERBICIDA E DE
BIORREMEDIAÇÃO**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (UNESP), Unidade
Jaboticabal

Supervisor(a): Prof^a Dr^a Eliana G. Macedo
Lemos

PROGRAMA DE PÓS-DOCTORADO DA UNESP

Jaboticabal

2025

RESUMO

Entre os desafios encontrados na agricultura moderna está o uso extensivo de defensivos agrícolas, como os herbicidas, cuja aplicação pode afetar adversamente a saúde do solo e a diversidade microbiana. Nesse contexto, a biorremediação surge como uma estratégia promissora, utilizando microrganismos com capacidade de degradação para eliminar compostos poluentes do ambiente. A eficácia desse processo depende de diversos fatores ambientais, como pH, matéria orgânica, temperatura e cobertura vegetal do solo. A biorremediação enzimática é destacada como uma abordagem viável, podendo ser realizada *in situ* ou *ex situ*, com a imobilização de enzimas sendo uma técnica importante para melhorar sua estabilidade e reutilização. Materiais como biomassa vegetal e resíduos agroindustriais são utilizados como suportes para a imobilização. O controle biológico de plantas daninhas é outra estratégia que pode auxiliar na saúde dos sistemas agrícolas, utilizando bioherbicidas derivados de microrganismos para diminuir a germinação e as populações de plantas invasoras. A região de Jaboticabal, em São Paulo, é uma das maiores produtoras de amendoim do Brasil. Diante desse contexto, a intenção desse projeto é a de promover melhorias aos sistemas agrícolas voltados para a cultura do amendoim, envolvendo a biorremediação do herbicida Imazapic com o auxílio de enzimas imobilizadas. Além disso, serão isoladas bactérias de plantas daninhas, a fim de prospectar bioherbicidas efetivos para o amendoim.

Palavras chaves: imobilização; enzimas; plantas daninhas; controle biológico

1. INTRODUÇÃO

A busca por uma agricultura mais sustentável vem sendo comentada nos maiores fóruns do mundo. O Brasil, juntamente com a Noruega e outros países comprometeram-se em transformar seus sistemas alimentares o uso do solo, garantindo a manutenção da saúde e da biodiversidade de áreas cultivadas, apresentando relatórios na COP30 em 2025. Por isso, projetos que atuem de maneira interdisciplinar podem ser uma alternativa para alcançar essas metas. Porém o solo é um ambiente complexo, rico em biodiversidade e muitas vezes os processos que foram aplicados em determinadas áreas durante anos/décadas acabam dificultando a atuação nestes, prejudicando a implementação de novas culturas e até mesmo a manutenção de cultura já implantadas na área. Um dos fatores que podem estar diretamente relacionado a saúde do solo e a aplicação extensiva de defensivos agrícolas como os herbicidas. Devido a resistência de plantas daninhas a algumas moléculas acaba prejudicando a cultura implanta na área, não tendo mais efeito sobre a planta invasora. Além disso, pode ocorrer do composto residual destes permanecerem no solo, prejudicando a cultura ocasionando fitotoxicidade e atuando sobre a biodiversidade microbiana do solo.

A remoção de pesticidas do ambiente geralmente é feita por métodos tradicionais (e.g tratamento químico e incineração), porém estes necessitam de elevado custo para aplicação e geralmente podem ocasionar riscos secundários de exposição. Sendo assim, a utilização de microrganismos que possuam potencial de biorremediação tem se tornado uma alternativa mais sustentável e econômica (Verma & Chatterjee, 2021). A eficiência da biorremediação vai depender do potencial metabólico do microrganismo e de transformação de compostos contaminantes via maquinaria enzimática (Hassen et al., 2020) . A degradação de pesticidas presentes no solo vai depender de fatores como pH, quantidade matéria orgânica presente no solo, temperatura, umidade e até mesmo a cobertura vegetal (Erguven & Demirci, 2019)

A biorremediação enzimática pode ocorrer in situ, causando menor perturbação no ambiente, onde a enzima pode ser usada livre ou imobilizada e adicionada ao solo; ou ex situ, mais utilizada para solos altamente contaminados ou quando necessita de uma ação rápida (Mousavi et al., 2021), ou seja, sendo kaessa a principal via de desintoxicação (Kaur et al., 2021). A degradação de pesticidas ocorre por etapas, cada etapa é catalisada por uma enzima (extracelular ou intracelular), a ausência de alguma enzima específica parará todo o processo, e esse é um dos fatores mais comuns para a persistência de pesticidas ou seus derivados ainda tóxicos no ambiente (Singh, 2008). A imobilização é uma técnica ideal para melhorar as propriedades e a reutilização das enzimas, aumentando a estabilidade operacional, estabilidade térmica, reutilização e

resistência a compostos adversos, porém os transportadores/veículos de imobilização precisam ser atóxicos, biocompatíveis, ter alta afinidade pela proteína, alta capacidade de adsorção e disponibilidade de suporte para a produção tecnológica (Datta et al., 2021). A recuperação e a imobilização enzimáticas são os dois maiores obstáculos para a expansão comercial desses biocatalizadores (Lv et al., 2013). Algumas biomassas vegetais e resíduos agroindústrias estão sendo utilizados para a imobilização de enzimas, principalmente para a biorremediação como é o caso de uma lacase imobilizada em biochar de pinheiro para degradação de diclofenaco (Lonappan et al., 2018), além de uma lipase imobilizada em palha de milho.

O controle biológico de plantas daninhas atua diminuindo a germinação e as populações de plantas daninhas, e podem ser substâncias naturais ou agentes bióticos (Hasan et al., 2021). O manejo sustentável de ervas daninhas é um dos principais desafios tanto para a agricultura orgânica quanto para a convencional além de ser especialmente importante pois permite que os agricultores sejam economicamente sustentáveis, diminui o impacto ambiental da agricultura e também responde às pressões sociais do público sobre a segurança e a proteção dos alimentos (Cordeau et al., 2016). Os primeiros bioherbicidas foram comercializados na década de 1980 e nos últimos 25 anos nenhum novo mecanismo de ação chegou ao mercado (Campos et al., 2023; Cordeau et al., 2016).

Atualmente no mundo, apenas treze bioherbicidas derivados de microorganismos ou moléculas naturais estão atualmente disponíveis no mercado e destes, nove são baseados em microrganismos fúngicos, três em microrganismos bacterianos e um contém uma substância ativa que é um extrato natural de planta (Cordeau et al., 2016). Kremer e colaboradores (2001) realizaram uma seleção com 2000 bactérias de rizosfera, para separar as possíveis bioherbicidas e por meio de ensaios qualitativos de produção ácido cianídrico obtiveram 32% de bactérias positivas com potencial para controle de plantas daninhas. Entre os gêneros bacterianos mais citados na literatura com potencial bioherbicida estão *Bacillus* sp., *Burkholderia* e *Pseudomonas* sp.. São vários os exemplos de sucesso desses gêneros, como um novo metabolito denominado Espliceostatina C de *Burkholderia rinojensis* (Bajsa-Hirschel et al., 2023). Outro exemplo é com *Pseudomonas viridiflava* CDRTc14, que além de produzir o cianeto de hidrogênio, os ensaios em casa de vegetação em in vitro demonstraram que esse isolado inibiu consideravelmente o desenvolvimento do alface e de *Lepidium draba* (planta invasora) (Samad et al., 2017). Importante ressaltar que esses são gêneros com grande diversidade de membros o que possibilita a prospecção das mais variadas funções e metabolitos.

A região de Jaboticabal, São Paulo, possui uma longa tradição na produção de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). É uma cultura versátil, com usos variados que vão desde o consumo direto como alimento até a produção de óleo, farinha e outros produtos derivados. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB a safra 2022/2023 nessa região foi de 4125,00 kg/ha. Atualmente existem 3 plantas invasoras do amendoim que apresentam resistência a herbicidas: *Amaranthus palmeri* (caruru) e *Sorghum halepense* (capim massambara) e *Ambrosia artemisiifolia* (Heap, 2017). O caruru (*A. palmeri*) apresenta resistência a imazapic, imazetapir e imazaquin.

Atualmente o imazapic é o herbicida mais recomendado para a cultura. Colocar outras plantas daninhas e sobre o imazapic. principais espécies plantas daninhas que ocorrem em áreas de cultivo do amendoim, segundo Kasai e Deuber (2001) são: picão-preto (*Bidens pilosa*), tiririca (*Cyperus rotundus*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis*), fedegoso (*Senna macranthera*), apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), capim colchão (*Digitaria sanguinalis*) e braquiária (*Urochloa* spp.). Os métodos de aplicação de bioherbicidas e herbicidas convencionais muitas vezes são semelhantes, e muitas vezes podem ser usados concomitantemente com outras técnicas de manejo de plantas daninhas para controlá-las (Hasan et al., 2021).

Em busca da melhoria dos sistemas agrícolas voltados para a cultura do amendoim e seus sistemas integrados esse projeto relacionou duas temáticas: 1) Biorremediação: biorremediação do Imazapic através de enzimas imobilizadas e identificação dos metabolitos oriundos da degradação 2) Bioherbicidas: a partir do isolamento de bactérias de plantas daninhas relacionadas ao amendoim e com gêneros promissores já isolados anteriormente.