

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE DIFERENTES AGENTES RETICULANTES FOSFÁTICOS NA VIABILIDADE DE BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus thuringiensis* SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

HELENA FERNANDES SCAGLIONI¹; KARINE LASTE MACAGNAN²; ISADORA ANTÔNIO PASCHOAL³; MARIANA BARROS DEUNER⁴; FÁBIO LEIVAS LEITE⁵; ANGELITA DA SILVERA MOREIRA⁶

¹universidade federal de pelotas – helenascaglioni2004@gmail.com

²universidade federal de pelotas – karinemacagnan@hotmail.com

³universidade federal de pelotas – paschoalisadora@gmail.com

⁴universidade federal de pelotas – marianabarros135@gmail.com

⁵universidade federal de pelotas – fleivasleite@gmail.com

⁶universidade federal de pelotas – angelitadasilveiramoreira@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Consiste em formulação líquida de bioinsumo à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt), estabilizada com o biopolímero xantana pruni ou derivado de sua obtenção. Além da reconhecida atividade inseticida da cepa S1450 de *B. thuringiensis* var. *kurstaki* (Btk) (Bravo et al., 2011), o produto visa controlar lagartas resistentes a inseticidas comuns, como *Spodoptera frugiperda* e *Chrysodeixis includens*, reduzindo perdas por chuva e radiação solar devido à característica endofítica. A bactéria também produz fitohormônios, como o ácido indolacético (AIA), que estimula o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes, além de favorecer a solubilização de nutrientes (Cruz et al., 2025). O bioinsumo será formulado como suspensão concentrada (SC), contendo esporos e cristais proteicos de Btk.

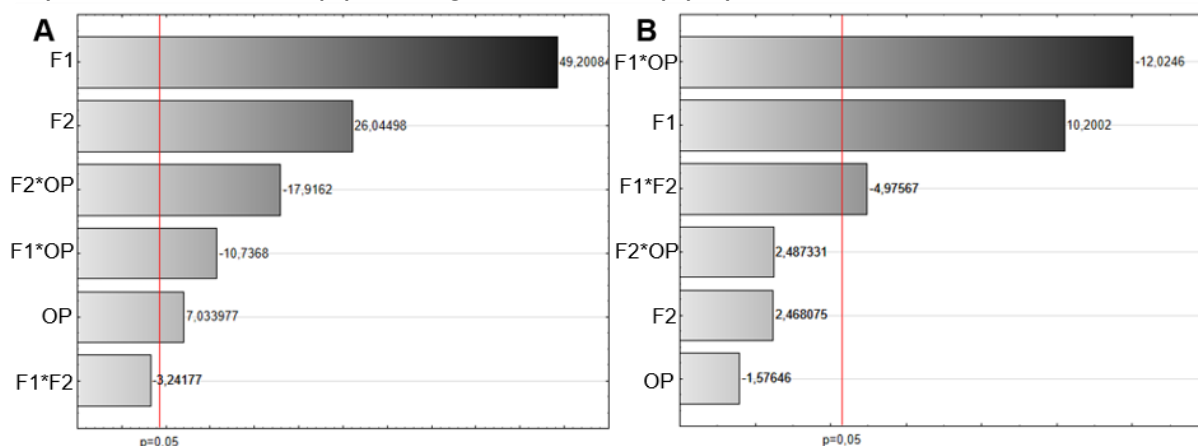
O diferencial da proposta é a entrega do bioinsumo como formulação líquida de alta estabilidade, aderência e permanência, proporcionada pela xantana pruni combinada a um reticulante fosfático atóxico. Desenvolvida pelo grupo de pesquisa e patenteada pela UFPEL em parceria com a Embrapa (PI04063090), a xantana pruni apresenta elevada estabilidade frente a concentrações iônicas, atividade antioxidante e capacidade encapsulante (BR1020180687239). A reticulação *in loco* reduz a solubilidade do polímero, aumentando a proteção e a adesão foliar e diminuindo a lixiviação. Embora a reticulação com fosfato já tenha sido demonstrada (Karow et al., 2025), foi necessário avaliar o efeito de diferentes fosfatos sobre a viabilidade do microrganismo.

Como os fosfatos são também dessecantes, adicionou-se nas formulações um osmoprotetor interno que também funciona como plastificante para, além de aumentar a proteção do microrganismo, aumentar a adesão à superfície foliar. Assim, testou-se o efeito de dois fosfatos, codificados F1 e F2, e um osmoprotetor, codificado como OP. De acordo com os resultados obtidos, a sobrevivência relativa dos microrganismos foi dependente da concentração e do tipo de fosfato, da concentração do osmoprotetor e da condição de armazenamento. Como esperado, os maiores percentuais ocorreram sob refrigeração: 71,75–90,71%, enquanto em temperatura ambiente variaram de 53,49–77,83%. O tratamento 4 apresentou o melhor desempenho, com sobrevivência de $90,71 \pm 4,25\%$ sob refrigeração e $77,83 \pm 6,17\%$ em temperatura ambiente, corroborando a viabilidade do uso de fosfatos como reticulantes *in loco*.

Os efeitos das variáveis independentes sobre a sobrevivência relativa podem ser observados nos gráficos de Pareto (Figura 1). Em relação à condição de armazenagem à temperatura ambiente, F1 e F2 apresentaram efeito positivo significativo ($p < 0,05$) na sobrevivência bacteriana (Figura 1 – A). Já a combinação dos

efeitos F1*OP e F2*OP apresentaram efeitos negativos na sobrevivência, sugerindo maiores concentrações de fosfatos e menores de OP. Sob condição refrigerada (4 °C), o F1 manteve o efeito protetor dominante isolado, assegurando a estabilidade do biodefensivo durante o armazenamento mantido sob refrigeração. A combinação F1*OP também apresentou efeito negativo (Figura 1 – B).

Figura 1. Efeito das variáveis independentes, F1 - Fosfato 1, F2 – Fosfato 2 e OP - osmoprotetor, sobre a sobrevivência relativa (%) dos tratamentos armazenados em temperatura ambiente (A) e refrigerador à 4°C (B) após 24h.



2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo compreende produtores rurais de pequeno a grande porte. A entrada no mercado está prevista inicialmente para a Região Sul, com foco em soja, arroz irrigado e frutas de clima temperado, seguida pela expansão para o Cerrado e MATOPIBA, abrangendo soja, milho, algodão, café e citros (CropLife Brasil, 2026). Os clientes preferenciais são produtores que querem aumentar a segurança ambiental e do consumidor, manter eficácia e aumentar a eficiência na lavoura, e reduzir a rejeição associada aos insumos químicos. A tecnologia busca atender a essas necessidades ao mitigar o problema da fixação de fósforo no solo e fornecer, ainda que em pequena escala, esse nutriente de forma rápida (F1) e também de liberação gradual (F2).

A concorrência é composta principalmente por bioinseticidas foliares e adubos biológicos utilizados separadamente: os bioinseticidas aplicados sobre as folhas (à base de *Bacillus thuringiensis* ou *Beauveria bassiana*), que duram pouco tempo na planta por causa do sol e da chuva, e os adubos biológicos que apenas ajudam na absorção de fósforo. A inovação diferencia-se por integrar controle de pragas, promoção do crescimento vegetal e aporte de fósforo em uma única formulação, potencialmente reduzindo o número de aplicações devido à maior proteção conferida pelo biopolímero reticulado.

O potencial de vendas da tecnologia é favorecido pelo rápido crescimento do mercado de bioinsumos no Brasil. O mercado total do setor (TAM) é estimado em R\$ 18,5 bilhões, somando todos os defensivos biológicos e fertilizantes especiais para grãos e frutas (CropLife Brasil, 2026). Deste total, o mercado diretamente atendível (SAM) é de cerca de R\$ 4,5 bilhões, focado nas regiões com problemas de pragas, seca e lavagem de produtos pelas chuvas (Sul, Centro-Oeste e Sudeste). Se a tecnologia passar com sucesso do laboratório para o mercado, estima-se alcançar um faturamento inicial (SOM) entre R\$ 67,5 e 135 milhões, o que representa conquistar de 1,5 a 3% do mercado nos primeiros anos de venda (CropLife Brasil, 2026).

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

As melhores combinações de fosfato e OP serão incorporadas a formulações pré-testadas à base de xantana pruni e outros aditivos, originando protótipos para ensaios em casa de vegetação, visando avaliar colonização endofítica e controle de lepidópteros, e posteriormente em campo, para verificar a resistência ao enxágue por chuva. Os resultados subsidiarão a adequação aos requisitos do MAPA, ANVISA e IBAMA e o escalonamento industrial. Após a validação, prevê-se o registro e a transferência da tecnologia para o mercado.

A geração de receita ocorrerá prioritariamente por licenciamento para empresas do setor, com possibilidade de criação de spin-off acadêmica vinculada à UFPEL. A distribuição poderá ocorrer por meio de cooperativas e revendas de insumos, inicialmente na Região Sul e posteriormente no Cerrado e MATOPIBA. Parcerias com instituições de pesquisa e empresas privadas já estão sendo buscadas para apoiar o escalonamento e os ensaios de campo.

A tecnologia ainda não possui registro de propriedade intelectual, estando em fase de consolidação dos dados experimentais. Há previsão de depósito de Patente de Invenção junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) via Agência de Inovação da UFPEL (Inova-UFPEL) em cerca de 6 meses. O pedido protegerá a composição da formulação líquida multifuncional, que combina a bactéria endofítica *Bacillus thuringiensis* formulada com o biopolímero multifuncional xantana pruni, osmoprotetor (OP) e sais de fosfato como agentes reticulantes/estabilizante. Diante do estágio atual das atividades, a plataforma da tecnologia classifica-se no nível de maturidade tecnológica TRL 4 - Validação Tecnológica em Laboratório. Entretanto, já dispomos de resultados em ambiente relevante para o microrganismo, o que, coloca o produto proposto em TRL 5, quando os componentes de uma tecnologia foram integrados e testados em um ambiente relevante, simulando condições reais de uso. Os principais riscos do projeto envolvem a demora no registro regulatório, que será mitigada pelo acompanhamento das normas do MAPA via Inova-UFPEL. O risco técnico de perda de viabilidade em estoque será mitigado pelo papel protetor já comprovado da xantana pruni (BR1020180687239) e, agora, dos fosfatos e do OP testados com o microrganismo Btk (sobrevivência de até 90,71% sob refrigeração e superior a 77% à temperatura ambiente). O risco agrônomo de variação na colonização endofítica em campo será mitigado por ensaios prévios em múltiplos locais e em estufa.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

O avanço da tecnologia para as etapas de validação em campo e futura comercialização prevê impactos positivos nos âmbitos ambiental, econômico e social. No pilar ambiental, o uso da bactéria endofítica e estabilizada de forma ambientalmente correta em substituição parcial ou total aos inseticidas sintéticos e adubos minerais reduz a contaminação de solos e recursos hídricos, além de proteger insetos polinizadores e a fauna benéfica. Do ponto de vista econômico, a elevada estabilidade da bactéria no solo e o aporte parcial foliar de fósforo via sal solúvel (F1) e de liberação lenta (F2) aumentam a eficiência de uso dos nutrientes, reduzindo o desperdício de adubos por lixiviação. Socialmente, a solução contribui ao diminuir os custos por redução das aplicações, que impactam mais intensamente o pequeno produtor rural e ao proteger a saúde dos trabalhadores do campo reduzindo a exposição a produtos químicos nocivos.

Economicamente, espera-se inserção gradual no mercado de bioinsumos, inicialmente por cooperativas da Região Sul e posteriormente no Cerrado, com potencial de geração de receita por meio do licenciamento da tecnologia. O modelo

de licenciamento de patente para empresas já estruturadas no mercado garante uma margem operacional atrativa e retorno sobre o investimento (ROI) em curto prazo, sem a necessidade de altos investimentos iniciais em infraestrutura fabril própria por parte dos desenvolvedores (INPI, 2026).

Como visão de futuro, a inovação apresenta elevado potencial de evolução científica e escalabilidade de mercado. As formulações biotecnológicas desenvolvidas comporão uma plataforma que pode ter seu conceito expandido para incorporação de novas cepas ou espécies bacterianas, promovendo multifuncionalidades adicionais, como a fixação biológica de nitrogênio e a indução de resistência ao estresse hídrico. A médio e longo prazo, a tecnologia pretende se consolidar como uma ferramenta indispensável na transição para uma agricultura de baixo carbono no Brasil, com potencial de exportação para outros países que enfrentam desafios semelhantes no manejo de pragas e na adubação de solos tropicais.

5. CONCLUSÕES

A inovação consiste em uma plataforma biotecnológica multifuncional e sustentável baseada na xantana pruni reticulada *in loco* para formulação de bioprodutos agrícolas microbianos. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso de fosfatos como reticulantes, destacando a importância da seleção dos componentes e de suas concentrações para preservar a viabilidade de *Bacillus thuringiensis*. A tecnologia apresenta potencial para reduzir perdas de biodefensivos, aumentar sua permanência na planta e contribuir para uma agricultura mais eficiente e sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423-431, 2011.
- CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; DUARTE, G. A.; SILVA, M. A.; ROCHA, I. S. Soybean productivity and financial viability with rhizobacteria, farming systems, and phosphorus doses. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, p. 1-8, 2025.
- CROPLIFE BRASIL. **Dados de Mercado de Bioinsumos - Safra 2024/2025 e Projeções de Crescimento Setorial**. São Paulo, CropLife Brasil, 2026. Acessado em 16 set. 2026. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/mercado-de-bioinsumos-atinge-r-62-bilhoes-em-vendas-e-area-tratada-cresce-28-em-2025/>
- INPI. **Valor Econômico e Gestão Estratégica da PI**. Portal Gov.br, Rio de Janeiro, 10 maio 2021. Acessado em 16 set. 2026. Online. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/inpi-data/valor-economico-e-gestao-estrategica-da-pi>
- KAROW, M. F.; MACAGNAN, K. L.; ALVES, M. I.; DIAZ, P.; FURLAN, L.; VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. da S. Physico-chemical, rheological, structural, thermal, mechanical and barrier properties of hybrid powder and films from cassava starch crosslinked with xanthan gum. **London Journal of Research in Science: Natural & Formal**, v. 25, p. 11-30, 2025.
- MOREIRA, A. da S.; FIORAVANTE, J. B.; VENDRUSCOLO, C. T.; MACAGNAN, K. L. **Microcápsulas à base de xantana para preservação ou liberação controlada de probióticos e composição para microcápsulas à base de xantana**. INPI, BR1020180687239, 2018.
- VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, J. L. S. **Processo de produção de biopolímero tipo xantana, biopolímero obtido, seus usos**. INPI, PI04063090, 2004.