

AVALIAÇÃO DE RISCO DE CONSÓRCIOS BACTERIANOS EM ALFACE PELO ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO EPA

RISK ASSESSMENT OF BACTERIAL CONSORTIA IN LETTUCE USING THE
EPA ECOTOXICOLOGICAL ASSAY

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias, Ciências da Saúde • 18/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781726993](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781726993)

Victor Augustus Marin¹

Claudia Antonia Vieira Rossetto²

Gabriela Guimarães Strang³

Thainá Pereira Corrêa de Sá⁴

Piettra Alves Manso⁵

RESUMO

O protocolo internacional EPA 600/3-88/029 foi aplicado para avaliar riscos ecotoxicológicos de estirpes bacterianas isoladas e consórcios sobre sementes de alface (*Lactuca sativa* L., cv. Regina de Verão). Sementes foram inoculadas com suspensões calibradas ($1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹) de seis isolados e três consórcios, além de controle (H₂O), incubadas em escuro contínuo a 23 °C por 120 h. Avaliaram-se a emissão radicular, comprimento da raiz e eixo embrionário. Não houve fitotoxicidade aguda; ao contrário, consórcios revelaram bioatividade positiva. O consórcio T5 (L3+L10+L13) destacou-se como gatilho de emergência via saturação exógena de auxinas mediada pelo gene *ipdC*, embora tenha restringido o alongamento radicular. O consórcio T9 (L8+L39+L49), promoveu máxima taxa de plântulas ativas e excelente crescimento radicular. Conclui-se que os consórcios de elite são bioativos seguros e viáveis para manejo sequencial: T5 indicado para tratamento inicial de sementes e T9 para pós-emergência e produção de mudas, consolidando o uso de bactérias promotoras de crescimento como alternativa agroecológica sustentável.

Palavras-chave: Inoculantes bacterianos; Gene *ipdC*; Skotodormência; Ecotoxicologia; Bioinsumos.

ABSTRACT

The international protocol EPA 600/3-88/029 was applied to assess the ecotoxicological risks of isolated bacterial strains and consortia on lettuce seeds (*Lactuca sativa* L., cv. Regina de Verão). Seeds were inoculated with calibrated suspensions (1.5×10^8 CFU mL⁻¹) of six isolates and three consortia, plus a control (H₂O), incubated in continuous darkness at 23 °C for 120 h. Root emission, root length, and embryonic axis were evaluated. No acute phytotoxicity was observed; on the contrary, consortia revealed positive bioactivity.

Consortium T5 (L3+L10+L13) stood out as a trigger of emergence via exogenous auxin saturation mediated by the ipdC gene, although it restricted root elongation. Consortium T9 (L8+L39+L49), promoted the highest rate of active seedlings and excellent root growth. It is concluded that elite consortia are safe and viable bioactive agents for sequential management: T5 indicated for initial seed treatment and T9 for post-emergence and seedling production, consolidating the use of plant growth-promoting bacteria as a sustainable agroecological alternative.

Keywords: Bacterial inoculants; ipdC gene; Skotodormancy; Ecotoxicology; Bioinputs.

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas de maior relevância econômica e alimentar a nível global. Contudo, o estabelecimento uniforme de plântulas em campo é frequentemente limitado por fatores fisiológicos intrínsecos à semente, tais como o fotoblastismo positivo. Sementes de alface apresentam sensibilidade luminosa, desencadeando um estado de dormência induzida pelo escuro (skotodormência) caso fiquem enterradas a profundidades inadequadas ou sem radiação luminosa ativa, o que prejudica severamente a população inicial de plantas (Bewley *et al.*, 2013; Hsiao e Quick, 1996).

As Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) surgem como uma alternativa agroecológica sustentável. Essas bactérias, ainda que não substituam a radiação luminosa, podem atenuar os efeitos da restrição ambiental ao estimular a ativação metabólica inicial por meio da produção de fitohormônios. Em especial, destaca-se o Ácido Indol-3-Acético (AIA), sintetizado pela via do

indol-3-piruvato regulada pelo gene *ipdC*, amplamente descrita em alguns gêneros de bactérias (Palacios *et al.*, 2016; Patten e Glick, 2002).

Para avaliar o potencial e a biossegurança de novos isolados bacterianos, bioensaios rápidos baseados no protocolo internacional EPA 600/3-88/029 (Ensaio A.8.7: “Lettuce root elongation”) são amplamente utilizados. Embora originalmente concebido para triagem ecotoxicológica de locais contaminados, esse protocolo permite monitorar com precisão tanto o índice de organismos-teste responsivos (emergência e ativação do eixo embrionário) quanto possíveis alterações na arquitetura radicular decorrentes da aplicação de metabólitos microbianos (EPA, 1988).

O objetivo deste estudo foi avaliar o risco ecotoxicológico de isolados de bactérias e consórcios sobre sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), partindo da hipótese inicial de que algumas cepas poderiam apresentar efeitos ecotoxicológicos adversos, conforme as diretrizes do protocolo EPA 600/3-88/029. Buscou-se verificar, por um lado, a ausência de efeitos fitotóxicos adversos, como a inibição do alongamento e, por outro, a capacidade dessas cepas e consórcios em mitigar a restrição cinética da skotodormência induzida pelo escuro, contribuindo para a análise de segurança, viabilidade e eficácia do uso desses isolados em sistemas agroecológicos sustentáveis.

2. METODOLOGIA

2.1. Material Vegetal e Condições para o Teste

Sementes de alface lisa (*Lactuca sativa* L., cultivar Regina de Verão; Isla Sementes) foram utilizadas como organismo-teste (Lote 181290-

000 S2, Germinação 94%, Safra 22/22, validade maio 2027, Pureza 99,9%). O ensaio foi conduzido seguindo as diretrizes adaptadas do protocolo EPA 600/3-88/029 para triagem e avaliação de bioatividade microbiana. As sementes foram dispostas em placas de Petri esterilizadas contendo papel de filtro qualitativo como substrato. Cada placa com 15 sementes recebeu uma alíquota de 4 mL do respectivo tratamento biológico ou controle. O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 10 tratamentos e 3 repetições (placas) por tratamento. As placas foram incubadas em câmara de crescimento (BOD) sob ausência total de luz (escuro contínuo) à temperatura constante de 23°C, por um período de 120 horas (5 dias)(EPA, 1988).

2.2. Inoculação e Identificação das Cepas Bacterianas

Os tratamentos consistiram na aplicação de suspensões bacterianas calibradas na concentração de $1,5 \times 10^8$ UFC mL, via Escala 0,5 de Mac Farland, em água destilada estéril (H₂O), utilizada isoladamente como tratamento controle (T1). Todas as cepas são da Coleção de Cultura de Bactérias do LACOMEN (CCBL)(Marin, 2026). Descrição dos tratamentos biológicos e consórcios microbianos testados:

- T1: Controle (H₂O destilada esterilizada)
- T2: *Phytobacter diazotrophicus* (Cepa L3)
- T3: *Pantoea dispersa* (Cepa L10)
- T4: *Enterobacter* sp. (Cepa L13 - portadora do gene *ipdC*)
- T5: Consórcio 1 (L3 + L10 + L13)

- T6: *Peribacillus* sp. (Cepa L8)
- T7: *Bacillus subtilis* (Cepa L39)
- T8: *Priestia aryabhatai* (Cepa L49)
- T9: Consórcio 2 (L8 + L39 + L49)
- T10: Consórcio Completo (TODAS = L3 + L10 + L13 + L8 + L39 + L49)

2.3. Parâmetros Avaliados e Análise Estatística

Após as 120 horas de incubação, determinou-se o número de sementes responsivas por unidade experimental, quantificado pelo total de sementes com emissão radicular ativa (raiz principal ≥ 1 mm), avaliando-se a eficiência de quebra de dormência no escuro segundo os critérios de contagem de organismos-teste adaptados do protocolo (EPA, 1988; Finch-Savage e Leubner-Metzger, 2006). Adicionalmente, mensurou-se o comprimento radicular (cm) de todas as plântulas viáveis, bem como o comprimento total do eixo embrionário (hipocótilo + raiz, cm).

Os dados experimentais foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) sob o modelo linear de Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). A significância estatística do efeito dos tratamentos foi avaliada pelo teste F. Para a comparação múltipla e o agrupamento das médias de todos os parâmetros quantitativos avaliados, aplicou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Este critério de partição foi selecionado com o intuito de eliminar as ambiguidades geradas por grupos sobrepostos (comuns em outros testes de médias), permitindo uma

discriminação categórica e mutuamente exclusiva dos blocos de tratamentos bioativos. A precisão experimental e a homogeneidade do ensaio foram validadas através do cálculo do Coeficiente de Variação Geral (CV%), determinado pela razão entre a raiz quadrada do Quadrado Médio do Resíduo (QMR) e a média geral do experimento vezes 100.

As análises estatísticas e a modelação matemática foram executadas em ambiente computacional através da linguagem de programação Python (v. 3.10), utilizando o módulo statsmodels para o cálculo da ANOVA e a biblioteca pandas para a manipulação dos dados. A representação gráfica dos resultados foi construída diretamente em Python por meio de um modelo de eixos combinados (Y duplo compartilhado) gerado pelas bibliotecas matplotlib e seaborn. Os tratamentos foram organizados de forma decrescente com base na proporção média de organismos-teste responsivos. Informa-se também o emprego assistido de Inteligência Artificial Generativa (IAG) por meio dos modelos Gemini (Google, 2026) e Copilot (Microsoft, 2026) exclusivamente nas etapas de suporte à redação técnica, revisão gramatical e estruturação dos dados textuais conforme o padrão normativo do periódico, mantendo-se a responsabilidade integral das autorias sobre a interpretação dos resultados e integridade científica dos dados apresentados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos biológicos exerceram forte influência sobre a fisiologia e regulação do desenvolvimento inicial da alface. Os resultados descritivos compilados estão apresentados na Tabela 1.

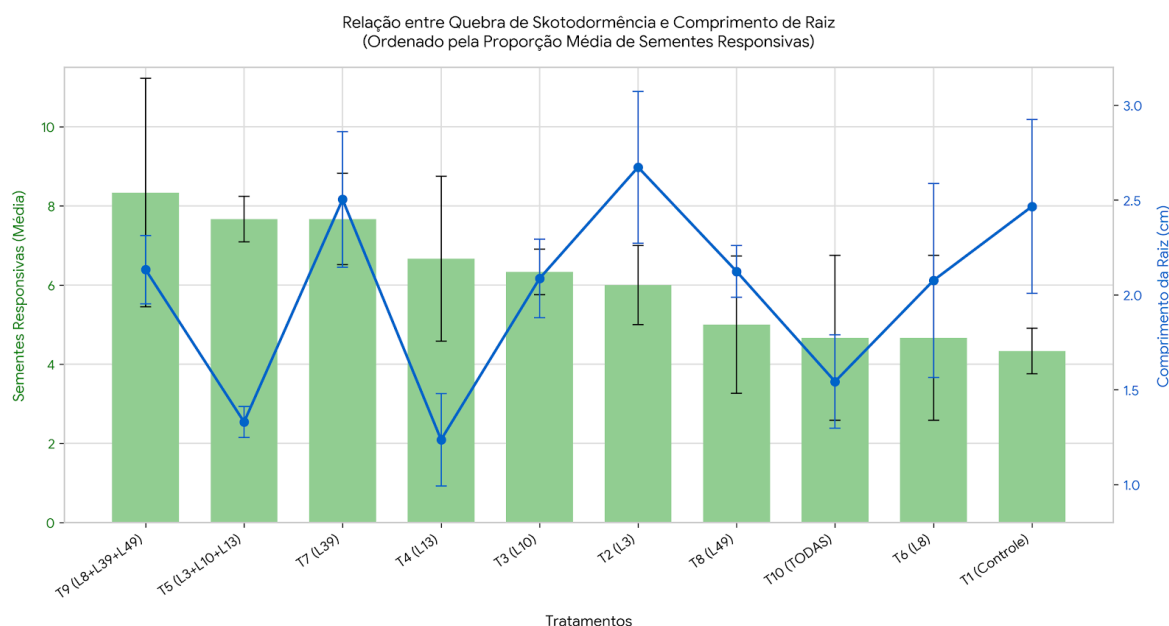
Tabela 1: Efeito de estirpes bacterianas isoladas e consórcios na taxa de superação da skotodormência (organismos-teste responsivos) e no comprimento radicular de alface Regina de Verão mantida no escuro por 120 horas (Média \pm Desvio Padrão e Teste Scott-Knott).

Tratamento	Sementes Responsivas (unid.)	Comprimento da Raiz (cm)	Comprimento Total: Hipocótilo + Raiz (cm)
T1 (Controle)	4,33 \pm 0,58 b	2,47 \pm 0,46 a	4,35 \pm 0,43 a
T2 (L3)	6,00 \pm 1,00 a	2,67 \pm 0,40 a	4,70 \pm 0,61 a
T3 (L10)	6,33 \pm 0,58 a	2,09 \pm 0,21 a	3,64 \pm 0,33 b
T4 (L13)	6,67 \pm 2,08 a	1,24 \pm 0,24 b	3,01 \pm 0,72 b
T5 (L3+L10+L13)	7,67 \pm 0,58 a	1,33 \pm 0,08 b	3,50 \pm 0,28 b
T6 (L8)	4,67 \pm 2,08 b	2,08 \pm 0,51 a	4,00 \pm 0,22 a
T7 (L39)	7,67 \pm 1,15 a	2,50 \pm 0,36 a	4,89 \pm 0,37 a
T8 (L49)	5,00 \pm 1,73 b	2,31 \pm 0,30 a	4,12 \pm 0,53 a
T9 (L8+L39+L49)	8,33 \pm 2,89 a	2,13 \pm 0,18 a	4,11 \pm 0,15 a
T10 (TODAS)	4,67 \pm 2,08 b	1,54 \pm 0,25 b	3,21 \pm 0,29 b

Os resultados demonstram que a inoculação com BPCV isoladas ou em consórcio foi capaz de quebrar a skotodormência das sementes de alface Regina de Verão sob ausência de luz, contrariamente à expectativa inicial de possíveis efeitos fitotóxicos, nenhum tratamento apresentou toxicidade aguda; ao contrário, vários consórcios revelaram bioatividade positiva promovendo

incrementos significativos no número de sementes responsivas em relação ao controle. Contudo, o desenvolvimento do sistema radicular respondeu de forma heterogênea ao estímulo biológico, evidenciando que a eficiência na superação da dormência nem sempre se correlaciona positivamente com o alongamento posterior da raiz (Figura 1).

Figura 1. Perfil comparativo de eixos combinados ordenado por proporção média de sementes responsivas (barras verdes, eixo à esquerda) e comprimento radicular associado (linha azul, eixo à direita) em plântulas de alface Regina de Verão após 120 horas de incubação no escuro. As barras verticais indicam o desvio padrão das repetições (n=3).



3.1. Eficiência da Superação da Restrição de Skotodormência

As sementes de alface, sendo fotoblástica positiva, tiveram a sua ativação metabólica inicial e emissão radicular reprimidas no tratamento controle (H_2O), registrando apenas $4,33 \pm 0,58$ sementes emersas devido à indução da dormência pelo escuro contínuo. A inserção das suspensões bacterianas superou significativamente

esta barreira reprodutiva ($P = 0,062$, tendência estatística robusta a 10%).

O Consórcio de Elite T9 (*Peribacillus* sp. L8 + *B. subtilis* L39 + *P. aryabhatai* L49) obteve o desempenho máximo do experimento, promovendo a quebra da dormência com média de $8,33 \pm 2,89$ sementes responsivas, o mesmo para T5 (consórcio das Enterobacterales) e pelo T7 (*Bacillus subtilis* isolado), ambos com 7,67 sementes. Estes dados demonstram que as bactérias atuaram via sinalização química exógena, simulando ou substituindo a necessidade do estímulo luminoso regulado pelo fitocromo celular.

3.2. Regulação Hormonal e Arquitetura Radicular (Efeito do Gene *Ipdc*)

A análise de variância revelou efeito altamente significativo ($P < 0,001$) com um excelente nível de precisão experimental ($CV = 15,91\%$) para o comprimento da raiz principal.

O tratamento T4 (*Enterobacter* sp. L13) revelou-se um eficiente gatilho de superação da dormência no escuro (6,67 sementes responsivas), mas restringiu drasticamente o alongamento da raiz para a menor média detectada no ensaio ($1,24 \pm 0,24$ cm). Esta tendência depressiva radicular manteve-se dominante quando a cepa L13 foi integrada nos consórcios complexos, como verificado no T5 (1,33 cm) e T10 (1,54 cm).

Embora reduções de comprimento radicular no protocolo EPA 600/3-88/029 sugiram indícios de fitotoxicidade aguda, o cruzamento com os elevados números de sementes responsivas descarta qualquer efeito tóxico deletério ou morte celular. Biologicamente, a resposta morfológica da plântula à cepa L13

justifica-se pela presença confirmada do gene *ipdC* (indol-3-piruvato descarboxilase), responsável pela via biossintética do Ácido Indol-3-Acético (AIA) (Palacios *et al.*, 2016; Patten e Glick, 2002;).

A elevada densidade populacional inoculada (10^8 UFC mL⁻¹) desencadeou uma saturação exógena de auxina no ambiente restrito da placa de Petri. O tecido radicular possui sensibilidade extrema a este fitormônio; concentrações ótimas estimulam o crescimento, enquanto cargas supra-ótimas desencadeiam a via de biossíntese de etileno (via ACC-sintase), bloqueando o alongamento do eixo radicular principal.

Em contrapartida, isolados como o T2 (*Phytobacter diazotrophicus* L3) e o T7 (*Bacillus subtilis* L39) exibiram excelente sintonia hormonal na interface planta-bactéria, garantindo elevados números de sementes responsivas e sustentando os maiores crescimentos de raiz (2,67 cm e 2,50 cm, respectivamente), comprovando estarem operando dentro de limites fisiológicos ótimos para a cultura.

A regulação diferencial exercida pelos tratamentos biológicos sobre o balanço hormonal exógeno torna-se ainda mais evidente ao se analisar o comprimento total das plântulas (Hipocótilo + Raiz). A análise de variância (ANOVA) sob o modelo linear de DIC confirmou um efeito altamente significativo dos tratamentos ($P = 0,0003$), associado a uma excelente precisão experimental expressa pelo Coeficiente de Variação (CV) de apenas 10,84%.

Embora a estirpe *Enterobacter sp.* L13 (T4) tenha apresentado uma restrição severa e isolada no eixo radicular principal (1,24 cm), o comprimento total da plântula expandiu-se para uma média real de

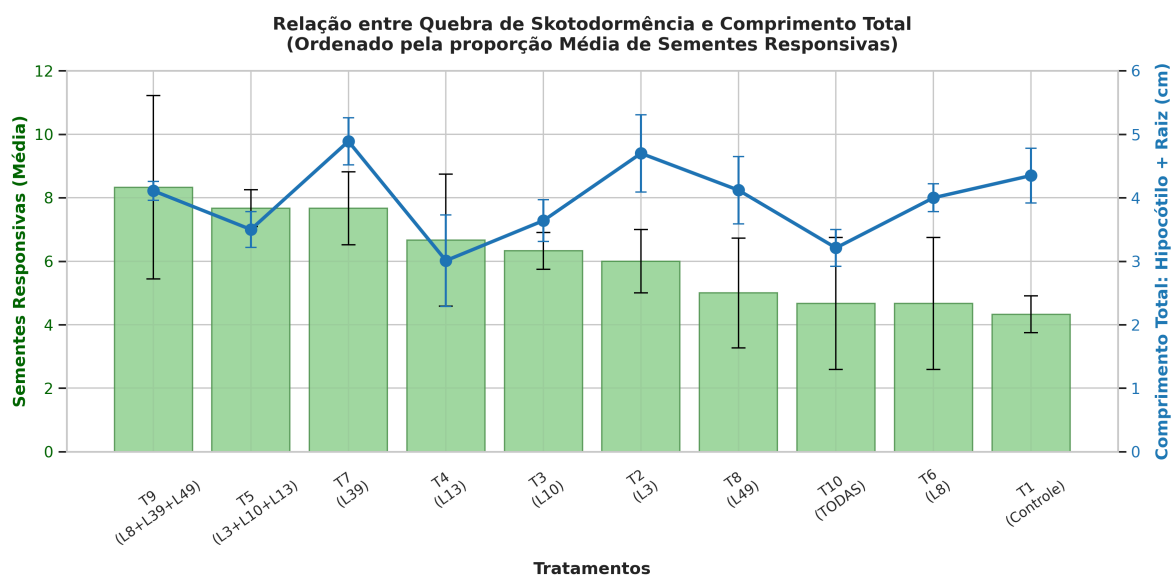
3,01 ± 0,72 cm. Este comportamento morfológico reflete o modelo clássico de redistribuição e partição de energia celular sob o efeito de concentrações supra-ótimas de AIA exógeno, cuja síntese é mediada pelo gene *ipdC* presente nesta cepa. Enquanto o excesso de auxina ativa a rota do etileno no meristema radicular (inibindo o seu alongamento), o mesmo nível hormonal atua de forma complementar nas células do hipocótilo, estimulando o alongamento celular vertical e potencializando o vigor do eixo embrionário sob a ausência de luz (Matilla *et al.*, 2025; Soumya *et al.*, 2026).

Fenômeno inverso de estímulo integral e equilibrado foi observado na exposição ao isolado T7 (*Bacillus subtilis* L39). Este tratamento propiciou o maior comprimento total (desenvolvimento absoluto do ensaio)(4,89 ± 0,37 cm), integrando o grupo de máximo desempenho estatístico pelo teste de Scott-Knott (Grupo a), no qual também se posicionou o tratamento controle (T1= 4,35 ± 0,43 cm) (Tabela 1). Essa equivalência ao padrão de referência basal valida a elevada biossegurança da cepa L39, evidenciando a ausência de quaisquer efeitos fitotóxicos agudos sobre o eixo embrionário (EFSA *et al.*, 2024). Esse padrão demonstra que a taxa de entrega hormonal do isolado L39 operou em perfeita sintonia com as exigências homeostáticas da alface, promovendo o desenvolvimento harmônico de ambos os tecidos vegetativos mesmo sob condições severas de *skotodormência* (Bewley *et al.*, 2013; Hsiao e Quick, 1996).

Ao analisar o comprimento total das plântulas (Figura 2), observa-se que o efeito dos tratamentos foi altamente significativo (ANOVA; F = 6,087; P = 0,0003; CV = 10,84%). Este parâmetro confirma que, apesar da restrição radicular severa causada pelo isolado L13 (T4), houve um direcionamento de energia para o alongamento do hipocótilo

(estiolamento funcional), validando a hipótese de saturação por auxinas exógenas nesta cepa específica.

Figura 2. Perfil comparativo de eixos combinados ordenado pela proporção média de sementes responsivas (barras verdes, eixo à esquerda) e comprimento total do eixo embrionário [hipocótilo + raiz] associado (linha azul, eixo à direita) em plântulas de alface Regina de Verão após 120 horas de incubação no escuro. As barras verticais indicam o desvio padrão das repetições (n=3).



3.3. Operons Estruturais e Metabólicos na Quebra de Dormência e Germinação

Mesmo sem possuir genes específicos para a síntese de fitohormônios, a L3 (T2), *Phytobacter diazotrophicus*, revela uma estratégia evolutiva altamente refinada para promover a germinação e o estabelecimento vegetal, onde genes estruturais, metabólicos e de membrana atuam diretamente como fatores de mutualismo. Enquanto o operon de ácido colânico e síntese de ramnose (*cps/wca* e *rfaA-D*) constrói um gel protetor hidrofílico que otimiza a embebição da semente e resguarda a nitrogenase contra o oxigênio, os genes *alsS* e *budA* emitem sinais voláteis que aceleram a quebra de dormência do embrião. Esse disparo metabólico, que gera um

estresse oxidativo severo para a semente, é prontamente mitigado pelo denso arsenal antioxidante bacteriano composto pelas superóxido dismutases (*sodA*, *sodB* e *sodC*) e pelas catalases/peroxidases (*katG* e *katE*), que neutralizam os radicais livres. O sucesso definitivo dessa interação, contudo, depende do operon *srfABC*; em enterobactérias endofíticas, esse sistema integrado de membrana funciona como uma "chave molecular" que permite à bactéria sintonizar suas propriedades de superfície e sinalização química com o hospedeiro vegetal, mitigando respostas de hipersensibilidade da semente e garantindo uma transição segura da colonização externa para a invasão endofítica benéfica logo nos primeiros estágios da emergência radicular.

3.4. Viabilidade Tecnológica e Aplicação Prática dos Consórcios de Elite no Manejo Agrícola

Os resultados deste ensaio demonstram que a complexidade biológica do solo e das sementes pode ser manejada de forma eficiente através do uso de dois consórcios de elite com propriedades funcionais distintas, permitindo um posicionamento técnico complementar na agricultura.

O primeiro consórcio de elite, T5 (L3 + L10 + L13), composto por Enterobacterales, provou ser uma ferramenta biológica agressiva e altamente eficaz no momento inicial da cultura. Devido à presença do gene *ipdC* na cepa L13 e dos demais genes descritos na cepa L3, este consórcio atua como um potente "disparador químico" na superação da dormência e germinação. Na prática agrícola, o seu uso é ideal para o Tratamento de Sementes (TS) ou aplicação em sementeiras, pois promove a quebra da dormência no escuro do substrato e assegura máxima uniformidade e taxa de emergência

das plântulas, superando limitações fisiológicas naturais da semente. A cepa L10 permanece no consórcio por sua capacidade de solubilizar fósforo e potássio, enquanto L3 e L13 são fixadoras de nitrogênio, resultando em um consórcio de bactérias com funções integradas de NPK.

O segundo consórcio de elite, T9 (L8 + L39 + L49), composto pelo bloco de bacilos esporulantes (*Peribacillus* sp., *Bacillus subtilis* e *Priestia aryabhatai*), consolidou-se como a formulação mais equilibrada para o desenvolvimento subsequente. Ao promover a germinação recorde (8,33) associada a um excelente alongamento radicular (2,13 cm), este consórcio demonstra sinergismo perfeito, livre de saturação hormonal. Na prática, o T9 é a escolha ideal para o Manejo Pós-Emergência, fase de produção de mudas e pós-transplante. Os microrganismos esporulantes colonizam a rizosfera de forma segura, estimulando a expansão radicular lateral e conferindo proteção biológica contra fitopatógenos de solo.

Portanto, em vez de competirem entre si, os dois consórcios de elite podem ser integrados num programa de manejo sequencial: o T5 atuando no “despertar” e arranque inicial da semente, e o T9 assumindo a estruturação radicular e robustez da planta em campo (Bashan *et al.*, 2014; Cipriano *et al.*, 2026; Jaudé *et al.*, 2025; Florencio *et al.*, 2022; Tahiri *et al.*, 2022).

Como o protocolo EPA 600/3-88/029 preconiza a incubação no escuro e assume a alta viabilidade biológica do lote, a ausência de luz atuou no ensaio como um fator indutor de skotodormência (dormência secundária induzida pelo escuro). Portanto, os tratamentos bacterianos não foram avaliados sob a ótica de quebra de dormência primária (já que as sementes eram comerciais e

viáveis), mas sim como agentes bioestimulantes capazes de reverter o estado de skotodormência induzido pelo próprio desenho experimental da EPA, acelerando a dinâmica de protrusão radicular e o vigor do eixo embrionário (EPA, 1988).

4. CONCLUSÕES

Os tratamentos biológicos testados não possuem efeito fitotóxico agudo sobre a Alface Lisa Regina de Verão, atuando como insumos biológicos bioativos seguros.

Os dois consórcios de elite avaliados (T5 e T9) provaram-se eficazes e viáveis para o uso agrícola, apresentando aptidões complementares dependendo da fase fenológica da cultura.

O Consórcio de Elite T5 (L3 + L10 + L13), composto por Enterobacterales, é recomendado para o manejo inicial e tratamento de sementes, atuando via gene *ipdC* como um potente gatilho na superação da skotodormência e uniformização do estande.

O Consórcio de Elite T9 (L8 + L39 + L49), composto por bacilos esporulantes, é recomendado para o manejo pós-emergência e transplante, oferecendo o maior equilíbrio prático ao maximizar a germinação sem causar restrições ao alongamento do eixo radicular principal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Finep pelo apoio financeiro e à Unirio pelo apoio técnico para a realização do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASHAN, Yoav; DE-BASHAN, Luz E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, Juan P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1, p. 1-33, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1956-x>. Acesso em: 5 mai. 2026.

BEWLEY, John D. *et al.* **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4693-4>. Acesso em: 15 abr. 2026.

CIPRIANO, A. P. Matheus *et al.* Plant growth-promoting bacteria optimize lettuce seedling production. **Research, Society and Development**, v. 15, n. 3, p. e6315350800-e6315350800, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v15i3.50800>. Acesso em: 7 mai 2026.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) *et al.* Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Bacillus subtilis* strain RT1477. **EFSA J.**, Sep 9;22(9):e8989, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8989>. Acesso em: 16 mar 2026.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Ecological Effects Test Guidelines: Lettuce Root Elongation (EPA 600/3-88/029)**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1988. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30002OOD.TXT>. Acesso em: 03 mai 2026.

FINCH-SAVAGE, William E.; LEUBNER-METZGER, Gerhard. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n.

3, p. 501-523, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>. Acesso em: 27 abr 2026

FLORENCIO, Camila, *et al.* Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável. **Química Nova**, v. 45, p. 1133-1145, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170909>. Acesso em: 15 mai 2026.

GLICK, Bernard R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3820493/>. Acesso em: 14 abr 2026.

HSIAO, I. Andrew, QUICK, A. Willian. The roles of inorganic nitrogen salts in maintaining phytochrome- and gibberellin A3-mediated germination control in skotodormant lettuce seeds. **J Plant Growth Regul**, v. 15, p. 159–165, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00190579>. Acesso em: 13 fev 2026.

JAOUDE, A. Renée *et al.* Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Synthetic Consortium on Growth, Yield, and Metabolic Profile of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown Under Suboptimal Nutrient Regime. **Horticulturae**, v. 11, n. 64, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010064>. Acesso em: 22 mai 2026.

MARIN, A. Victor. **Coleção de Culturas de Bactérias do LACOMEN - CCBL**. Version 1.2423. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://doi.org/10.15468/cin0ca>. Acesso em: 10 jun 2026.

MATILLA, Angel J. Exploring the Bacterial Microbiota of Seeds. **Microbial Biotechnology**, v. 18, n. 9, p. e70230, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.70230>. Acesso em: 09 fev 2026.

PALACIOS, Oskar A. *et al.* Tryptophan, thiamine and indole-3-acetic acid exchange between *Chlorella orokiniana* and the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 6, p. 3795-3801, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw077>. Acesso em: 07 jan 2026.

SOUMYA, Padinjarakavil *et al.* In vitro, in planta and whole genome sequence-based elucidation of plant beneficial effects of endophytic *Enterobacter* sp. P1P. 3 **Biotech**, v. 16, n. 3, p. 91, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-026-04696-0>. Acesso em: 28 fev 2026.

TAHIRI, Abdel-ilah *et al.* Beneficial Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost on Lettuce (*Lactuca sativa*) Growth Under Field Conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 74, p. 219–235, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00604-z>. Acesso em: 15 fev. 2026.

¹ Docente da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO). Coordenador do Laboratório de Controle Microbiológico de Alimentos da Escola de Nutrição (LACOMEN), Rio de Janeiro, Brasil. Orcid <https://orcid.org/0000-0002-9827-6552>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Docente da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, Brasil. Orcid <https://orcid.org/0000-0002-4368-7119>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Discente do Curso Superior de Nutrição da Escola de Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, Brasil. Orcid <https://orcid.org/0009-0002-1845-2534>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Discente do Curso Superior de Nutrição da Escola de Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, Brasil. Orcid <https://orcid.org/0009-0005-7925-3813>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Discente do Curso Superior de Nutrição da Escola de Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, Brasil. Orcid <https://orcid.org/0009-0008-5835-5249>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)