

TRATAMENTOS PRÉ-GERMINATIVOS NA GERMINAÇÃO E NO VIGOR DE SEMENTES DE ALFACE

PRE-GERMINATION TREATMENTS ON LETTUCE SEED GERMINATION AND VIGOR

Ciências Agrárias • 18/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/789700890](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/789700890)

Nilder Silva Pereira¹

Manoela Safira Sousa e Silva²

Gabriel Feitosa de Melo³

Gleicyele Santana de Aguiar⁴

Erinaldo Leite Siqueira Júnior⁵

RESUMO

A qualidade fisiológica das sementes é um fator determinante para o estabelecimento inicial das culturas agrícolas, sendo influenciada por processos metabólicos relacionados à germinação, ao vigor e às condições ambientais. Nesse contexto, os tratamentos pré-germinativos representam estratégias importantes para minimizar limitações fisiológicas, reduzir a termoinibição e favorecer a uniformidade da emergência das plântulas. O presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre os principais tratamentos pré-germinativos empregados em sementes de alface, com destaque para a imersão em água morna, o uso de nitrato de potássio (KNO_3) e a aplicação de hipoclorito de sódio (NaClO), analisando seus mecanismos fisiológicos e suas contribuições para o desempenho inicial das plantas. A pesquisa foi desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico em bases de dados nacionais e internacionais. As referências selecionadas foram submetidas à análise qualitativa e comparativa, permitindo identificar os efeitos dos tratamentos sobre parâmetros fisiológicos utilizados na avaliação do desempenho das sementes. A literatura demonstra que essas técnicas favorecem a ativação metabólica, melhoram a uniformidade do processo germinativo e contribuem para a formação de plântulas mais vigorosas.

Palavras-chave: condicionamento fisiológico; termoinibição; dormência fisiológica; qualidade fisiológica; revisão sistemática.

ABSTRACT

Seed physiological quality is a determining factor for the initial establishment of agricultural crops, being influenced by metabolic processes related to germination, vigor, and environmental conditions. In this context, pre-germination treatments represent important strategies to minimize physiological limitations, reduce

thermoinhibition, and promote uniform seedling emergence. This study aimed to conduct a systematic literature review on the main pre-germination treatments applied to lettuce seeds, with emphasis on warm water immersion, the use of potassium nitrate (KNO_3), and the application of sodium hypochlorite (NaClO), analyzing their physiological mechanisms and their contributions to the initial performance of the plants. The research was carried out through a bibliographic survey in national and international databases. The selected references were submitted to qualitative and comparative analysis, allowing the identification of the treatments' effects on physiological parameters used to evaluate seed performance. The literature shows that these techniques favor metabolic activation, improve the uniformity of the germination process, and contribute to the formation of more vigorous seedlings.

Keywords: seed priming; thermoinhibition; physiological dormancy; physiological quality; systematic review.

1. INTRODUÇÃO

A domesticação da alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se a partir de um ancestral comum, a espécie selvagem *Lactuca serriola* L., processo que permitiu a diversificação da espécie em seis grupos hortícolas de cultivares ao longo dos milênios (Zhang et al., 2017). Atualmente, essa cultura consolidou-se como um pilar da agricultura global, o que demanda a obtenção de mudas vigorosas para assegurar o adequado estabelecimento no campo (Van Workum et al., 2024).

O sucesso produtivo da cultura depende dos processos metabólicos da germinação, que se iniciam com a absorção de água pela semente quiescente e culminam na protrusão da radícula (Bewley,

1997), controlados por mecanismos de dormência que evitam a germinação em momentos desfavoráveis (Finch-Savage; Leubner-Metzger, 2006). Além da capacidade germinativa, o vigor corresponde ao conjunto de atributos que favorecem o estabelecimento rápido e uniforme das plântulas, sendo essencial para diferenciar lotes com percentuais de germinação semelhantes (Delouche; Caldwell, 1962; Costa et al., 2021).

Os tratamentos pré-germinativos são estratégias para maximizar o desempenho das sementes, como o osmotic conditioning ou priming, que consiste na hidratação controlada até um ponto que permite atividade metabólica sem permitir a emergência da radícula (Bradford, 1986). A superação da termoinibição em alface é viabilizada pela imersão em água, que reativa o metabolismo celular (Wei et al., 2024), pelo uso de KNO_3 , que otimiza o vigor fisiológico (Adhikari; Olorunwa; Barickman, 2022), e por agentes escarificantes/sanitizantes como o NaClO .

Cada um desses três grupos de tratamento será examinado em profundidade nas subseções seguintes, com atenção especial às evidências disponíveis especificamente para *Lactuca sativa* L. e, quando necessário, a estudos conduzidos em espécies correlatas cujos mecanismos fisiológicos são suficientemente conservados para permitir extrapolações fundamentadas, sempre devidamente sinalizadas ao longo do texto.

A eficiência desses tratamentos é avaliada por meio do Índice de Velocidade de Germinação (IVG), que expressa a rapidez e a uniformidade da germinação (Maguire, 1962), e do Tempo Médio de Germinação (TMG), calculado pela equação $\text{TMG} = \Sigma(n \times d) / N$, em

que n é o número de sementes germinadas por dia, d o número de dias desde o início do teste e N o total de sementes germinadas.

Do ponto de vista comercial, o IVG e o TMG não são apenas parâmetros acadêmicos: viveiros que produzem mudas em larga escala dependem de estandes homogêneos para otimizar o uso de bandejas, reduzir o descarte de mudas fora de padrão e programar com precisão a data de transplântio para o campo. Pequenas variações no tempo médio de emergência, quando multiplicadas por milhares de células de bandeja, podem representar diferenças significativas de custo operacional, o que torna a escolha do tratamento pré-germinativo adequado uma decisão com impacto econômico direto sobre a cadeia de produção de mudas hortícolas, para além do interesse estritamente fisiológico.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura acerca dos principais tratamentos pré-germinativos empregados em sementes de *Lactuca sativa* L., com ênfase na imersão em água morna, no uso de nitrato de potássio e na aplicação de hipoclorito de sódio, discutindo seus mecanismos de ação e sua relevância para o estabelecimento uniforme das plântulas (Bradford, 1986).

Do ponto de vista conceitual, os tratamentos pré-germinativos podem ser classificados em três grandes categorias: físicos, que atuam sobre a permeabilidade e a integridade do tegumento por meio de calor, atrito ou hidratação controlada; químicos, que utilizam soluções salinas, oxidantes ou reguladores de crescimento para modular o metabolismo do embrião; e biológicos, que empregam microrganismos benéficos ou extratos vegetais como agentes de proteção e estímulo (Poštić et al., 2021). Essa

categorização orienta a organização da presente revisão, já que os três tratamentos selecionados — água morna, KNO_3 e NaClO — representam, respectivamente, exemplos característicos das abordagens física, química osmótica e química oxidativa/sanitizante.

A relevância prática desses tratamentos torna-se ainda mais evidente quando se considera a diversidade genética da alface cultivada, resultante de séculos de seleção que originaram os seis grupos hortícolas hoje reconhecidos (Zhang et al., 2017). Genótipos distintos apresentam respostas fisiológicas diferentes ao mesmo tratamento, o que reforça a necessidade de compreender os mecanismos gerais de ação antes de recomendar protocolos específicos para cada cultivar e sistema de produção de mudas.

Estudos moleculares recentes, como o mapeamento transcricional conduzido por Zhang et al. (2017), evidenciam que rotas metabólicas associadas à biossíntese de flavonoides e a respostas de estresse em alface compartilham reguladores comuns com as vias hormonais envolvidas na germinação, sugerindo que o metabolismo secundário da planta pode estar mais intimamente conectado à fisiologia da semente do que tradicionalmente se assumia. Embora essa relação não seja o foco central da presente revisão, ela ilustra a complexidade regulatória subjacente aos fenômenos aqui discutidos e reforça a importância de abordagens integrativas na pesquisa futura sobre germinação de hortaliças.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, desenvolvida com o propósito de reunir, analisar e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre a aplicação de

tratamentos pré-germinativos em sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), fundamentada nos princípios metodológicos da pesquisa bibliográfica (Gil, 2002; Pereira et al., 2018).

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados Scopus, Web of Science, SciELO, PubMed e Google Acadêmico, além do Portal de Periódicos da CAPES, sem limite inferior de data de publicação e com busca concluída em 2026. Foram utilizados, isolados e combinados por operadores booleanos (AND/OR), os descritores em português e inglês, correspondentes às palavras-chave do estudo: "alface" / "lettuce"; "Lactuca sativa"; "condicionamento fisiológico" / "seed priming"; "termoinibição" / "thermoinhibition"; "dormência fisiológica" / "physiological dormancy"; "qualidade fisiológica" / "physiological quality"; "vigor de sementes" / "seed vigor"; "germinação" / "germination"; associados aos tratamentos investigados — "nitrato de potássio" / "potassium nitrate" e "hipoclorito de sódio" / "sodium hypochlorite".

Foram incluídos artigos originais, artigos de revisão, capítulos de livro, documentos técnicos e publicações institucionais, em português, inglês ou espanhol, que abordassem diretamente a fisiologia da germinação e do vigor de sementes de alface ou que descrevessem mecanismos bioquímicos de tratamentos pré-germinativos (hidropriming, priming com KNO_3 e escarificação/desinfestação com NaClO) aplicáveis, por analogia, a essa cultura. Foram excluídos resumos de eventos sem texto completo disponível, publicações duplicadas entre bases e estudos cujo foco não permitisse extrair informação fisiológica relevante ao tema.

Após a triagem por título e resumo, seguida da leitura na íntegra dos textos pré-selecionados, os estudos remanescentes foram organizados por tratamento (água morna, KNO_3 e NaClO) e por desfecho avaliado (germinação, IVG, TMG e vigor). Procedeu-se então à análise qualitativa e comparativa das evidências, agrupando os trabalhos por convergência de resultados e organizando a discussão de forma temática (Marconi; Lakatos, 2003; Severino, 2013).

Como limitação metodológica inerente a revisões narrativas/sistemáticas de literatura, reconhece-se que a heterogeneidade experimental entre os estudos selecionados — diferenças de cultivar, temperatura, concentração e tempo de exposição — impede a realização de uma metanálise quantitativa formal. Optou-se, portanto, por uma síntese qualitativa estruturada, na qual os resultados numéricos são apresentados de forma descritiva e contextualizada, sem agregação estatística entre estudos, o que é uma prática reconhecida em revisões de fisiologia de sementes quando o número de ensaios padronizados disponíveis para uma mesma espécie ainda é limitado (Costa et al., 2021).

As variáveis de interesse extraídas de cada estudo incluído foram, sempre que disponíveis: percentual final de germinação, Índice de Velocidade de Germinação (IVG), Tempo Médio de Germinação (TMG), percentual de emergência de plântulas, massa seca acumulada e indicadores bioquímicos de estresse oxidativo (atividade de enzimas antioxidantes e teor de malondialdeído). Quando um estudo reportava apenas parte dessas variáveis, os dados disponíveis eram igualmente considerados, sem exclusão do trabalho, desde que a metodologia experimental estivesse claramente descrita e permitisse a extração confiável da informação relatada, seguindo diretrizes gerais de amostragem e

documentação laboratorial recomendadas para sementes de hortaliças (Lopes; Nascimento, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Importância dos Tratamentos Pré-Germinativos na Qualidade Fisiológica de Sementes

Os tratamentos pré-germinativos constituem um grupo de técnicas de condicionamento fisiológico aplicadas às sementes antes da semeadura, com a meta de obter o máximo desempenho vegetativo inicial e boa produtividade de mudas (Costa et al., 2021). Sua finalidade fundamenta-se na capacidade de padronizar a absorção de água pelos tecidos do embrião e ativar precocemente as rotas metabólicas que antecedem a protrusão da radícula (Wei et al., 2024).

A técnica de pré-hidratação atua na reorganização física e no reestabelecimento da integridade das membranas celulares (Adhikari; Olorunwa; Barickman, 2022), reduzindo danos por estresse de calor (Neves et al., 2026). O uso de reguladores de crescimento visa vencer a dormência e reabilitar lotes de baixo vigor (Rocha et al., 2020), e a reativação enzimática reduz danos oxidativos do envelhecimento (Adetunji et al., 2020).

Além do ganho fisiológico, o tratamento de sementes agrega nutrientes minerais e agentes biológicos que protegem o embrião (Poštić et al., 2021), e o recobrimento/peletização sustentável favorece o plantio mecanizado (Crisóstomo et al., 2026). A limpeza e a desinfestação da casca completam o conjunto de práticas, eliminando agentes nocivos sem causar toxidez ao embrião (Bošnjak Mihovilović et al., 2024).

Em termos históricos, o conceito de vigor de sementes consolidou-se a partir dos trabalhos pioneiros de Delouche e Caldwell (1962), que definiram o vigor como o conjunto de propriedades que determinam o potencial de desempenho rápido, uniforme e sadio das sementes sob ampla faixa de condições ambientais — definição que permanece central para justificar a aplicação de tratamentos pré-germinativos como ferramenta de padronização de lotes comerciais. Do ponto de vista fisiológico, Bewley (1997) descreve a germinação como um continuum de eventos que se inicia com a embebição e progride por meio da reativação de rotas metabólicas de reparo e síntese, processo que os tratamentos pré-germinativos buscam antecipar parcialmente, sem permitir a protrusão da radícula antes da semeadura.

Sob a perspectiva da dormência, Finch-Savage e Leubner-Metzger (2006) destacam que os mecanismos de controle da germinação evoluíram como estratégia adaptativa para sincronizar a emergência das plântulas com janelas ambientais favoráveis, o que explica por que a termoinibição — um tipo específico de dormência induzida por temperatura — é tão pronunciada em sementes de alface cultivadas em regiões de clima quente, tornando os tratamentos pré-germinativos uma ferramenta agrônômica particularmente relevante nesses ambientes.

A avaliação da eficácia de qualquer tratamento pré-germinativo depende, em última instância, da robustez dos métodos de teste empregados. Contreras e Barros (2005) demonstraram que o teste de solução saturada de sal e a análise automatizada de imagens de plântulas apresentam correlação satisfatória com o desempenho em campo, oferecendo alternativas mais rápidas e objetivas do que os testes de vigor tradicionais baseados apenas em contagens

visuais. A padronização desses métodos de avaliação é particularmente relevante para permitir a comparação de resultados entre diferentes estudos e, futuramente, viabilizar sínteses quantitativas mais robustas do que a análise qualitativa aqui adotada.

A relação entre qualidade fisiológica e desempenho em campo também é influenciada por fatores pós-colheita que antecedem qualquer tratamento pré-germinativo, como as condições de secagem, beneficiamento e armazenamento do lote de sementes. Iradukunda et al. (2024) mostraram, por meio de técnicas de imagem, que o envelhecimento progressivo durante o armazenamento reduz de forma mensurável o vigor de sementes de alface antes mesmo da semeadura, o que reforça que os tratamentos pré-germinativos discutidos nesta revisão devem ser vistos como complementares — e não substitutos — a boas práticas de conservação pós-colheita ao longo de toda a cadeia de produção de sementes.

Adetunji et al. (2020) complementam essa perspectiva ao demonstrar que sementes envelhecidas de espécies da família das Asteraceae e Brassicaceae, entre elas a alface, apresentam padrões característicos de degradação bioquímica — aumento da carbonilação de proteínas e da peroxidação lipídica — que podem, em parte, ser revertidos por tratamentos de reidratação controlada, ainda que a magnitude dessa recuperação dependa do grau de deterioração já instalado no lote. Esse achado reforça a importância de aplicar os tratamentos pré-germinativos preferencialmente em lotes recém-colhidos ou adequadamente conservados, nos quais o potencial de resposta ao condicionamento fisiológico tende a ser maior.

Por fim, a definição precisa de vigor de sementes proposta por Delouche e Caldwell (1962) permanece útil para distinguir dois lotes com germinação laboratorial semelhante, mas desempenho distinto em campo: enquanto o teste padrão de germinação é conduzido em condições ambientais controladas e favoráveis, o vigor busca capturar o comportamento da semente sob condições subótimas, mais próximas da realidade do viveiro comercial. Essa distinção conceitual é a base que justifica, ao longo de toda esta revisão, a ênfase simultânea em germinação e em vigor como desfechos complementares e não intercambiáveis.

A principal limitação fisiológica da germinação de *L. sativa* em clima quente é a termoinibição induzida por estresse térmico (Almeida et al., 2019). Sob calor, ocorre a ativação da biossíntese de ácido abscísico pela expressão do gene *LsNCED4* e a supressão da síntese de giberelinas, impedindo o enfraquecimento do endosperma e a protrusão da radícula (Wei et al., 2024).

A sensibilidade ao estresse térmico varia entre cultivares: genótipos sensíveis entram em termodormência secundária a 30 °C, enquanto cultivares tolerantes preservam parte relevante da capacidade germinativa nessa faixa (Soares et al., 2017; Teodoro et al., 2015). A deterioração fisiológica durante o armazenamento reduz progressivamente a viabilidade do embrião, associada ao aumento da peroxidação lipídica (Adetunji et al., 2020; Iradukunda et al., 2024).

Em lotes de baixo vigor, o desequilíbrio hormonal retarda o crescimento da raiz primária (Rocha et al., 2020), reduzindo o IVG e o rendimento de mudas (Neves et al., 2026). O tamanho reduzido dos aquênios de alface dificulta ainda o manuseio e a retenção hídrica no plantio (Crisóstomo et al., 2026), o que, somado ao manejo

inadequado, limita a formação do estande inicial (Souza, J. T. A. et al., 2019).

A germinação e o vigor de sementes de alface relacionam-se diretamente com a temperatura de cultivo: Soares et al. (2017) registraram taxas de até 93% em temperatura considerada ideal, com quedas acentuadas em temperaturas mais altas. A elevação do vigor inicial reflete-se no incremento do IVG e na redução do TMG, com ganhos expressivos após escarificação química (Teodoro et al., 2015), e em linhagens biofortificadas o condicionamento ajudou a manter parte relevante da germinação mesmo sob calor (Neves et al., 2026).

O tratamento hormonal exógeno com 24-epibrassinolídeo reabilitou lotes de baixo vigor, elevando a emergência final de 58% (controle) para 89% (tratado) (Rocha et al., 2020). A mensuração do vigor depende de testes padronizados, como o de solução saturada de sal e a análise de imagem óptica, que apresentam boa correlação com a emergência em campo (Contreras; Barros, 2005). Modelos de aprendizado de máquina aplicados a lotes peletizados indicam que germinação e comprimento de plântula respondem por parte relevante da variação de vigor (Crisóstomo et al., 2026).

A uniformidade de emergência é exigência técnica fundamental na produção moderna de hortaliças, já que lotes de alto vigor podem aumentar o rendimento de biomassa em mais de 35% (Costa et al., 2021). A aplicação de inoculantes biológicos à base de *Trichoderma* incrementou a emergência em cultivares de alface na faixa de 4–5% (Poštic et al., 2021), e o pré-tratamento sanitário com NaClO garantiu 96,3% de emergência e 100% de controle in vitro de *Cercospora longissima* (Carmello; Cardoso, 2018).

O Quadro 1 sintetiza, de forma comparativa, o mecanismo de ação, os principais efeitos, as vantagens e as limitações dos três tratamentos discutidos nesta revisão.

Quadro 1. Comparação qualitativa dos tratamentos pré-germinativos abordados nesta revisão

Tratamento	Mecanismo de ação principal	Principais efeitos relatados	Vantagens	Limitações
Imersão em água morna (hydropriming)	Hidratação controlada; atenua a via do ABA (gene LsNCED4) e restaura a ação de giberelinas (Wei et al., 2024)	Redução da termoinibição; maior uniformidade de emergência em cultivares termotolerantes (Almeida et al., 2019)	Baixo custo; não envolve produtos químicos; fácil aplicação em viveiro	Efeito limitado em cultivares muito sensíveis ao calor; exige controle de tempo de imersão
Nitrato de potássio (KNO ₃)	Molécula sinalizadora e fonte de N/K; regula potencial osmótico e favorece reparo de DNA embrionário (Mensah; Okonwu; Ejeagba, 2020)	Aumento do IVG e redução do TMG; benefício maior em lotes de vigor inicial mais baixo (da Rocha et al., 2025 — dado em soja, extrapolado)	Fornece nutrientes minerais; compatível com outros tratamentos	Concentração e tempo de exposição precisam ser calibrados; poucos estudos diretos em alface

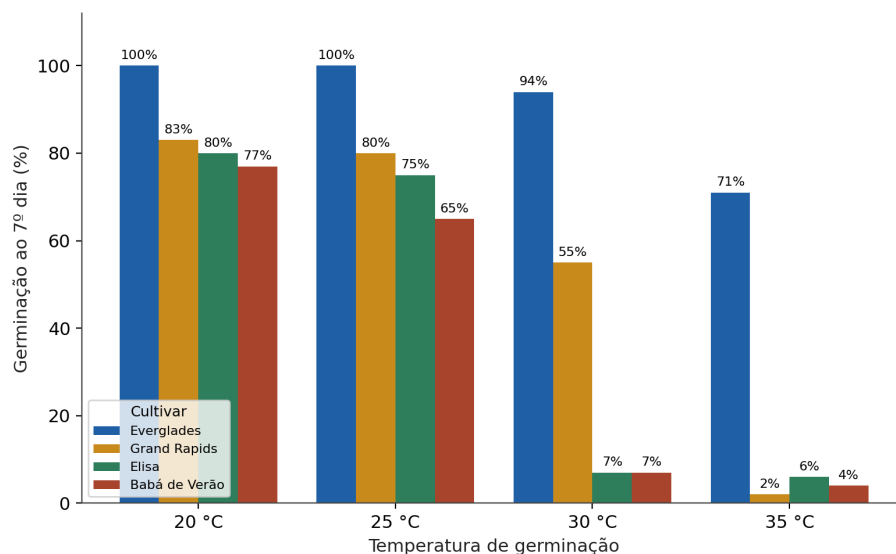
Hipoclorito de sódio (NaClO)	Abrandamento oxidativo do tegumento e ação sanitizante sobre patógenos de sementes (Teodoro et al., 2015; Carmello; Cardoso, 2018)	Maior permeabilidade do tegumento; controle de Cercospora longissima; ganho de vigor sob calor	Baixo custo; efeito duplo (escarificação + desinfestação)	Risco de fitotoxicidade em concentrações ou tempos elevados (de Souza et al., 2026)
------------------------------	--	--	---	---

Fonte: elaborado pelos autores (2026), com base na literatura revisada

3.2. Imersão em Água Morna Como Estratégia para Superação da Termoinibição em Sementes de Alface

O hydropriming atua na regulação do balanço hormonal de L. sativa, atenuando a expressão do gene LsNCED4 sob calor (Wei et al., 2024). Essa absorção de água permite a recuperação da ação das giberelinas, contribuindo para que cultivares termotolerantes, como 'Everglades', mantenham germinação elevada mesmo sob temperaturas altas — efeito ilustrado no Gráfico 1, que reproduz os dados de germinação ao 7º dia obtidos por Almeida et al. (2019) em diferentes cultivares e temperaturas.

Gráfico 1. Efeito da temperatura na germinação de diferentes cultivares de alface ao 7º dia



Fonte: Almeida et al. (2019)

A reidratação controlada favorece a reparação da integridade das membranas celulares, reduzindo o vazamento de eletrólitos (Adhikari; Olorunwa; Barickman, 2022). Em linhagens biofortificadas, a absorção de água contribuiu para sustentar o vigor do lote mesmo após período de armazenamento sob calor (Neves et al., 2026). A hidratação prévia associada a reguladores vegetais elevou a germinação de lotes fracos de alface (Rocha et al., 2020) e estimula processos de reparação e síntese de DNA no embrião antes da protrusão da radícula (Mensah; Okonwu; Ejeagba, 2020).

A reativação metabólica inicia-se com a absorção hídrica pelos tecidos de reserva do endosperma, ativando processos de reparação do DNA embrionário (Mensah; Okonwu; Ejeagba, 2020). Essa restauração reestabelece a respiração mitocondrial e reativa enzimas hidrolíticas, como a endo- β -mananase, essenciais para enfraquecer o tegumento (Wei et al., 2024). A recuperação da respiração aeróbica evita a indução de rotas anaeróbicas, contribuindo para a estabilidade da catalase (Almeida et al., 2019).

A proteção sanitária das reservas da semente evita a deterioração patogênica por *Alternaria alternata* e *Fusarium* spp. (Bošnjak

Mihovilović et al., 2024), e a associação com *Trichoderma atroviride* e *Glomus intraradices* estimula a biossíntese celular e o alongamento radicular (Poštić et al., 2021). A perda de eficiência metabólica pelo envelhecimento reduz a expansão foliar e a matéria seca final das plântulas (Iradukunda et al., 2024).

A alteração estrutural das envoltórias inicia-se pela ação de enzimas hidrolíticas que enfraquecem o endosperma e facilitam a protrusão da radícula (Wei et al., 2024). O abrandamento químico do tegumento reduz a restrição física ao influxo hídrico, elevando a primeira contagem de germinação e o vigor (Teodoro et al., 2015).

Em sementes de tegumento denso, como limão-cravo (*Citrus limonia* Osbeck), a escarificação com solução oxidante dissolve a camada envoltória sem causar fitotoxicidade relevante ao embrião (de Souza et al., 2026). Coberturas protetoras sustentáveis à base de pó de rocha (BTgran) e cola PVA melhoram a retenção hídrica e a germinação final, prevenindo a proliferação de fungos de armazenamento (Crisóstomo et al., 2026).

Os tratamentos pré-germinativos geram ganhos reais na germinação e no IVG sob calor, com cultivares termotolerantes mantendo desempenho muito superior ao de genótipos sensíveis (Almeida et al., 2019). A escarificação química reduz o TMG e eleva a primeira contagem de germinação, com ganhos expressivos de vigor sob alta temperatura (Teodoro et al., 2015), diminuindo a desuniformidade observada em cultivares sensíveis à termodormência (Soares et al., 2017).

A sincronização da emergência promovida pelo condicionamento é vital para o estande de mudas, uma vez que lotes de alto vigor

podem elevar o rendimento de biomassa em mais de 35% (Costa et al., 2021). Inoculantes biológicos à base de *Trichoderma* e *Glomus* aceleraram a emergência e incrementaram a germinação em cultivares de alface na faixa de 4–5% (Poštić et al., 2021).

Vale destacar que a eficácia do hydropriming depende diretamente da temperatura e da duração da imersão: períodos excessivamente longos podem levar à protrusão prematura da radícula fora do ambiente controlado, tornando as sementes mais suscetíveis a danos mecânicos durante o manuseio e a semeadura, ao passo que tempos insuficientes não permitem a reativação metabólica completa (Bradford, 1986). Por isso, protocolos de água morna costumam ser calibrados empiricamente para cada lote e cultivar, o que reforça a importância de testes de vigor complementares antes da adoção em escala comercial.

Avanços recentes em genômica de espécies do gênero *Lactuca*, como o sequenciamento completo do genoma de *Lactuca virosa* (Van Workum et al., 2024), abrem caminho para a identificação futura de marcadores moleculares associados à tolerância à termoinibição, o que poderia, em médio prazo, permitir a seleção de cultivares geneticamente mais responsivas ao hydropriming. Embora esse tipo de aplicação ainda não esteja consolidado na prática comercial, ele ilustra como a compreensão fisiológica aqui discutida pode, no futuro, ser complementada por ferramentas de melhoramento genético direcionado.

Comparada aos tratamentos químicos discutidos nas seções seguintes, a imersão em água morna apresenta a vantagem adicional de não deixar resíduos químicos nas sementes ou no substrato de semeadura, característica relevante para sistemas de

produção certificados como orgânicos ou de base agroecológica. Essa ausência de resíduos, aliada ao baixo custo de implementação, posiciona o hydropriming como um tratamento de entrada acessível mesmo para pequenos produtores de mudas, ainda que seus efeitos sobre a termoinibição sejam, em geral, mais modestos do que os obtidos com o condicionamento salino ou com a escarificação química em condições de estresse térmico severo (Teodoro et al., 2015).

A literatura também aponta que a resposta ao hydropriming pode variar conforme o estágio de maturação fisiológica em que a semente foi colhida, uma vez que sementes colhidas prematuramente tendem a apresentar tegumentos menos desenvolvidos e, por isso, respostas hídricas mais erráticas ao tratamento. Embora esse aspecto não tenha sido o foco central dos estudos revisados sobre alface, ele é mencionado por Bewley (1997) como um fator geral relevante na fisiologia de sementes ortodoxas, sugerindo que a padronização do momento de colheita das sementes-matrizes pode ser tão importante quanto o próprio protocolo de hidratação para garantir respostas consistentes ao tratamento pré-germinativo.

3.3. Aplicação de Nitrato de Potássio (KNO_3) no Condicionamento Fisiológico de Sementes de Alface

O nitrato de potássio atua como molécula sinalizadora e fonte de nutrientes minerais, regulando o potencial osmótico e otimizando o condicionamento de sementes — mecanismo descrito em soja por da Rocha et al. (2025) e aqui referido por analogia. Íons nitrato em concentração adequada estimulam a síntese e a reparação do DNA

embrionário durante a fase inicial de absorção hídrica (Mensah; Okonwu; Ejeagba, 2020).

Essa regulação favorece a ativação de enzimas hidrolíticas, atenuando a biossíntese de ácido abscísico mediada pelo gene *LsNCED4* sob estresse térmico (Wei et al., 2024). A absorção prévia de íons inorgânicos fortalece a integridade da membrana celular, reduzindo o vazamento de eletrólitos sob estresse salino (Adhikari; Olorunwa; Barickman, 2022).

A influência do condicionamento osmótico sobre vigor e IVG evidencia-se na manutenção de germinação relativamente alta sob calor em linhagens biofortificadas de alface (Neves et al., 2026). A escarificação prévia reduz o TMG e incrementa a primeira contagem de germinação, com ganho de vigor sob alta temperatura (Teodoro et al., 2015). A redução do TMG minimiza o período de exposição das sementes a estresses no solo, sendo crucial para o estabelecimento uniforme e para ganhos de rendimento de biomassa (Costa et al., 2021).

Os resultados da literatura convergem para o benefício do condicionamento com KNO_3 em lotes de menor vigor inicial (da Rocha et al., 2025 — soja, por analogia), efeito consistente com a pré-hidratação sobre a reparação de DNA embrionário descrita para nitrato em baixas concentrações (Mensah; Okonwu; Ejeagba, 2020). Em linhagens biofortificadas de alface, o condicionamento contornou parcialmente os bloqueios térmicos, preservando parte relevante da germinação mesmo após armazenamento (Neves et al., 2026), contraste evidente frente a cultivares sensíveis (Almeida et al., 2019; Soares et al., 2017).

Um aspecto pouco explorado na literatura específica de alface, mas relevante para a extrapolação de resultados obtidos em outras culturas, é a relação dose-resposta do KNO_3 : concentrações moderadas tendem a favorecer a sinalização osmótica sem causar estresse salino excessivo, ao passo que concentrações elevadas podem inverter o benefício esperado, reduzindo a germinação em vez de estimulá-la — padrão já descrito para priming salino em diversas hortaliças (da Rocha et al., 2025). Essa relação não linear reforça a necessidade de ensaios de calibração de dose específicos para cada cultivar de alface antes da adoção comercial do tratamento, em vez da simples transposição de protocolos validados em outras espécies.

Outro ponto relevante é a interação potencial entre o KNO_3 e o manejo nutricional geral da muda: por fornecer nitrogênio e potássio diretamente à semente em fase de embebição, o priming salino pode reduzir, ainda que marginalmente, a demanda por adubação de cobertura nas primeiras semanas após a emergência — hipótese ainda não testada diretamente em alface, mas coerente com o papel do nitrato como nutriente mineral essencial descrito por Mensah, Okonwu e Ejeagba (2020). Estudos futuros que integrem a avaliação fisiológica do priming com o monitoramento nutricional da muda poderiam esclarecer se esse efeito nutricional complementar é de fato mensurável em condições de viveiro comercial.

Em termos operacionais, o priming com KNO_3 costuma exigir maior controle técnico do que a simples imersão em água morna, uma vez que envolve o preparo de soluções em concentrações definidas, o monitoramento do tempo de exposição e, em alguns protocolos, uma etapa posterior de secagem das sementes antes do

armazenamento ou da semeadura, para evitar a reidratação descontrolada do lote. Esse nível adicional de complexidade operacional deve ser ponderado frente aos ganhos esperados em vigor e uniformidade, especialmente em viveiros de pequena escala com recursos técnicos limitados para o controle rigoroso desses parâmetros.

Vale ainda mencionar que o nitrato de potássio, diferentemente do hipoclorito de sódio, não possui ação sanitizante direta sobre patógenos de sementes, de modo que sua aplicação isolada não substitui etapas de controle fitossanitário quando o lote apresenta histórico de contaminação fúngica ou bacteriana. Nesses casos, a literatura sugere que o priming salino pode ser combinado, em protocolos sequenciais, com uma etapa prévia ou posterior de desinfestação química ou biológica, de modo a reunir os benefícios fisiológicos do condicionamento osmótico com a proteção sanitária necessária ao estabelecimento saudável da muda (Poštić et al., 2021).

A literatura internacional sobre priming salino em hortaliças, sintetizada por da Rocha et al. (2025) para o caso da soja, aponta ainda que os benefícios do KNO_3 tendem a ser proporcionalmente maiores em lotes que já partem de um vigor inicial reduzido, enquanto lotes de alto vigor natural apresentam ganhos marginais menos expressivos com o tratamento. Esse padrão, se confirmado experimentalmente também em alface, teria implicação prática direta: o priming salino seria uma ferramenta prioritária para a recuperação de lotes de qualidade duvidosa, e não necessariamente uma etapa obrigatória para lotes já certificados como de alto vigor, o que poderia orientar decisões mais eficientes de alocação de recursos em programas de produção de sementes.

3.4. Uso de Hipoclorito de Sódio (NaClO) Na Melhoria do Desempenho Germinativo de Sementes de Alface

O mecanismo de ação do NaClO fundamenta-se no abrandamento químico e no desgaste parcial das camadas do tegumento, facilitando a difusão de oxigênio e a absorção hídrica sob estresse térmico (Teodoro et al., 2015). Em aquênios de tegumento denso, a solução de NaClO promove a dissolução e o amolecimento dos tecidos externos sem comprometer a integridade funcional do embrião, quando aplicada em concentrações e tempos adequados (de Souza et al., 2026).

Além da ação física, o NaClO atua como agente desinfetante, inibindo in vitro o crescimento micelial de *Cercospora longissima* e favorecendo alta taxa de germinação final (Carmello; Cardoso, 2018). A desinfestação química da casca reduz a degradação e a carbonilação de proteínas estruturais, mantendo a homeostase redox do embrião (Adetunji et al., 2020).

A escarificação química aumenta a permeabilidade do tegumento, favorecendo a difusão hídrica e de oxigênio para o embrião (Teodoro et al., 2015). O tratamento biológico prévio com *Trichoderma* e *Bacillus* spp. suprime patógenos fúngicos no solo, preservando a sanidade e promovendo o alongamento radicular (Poštić et al., 2021).

A escarificação pré-germinativa com NaClO reflete-se no aumento do vigor e da germinação sob estresse por calor (Teodoro et al., 2015), com elevação expressiva da primeira contagem de germinação e da taxa de emergência, sem provocar toxicidade relevante quando aplicada nas concentrações e tempos adequados (de Souza et al., 2026). O tratamento sanitário com solução clorada garante alta taxa

germinativa final e ganho de vigor no desenvolvimento inicial da parte aérea (Carmello; Cardoso, 2018).

A principal vantagem do NaClO é sua eficiência como sanitizante e agente escarificante; sua principal limitação é o risco de fitotoxicidade e mortalidade das sementes quando aplicado em concentrações elevadas por tempo prolongado (de Souza et al., 2026). A Tabela 1 consolida, de forma quantitativa, os principais resultados numéricos relatados na literatura revisada para os três tratamentos discutidos, incluindo os parâmetros de espécie usados como referência de mecanismo quando não havia dado direto em alface.

Tabela 1. Síntese quantitativa de resultados relatados na literatura para tratamentos pré-germinativos em sementes de alface

Autor(es), Ano	Tratamento / condição	Espécie	Parâmetro avaliado	Resultado relatado
Almeida et al., 2019	Temperatura de germinação (20–35 °C)	Alface (<i>'Everglades'</i> vs. sensíveis)	Germinação ao 7º dia	100% a 20 °C; 71% a 35 °C (<i>'Everglades'</i>) vs. ≤ 6% em cultivares sensíveis
Teodoro et al., 2015	NaClO 1%, 3 min, 35,3 °C	Alface	Primeira contagem de germinação	84,41%; ganho de vigor superior a 72% em relação ao controle
Carmello; Cardoso, 2018	NaClO 5%	Alface	Emergência final / controle de <i>Cercospora</i>	96,3% de emergência; 100% de inibição in

				vitro do patógeno
Rocha et al., 2020	24-epibrassinolídeo, 1 µmol/mL	Alface (lotes de baixo vigor)	Emergência final	Aumento de 58% (controle) para 89% (tratado)
Crisóstomo et al., 2026	Peletização com pó de rocha (BTgran) e cola PVA	Alface	Germinação final	86%; germinação e comprimento explicam parte relevante da variação de vigor
Souza, J. T. A. et al., 2019	Manejo orgânico de produção de sementes	Alface	Produtividade / peso de mil sementes	Até 562,25 kg/ha; peso de mil sementes entre 0,76 g e 0,97 g
Poštić et al., 2021	Inoculação com <i>Trichoderma</i> spp.	Alface, aipo e trigo	Emergência	Ganho de 4% ('Genius') e 5% ('Majska kraljica')

Fonte: elaborado pelos autores (2026), com base na literatura revisada.

A desinfestação com NaClO em concentrações mais altas oferece a vantagem de erradicar contaminações por *Alternaria alternata* e *Fusarium* spp. (Bošnjak Mihovilović et al., 2024), mas exige controle técnico rigoroso. O emprego do NaClO em baixas dosagens é alternativa viável e de baixo custo para o manejo sanitário, compatível com lotes de padrão comercial no manejo orgânico (Souza, J. T. A. et al., 2019), sendo recomendável integrar a sanitização

química ao uso de inoculantes biológicos, como *Trichoderma*, para reforçar a proteção e a emergência de mudas (Poštić et al., 2021).

Comparativamente aos demais tratamentos discutidos nesta revisão, o NaClO destaca-se por reunir duas funções em um único procedimento — escarificação física do tegumento e desinfestação sanitária —, o que pode representar economia operacional em viveiros de produção de mudas. Contudo, essa dupla função também é sua principal fonte de risco: enquanto a água morna e o KNO_3 atuam predominantemente por vias hormonais e osmóticas, com margem de segurança relativamente ampla, o NaClO opera por oxidação direta dos tecidos, o que reduz a margem entre a dose eficaz e a dose fitotóxica (de Souza et al., 2026; Teodoro et al., 2015). Essa distinção mecanística é um critério prático relevante para orientar a escolha do tratamento mais adequado conforme o histórico sanitário e o vigor inicial de cada lote de sementes.

Para produtores que buscam reduzir o uso de insumos sintéticos, a literatura sobre manejo orgânico de sementes de alface indica que é possível alcançar padrões comerciais mínimos de germinação sem o uso de NaClO, desde que a sanidade do lote seja garantida por outras vias — controle de umidade no armazenamento, seleção rigorosa de plantas-matrizes e uso de bioinsumos (Souza, J. T. A. et al., 2019; Poštić et al., 2021). Isso sugere que o hipoclorito de sódio deve ser entendido como uma ferramenta entre outras no manejo sanitário de sementes, e não como etapa obrigatória, sendo sua adoção mais justificável em lotes com histórico conhecido de contaminação fúngica do que como prática rotineira indiscriminada.

Sob a ótica da segurança do operador e do meio ambiente, cabe ainda observar que o manuseio de soluções de NaClO em

concentrações mais elevadas exige cuidados básicos de proteção individual e descarte adequado do efluente gerado, aspectos frequentemente omitidos nos estudos de eficácia agrônômica, mas relevantes para a adoção responsável da tecnologia em escala comercial. A ausência de padronização quanto ao descarte de soluções cloradas residuais em viveiros de pequeno porte representa uma lacuna prática que extrapola o escopo estritamente fisiológico desta revisão, mas que merece atenção em diretrizes técnicas voltadas à extensão rural.

Por fim, é importante situar o NaClO no contexto mais amplo dos agentes sanitizantes disponíveis para tratamento de sementes: embora outras substâncias, como peróxido de hidrogênio e ácido acético diluído, também sejam utilizadas para desinfestação em diferentes culturas, o hipoclorito de sódio permanece amplamente adotado por sua eficácia comprovada contra patógenos fúngicos comuns em sementes de alface, como *Cercospora longissima* (Carmello; Cardoso, 2018), aliada à sua ampla disponibilidade comercial e ao custo relativamente baixo em comparação com sanitizantes alternativos, fatores que explicam sua persistência como tratamento de referência na literatura consultada nesta revisão.

Ensaio conduzidos em outras culturas hortícolas e frutíferas, como a desinfestação de sementes de trigo relatada por Bošnjak Mihovilović et al. (2024) e a escarificação de sementes de limão-cravo descrita por de Souza et al. (2026), reforçam que os princípios físico-químicos que regem a ação do NaClO — oxidação de compostos fenólicos do tegumento e desnaturação de estruturas proteicas de superfície de patógenos — são suficientemente gerais para justificar sua aplicação transversal a diferentes espécies vegetais, desde que respeitadas as particularidades de espessura e composição do

tegumento de cada semente na definição da concentração e do tempo de exposição adequados.

4. CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática evidenciou que os tratamentos pré-germinativos — imersão em água morna, condicionamento com nitrato de potássio e aplicação de hipoclorito de sódio — constituem estratégias eficazes para reduzir a termoinibição, acelerar a reativação metabólica e melhorar a uniformidade de emergência em sementes de alface. Os três tratamentos atuam sobre mecanismos complementares: a hidratação controlada favorece o equilíbrio hormonal entre ácido abscísico e giberelinas; o nitrato de potássio contribui como fonte nutricional e sinalizadora do metabolismo germinativo; e o hipoclorito de sódio combina ação escarificante com controle sanitário do tegumento — convergindo para um objetivo comum, ainda que por vias bioquímicas distintas.

Do ponto de vista prático, a escolha do tratamento mais adequado deve considerar o vigor inicial do lote, a sensibilidade da cultivar ao calor e o risco de fitotoxicidade associado a concentrações e tempos de exposição inadequados, especialmente no caso do NaClO, reforçando que o manejo pré-germinativo eficaz depende do diagnóstico prévio do lote e da adequação do protocolo à realidade climática de cada região produtora.

Como limitação desta revisão, destaca-se a escassez de estudos conduzidos diretamente em sementes de alface para alguns mecanismos bioquímicos — como a resposta antioxidante ao priming com KNO₃ —, evidência hoje sustentada majoritariamente por estudos em espécies correlatas (tomate e soja), além do fato de

a maioria dos ensaios ter sido realizada sob condições controladas de laboratório, nem sempre representativas da variabilidade térmica e ambiental de viveiros comerciais a céu aberto.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a condução de ensaios experimentais que quantifiquem diretamente em *Lactuca sativa* L. os efeitos enzimáticos e hormonais aqui discutidos por extrapolação, de modo a consolidar recomendações técnicas mais precisas para a produção de mudas de alface. Os três tratamentos analisados não devem ser vistos como opções mutuamente excludentes, mas como um repertório de ferramentas complementares, cuja escolha informada — apoiada nesta revisão, no Quadro comparativo e na Tabela de resultados quantitativos — deve orientar tanto pesquisadores quanto técnicos e produtores na definição do protocolo mais adequado à sua realidade produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETUNJI, Ademola Emmanuel et al. Effects of inorganic salt solutions on vigour, viability, oxidative metabolism and germination enzymes in aged cabbage and lettuce seeds. *Plants*, v. 9, n. 9, p. 1164, 2020. DOI: 10.3390/plants9091164. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9091164>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ADHIKARI, Bikash; OLORUNWA, Omolayo J.; BARICKMAN, T. Casey. Seed priming enhances seed germination and morphological traits of *Lactuca sativa* L. under salt stress. *Seeds*, v. 1, n. 2, p. 74-86, 2022. DOI: 10.3390/seeds1020007. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/seeds1020007>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ALMEIDA, Fernando Araújo de et al. Germination temperatures affect the physiological quality of seeds of lettuce cultivars.

Bioscience Journal, Uberlândia, v. 35, n. 4, p. 1143-1152, 2019. DOI: 10.14393/BJ-v35n4a2019-42196. Disponível em: <https://ninho.inca.gov.br/jspui/handle/123456789/6121>. Acesso em: 12 jul. 2026.

BEWLEY, J. Derek. Seed germination and dormancy. The Plant Cell, v. 9, n. 7, p. 1055-1066, 1997. DOI: 10.1105/tpc.9.7.1055. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC156979/>. Acesso em: 12 jul. 2026.

BOŠNJAK MIHOVILOVIĆ, Anita et al. The use of sodium hypochlorite and plant preservative mixture significantly reduces seed-borne pathogen contamination when establishing in vitro cultures of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. Agriculture, v. 14, n. 4, p. 556, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14040556. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14040556>. Acesso em: 12 jul. 2026.

BRADFORD, Kent J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScience, v. 21, n. 5, p. 1105-1112, 1986. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdfwatermark/v1/journals/hortsci/21/5/article-p1105.pdf/watermark-pdf/>. Acesso em: 12 jul. 2026.

CARMELLO, Camila Rodrigues; CARDOSO, Jean Carlos. Effects of plant extracts and sodium hypochlorite on lettuce germination and inhibition of *Cercospora longissima* in vitro. Scientia Horticulturae, v. 234, p. 245-249, 2018. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.056. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.056>. Acesso em: 12 jul. 2026.

CONTRERAS, S.; BARROS, M. Vigor tests on lettuce seeds and their correlation with emergence. International Journal of Agriculture and

Natural Resources, v. 32, n. 1, p. 3-10, 2005. DOI: 10.7764/rcia.v32i1.301. Disponível em: <https://doi.org/10.7764/rcia.v32i1.301>. Acesso em: 12 jul. 2026.

COSTA, Caroline Jacome et al. The importance of physiological quality of seeds for agriculture. *Colloquium Agrariae*, v. 17, n. 4, p. 102-119, 2021. DOI: 10.5747/ca.2021.v17.n4.a452. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/4078>. Acesso em: 12 jul. 2026.

CRISÓSTOMO, Natália Marinho Silva et al. Innovations in lettuce seed pelleting: sustainable materials and machine learning analysis. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 56, p. e83415, 2026. DOI: 10.1590/1983-40632026v5683415. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632026v5683415>. Acesso em: 12 jul. 2026.

DA ROCHA, Leilaine Gomes et al. Potassium nitrate (KNO₃) seed priming enhances soybean seed performance. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 33640, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-11498-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11498-6>. Acesso em: 12 jul. 2026.

DELOUCHE, J. C.; CALDWELL, W. P. Seed vigor and vigor tests. In: *Proceedings of the Short Course for Seedsmen*. Mississippi State: Seed Technology Laboratory, 1962. p. 89. Disponível em: <https://scholarsjunction.msstate.edu/seedsmen-short-course/89>. Acesso em: 12 jul. 2026.

FINCH-SAVAGE, William E.; LEUBNER-METZGER, Gerhard. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, v. 170, n. 3, p. 501-518, 2006. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x. Disponível em:

<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>. Acesso em: 12 jul. 2026.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 16 jul. 2026.

IRADUKUNDA, Mark et al. The use of imaging to quantify the impact of seed aging on lettuce seed germination and seedling vigor. *Sensors*, v. 24, n. 13, p. 4235, 2024. DOI: 10.3390/s24134235. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s24134235>. Acesso em: 12 jul. 2026.

LOPES, Andrielle Câmara Amaral; NASCIMENTO, Warley Marcos. Amostragem de sementes para análise em laboratório. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. (Circular Técnica, 81). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/783063/4/ct81.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.

MAGUIRE, James D. Speed of germination — aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 13 jul. 2026.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: https://cursosextensao.usp.br/pluginfile.php/300164/mod_resource/content/1/MC2019%20Marconi%20Lakatos-met%20cient.pdf. Acesso em: 17 jul. 2026.

MENSAH, S. I.; OKONWU, K.; EJEAGBA, P. O. Effects of GA₃ and KNO₃ on the germination and DNA content of flax (*Linum usitatissimum* L.). *World Journal of Agriculture and Soil Science*, v. 4, n. 4, p. 1-4, 2020. DOI: 10.33552/WJASS.2020.04.000592. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.33552/WJASS.2020.04.000592>. Acesso em: 12 jul. 2026.

NEVES, F. O. B. C. et al. Physiological aspects of germination and thermoinhibition in biofortified lettuce seeds after priming and storage. *Brazilian Journal of Biology*, v. 86, p. e300755, 2026. DOI: 10.1590/1519-6984.300755. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.300755>. Acesso em: 12 jul. 2026.

PEREIRA, Adriana Soares et al. *Metodologia da pesquisa científica*. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf. Acesso em: 17 jul. 2026.

POŠTIĆ, Dobrivoj et al. Germination and the initial seedling growth of lettuce, celeriac and wheat cultivars after micronutrient and a biological application pre-sowing seed treatment. *Plants*, v. 10, n. 9, p. 1913, 2021. DOI: 10.3390/plants10091913. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10091913>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ROCHA, J. G. S. et al. Influence of 24-epibrassinolide on the vigor of lettuce seeds. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 53627-53641, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-854. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-854>. Acesso em: 12 jul. 2026.

SEVERINO, Antônio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013. Disponível em: <https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A>

3o/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Cient%C3%ADfico_-
_1%C2%AA_Edi%C3%A7%C3%A3o_-_Antonio_Joaquim_Severino_-
_2014.pdf. Acesso em: 17 jul. 2026.

SOARES, Patricia Aparecida Maia et al. Germination and vigor of lettuce seeds under different temperatures. Brazilian Journal of Agriculture, v. 92, p. 271-280, 2017. DOI: 10.37856/bja.v92i3.3204. Disponível em: <https://doi.org/10.37856/bja.v92i3.3204>. Acesso em: 12 jul. 2026.

SOUZA, Antonio Maricélio Borges de et al. Effects of sodium hypochlorite on seed germination and seedling emergence in Rangpur lime. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 48, p. e72742, 2026. DOI: 10.4025/actasciagron.v48i1.72742. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v48i1.72742>. Acesso em: 12 jul. 2026.

SOUZA, Josiany Thamara Alves et al. Yield and quality of seeds of lettuce genotypes produced under organic management. Journal of Seed Science, v. 41, n. 3, p. 352-358, 2019. DOI: 10.1590/2317-1545v41n3220435. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v41n3220435>. Acesso em: 12 jul. 2026.

TEODORO, Mauro Sergio et al. Influência do NaClO na germinação de sementes de alface em Parnaíba-PI. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 4, p. 7, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i4.3405. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3405>. Acesso em: 12 jul. 2026.

VAN WORKUM, Dirk-Jan M. et al. A gap-free, chromosome-scale genome assembly of *Lactuca virosa*. bioRxiv, 2024. DOI: 10.1101/2024.06.20.599299. Disponível em:

<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.06.20.599299v1.full.pdf>.

Acesso em: 12 jul. 2026.

WEI, J. et al. Advance in the thermoinhibition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed germination. *Plants*, v. 13, n. 15, p. 2051, 2024. DOI: 10.3390/plants13152051. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11314492/>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ZHANG, Lei et al. RNA sequencing provides insights into the evolution of lettuce and the regulation of flavonoid biosynthesis. *Nature Communications*, v. 8, n. 2264, 2017. DOI: 10.1038/s41467-017-02445-9. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02445-9>. Acesso em: 12 jul. 2026.

¹ E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7622-3302>

² E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1092-9056>

³ E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9948-5202>

⁴ E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3696-1273>

⁵ E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4692-7085>

