

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

KAYLANNE RIBEIRO

POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE DOSES DE EXTRATO AQUOSO DE *Chlorella*
vulgaris NA CULTURA DA CEVADA

PONTA GROSSA

2026

KAYLANNE RIBEIRO

POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE DOSES DE EXTRATO AQUOSO DE *Chlorella vulgaris* NA CULTURA DA CEVADA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à disciplina OTCC como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro agrônomo na Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof.^a Dra. Silvana Ohse.

Coorientadora: Eng.^a Agr.^a Lana Evilyn Barboza.

PONTA GROSSA

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2026

AVALIAÇÃO DE TCC RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia: Potencial abicestimulante de doses de sementes orgânicas de *Phaseolus vulgaris* na cultura da cenoura.

Autor (a): Kaylomme Ribeiro

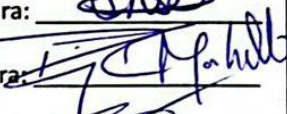
Data da defesa: 08/05/2026 Horário: 16:15 Local: Dala 4L

Avaliadores:

1-Orientador (a): Silvana Ohze

Assinatura: 

2-Avaliador (a): Rodrigo Rodrigues Matosello

Assinatura: 

3-Avaliador (a): Rafael Mager Ekke

Assinatura: 

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	2,0	2,0	2,0
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	6,0	6,0	6,0
III- Arguição (Até 2,0)	2,0	2,0	2,0
TOTAL	10,0	10,0	10,0
MÉDIA FINAL *	10,0		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado ATÉ 10% da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

FORMULÁRIO 4
OTCC
AGRONOMIA

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha orientadora, Prof.^a Dra. Silvana Ohse, por toda a paciência e pelos ensinamentos que me proporcionou, pelo incentivo e pela orientação, tanto no desenvolvimento do trabalho quanto na vida. Durante esse tempo juntas, fez-me perceber que realmente escolhi a profissão que amo e que há pessoas que entram em nossa vida e deixam, para sempre, um pedaço de si.

A minha coorientadora, Lana Evilyn Barboza, por toda a orientação em cada etapa do trabalho, tornando esse processo ainda mais memorável. Sou grata por toda a ajuda, dedicação e apoio, tanto no desenvolvimento do trabalho quanto fora dele. Agradeço também pela amizade construída ao longo desse período, pela parceria, paciência e pelos momentos compartilhados.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello e ao Prof. Dr. Rafael Mazer Etto, por aceitarem fazer parte da banca avaliadora, agradeço pela disponibilidade, atenção e por contribuírem com o trabalho.

A minha família, em especial aos meus pais, Tatiane de Fátima Caetano e Wellington Ribeiro, que, sob muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra. Agradeço por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim, por me apoiarem e sempre fazerem o possível e o impossível para que eu alcançasse meus objetivos. Agradeço por serem meu porto seguro e por sempre me darem forças, mesmo quando eu não as tinha. Tudo o que sou devo a vocês. Ao meu namorado, Nicolas de Goes, meu agradecimento por todo o incentivo e companheirismo durante a graduação e a execução deste trabalho, e por acreditar em mim até mesmo quando eu duvidava. Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal II, por toda a ajuda e parceria durante as avaliações do experimento.

Ao Laboratório de Cultivo de Algas pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo fornecimento da massa liofilizada de *Chlorella vulgaris*, essencial para o experimento.

A Maltaria Campos Gerais, por disponibilizar sua estrutura e por permitir a realização das avaliações de proteína e densidade de grãos.

A todos os funcionários da Fazenda Escola Capão da Onça, por todo o auxílio durante a condução do experimento.

A Mariane do laboratório de nutrição de plantas e a Luciane técnica do DEFITO, por toda ajuda durante o desenvolvimento do experimento.

RESUMO

RIBEIRO, K. **POTENCIAL BIOESTIMULANTE DE DOSES DE EXTRATO AQUOSO DE *Chlorella vulgaris* NA CULTURA DA CEVADA.** Orientadora: Silvana Ohse. Ponta Grossa, 2026. Trabalho de conclusão de curso- Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

As microalgas representam um recurso promissor na agricultura devido à sua riqueza em compostos bioativos capazes de otimizar o desenvolvimento vegetal, consequentemente a produtividade das culturas. Diante da necessidade de expansão da produção de cevada (*Hordeum vulgare* L.) nos Campos Gerais/PR e, da busca por tecnologias sustentáveis, este estudo objetivou avaliar a aplicação de doses da microalga *Chlorella vulgaris*, via tratamento de sementes e via foliar, na cevada, cultivar Imperatriz. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça (UEPG), Ponta Grossa/PR, sob delineamento em blocos casualizados, com 3 repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de cinco doses via tratamento de sementes da microalga *C. vulgaris* (0; 20; 40; 60 e 80 mg kg⁻¹ de sementes) e quatro doses via foliar (0; 2000; 4000 e 6000 mg ha⁻¹). Os resultados da análise de variância não revelaram interação entre os fatores ($p>0,05$), bem como não houve efeito principal para os fatores doses via sementes e doses via foliar em todas as variáveis analisadas. Por outro lado, observou-se um vigoroso estado fisiológico das plantas, com índice relativo de clorofila médio de 65,18 e índices de área foliar de 3,21 (vegetativo) e 3,59 (reprodutivo), níveis correlacionados à eficiência fotossintética. A produtividade média alcançou 5.417,99 kg ha⁻¹, superando em 24,32% a média nacional da safra. No âmbito qualitativo, os grãos atenderam aos requisitos de peso hectolitro (63,36 kg hL⁻¹) e classificação (93,61% Classe 1), embora o teor proteico (13%) tenha excedido o limite comercial para malteação, mesmo sem ter sido realizada a adubação nitrogenada em cobertura. As sementes produzidas apresentaram elevada energia germinativa (98%), contudo, exibiram acentuada sensibilidade à água (48%). Conclui-se que a aplicação de doses crescentes do extrato aquoso de *C. vulgaris* não promoveu alterações significativas nos componentes morfofisiológicos da cevada, nos componentes da produção e na qualidade industrial, cv. Imperatriz, sob as condições do estudo.

Palavras-chave: microalgas, bioestimulante, *Hordeum vulgare* L., tratamento de sementes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Média mensal de precipitação e temperatura durante o ciclo da cevada. Ponta Grossa/PR, 2025.....27
- Figura 2-** Imagem da colheita do experimento, realizada no dia 05/11/2025 (A) e das plantas coletadas em 50 cm de linha para avaliações dos componentes da produção (B). Ponta Grossa/PR, 2025.....29
- Figura 3-** Detalhes da determinação da umidade e peso hectolitro dos grãos pós-colheita (A). Determinação do teor de proteína (B); Classificação de grãos utilizando peneiras com diferentes milímetros (C) e, avaliação da energia germinativa pelo método BRF em placas de petri (D). Ponta Grossa/PR, 2025.....32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Atributos químicos do solo da área experimental. Ponta Grossa/PR, 2025.....26
- Tabela 2-** Resumo da análise da variância para as variáveis índice de área foliar determinado na fase vegetativa (IAFv) e na fase reprodutiva (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP), população (POP) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.....34
- Tabela 3-** Resumo da análise da variância para as variáveis número de perfilhos totais por planta (NPT), número de perfilhos produtivos por planta (NPP), produtividade (PROD), comprimento de espiga (CE), número de grãos por espiga (NGE), massa de 1000 grãos (MMG) e índice de colheita (IC) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.....35
- Tabela 4-** Resumo da análise da variância para as variáveis peso hectolitro (PH), teor de proteína (TP), grãos classe 1 (GCL1), sensibilidade à água (SA), energia germinativa (EG) e índice de germinação (IG) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.....35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. CULTURA DA CEVADA	9
2.1.1. Taxonomia e características morfológicas	9
2.1.2. Importância econômica	10
2.1.3. Exigências edafoclimáticas e manejo da cultura	12
2.2. BIOINSUMOS	13
2.2.1. Bioestimulantes	13
2.3. <i>Chlorella vulgaris</i> B.	16
2.3.1. Aspectos taxonômicos e morfológicos	16
2.3.2. Composição bioquímica da <i>Chlorella vulgaris</i> e metabólitos de interesse	16
2.3.3. Potencial Biotecnológico e Farmacológico	19
2.3.4. Aplicações Agrícolas: Biofertilização e Defesa fitossanitária	20
2.3.5. Ação bioestimulante: Modulação fisiológica e Mitigação dos estresses	20
2.3.6. Forma de aplicação e doses.....	21
2.3.7. Aplicações de <i>Chlorella vulgaris</i> na cultura cevada	23
3. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GERAL	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	26
4.2. DELINEAMENTO E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL	27
4.3. VARIÁVEIS ANALISADAS	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A Cevada é um cereal de inverno diploide, monoico e autógamo, pertencente ao gênero *Hordeum*, família Poaceae, subfamília Pooideae. A *Hordeum vulgare* L. é a principal espécie cultivada do seu gênero (subespécie *vulgare*). A cultura divide-se morfológicamente em duas categorias principais, definidas pelo número de fileiras de grãos na ráquis: as dísticas (duas fileiras, com flores laterais estéreis e apenas o grão central desenvolvido) e as hexásticas (seis fileiras, apresentando três flores férteis por nó) (MINELLA, 1999; KUNZE, 2004; ESSI, 2020). Apesar de sua grande relevância econômica global e de ser destinada majoritariamente à alimentação animal no mundo, no Brasil, seu cultivo tem como objetivo primordial o abastecimento das maltarias para a indústria cervejeira (CAIERÃO, 2008; DE MORI; MINELLA, 2012).

No cenário agrícola global na safra 2024/2025, a produção mundial de cevada totalizou 143,27 milhões de toneladas. A distribuição geográfica desse volume revela uma forte concentração produtiva na União Europeia, que detém a liderança com 35% do total global, seguida pela Rússia (11%), Austrália (9%) e Canadá (6%). Nesse contexto, o Brasil ocupa uma posição intermediária, classificando-se no 26º lugar do ranking mundial, com produção de 438.000 toneladas, correspondente somente a 0,3% da produção global de cevada (USDA, 2025). A produção nacional concentra-se predominantemente na Região Sul, com o Paraná assumindo o protagonismo devido às condições edafoclimáticas favoráveis (KRÜGER *et al.*, 2025; CONAB, 2026). Contudo, a importância nacional da cultura esbarra em um déficit significativo: a produção interna tem sido capaz de suprir apenas cerca de 39,5% da demanda do setor cervejeiro, tornando o país altamente dependente da importação, valor que ultrapassa um milhão de toneladas anuais (EMBRAPA, 2023).

Para minorar esse cenário de dependência, minimizar os impactos de estresses ambientais e otimizar o potencial produtivo da cultura, o manejo adequado e o uso de tecnologias sustentáveis tornam-se essenciais (CLARK, 2007; MULATU; LAKEW, 2011). Nesse contexto, o uso de bioinsumos surge como uma alternativa viável e segura em complementação aos reguladores sintéticos (CARVALHO *et al.*, 2014; BRASIL, 2024b). Dentre essas tecnologias, os bioestimulantes à base de algas vêm ganhando destaque por sua capacidade de promover o crescimento vegetal, aumentar a eficiência nutricional e mitigar estresses bióticos e abióticos (CAMPOS; SOUSA; OLIVEIRA, 2020; ALI; RAMSUBHAG; JAYARAMAN, 2021).

Segundo Kholssi *et al.* (2022), embora as pesquisas e o uso agrícola tenham sido historicamente dominados pelas macroalgas devido à facilidade de colheita, os estudos com microalgas emergem atualmente com grande potencial para a formulação de bioestimulantes de alto valor agregado. O crescente interesse pelas microalgas é impulsionado, em grande parte, pela viabilidade de produção em efluentes, o que acarreta a diminuição de custos e permite um processo mais controlado e sustentável. A conveniência operacional desse cultivo reflete-se na diversidade de sistemas utilizáveis, que abrangem desde lagos abertos e fotobiorreatores até o aproveitamento de efluentes pré-tratados (FERREIRA; FERREIRA, 2023).

A microalga *Chlorella vulgaris* apresenta expressivo potencial biotecnológico. Taxonomicamente classificada no filo Chlorophyta e pertencente ao Reino Plantae, essa microalga verde unicelular destaca-se por sua alta versatilidade ecológica e eficiência metabólica, qualidades favorecidas por sua morfologia de células esféricas e de tamanho reduzido (4 a 10 µm), o que otimiza a absorção de luz e nutrientes (SHIHARA; KRAUSS, 1965; FRANCESCHINI *et al.*, 2010; BARSANTI; GUALTIERI, 2023).

O uso da microalga *C. vulgaris* evoluiu de práticas de saúde ancestrais para aplicações industriais modernas, tendo como foco a produção de biocombustíveis, aditivos alimentares, biopolímeros e bioplásticos (DERNER *et al.*, 2006; OHSE *et al.*, 2015; AL-HAMMADI; GÜNGÖRMÜŞLER, 2024), além de seu uso na indústria alimentícia, atuando como suplemento pigmentar (em pós e comprimidos) e, como agente de fortificação em massas e derivados de trigo, suplementando a deficiência de aminoácidos como por exemplo a lisina (BEWICKE; POTTER, 2009). Essa ampla aplicabilidade, que agora se expande também para a agricultura, deve-se à sua vasta riqueza bioquímica, que inclui proteínas, lipídeos, aminoácidos e pigmentos, além de metabólitos indutores de defesa nas plantas, como compostos fenólicos (SAFI *et al.*, 2014; TAIZ *et al.*, 2017; CABRITA *et al.*, 2022). Dentre esses componentes, destaca-se a alta concentração de arginina, precursora do óxido nítrico (NO) que atua na sinalização de defesa contra patógenos, e o ácido linolênico, substrato vital para a síntese de ácido jasmônico, hormônio determinante na ativação de genes de defesa sistêmica (TAIZ *et al.*, 2017; CABRITA *et al.*, 2022).

Assim, embora estudos recentes demonstrem o potencial bioestimulante da *C. vulgaris* na germinação e no estabelecimento inicial da cevada (ALLING; FUNK; GENTILI, 2023), observa-se que os trabalhos existentes focam predominantemente

em ensaios laboratoriais, uso de suspensões celulares ou massa intacta, com abordagem comparativa entre diferentes microalgas. Nesse sentido, torna-se evidente a carência de pesquisas referentes à forma de aplicação e doses da microalga *C. vulgaris* para a cultura da cevada, principalmente em ensaios a campo. Dessa forma, o presente estudo se justifica ao propor uma abordagem mais direcionada e detalhada, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o uso de *C. vulgaris* como bioestimulante na cultura da cevada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CULTURA DA CEVADA

2.1.1 Taxonomia e características morfológicas

A cevada é um cereal de inverno, classificado no gênero *Hordeum*, Família Poaceae e subfamília Pooideae (ESSI, 2020). Apresenta natureza diploide, monoica e autógama, sua estrutura biológica abrange duas subespécies principais: a *spontaneum* (formas selvagens) e a *vulgare* (genótipos cultivados). Embora essas subespécies selvagens mantenham interfertilidade com a cultivada, a espécie *Hordeum vulgare* L. atua como a única representante cultivada de seu gênero (MINELLA, 1999).

A arquitetura da planta é definida por um caule cilíndrico do tipo colmo, segmentado em nós e entrenós (geralmente entre cinco e sete). As folhas, originadas nos nós, possuem bainhas que revestem o colmo integralmente. Um aspecto taxonômico distintivo desta espécie frente a outros cereais reside principalmente na morfologia da lígula e da aurícula: ambas são glabras e amplexicaules, apresentando frequentemente pigmentação antociânica. Comparativamente, as cultivares destinadas à forragem desenvolvem folhas de maior largura e comprimento, resultando em maior acúmulo de massa verde em relação às cultivares cervejeiras (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012).

A inflorescência caracteriza-se como uma espiga de arranjo compacto, cujo eixo central (ráquis) representa a extensão do último entrenó, situando-se no ápice do colmo. Nesse eixo, as espiguetas se desenvolvem de forma alternada. Cada unidade floral apresenta um androceu composto por três estames e um pistilo dotado de estigma bifido. Em decorrência do comportamento autógamo da espécie, a antese ou abertura floral sucede o processo de fertilização, mecanismo fisiológico determinante para assegurar a estabilidade genética e a pureza da cultivar (QUEIROGA *et al.*, 2024).

Existem duas categorias morfológicas predominantes na espécie cultivada, definidas pelo número de fileiras de grãos na ráquis: duas (var. *distichum*) ou seis (var. *vulgare* ou *hexastichum*). A compactação da espiga gera subdivisões adicionais, exemplificadas pelas variedades laxa e compacta (MINELLA, 1999). A diferenciação entre as cevadas de duas e seis fileiras fundamenta-se na fertilidade das flores fixadas nos nós da ráquis. Nas variedades multifileiras (hexásticas), a presença de três flores

férteis por nó resulta na formação de seis carreiras de grãos, embora o alongamento dos entrenós possa conferir uma aparência visual de apenas quatro fileiras devido à sobreposição das flores laterais. Em contrapartida, as cevadas dísticas apresentam flores laterais estéreis, permitindo o desenvolvimento de apenas um grão central em cada nó, o que caracteriza a disposição simplificada de duas fileiras alternadas ao longo do eixo da espiga (KUNZE, 2004).

O fruto é uma cariopse do tipo vestida, na qual as glumas permanecem aderidas ao grão, característica ausente apenas nos genótipos de cevada nua (QUEIROGA *et al.*, 2024). Morfologicamente, o grão de cevada é composto por suas estruturas de revestimento (pericarpo e tegumento), pelo endosperma e pelo embrião. O endosperma corresponde à maior fração do grão e é o principal local de armazenamento de substâncias de reserva (BRIGGS, 1978).

2.1.2 Importância econômica

A cevada apresenta versatilidade em sua aplicação, sendo destinada tanto ao consumo humano quanto animal. Segundo de Mori; Minella (2012), na alimentação humana, o cereal é processado principalmente na forma de malte para a indústria de bebidas, como cervejas e destilados, além de ser utilizado em alimentos, como em pães, farinhas ou flocos, para a composição de produtos dietéticos e de nutrição infantil, atuando também como sucedâneo do café. Contudo, os autores ressaltam que o maior uso mundial da cultura se destina à alimentação animal, na qual é empregada na fabricação de rações e fornecida na forma de grãos, silagem, feno ou forragem verde.

A forma de utilização da cevada varia substancialmente conforme o contexto regional de produção. Em âmbito global, a cultura é majoritariamente destinada à alimentação animal, que absorve mais de 90% da produção, restando apenas 5% para o uso como semente e 5% para a malteação visando a produção de cerveja. O cenário brasileiro, contudo, apresenta uma dinâmica distinta. No Brasil, o objetivo primordial da produção é o abastecimento das maltarias, sendo que a destinação para outros fins ocorre somente quando os grãos não atingem as especificações de qualidade exigidas pelo setor cervejeiro (CAIERÃO, 2008).

No cenário agrícola global na safra 2024/2025, a produção mundial de cevada totalizou 143,27 milhões de toneladas. A distribuição geográfica desse volume revela uma forte concentração produtiva na União Europeia, que detém a liderança com 35%

do total global, seguida pela Rússia (11%), Austrália (9%) e Canadá (6%). Nesse contexto, o Brasil ocupa uma posição intermediária, classificando-se no 26º lugar do ranking mundial, com produção de 438.000 toneladas, correspondente somente a 0,3% da produção global de cevada (USDA, 2025).

A produção brasileira de cevada concentra-se predominantemente na região Sul, que na safra 2025 destinou 135,1 mil hectares ao cultivo, área significativamente superior aos 4,1 mil hectares do Sudeste. Dentro do Sul, o Paraná destacou-se com 103,7 mil hectares plantados e 483,3 mil toneladas produzidas, enquanto o Rio Grande do Sul respondeu por 31,4 mil hectares e 110,2 mil toneladas. Com isso, a região Sul totalizou 593,5 mil toneladas, contra 13,1 mil toneladas do Sudeste. Segundo o sexto levantamento da safra 2025/26 (CONAB, 2026), a produtividade média nacional foi de 4.358 kg ha⁻¹, impulsionada pelo desempenho do estado do Paraná (4.661 kg ha⁻¹), o qual superou o Rio Grande do Sul (3.509 kg ha⁻¹) e São Paulo, representante da região Sudeste (3.200kg ha⁻¹).

Apesar disso, a produção de malte no Brasil é marcada por um déficit significativo em relação à demanda da indústria cervejeira. Em 2022, o setor necessitou de 1,9 milhão de toneladas, volume do qual a produção nacional, supriu apenas 39,5% (750.000 toneladas). Para cobrir essa lacuna, o país importa anualmente mais de um milhão de toneladas do Mercosul e da Europa. A infraestrutura produtiva atual conta com quatro unidades em operação: Agromalte, Maltaria do Vale e duas plantas da Ambev, que somam uma produção média de 730 mil toneladas de malte (EMBRAPA, 2023). Essa infraestrutura teve sua capacidade ampliada em 2024, com a inauguração da Maltaria Campos Gerais, que possui capacidade de produzir 280 mil toneladas anuais de malte (PARANÁ, 2024). Projeta-se um crescimento ainda mais robusto para o setor a partir de 2026, impulsionado pelo novo investimento de R\$ 1,1 bilhão anunciado pela Cooperativa Agrária. Este aporte, formalizado em novembro de 2025, visa a expansão e construção de novas estruturas industriais em Entre Rios, Guarapuava, consolidando a região como um polo estratégico para a autossuficiência da malteação brasileira (PARANÁ, 2025).

A dependência brasileira de importações de cevada é resultado de uma produção interna incapaz de acompanhar a demanda, situação agravada pelos desafios climáticos. Para reverter esse quadro e minimizar a necessidade de importações, é imperativo o fomento de políticas públicas voltadas à pesquisa e ao melhoramento genético. A consolidação do setor exige, portanto, a integração

estratégica entre a cadeia produtiva, o governo e as instituições científicas para superar os atuais entraves de cultivo (KRÜGER *et al.*, 2025).

2.1.3 Exigências edafoclimáticas e manejo da cultura

Um dos pilares para o sucesso do cultivo da cevada reside na escolha adequada da cultivar. Atualmente, o melhoramento genético busca disponibilizar materiais que conciliem alta produtividade, qualidade de grãos e resiliência frente a estresses ambientais e biológicos nos diferentes locais de cultivo. Além dessas características agronômicas, para a finalidade de malteação, é fundamental que a cultivar atenda aos padrões de qualidade exigidos pela indústria cervejeira. Em complemento à genética, o manejo cultural exerce papel fundamental no rendimento. Para que as variedades indicadas atinjam os níveis de produtividade esperados, deve-se assegurar uma densidade populacional de 250 a 300 plantas emergidas m^{-2} em espaçamento entrelinhas entre 12 e 20 cm, mantendo a profundidade de semeadura rigorosamente entre 3 e 5 cm (EMBRAPA, 2025).

Visando à expansão das áreas agrícolas e à estabilidade da produção de cevada no Brasil, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) apresenta-se como ferramenta essencial de gestão, indicando épocas de semeadura com riscos de frustração de safra de 20, 30 e 40%. Essa orientação é fundamental na Região Sul, onde a falta de estação seca definida e o excesso de umidade favorecem doenças complexas como giberela, manchas foliares e ferrugem. Adicionalmente, o ZARC também auxilia a minimizar impactos de eventos meteorológicos adversos frequentes na região, como granizo, geadas tardias na emissão das espigas e vendavais, que podem causar danos severos às plantas, especialmente em estádios fenológicos avançados (BRASIL, 2025).

Somada às variáveis climáticas, tem-se a influência das condições edáficas. A cevada exige solos de fertilidade elevada e textura franca ou argilosa, desde que garantam excelente aeração, distinguindo-se pela capacidade de tolerar níveis leves de alcalinidade, superiores aos suportados por outros cereais. Entretanto, o fator limitante preponderante é a drenagem, devido à sua alta sensibilidade à saturação hídrica, ou seja, à baixa disponibilidade de O_2 para o sistema radicular, o que reduz a taxa respiratória, consequentemente a absorção de água e nutrientes, induzindo ao fechamento estomático e a redução da taxa fotossintética, demandando assim, equilíbrio hídrico rigoroso para seu bom desenvolvimento (CLARK, 2007).

A cevada apresenta elevado potencial produtivo, todavia, a produtividade real da cultura permanece limitada em diversas regiões. Isso ocorre em função da interação complexa entre fatores genéticos, ambientais e socioeconômicos, os quais frequentemente restringem o desempenho final da cultura (MULATU; LAKEW, 2011). Dessa forma, a fim de mitigar tais limitações e otimizar o desenvolvimento vegetal, o uso de extratos de algas como bioinsumo tem se revelado uma alternativa promissora. O fator impulsionador dessa prática é a segurança ambiental, que surge como complemento viável aos reguladores sintéticos tradicionais (CARVALHO *et al.*, 2014).

2.2. BIOINSUMOS

Com o objetivo de favorecer o segmento agropecuário, o Programa Nacional de Bioinsumos foi instituído pelo Decreto n.º 10.375, de 26 de maio de 2020. Através deste programa, as ações ligadas ao Ministério da Agricultura concentram-se na expansão e no fortalecimento do uso de bioinsumos no país (BRASIL, 2024a). Sob essa ótica, é fundamental compreender a delimitação adotada pela legislação vigente, conforme o Art. 2º da Lei nº 15.070 (BRASIL, 2024b), conceitua-se bioinsumo como:

Produto, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, incluído o oriundo de processo biotecnológico, ou estruturalmente similar e funcionalmente idêntico ao de origem natural, destinado ao uso na produção, na proteção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários ou nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfira no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos, do solo e de substâncias derivadas e que interaja com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

No âmbito da agroecologia, Vidal; Dias (2023) trazem o conceito de bioinsumos não apenas como produtos, mas como um conjunto de estratégias baseadas em recursos renováveis visando a sustentabilidade. Para os autores, esses insumos devem valorizar a biodiversidade brasileira e os saberes locais incluindo a conservação genética e o manejo de variedades crioulas, integrando ensino, pesquisa e extensão para aprimorar as funções socioeconômicas e ambientais dos sistemas produtivos, sempre em consonância com a legislação brasileira. Dentre as tecnologias disponíveis, destacam-se diferentes categorias de insumos, compreendendo desde bioestimulantes e biorreguladores até inoculantes, biofertilizantes e agentes de controle biológico (MEYER *et al.*, 2022).

2.2.1 Bioestimulantes

Segundo Campos; Sousa; Oliveira (2020), os bioestimulantes são definidos como formulações de natureza biológica ou sintética capazes de elevar o rendimento das plantas. Essa melhoria produtiva não ocorre por uma única via, mas sim através da interação de propriedades emergentes nos complexos fisiológicos, químicos e físicos do vegetal. Diante dos resultados favoráveis observados em culturas de grãos como soja (MORAES *et al.*, 2023), milho (MORAES *et al.*, 2026a; SANTOS, 2022), feijão (MORAES *et al.*, 2025; NADER, 2025) e cevada (MORAES *et al.*, 2026b; FERREIRA *et al.*, 2021; ALLING; FUNK; GENTILI, 2023), nota-se uma crescente demanda de mercado por essas tecnologias.

O Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2020), conceitua bioestimulante como:

Produto que contém substância natural com diferentes composições, concentrações e proporções, que pode ser aplicado diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e a germinação mais rápida e uniforme, interferir no desenvolvimento vegetal, estimular a divisão, a diferenciação e o alongamento celular, incluídos os processos e as tecnologias derivados do bioestimulante.

Devido à sua vasta versatilidade e riqueza bioquímica, os bioestimulantes obtidos a partir de macro e microalgas vêm ganhando relevância frente a outras classes de bioestimulantes, como aqueles de natureza vegetal, animal, húmica, proteica ou microbiana (NADER, 2025).

Taxonomicamente, o termo “algas” refere-se a um agrupamento polifilético e altamente heterogêneo de organismos fotossintéticos (BARSANTI; GUALTIERI, 2023). Diferentemente das plantas superiores, esses organismos não apresentam diferenciação em raízes, caules ou folhas verdadeiras, abrangendo desde formas microscópicas unicelulares até grandes estruturas multicelulares. Em função dessa ampla diversidade morfológica e funcional, as algas são tradicionalmente classificadas em dois grandes grupos: microalgas e macroalgas, evidenciando a complexidade biológica desse conjunto (BARSANTI; GUALTIERI, 2023).

Essa diversidade anatomorfológica reflete-se diretamente na composição química dos extratos de algas, aspecto central para sua aplicação como bioestimulantes na agricultura. De acordo com Ali; Ramsubhag; Jayaraman (2021), os extratos algais apresentam uma matriz altamente complexa, constituída por compostos orgânicos e inorgânicos de diferentes naturezas, incluindo carboidratos, minerais, metabólitos secundários, aminoácidos, vitaminas e hormônios. A presença

combinada desses compostos confere elevado potencial bioativo, estando associada à promoção do crescimento vegetal, ao aumento da eficiência nutricional e à mitigação de estresses bióticos e abióticos.

Além de sua relevância biológica e agrônômica, as algas destacam-se também pelo expressivo crescimento de sua produção em escala global. Segundo dados da FAO (2024), a produção mundial de algas atingiu 36,5 milhões de toneladas em 2022, representando um aumento de 1,4 milhão de toneladas em relação a 2020. Esse crescimento foi impulsionado principalmente pela expansão produtiva em países asiáticos, como China, Malásia e Filipinas. No que se refere à composição das espécies cultivadas, observa-se a predominância das algas vermelhas (55,8%) e pardas (43,8%), seguidas, em menor proporção, por cianobactérias (0,3%), algas verdes (0,1%) e espécies não identificadas (0,1%) (FAO, 2024).

Esse volume produtivo sustenta uma demanda global crescente que ultrapassa os mercados alimentares tradicionais. Conforme a FAO (2024), a massa algal desempenha papel estratégico em diferentes cadeias produtivas, contribuindo para a segurança alimentar, a geração de renda em comunidades costeiras e o desenvolvimento de diversos setores industriais. Diante disso, o processamento de algas viabiliza desde a obtenção de hidrocoloides, como ágar e alginato, utilizados na pesquisa laboratorial e biotecnológica, nas indústrias farmacêutica e cosmética, até sua aplicação no setor agroindustrial, com destaque para a produção de fertilizantes, bioestimulantes, rações e biocombustíveis (FAO, 2024).

Especificamente na agricultura, sua aplicação fundamenta-se na riqueza de compostos bioativos presentes tanto em macro quanto em microalgas, que atuam não apenas como fonte nutricional direta, mas principalmente como ativadores metabólicos capazes de mitigar estresses e otimizar a produtividade das culturas. Segundo Kholssi *et al.* (2022), embora as macroalgas tenham historicamente dominado o uso agrícola devido à facilidade de colheita e processamento, as microalgas emergem atualmente com grande potencial para a formulação de bioestimulantes de alto valor agregado.

O crescente interesse pelas microalgas é impulsionado, em grande parte, pela viabilidade de produção em efluentes, o que acarreta a diminuição de custos e permite um processo mais controlado e sustentável. A conveniência operacional desse cultivo reflete-se na diversidade de sistemas utilizáveis, que abrangem desde lagos abertos

e fotobiorreatores até o aproveitamento de efluentes pré-tratados (FERREIRA; FERREIRA, 2023).

Dentre as microalgas exploradas nesses sistemas, a *Chlorella vulgaris* demonstra expressiva relevância nas pesquisas e aplicações atuais. De acordo com Mendes *et al.* (2024), essa espécie apresenta grande potencial biotecnológico, ampla aplicabilidade e produção com menor demanda de recursos.

2.3. *Chlorella vulgaris* B.

2.3.1 Aspectos Taxonômicos e Morfológicos

Sob a ótica taxonômica, *C. vulgaris* é uma espécie do gênero *Chlorella*, pertencente à Classe Trebouxiophyceae, Filo Chlorophyta e Reino Plantae (BARSANTI; GUALTIERI, 2023). Complementarmente, Franceschini *et al.* (2010) apontam que estudos moleculares indicam a natureza não monofilética do gênero, corroborando sua distribuição global em clados distintos e sua alta versatilidade ecológica, o que permite sua ocorrência em substratos subaéreos, na coluna d'água ou em simbiose com diversos organismos aquáticos.

Do ponto de vista fisiológico, a morfologia reduzida dessas microalgas resulta em uma grande superfície relativa de contato, otimizando a absorção de partículas de luz e nutrientes. Tal eficiência metabólica favorece o crescimento acelerado em ambientes estáveis, consolidando o potencial da espécie para aplicações laboratoriais e biotecnológicas (FRANCESCHINI *et al.*, 2010).

Conforme descrito na obra clássica de Shihira; Krauss (1965), esta alga verde unicelular caracteriza-se morfológicamente por células esféricas com diâmetro oscilando entre 4 e 10 μm . A espécie exibe um cromatóforo em formato de taça de tonalidade verde-ervilha, contendo pirenoide, além de um núcleo cromatínico de tamanho variável, predominantemente simples, ainda que duplicidades ocasionais possam ocorrer.

O ciclo reprodutivo ocorre exclusivamente por divisões celulares sucessivas, sem a formação de esporos móveis, liberando as células-filhas mediante o rompimento da parede celular da célula-mãe, medindo cerca de 0,5 a 4 μm (SHIHIRA; KRAUSS, 1965).

2.3.2 Composição Bioquímica da *Chlorella vulgaris* e metabólitos de Interesse

O meio de cultivo influencia diretamente as quantidades de proteínas, carboidratos e lipídeos gerados por uma mesma espécie de microalga. De acordo com Procházková *et al.* (2014), a escassez de nitrogênio provoca uma mudança nas rotas metabólicas, redirecionando o fluxo de carbono da proteossíntese para a formação de reservas como triacilglicerídeos e amido, a magnitude e o tipo desse acúmulo variam conforme a interação entre a genética da espécie e as condições impostas ao sistema.

A heterogeneidade na composição bioquímica da *C. vulgaris* é amplamente corroborada ao se confrontar os resultados de diferentes autores, evidenciando como a matriz de cultivo e as metodologias de extração e análise impactam os valores finais. No que tange ao conteúdo proteico, Bertoldi; Sant'Anna; Oliveira (2008), observaram que a massa obtida em resíduo hidropônico puro atingiu 50,5% de proteína bruta, decrescendo para 40% ao se diluir o meio na proporção de 1:3. Resultados robustos também foram encontrados por Matos *et al.* (2015) utilizando concentrado de dessalinização, com 46,80% de proteínas totais no primeiro ciclo, e por Cabrita *et al.* (2022), que reportaram 44,9% de proteína bruta na massa seca. Por outro lado, Santos (2022), ao focar especificamente nas proteínas totais solúveis, encontrou uma concentração de 33,9%, além de quantificar 6,78% de carboidratos totais, demonstrando que a fração proteica pode variar significativamente dependendo da fração analisada e do cultivo.

A variação estende-se também à qualidade nutricional da massa, não apenas à quantidade bruta. Cabrita *et al.* (2022) ao detalhar o perfil de aminoácidos, destacaram a presença em grande quantidade de fenilalanina + cisteína (11,25%), lisina (10%) e arginina (9,14%). A alta concentração de arginina é crucial para a integridade fitossanitária, pois o aminoácido serve de base para a produção de óxido nítrico (NO). Este composto atua como sinalizador na resposta de hipersensibilidade contra patógenos, sendo sintetizado enzimaticamente a partir da arginina em momentos de estresse. O NO, em coordenação com espécies reativas de oxigênio, é determinante para o sucesso das barreiras químicas que limitam danos por infecções nos tecidos vegetais (TAIZ *et al.*, 2017).

No que diz respeito à fração lipídica, a literatura evidencia teores relevantes que variam conforme condições de cultivo. Neste sentido, Matos *et al.* (2015) registraram 9,88% de lipídeos totais, valor bastante próximo aos 10% quantificados por Cabrita *et al.* (2022), entretanto, Ohse *et al.* (2015), ao cultivarem a espécie em meio de cultura WC modificado, obtiveram 16,08% de lipídeos totais na massa seca.

Ao detalharem o perfil bioquímico, os autores evidenciaram a complexidade dos ácidos graxos dessa microalga: a fração lipídica era composta por 40,2% de ácidos saturados, 23,5% de monoinsaturados e expressivos 31,9% de poli-insaturados, proporção que corrobora fortemente os 30,4% identificado por Cabrita *et al.* (2022) para a espécie. O grande diferencial, apontado por Ohse *et al.* (2015) foi o elevado teor do ácido graxo poli-insaturado ácido linolênico (22,17%), além de níveis consideráveis de ácidos palmítico, esteárico e oleico, conferindo à *C. vulgaris* um perfil altamente rico e, sob certas perspectivas estruturais, mais complexo que o de fontes oleaginosas convencionais, como a soja.

A presença expressiva desses ácidos graxos poli-insaturados é fisiologicamente estratégica, visto que, além de comporem os lipídeos de membrana, atuam como precursores vitais para a sinalização celular. O ácido linolênico, por exemplo, é o substrato fundamental na rota dos octadecanoides, sendo convertido em ácido jasmônico nos cloroplastos e peroxissomos. Este hormônio não apenas regula aspectos do desenvolvimento, como a formação do grão de pólen, mas é determinante na ativação de genes de defesa contra herbivoria e patógenos. Adicionalmente, tanto o ácido linolênico quanto o linoleico são fontes para a síntese de eliciadores e compostos voláteis que, em situações de estresse ou ataque de insetos, desencadeiam respostas de defesa sistêmica, permitindo a comunicação química a longa distância entre plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

Por fim, a síntese de pigmentos pela espécie *C. vulgaris* é reflexo das condições ambientais. Enquanto Santos (2022) reportou concentrações volumétricas de 4 $\mu\text{g L}^{-1}$ para clorofila a e 1,93 $\mu\text{g L}^{-1}$ para carotenoides totais, Bertoldi; Sant'Anna; Oliveira (2008) reportaram concentrações de clorofila a de 0,29 pg cel^{-1} na solução hidropônica residual pura (SHR), 0,38 pg cel^{-1} na solução hidropônica residual na proporção de 1:1 com água deionizada (SHR50), e 0,29 pg cel^{-1} na proporção de 1:3 (SHR25, contendo 25% de resíduo e 75% de água deionizada). Os autores observaram, ainda, ampla variação no teor de clorofila b (de 0,12 para 0,09 pg cel^{-1}) entre os tratamentos (BERTOLDI; SANT'ANNA; OLIVEIRA, 2008).

Os pigmentos desempenham funções fisiológicas vitais e complementares. As clorofilas são imperativas para a conversão energética luminosa em energia química, atuando na membrana dos tilacoides absorvendo fótons (especialmente os fótons correspondentes às regiões do azul e vermelho do espectro eletromagnético) para gerar um estado excitado, impulsionando as reações fotoquímicas e, propiciando a

fixação e redução do carbono na fase bioquímica da fotossíntese. Paralelamente, os carotenoides são essenciais para a viabilidade desse sistema na presença de luz e oxigênio, dissipando o excesso de energia na forma de calor e ressonância, protegendo as clorofilas da fotoxidação ou fotodegradação, reduzindo a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs). Adicionalmente, a fração de carotenoides representa uma reserva metabólica para a biossíntese de hormônios, como o ácido abscísico, ácido giberélico, brassinoesteroides e as estrigolactonas, que regulam o desenvolvimento e resposta a estresses (TAIZ *et al.*, 2017).

2.3.3 Potencial Biotecnológico e Farmacológico

Diversos estudos corroboram a ampla aplicabilidade da *C. vulgaris*. Segundo Bewicke; Potter (2009), o uso desta microalga evoluiu de práticas ancestrais voltadas à recuperação da saúde para se consolidar na indústria alimentícia moderna, onde atua tanto como suplemento rico em clorofila (em pós e comprimidos), quanto como agente de fortificação em massas e derivados de trigo, compensando eficazmente a deficiência de aminoácidos como por exemplo a lisina.

O potencial biológico da espécie também é explorado na cosmetologia, com o desenvolvimento de cremes contendo *Dermochlorella* (extrato concentrado de *C. vulgaris*) para regeneração da pele e síntese de colágeno. Em vertentes ambientais, a microalga destaca-se pela capacidade de fitorremediação, suportando ambientes contaminados por cromo, devido à sua parede celular protetora. Essa característica fisiológica otimiza a adsorção de metais, o que viabiliza a descontaminação de efluentes provenientes de variados nichos industriais. Paralelamente a esse tratamento, como ocorre no manejo de resíduos lácteos, visando à produção de biodiesel, a biomassa de *C. vulgaris* auxilia no controle das emissões atmosféricas por meio do sequestro de carbono. Adicionalmente, o setor de aquicultura, beneficia-se desta microalga como ingrediente em rações mistas para suprimento lipídico de organismos marinhos, como crustáceos e bivalves (DERNER *et al.*, 2006; BARSANTI; GUALTIERI, 2023).

Além das aplicações nutricionais e ambientais, a *C. vulgaris* demonstra um promissor potencial farmacológico atribuído à sua rica constituição bioquímica. Em estudo com extratos metanólicos dessa microalga, Ahmed (2021) identificou a presença de metabólitos secundários bioativos, com destaque para o flavonoide quercetina, correlacionando-os a uma potente atividade antimicrobiana contra fungos

e bactérias patogênicas. Essa composição confere à espécie não apenas capacidade antioxidante, mas também propriedades antitumorais significativas, evidenciadas pela citotoxicidade inibitória frente a linhagens celulares de carcinoma hepatocelular, de cólon e de mama, consolidando a *C. vulgaris* como uma fonte natural de agentes quimiopreventivos (AHMED, 2021).

2.3.4 Aplicações Agrícolas: Biofertilização e Defesa Fitossanitária

Essa bioatividade não se restringe à saúde humana, estendendo-se à proteção fitossanitária na agricultura. Ferreira *et al.* (2021) demonstraram que a biomassa de *C. vulgaris*, mesmo quando cultivada em efluentes, possui eficácia fungistática significativa, capaz de inibir o crescimento de fitopatógenos em taxas superiores a 40%, inclusive em concentrações baixas (1 g L^{-1}). Com base nesses resultados inibitórios, os autores concluíram que a incorporação dessa microalga no manejo agrícola apresenta-se como uma estratégia promissora para a redução ou substituição de agroquímicos sintéticos, sem comprometer a produtividade das plantas.

Expandindo o potencial agrícola para além da defesa fitossanitária, a incorporação de *C. vulgaris* consolida-se como uma estratégia biotecnológica também para a nutrição e o estímulo fisiológico das plantas. No que tange à sua função como biofertilizante, Dineshkumar *et al.* (2020) evidenciaram a eficácia da incorporação da massa seca misturada ao esterco bovino diretamente no solo. Essa prática resultou em maior crescimento vegetativo, incluindo altura, número de folhas e massa fresca, e em um perfil mineral superior em cebolas, quando comparados ao controle. De forma complementar, Agwa; Ogugbue; Williams (2017) realizaram a aplicação da suspensão algal em sementes e no solo, verificando aumentos significativos na fertilidade da rizosfera (nitrogênio, fósforo e matéria orgânica), na atividade microbiana e na produtividade do quiabo.

2.3.5 Ação Bioestimulante: Modulação Fisiológica e Mitigação de Estresses

Além do aporte nutricional direto, a aplicação via substrato demonstra atuar na eficiência fisiológica e na mitigação de estresses abióticos. Turhan *et al.* (2022) observaram que a aplicação de suspensões da microalga no substrato de cultivo de rúcula reduziu o dano de membrana e o teor de sódio nos tecidos, permitindo diminuir a fertilização mineral em 50% sem perdas produtivas.

Aprofundando a compreensão desses mecanismos, Martins (2022) confirmou que a aplicação prévia da suspensão no solo permitiu a mineralização dos nutrientes, resultando em uma produção de biomassa de alface significativamente maior do que a cultivada no sistema mineral (controle), além de evitar a salinização secundária do solo. Adicionalmente, ao testar o potencial bioestimulante submetendo o material vegetal a suspensões originais e extratos da microalga, o autor identificou atividade promotora do enraizamento, estimulando o desenvolvimento radicular, inclusive, de forma superior à outras microalgas. Tais resultados reafirmam a *C. vulgaris* como um agente de dupla aptidão agrônômica que, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, pode atuar como um bioestimulante.

2.3.6 Forma de Aplicação e Doses

No que tange às formas de aplicação, a *C. vulgaris* apresenta grande versatilidade tecnológica, podendo ser introduzida no sistema produtivo via pulverização foliar, tratamento de sementes, aplicação direta no solo ou integrada a soluções hidropônicas. No que diz respeito à pulverização foliar, em ensaios com plântulas de alface, La Bella *et al.* (2021) demonstraram que a realização de três pulverizações semanais com 500 mL de solução nutritiva (volume aplicado por recipiente contendo 10 mudas), suplementada com o extrato microalgal calibrado na baixa concentração de 1 mg de carbono orgânico por litro (equivalente a 0,0001%), promoveu o desenvolvimento da parte aérea com acréscimos de 23% na massa fresca e 20% na massa seca foliar. Resultados similares foram reportados por Tian *et al.* (2022) no pimentão, onde a pulverização de extrato etanólico na concentração de 0,4 mg L⁻¹, com volume de calda de 100 mL por planta a cada aplicação, elevou os níveis de clorofila a e a atividade enzimática antioxidante.

Ainda nesse contexto, Jamshidi-Kia *et al.* (2024) verificaram que a pulverização semanal de um extrato aquoso bruto concentrado (reduzido a um terço do seu volume inicial e classificado pelos autores como concentração de 100%) em hortelã-verde aumentou a massa seca e elevou os teores de compostos valiosos, como carvona e limoneno (monoterpenos), resultando em maior atividade antioxidante e antimicrobiana do óleo essencial. Além de estimular o metabolismo em condições normais, a aplicação foliar protege contra estresses, Kusvuran (2021) demonstrou que a aplicação foliar da solução de cultivo de *C. vulgaris*, diluída com água de torneira

para a obtenção de concentrações de 1, 3 ou 5% (v/v), especialmente a 5%, mitigou significativamente os danos causados pelo estresse hídrico.

Quanto à aplicação direta no solo e substratos, Ferreira *et al.* (2025) aplicaram 10 mL de suspensões de *Chlorella* sp. (0,8% e 1,6%) em tubetes de 120 mL com Luvissolo crômico na semeadura e aos 4 e 6 dias após a semeadura (DAS), ambas as doses estimularam o crescimento de mudas de meloeiro 'Amarelo'. A concentração de 1,6% trouxe os resultados mais expressivos aos 27 DAS, com incrementos de 37,50% no número de folhas e de 29,61% no diâmetro do caule (média de 4,42 mm) frente ao controle. De forma análoga, da Costa (2025) notou que altas dosagens de massa úmida, que consiste na microalga fresca logo após a centrifugação, quando aplicadas diretamente no substrato dos vasos e misturadas em uma concentração de cerca de 5% do seu volume, podem causar inibição inicial no feijão e no milho. O autor sugere que a decomposição microbiana rápida gerou um desequilíbrio temporário no meio, hipótese evidenciada pelo delineamento do estudo, no qual o plantio tardio (10 e 20 dias após a aplicação) mitigou o efeito inibitório devido ao tempo para a estabilização do substrato.

Em relação ao tratamento de sementes, esta prática favorece significativamente o estabelecimento inicial das culturas. Nader (2025) concluiu que este método é superior à pulverização foliar para o arranque do feijoeiro, enquanto Moraes *et al.* (2025) demonstraram que a dose de 3 mg kg⁻¹ de semente impulsionou a produtividade do feijão em 40,24%. Em escala laboratorial, Bumandalai e Tserennadmid (2019) detalharam que a eficácia da *Chlorella* está intrinsecamente ligada à utilização de concentrações baixas para evitar efeitos inibitórios, os autores definiram como dose ideal para o tomate a concentração de 0,17 g L⁻¹, que resultou em raízes de 7,0 cm e caules de 5,5 cm, superando significativamente o controle, já para o pepino, a dose ótima foi de 0,25 g L⁻¹, atingindo um crescimento de 11,5 cm ao 12º dia, enquanto doses mais elevadas (acima de 0,5 g L⁻¹) provocaram reduções no crescimento inicial. Carvalho (2025) utilizou o umedecimento de sementes de rúcula e tomate (2,5 vezes o peso do papel) com frações de *Chlorella*, obtendo ganhos de 33,43% no comprimento radicular devido à presença de ácido indolacético. Santos (2022) reforça a importância do ajuste de dose, indicando que em sementes de feijão, mamão e milho tratadas com extratos aquosos, a concentração de 1,5 g L⁻¹ maximizou a germinação e o vigor das sementes, enquanto a dose de 2,5 g L⁻¹ causou declínio

nas respostas fisiológicas, sugerindo um efeito de estresse osmótico ou toxicidade por excesso de solutos.

Por fim, no âmbito das soluções hidropônicas, a aplicação de extratos de microalgas atua diretamente na modulação gênica e morfológica do sistema radicular. Barone *et al.* (2017), ao utilizarem extratos de *C. vulgaris* obtidos por lise celular em metanol na cultura da beterraba, detectaram que a presença do bioestimulante induz uma superexpressão de genes essenciais para a aquisição de nutrientes. Essa resposta genética culminou em alterações estruturais positivas, promovendo um aumento expressivo no comprimento total das raízes, na área superficial radicular e no número de pontas radiculares, otimizando a interface planta-solução (BARONE *et al.*, 2017).

2.3.7 Aplicações de *Chlorella vulgaris* na cultura da cevada

No contexto específico da cevada (*H. vulgare* L.), a literatura ainda é incipiente, concentrando-se em poucos estudos. Ferreira *et al.* (2021) avaliaram o potencial bioestimulante de diferentes microalgas cultivadas em águas residuárias, incluindo *C. vulgaris*, aplicadas na forma de suspensões em ensaios de germinação de sementes de cevada. Os autores observaram que, embora todas as microalgas testadas tenham promovido a germinação das sementes em relação às sementes não tratadas (controle), a aplicação de *C. vulgaris* apresentou desempenho semelhante a aplicação de *Tetradismus obliquus*, especialmente no crescimento da parte aérea. Ainda assim, a aplicação da suspensão de *C. vulgaris* resultou em efeitos positivos no crescimento radicular, com plântulas apresentando raízes mais longas que as plântulas oriundas de sementes não tratadas.

De forma complementar, Alling; Funk; Gentili (2023) investigaram o uso de *C. vulgaris* cultivada em águas residuárias como bioestimulante, avaliando células intactas, células rompidas e sobrenadantes. Para a cevada, os autores demonstraram que todos os tratamentos com *C. vulgaris* resultaram em germinação superior às sementes submetidas ao tratamento controle, reduzindo significativamente o tempo médio de germinação, favorecendo o estabelecimento inicial das plântulas. Entretanto, o estudo não identificou alterações morfológicas significativas no crescimento inicial da parte aérea, limitando-se à avaliação da germinação, além de contemplar mais de uma cultura agrícola.

Assim, embora esses trabalhos demonstrem o potencial bioestimulante da *C. vulgaris* na cevada, observa-se que os estudos disponíveis são escassos, com foco predominantemente em ensaios laboratoriais (germinação e vigor), uso de suspensões celulares ou massa intacta, com abordagem comparativa entre diferentes microalgas e culturas. Nesse sentido, torna-se evidente a carência de informações (pesquisas) referentes à forma de aplicação e doses da microalga *C. vulgaris* para a cultura da cevada, principalmente em ensaios a campo. Dessa forma, o presente estudo se justifica ao propor uma abordagem mais direcionada e detalhada, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o uso de *C. vulgaris* como bioestimulante na cultura da cevada.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo visou avaliar a influência da aplicação via tratamento de sementes e via foliar de doses crescentes do extrato aquoso da microalga *Chlorella vulgaris* sobre o desenvolvimento morfofisiológico e os componentes da produção cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.), cv. Imperatriz, sob as condições edafoclimáticas de Ponta Grossa – PR.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a resposta da cultura da cevada cv. Imperatriz em função de doses crescentes de *C. vulgaris* aplicadas via tratamento de sementes.

Avaliar os efeitos de diferentes doses da microalga *C. vulgaris* aplicadas via foliar sobre o desenvolvimento e a produtividade de grãos da cultura da cevada, cv. Imperatriz.

Determinar a dose de máxima eficiência técnica do extrato aquoso de *C. vulgaris*, tanto quando aplicado via tratamento de sementes quanto via foliar na cultura da cevada, cv. Imperatriz.

Verificar a existência de efeito aditivo da interação entre os fatores tratamento de sementes e aplicação foliar sobre o desenvolvimento morfofisiológico e produtividade da cv. Imperatriz.

Realizar a avaliação do impacto dos tratamentos na qualidade industrial e no vigor fisiológico dos grãos de cevada produzidos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido durante a safra de inverno de 2025, na área experimental da Fazenda Escola Capão da Onça (latitude sul 25°05'42.03" e longitude oeste 50°03'09.06"), vinculada à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A área está localizada no município de Ponta Grossa, a uma altitude média de 1.021 metros em relação ao nível do mar. O clima é classificado como Cfb segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado como mesotérmico, com alta umidade durante todo o ano, verões amenos, temperatura média anual de 18°C, temperatura mínima anual de 14°C e precipitação média anual entre 1.400 e 1.600mm (NITSCHKE *et al.*, 2019).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, conforme critérios da EMBRAPA (2006). Os atributos químicos do solo podem ser observados na Tabela 1.

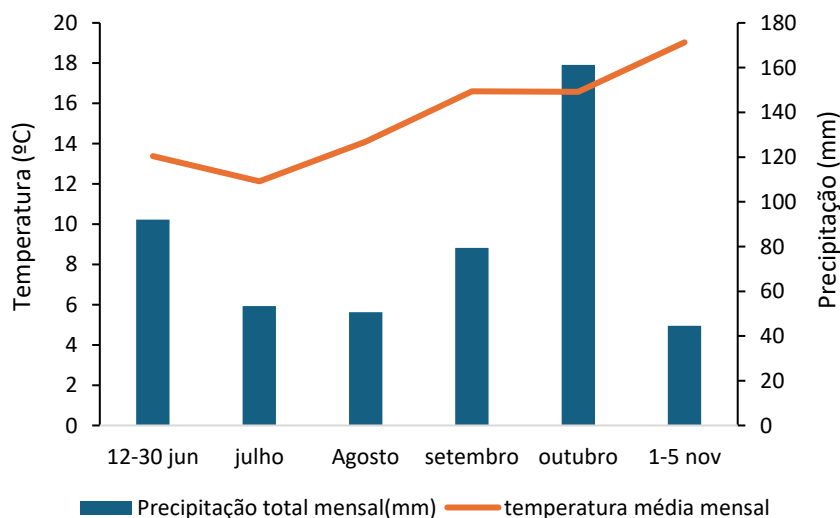
Tabela 1- Atributos químicos do solo da área experimental. Ponta Grossa/PR, 2025.

Atributos químicos do solo									
pH	P	H+Al	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CTC	V	MO
CaCl ₂	(mg dm ⁻³)			(cmolc dm ⁻³)				%	(g dm ⁻³)
5,4	30	2,0	0	2,9	1,4	0,21	6,51	69	20

Fonte-Análise elaborada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Ao longo dos 146 dias do ciclo da cultura da cevada, a precipitação total acumulada foi de 481,2 mm, com destaque para o mês de outubro, que registrou 161,2 mm (Figura 1). A precipitação total encontra-se dentro da faixa adequada para a cultura, que se situa entre 450 e 650 mm, de acordo com a FAO (1999). No mesmo período, as médias das temperaturas mínimas e máximas foram de 10,7°C e 20,1°C, respectivamente, com as médias mensais variando entre 12,1°C e 19,0°C (Figura 1).

Figura 1- Média mensal de precipitação e temperatura durante o ciclo da cevada. Ponta Grossa/PR, 2025t.



Fonte – Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa - Mini Farm BASF S.A. (2025).

4.2. DELINEAMENTO E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

A área experimental vem sendo conduzida sob sistema de plantio direto ininterrupto, englobando as safras de verão e inverno, ao longo dos dois anos prévios à instalação do estudo. Na safra 2024/2025, a cultura antecessora à cevada foi a soja (*Glycine max* L.). Antes da implantação da cevada, no dia 06 de maio de 2025, realizou-se a dessecação da área utilizando os seguintes herbicidas e suas respectivas doses: glifosato (Wipe out®) na dose de 1,5 kg ha⁻¹, carfentrazona-etílica (Aurora®) na dose de 60 mL ha⁻¹, saflufenacil (Heat®) na dose de 0,06 kg ha⁻¹ e cletodim (Viance®) na dose de 0,5 L ha⁻¹.

Os tratamentos resultaram da combinação de cinco doses da microalga *Chlorella vulgaris* aplicadas via tratamento de sementes (0; 20; 40; 60 e 80 mg kg⁻¹ de sementes) e quatro doses via aplicação foliar (0; 2000; 4000 e 6000 mg ha⁻¹). O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais. A massa liofilizada da microalga *C. vulgaris* foi fornecida pelo Laboratório de Cultivo de Algas, pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A cultivar de cevada utilizada foi a Imperatriz, desenvolvida a partir do cruzamento da linhagem ABRS02-024 com a cultivar BRS Elis (FAPA, 2025). As

sementes utilizadas não foram submetidas a nenhum tratamento fitossanitário. A cultivar apresenta massa de 1000 sementes (MMS) em torno de 45,4 gramas, resistência moderada ao acamamento, resistência moderada à geada até o final do perfilhamento e suscetibilidade após esse estágio, além de resistência à ferrugem da folha e ao oídio, com suscetibilidade moderada à mancha marrom e à mancha em rede (FAPA, 2025).

Para o tratamento das sementes, as doses da microalga *C.vulgaris* foram pesadas em balança de precisão, maceradas em cadinho com auxílio de almofariz, diluídas em 20 mL de água destilada com pH previamente corrigido para 5,5 e, aplicadas sobre 2,5 kg de sementes acondicionadas em sacos plásticos. Após homogeneização por agitação manual, os sacos foram mantidos abertos à sombra para permitir a secagem. As sementes correspondentes ao tratamento testemunha passaram pelo mesmo procedimento, utilizando apenas água destilada. Posteriormente, as sementes foram divididas em porções correspondentes a cada unidade experimental, visando facilitar a semeadura.

A semeadura ocorreu no dia 12 de junho de 2025, dentro do período preferencial, utilizando-se uma semeadora de parcelas, modelo Semina 1, composta por nove linhas com espaçamento de 20 cm entre linhas. Cada unidade experimental teve dimensões de 8,7 m de comprimento por 1,8 m de largura, totalizando uma área de 15,66 m². A adubação de base aplicada na semeadura foi de 220 kg ha⁻¹, na formulação 10-20-20. A profundidade de semeadura variou entre 2,5 e 3,5 cm, como objetivo de estabelecer uma população de 250 plantas por metro quadrado ou 2.500.000 plantas por hectare (FAPA, 2025). Previamente à semeadura, realizou-se o teste de germinação, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), para ajuste da quantidade de sementes necessária. Não se realizou a aplicação de nitrogênio em cobertura.

As aplicações dos tratamentos foliares foram realizadas no dia 26 de julho (perfilhamento) e no dia 04 de setembro de 2025 (espigamento), correspondendo a 44 e 84 dias após a semeadura (DAS). O volume de calda foi calculado conforme a área destinada a cada tratamento, considerando-se o padrão de 150 L ha⁻¹. Para a aplicação dos tratamentos foliares, utilizou-se um pulverizador costal da marca AGROHASTE®, equipado com barra contendo quatro bicos espaçados em 0,5 m e pressão constante mantida por CO₂ comprimido a 0,35 bar, com velocidade de deslocamento de 1,45 m s⁻¹. Nas unidades experimentais correspondentes à

testemunha, não houve aplicação.

Durante o ciclo, para o controle e a prevenção das principais doenças foram realizadas aplicações aos 56 e 71 DAS dos fungicidas prothioconazol e fluxapiroxade (Blavity®) aplicados na dose de 0.35 L ha^{-1} juntamente com 0.35 L ha^{-1} do adjuvante (Assist®), aos 83 e 93 DAS realizou-se a aplicação do fungicida pidiflumetofem (Miravis®) na dose de 1 L ha^{-1} e aos 99 DAS os inseticidas imidacloprido e bifentrina (Galil®) foram aplicados na dose 0.3 L ha^{-1} . A colheita da área útil foi realizada com uma colhedora de parcelas marca Wintersteiger, no dia 05 de novembro de 2025, totalizando 146 dias de ciclo (Figura 2A).

Figura 2- Imagem da colheita do experimento, realizada no dia 05/11/2025 (A) e das plantas coletadas em 50 cm de linha para avaliações dos componentes da produção (B). Ponta Grossa/PR, 2025.



Fonte: Arquivo da autora.

4.3. VARIÁVEIS AVALIADAS

As variáveis analisadas incluíram: estande inicial, altura da planta, índice de área foliar, índice relativo de clorofila, número de perfilhos por planta, comprimento da espiga, índice de colheita, massa de 1000 grãos, peso hectolitro, teor de proteína, densidade e produtividade de grãos, energia germinativa, índice de germinação e sensibilidade a água.

A avaliação do estande inicial foi realizada no dia 3 de julho de 2025 (21 DAS). Para isso, foi feita a contagem das plantas em 1 metro linear, como auxílio de uma régua posicionada de forma aleatória na linha central de cada unidade experimental. A partir dos valores obtidos, foi possível estimar a população de plantas.

A altura média das plantas foi determinada na fase reprodutiva da cultura, no dia

02 de outubro de 2025 (112 DAS). Para a realização da medida utilizou-se uma régua métrica graduada em centímetros, posicionada verticalmente ao solo, medindo-se a distância da base da planta até o final da espiga principal em 10 plantas aleatorias em cada unidade experimental.

O índice de área foliar foi determinado utilizando um ceptômetro linear, modelo AccuPAR LP-80. As leituras foram realizadas no estágio vegetativo, na elongação dos colmos (60 DAS), e no estágio reprodutivo, no florescimento (125 DAS).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi aferido utilizando o medidor de clorofila atLEAF®CHL BLUE, em cinco plantas escolhidas de forma aleatória em cada unidade experimental. A coleta dos dados foi realizada na folha bandeira, posicionando a lâmina da folha na área sensorial do equipamento, em conformidade com o manual de instruções. O IRC foi determinado no terço médio da folha bandeira, uma vez que, a referida folha é a mais importante para o enchimento de grãos.

No dia da colheita (05 de novembro de 2025), coletaram-se todas as plantas presentes em 0,5 m de linha por unidade experimental, estimando-se a população final. Desse montante, uma subamostra de 10 plantas foi coletada para a quantificação do número de perfilhos totais e perfilhos produtivos (aqueles com espigas férteis) (Figura 2B).

Após essas avaliações, coletou-se aleatoriamente 10 espigas, das quais determinou-se o comprimento sem considerar as aristas, utilizando-se uma régua milimetrada. Posteriormente, as sementes foram separadas da espiga, determinando-se o número de grãos por espiga e a massa de grãos. A palha das espigas foi adicionada à palha das dez plantas, sendo então acondicionados por três dias em estufa de ventilação forçada de ar, marca Marconi, modelo MAO35/1980/HOR, com temperatura controlada de 60°C para secagem. Os grãos provenientes das dez espigas foram reunidos aos das dez plantas e submetidos à secagem, viabilizando a estimativa do índice de colheita (IC).

Para a determinação da produtividade, realizou-se a pesagem dos grãos colhidos na área útil de cada unidade experimental. Logo após a pesagem, determinou-se o peso hectolitro (PH) e a umidade dos grãos por meio de um medidor de umidade de grãos portátil da marca Agrologic, modelo AL-101 (Figura 3A). Em seguida, a massa dos grãos obtida foi extrapolada para kg ha^{-1} e, seus valores corrigidos para o teor de umidade padrão de 13%. Para tanto, pesaram-se duas subamostras de cada unidade experimental, calculando-se a média aritmética dos

valores.

A massa de 1000 grãos foi estimada a partir da massa média de oito amostras de 100 sementes, contadas de forma manual com o auxílio de um tabuleiro, determinada em balança de precisão. Durante a avaliação, a umidade dos grãos foi medida novamente para que a massa fosse corrigida de acordo com o teor de umidade padrão de 13%.

As determinações dos teores de proteína e da densidade de grãos foram realizadas em parceria com a Maltaria Campos Gerais, localizada no bairro Boa vista, Ponta Grossa-PR. Previamente à análise do teor de proteína, as amostras foram homogeneizadas por meio de um quarteador. Em seguida, determinou-se o teor de proteína, medido por espectroscopia de infravermelho por meio do equipamento Infratec™ (FOSS), reconhecido mundialmente como padrão oficial para esta quantificação (Figura 3B).

A densidade dos grãos foi determinada através de amostras de 100 gramas de grãos homogeneizados e provenientes de cada unidade experimental (Figura 3C). As amostras foram classificadas utilizando peneiras de malhas 2,8, 2,5 e 2,2 mm específicas para o grão de cevada. Os grãos são classificados em classes de acordo com o seu tamanho, sendo os de 1ª classe os contidos nas peneiras de 2,8 e 2,5 mm, os de 2ª classe contidos na peneira de 2,2 mm e os que não ficaram suspensos em nenhuma dessas peneiras, classificados como de 3ª classe.

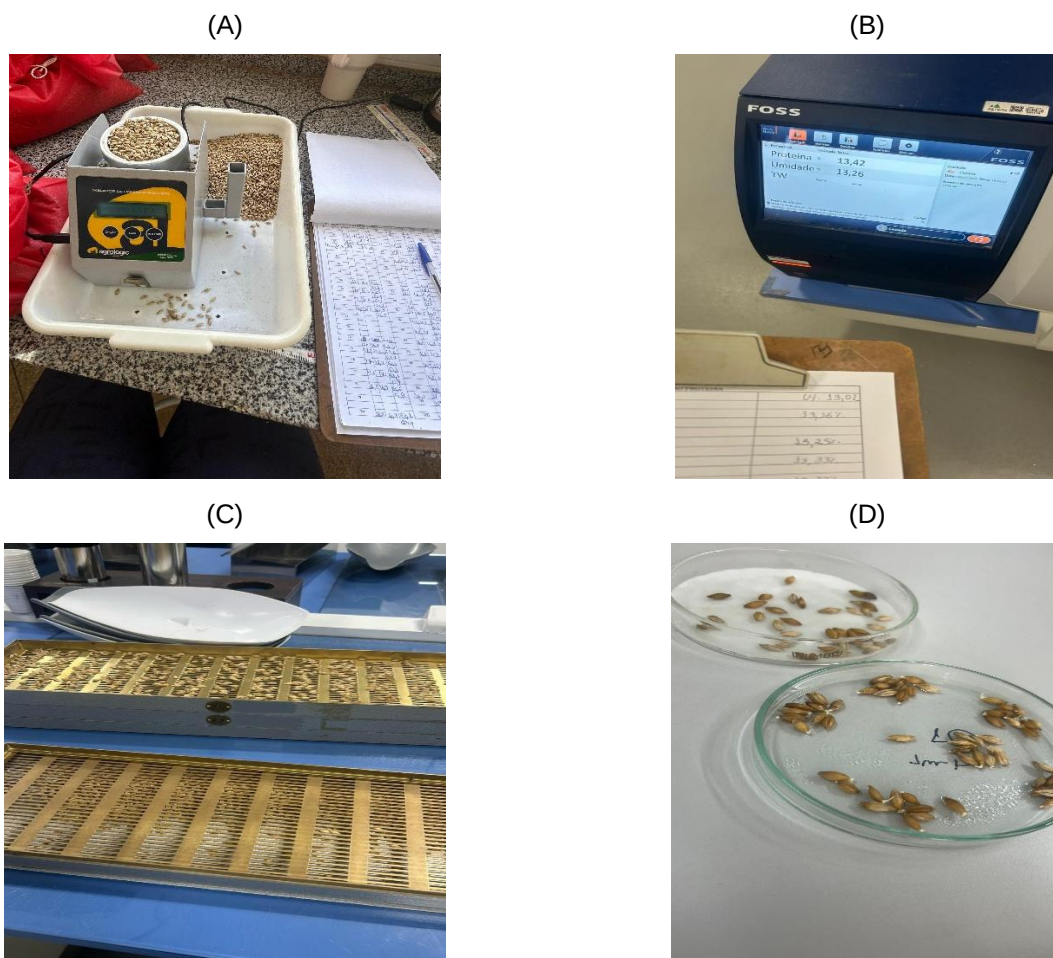
A determinação da energia germinativa, do índice de germinação e da sensibilidade à água seguiu o método BRF, adaptado da metodologia EBC 3.6.2. (ANALYTICA EBC, 1997). Inicialmente, as amostras passaram por homogeneização em quarteador, selecionando-se exclusivamente os grãos retidos na peneira de 2,5 mm. Em seguida, utilizando um contador de grãos, separaram-se dois lotes de 100 sementes por amostra, acondicionados em placas de Petri forradas com duas folhas de papel-filtro. A fim de avaliar a energia germinativa o primeiro lote foi previamente umedecido com 4 mL de água deionizada, enquanto o segundo lote recebeu 8 mL de água deionizada para avaliação da sensibilidade à água. Após a distribuição uniforme dos grãos, vedaram-se as placas, mantendo-as incubadas sob temperatura controlada de 20°C. As avaliações ocorreram nos intervalos de 24, 48 e 72 horas, momento em que as sementes germinadas eram contabilizadas e removidas do recipiente (Figura 3D).

A energia germinativa (EG) correspondeu ao somatório de sementes germinadas, acondicionadas nas placas umedecidas com 4 mL, nas três avaliações (24, 48 e 72 horas), expressando-se o resultado em porcentagem. Por sua vez, obteve-se o índice de germinação (IG) através da seguinte equação:

$$IG = (EG \times 10) / [G24 + (G48 \times 2) + (G72 \times 3)]$$

Onde EG representa a energia germinativa, enquanto G24, G48 e G72 indicam o número de grãos germinados especificamente nos respectivos intervalos de 24, 48 e 72 horas. A sensibilidade à água é calculada pela diferença entre a energia germinativa das placas umedecidas com 4 mL e a daquelas umedecidas com 8 mL.

Figura 3- Detalhes da determinação da umidade e peso hectolitro dos grãos pós-colheita (A). Determinação do teor de proteína (B); Classificação de grãos utilizando peneiras com diferentes milímetros (C) e, avaliação da energia germinativa pelo método BRF em placas de petri (D). Ponta Grossa/PR, 2025



Fonte: Arquivo da autora.

Os dados obtidos para cada variável foram analisados quanto à presença de outliers e, atendendo os pressupostos estatísticos de normalidade, verificada utilizando o teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade, avaliada pelo teste de Barlett, foram submetidos à análise de variância por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após verificação dos pressupostos estatísticos, destaca-se que a análise de variância (ANOVA) não revelou efeitos significativos ($p > 0,05$) para os fatores isolados (tratamento de sementes e aplicação foliar de extratos de *Chlorella vulgaris*), tampouco para a interação entre eles para todas as variáveis mensuradas. Esse padrão de ausência de resposta aos tratamentos foi observado para todas as variáveis morfofisiológicas, como os índices de área foliar (IAFv e IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP), população (POP) (Tabela 2), quanto para os componentes da produção, que incluíram o perfilhamento (NPT e NPP), produtividade (PROD), número de grãos por espiga (NGE), comprimento de espiga (CE), índice de colheita (IC) e massa de 1000 grãos (MMG) (Tabela 3).

Tabela 2- Resumo da análise da variância para as variáveis índice de área foliar determinado na fase vegetativa (IAFv) e na fase reprodutiva (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP), população (POP) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da variação	GL	Quadrado Médio (QM)				
		IAFv	IAFr	IRC	AP (cm)	POP (ptas ha ⁻¹)
Blocos	2	2,28*	0,56 ^{ns}	9,96 ^{ns}	21,76 ^{ns}	3,39 ^{ns}
TS	4	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	10,51 ^{ns}	4,23 ^{ns}	1,23 ^{ns}
TF	3	0,05 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,51 ^{ns}	1,07 ^{ns}	7,15 ^{ns}
TS x TF	12	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	21,22 ^{ns}	4,61 ^{ns}	1,44 ^{ns}
Resíduo	38	0,06	0,05	7,47	2,09	1,04
CV (%)		7,76	6,33	4,19	2,02	12,76
Média		3,21	3,59	65,18	71,53	2.532.500

TS= tratamento de sementes; TF= Tratamento foliar; ^{ns}= não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; ptas ha⁻¹= plantas por hectare.

Os coeficientes de variação obtidos para as variáveis índice de área foliar vegetativo (IAFv), índice de área foliar reprodutivo (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP), produtividade (PROD), comprimento de espiga (CE), número de grãos por espiga (NGE), massa de 1000 grãos (MMG), índice de colheita (IC), comprimento de peso hectolitro (PH), teor de proteína (TP), grãos classe 1 (GCL1) e energia germinativa (EG) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, demonstraram boa precisão experimental, o que segundo Pimentel Gomes (2009) denota alta homogeneidade dos dados e baixa variação ao acaso. Todavia, para as variáveis população (POP), número de perfilhos por planta (NPT), número de perfilhos produtivos por planta (NPP), sensibilidade à água (SA) e índice de germinação (IG), os coeficientes de variação foram medianos, variando de 12,76 para POP a 20,14

para NPP, demonstrando maior variação ao acaso e menor precisão experimental do que para as variáveis supracitadas (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 3- Resumo da análise da variância para as variáveis número de perfilhos totais por planta (NPT), número de perfilhos produtivos por planta (NPP), produtividade (PROD), comprimento de espiga (CE), número de grãos por espiga (NGE), massa de 1000 grãos (MMG) e índice de colheita (IC) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causas da variação	GL	Quadrado Médio (QM)						
		NPT	NPP	PROD (kg ha ⁻¹)	NGE	CE (cm)	MMG (g)	IC
Blocos	2	1,76 ^{ns}	0,69 ^{ns}	345729,93 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,65 ^{ns}	6,50 ^{ns}	0,005 ^{ns}
TS	4	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}	105262,69 ^{ns}	0,82 ^{ns}	24,60 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,007 ^{ns}
TF	3	0,74 ^{ns}	0,11 ^{ns}	18112,93 ^{ns}	0,15 ^{ns}	21,00 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,006 ^{ns}
TS x TF	12	1,45 ^{ns}	1,19 ^{ns}	36686,32 ^{ns}	1,06 ^{ns}	9,39 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Resíduo	38	0,79	0,71	57806,11	1,50	14,32	0,90	0,001
CV (%)		19,18	20,14	4,44	5,08	5,40	2,25	7,47
Média		4,62	4,18	5.417,99	24,11	70,10	42,26	0,53

TS= tratamento de sementes; TF= Tratamento foliar; ^{ns}= não significativo; *significativo a 5% de probabilidade.

De modo análogo, as variáveis de qualidade industrial e fisiológica (peso hectolitro (PH), teor de proteína (TP), grãos classe 1 (GCL1), energia germinativa (EG), índice de germinação (IG) e sensibilidade à água (SA)) não responderam significativamente aos tratamentos isolados, tampouco à interação entre os fatores (Tabela 4). Diante da inexistência de efeitos significativos, as discussões subsequentes fundamentam-se na análise das médias gerais, confrontando os valores médios observados para cada variável com o potencial genético da cultivar e com os resultados reportados na literatura científica.

Tabela 4- Resumo da análise da variância para as variáveis peso hectolitro (PH), teor de proteína (TP), grãos classe 1 (GCL1), sensibilidade à água (SA), energia germinativa (EG) e índice de germinação (IG) da cultura da cevada, cultivar Imperatriz, em função de doses via tratamento de sementes e via foliar de *C. vulgaris*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da variação	GL	QM					
		PH (kg hL ⁻¹)	TP (%)	GCL1 (%)	AS (%)	EG (%)	IG (%)
Blocos	2	16,70 ^{ns}	0,00009 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0009 ^{ns}
TS	4	0,85 ^{ns}	0,0000009 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
TF	3	1,10 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
TS x TF	12	0,61 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Resíduo	38	1,05	0,00003	0,0018	0,008	0,0047	0,00015
CV (%)		1,62	4,52	3,39	19,28	6,93	17,92
Média		63,36	13,36	93,61	48	98,0	7,35

TS= tratamento de sementes; TF= Tratamento foliar; ^{ns}= não significativo; *significativo a 5% de probabilidade.

O valor médio do Índice de Área Foliar (IAFv) registrado durante a fase vegetativa, na elongação do colmo (60 DAS), foi de 3,21, patamar condizente com os obtidos por Rosso *et al.* (2022) em cevada produzida a campo. Ao utilizarem o ceptômetro SunScan entre os estádios de elongação do colmo e emborrachamento, os referidos autores relataram um IAF médio de 2,38, com amplitude entre 0,53 e 5,15,

a depender da cultivar. Em comparação ao estudo de Rosso *et al.* (2022), o IAF médio deste trabalho (3,21) apresentou-se superior ao valor médio de 2,38 relatado pelos autores, reforçando o vigor do crescimento e desenvolvimento vegetativo apresentado pela cv. Imperatriz no presente estudo. De maneira análoga, o IAFr médio de 3,59 obtido no florescimento (125 DAS) da cevada corrobora as observações de Rodrigues *et al.* (2022), que reportaram valores entre 3,0 e 5,1 durante o estágio de antese.

O índice relativo de clorofila (IRC) é um excelente indicador indireto do status de nitrogênio (N) foliar, dado que, a clorofila possui quatro átomos de N, sendo o pigmento em maior teor nas folhas por ser essencial ao processo fotossintético. O valor médio observado foi de 65,18, o que corresponde ao valor estimado em 54,4 para o índice SPAD, evidenciando o bom estado fisiológico das plantas (Tabela 2). Pies *et al.* (2017), por meio do clorofilômetro digital Soil Control, CFL-1030, obtiveram valores variando de 40,74 a 48,85 para a variável, ou seja, valores inferiores aos reportados neste estudo. Da mesma forma, Karaman (2022) ao avaliar o índice SPAD (IRC) em 12 cultivares de cevada, observaram valores variando de 42,6 a 53,8. Vale ressaltar que não foi realizada a adubação de cobertura. No entanto, como a cultura antecessora foi a soja, supõe-se que houve suplementação de N via restos culturais. Somado a isso, foi um ano propício à cultura da cevada, tanto em termos de temperatura como de precipitação (Figura 1).

Embora os resultados obtidos por Yu *et al.* (2014) não sejam diretamente comparáveis, dado que os autores quantificaram a concentração de clorofila, expressando em unidades absolutas $\mu\text{g g}^{-1}$, a literatura demonstra que maiores teores desse pigmento estão associados a uma atividade fotossintética superior e ao melhor desempenho da cultura. No presente estudo, os elevados valores do Índice Relativo de Clorofila (IRC) indicam a ausência de estresses severos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Conforme observado por Yu *et al.* (2014), a concentração de clorofila tende a reduzir naturalmente ao longo do ciclo ou sob condições de estresse, reforçando a sensibilidade dessa variável como indicador fisiológico.

Os resultados referentes à população final (POP), à massa de 1000 grãos (MMG) e à altura de plantas (AP) mostraram-se em conformidade com os parâmetros descritos pela Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA, 2025), instituição desenvolvedora da cultivar. Em relação à POP, a FAPA (2025) preconiza uma densidade de 250 sementes por m^2 , o que equivale a $2.500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, valor estritamente congruente com a população média de $2.532.500 \text{ plantas ha}^{-1}$ obtida

neste estudo. Desempenho semelhante foi observado para a MMG, cuja média alcançou 42,26 g, aproximando-se fortemente dos 45,4 g estipulados pela obtentora (FAPA, 2025). Por fim, a altura média das plantas registrada foi de 71,53 cm, corroborando o porte de 73 cm caracterizado para a cultivar (FAPA, 2025).

No que tange ao perfilhamento, o número de perfilhos total (NPT) e o número de perfilhos produtivos por planta (NPP) médios foram 4,62 e 4,18, resultados relativamente superiores aos valores documentados por Rodrigues *et al.* (2022), que relataram uma emissão variando entre 1,9 e 3,5 perfilhos por planta em diferentes cultivares. Da mesma forma, os NPT e NPP observados neste trabalho superaram a média de 2,7 relatada por Souza *et al.* (2019). O perfilhamento da cevada é determinado pela interação entre o potencial genético da cultivar e fatores de manejo, principalmente a densidade de semeadura e a disponibilidade de nitrogênio, somados a fatores extrínsecos como o suprimento hídrico, fotoperíodo e temperatura. Segundo Queiroga *et al.* (2024), a cevada apresenta na floração de um a três perfilhos e, em média, cinco perfilhos por planta na colheita. Assim, os valores médios obtidos encontram-se em consonância com os autores (Tabela 3).

Para o número de grãos por espiga (NGE), verificou-se uma média de 24,11, valor que se aproxima dos 22,80 reportados por Souza *et al.* (2019) em cultivares cervejeiras. Paralelamente, o comprimento médio das espigas (CE) foi de 7,01 cm, resultado condizente com os descritos por Shivhare *et al.* (2020), que encontraram valores entre 5,89 e 6,93 cm ao avaliarem diferentes épocas de semeadura.

Quanto ao índice de colheita (IC), a média obtida foi de 0,53, o que se aproxima dos melhores índices relatados por Murcia (2016), ao avaliar a cultivar BRS Itanema, o referido autor obteve um índice de apenas 0,3 quando da ausência de tratamento, alcançando valores próximos a 0,5 somente com a aplicação de reguladores de crescimento. Adicionalmente, Shivhare *et al.* (2020) encontraram IC variando entre 0,39 e 0,41 em condições irrigadas, sendo os resultados do presente estudo superiores aos reportados por esses autores. O IC é uma medida de partição dos fotossintatos entre, as estruturas reprodutivas (grãos) e a palha. Vale ressaltar que avaliamos somente a palha da parte aérea, desconsiderando o sistema radicular. Conclui-se que as condições climáticas favoráveis e o manejo assertivo permitiram à cultura expressar seu alto potencial produtivo natural, o que justifica a ausência de efeitos aditivos dos tratamentos avaliados.

A produtividade média alcançada foi de 5.417,99 kg ha⁻¹, superando em 24,32% a média brasileira da safra 2024/2025, estimada em 4.358 kg ha⁻¹, superando também a média do Paraná em 13,97% (4.661,00 kg ha⁻¹), estado que alcançou maior média de produtividade (CONAB, 2026). A produtividade média obtida mostra-se expressiva, especialmente considerando a ausência de adubação nitrogenada em cobertura, o que sugere uma alta eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis, uma vez que a cultura antecessora foi a soja, planta que se associa com bactérias fixadoras de N. Vale considerar que, a cv. Imperatriz não representou a principal cultivar empregada no estado do Paraná durante a safra de 2025, mas sim a cv. Princesa, a qual apresentou maior potencial produtivo.

O Peso Hectolitro (PH) médio dos grãos obtidos foi de 63,36 kg hL⁻¹. Essa característica física é fundamental para a destinação comercial e, conforme os padrões da CAPAL (2023), o valor mínimo exigido para a cevada cervejeira é de 58 kg hL⁻¹, exigência plenamente atendida. Além disso, o resultado é condizente com o potencial esperado pela FAPA (2025), que preconiza um PH médio de 64,81 kg hL⁻¹. Em comparação com a literatura recente, nota-se que o PH foi superior aos achados de Moura (2023), que documentou uma média de 57,31 kg hL⁻¹ para a cv. Imperatriz, diferença essa que pode estar relacionada às condições climáticas favoráveis durante safra de 2025.

Para a destinação ao setor cervejeiro, os grãos devem atender a rigorosos critérios de qualidade. Conforme o DSMM-CATI (2009), exige-se retenção de grãos classe 1 superior a 85% e limite máximo de 12% de proteína e poder germinativo mínimo de 95%. Neste estudo, obteve-se uma média de 93,61% de grãos classe 1 (Tabela 4), atendendo satisfatoriamente à indústria. Embora levemente inferior aos índices reportados por Souza *et al.* (2019) para as cultivares BRS Sampa e BRS Kalibre, o material manteve um excelente padrão físico. Por outro lado, o teor de proteínas médio foi de 13% (Tabela 4), ultrapassando o teto industrial. Este valor foi superior aos registrados por Souza *et al.* (2019), que obtiveram teores entre 9,0 e 9,8%. Segundo Wamser e Mundstock (2007), a dinâmica do nitrogênio é o principal fator de manejo sobre os níveis proteicos. Assim, infere-se que o suprimento natural de nitrogênio pelo solo, visto que a cultura antecessora foi uma fabácea, somado à aplicação de 50% da recomendação de nitrogênio feita na semeadura, foi suficiente para estimular esse acúmulo, mesmo sem adubação em cobertura.

Adicionalmente, observou-se uma Energia Germinativa (EG) média de 98% nas amostras avaliadas (Tabela 4). Esse elevado desempenho supera os índices de referência reportados por Alvarez (2020), que, ao realizar um rastreio com as principais cultivares nacionais, identificou a BRS Elis como o material de melhor performance, atingindo uma Energia de Germinação (EG) de 90% sob 16°C e 70% de umidade relativa. Tais resultados alinham-se aos achados de Ullah *et al.* (2022), os quais demonstraram que a temperatura de 20°C, a qual também foi utilizada no presente estudo, combinada à ausência de restrição hídrica, constitui a condição ideal para maximizar a EG em sementes de cevada.

Quanto ao Índice de Germinação (IG), o valor médio obtido de 7,35% reflete uma germinação rápida e uniforme do lote (Tabela 4). Em comparação aos dados de Alvarez (2020), o IG para a cultivar BRS Elis sob temperatura isotérmica de 20°C situou-se em 3,69%, o que reforça a alta qualidade fisiológica do material avaliado no presente estudo, apresentando performance superior às referências paranaenses. Conforme Ullah *et al.* (2022), o índice de germinação atinge seus patamares máximos sob 20°C e hidratação plena. Os autores, em consonância com Alvarez (2020), ressaltam sobre a sensibilidade genotípica à interação entre hidratação e temperatura, destacando que desvios dessa temperatura ótima podem reduzir drasticamente esses indicadores.

No que concerne à sensibilidade à água (AS), as amostras apresentaram um índice médio de 48% (Tabela 4), revelando uma característica distinta daquelas observadas por Cenci *et al.* (2022), que reportaram valores entre 0,5% e 4,5% para cevadas irrigadas. O valor de 48% indica que, apesar da elevada viabilidade das sementes (98% de EG), o lote apresenta uma sensibilidade acentuada ao excesso de água, sugerindo uma possível dormência induzida por hipóxia, devido ao menor fornecimento de oxigênio às sementes.

Embora os resultados para todas as variáveis avaliadas durante o ciclo da cultura (morfofisiológicas, componentes da produção, variáveis de qualidade industrial e vigor fisiológico) tenham atingido níveis de excelência, exceto o teor de proteína que excedeu o parâmetro preconizado de 13%, a estabilidade das médias entre os tratamentos indica que as doses dos extratos da microalga *C. vulgaris* aplicadas podem ter sido insuficientes para provocar uma resposta metabólica mensurável. Por outro lado, as condições climáticas favoráveis registradas durante o ciclo, especialmente em relação à temperatura e precipitação, possivelmente limitaram o

efeito bioestimulante esperado do extrato da microalga *C. vulgaris*. De acordo com a literatura, o extrato apresenta potencial para estimular mecanismos de defesa das plantas contra estresses bióticos e abióticos. Entretanto, a ausência de pressões ambientais (térmicas e/ou hídricas) e fitossanitárias pode ter mascarado o potencial indutor de defesa e a resiliência metabólica possível de ser conferida pelo extrato de *C. vulgaris*.

Diante do exposto, sugere-se a repetição do experimento, visando comprovar a ausência do efeito das doses testadas, tanto via sementes, como via foliar. Sugere-se ainda avaliar doses mais elevadas de *C. vulgaris* e investigar sua aplicação em condições de estresse abiótico, visando aprofundar a investigação sobre o potencial bioestimulante dessa microalga na cultura da cevada.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento morfofisiológico, os componentes da produção, a qualidade industrial e o vigor fisiológico da cevada, cv. Imperatriz, não foram influenciados pela aplicação do extrato aquoso da microalga *Chlorella vulgaris*, nas doses testadas via tratamento de sementes e via foliar, bem como pela interação entre os fatores.

Sob as condições estudadas, a cv. Imperatriz apresentou excelente vigor fisiológico, evidenciado pelos elevados índices de área foliar (3,21 e 3,59) e relativo de clorofila (65,18). Além disso, a cultivar alcançou alta produtividade (5.417,99 kg ha⁻¹) e qualidade industrial quanto ao peso hectolitro (63,36 kg hL⁻¹), classificação de grãos (93,61% Classe 1) e energia germinativa (98%), tendo ultrapassado, porém, o teor de proteína de 12% indicado à malteação (13%).

7. REFERÊNCIAS

- AGWA, O. K.; OGUGBUE, C. J.; WILLIAMS, E. E. Field evidence of *Chlorella vulgaris* potentials as a biofertilizer for *Hibiscus esculentus*. **International Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 4, p. 181–189, 2017. DOI: 10.3923/ijar.2017.181.189.
- AHMED, E. A. Antimicrobial activity of microalgal extracts isolated from Baharia Oasis, Egypt. **International Journal of Virology and Parasitology**, v. 10, n. 1, p. 001–009, 2021. Disponível em: <https://elixirpublishers.in/index.php/ijvp/article/view/1308/1164>. Acesso em: 3 fev. 2026.
- AL-HAMMADI, M.; GÜNGÖRMÜŞLER, M. New insights into *Chlorella vulgaris* applications. **Biotechnology and Bioengineering**, v.121, n.5, p.1486-1502, 2024. DOI: 10.1002/bit.28666.
- ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 531, 2021. DOI: 10.3390/plants10030531.
- ALLING, T.; FUNK, C.; GENTILI, F. G. Nordic microalgae produce biostimulant for the germination of tomato and barley seeds. **Scientific Reports**, v. 13, art. 3509, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-30707-8.
- ALVAREZ, D. C. **Modelagem e análise da intensificação do processo de hidratação de cevada mediante operação periódica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/83273>. Acesso em: 4 abr. 2026.
- Analytica EBC (European Brewery Convention) 2010- **3.6.2- Germinative Energy of Barley: BRF Method**, 1997. Disponível em: <https://brewup.eu/ebc-analytica/barley/germinative-energy-of-barley-brf-method/3.6.2>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- BARONE, V. *et al.* Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Applied Phycology**, 2017. DOI: 10.1007/s10811-017-1283-3.
- BARSANTI, L.; GUALTIERI, P. **Algae: anatomy, biochemistry and biotechnology**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. DOI: [10.1201/9781003187707](https://doi.org/10.1201/9781003187707).
- BERTOLDI, F. C.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J. L. B. Teor de clorofila e perfil de sais minerais de *Chlorella vulgaris* cultivada em solução hidropônica residual. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 54–58, jan./fev. 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000100009.
- BEWICKE, D.; POTTER, B. A. **Chlorella: the emerald food**. Ronin Publishing, 2009. 120 p.
- BRASIL. **Decreto nº 11.940, de 7 mar. 2024**. Diário Oficial da União, 2024a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d11940.htm. Acesso em: 16 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024.** Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação [...] e os incentivos à produção de bioinsumos. Diário Oficial da União: seção 1, p. 3, 24 dez. 2024b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-15.070-de-23-de-dezembro-de-2024-603825827>. Acesso em: 16 jan. 2026

BRASIL. Ministério da Agricultura e pecuária. **Base conceitual do programa nacional de bioinsumos.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 5 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** MAPA/ACS, 2009. 395 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Portaria SPA/MAPA nº 426, de 10 de outubro de 2025.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/parana/PORTN44.PDF#page=3.47>. Acesso em: 18 jan. 2026.

BRIGGS, D. E. Barley. London Chapman & Hall, 1978. Cap. 1, p. 1–30.
DOI:10.1017/S0014479700000636

BUMANDALAI, O.; TSERENNADMID, R. Efeito da *Chlorella vulgaris* como biofertilizante na germinação de sementes de tomate e pepino. **International Journal of Aquatic Biology**, v. 7, n. 2, p. 95–99, 2019. DOI: 10.22034/ijab.v7i2.582.

CABRITA, A. R. J. *et al.* Nutritional composition and untargeted metabolomics reveal the potential of *Tetrademus obliquus*, *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis oceanica* as valuable nutrient sources for dogs. **Animals**, 2022. DOI: 10.3390/ani12192643.

CAIERÃO, E. Cevada: história e evolução. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas.** Embrapa Clima Temperado, 2008. p. 289–311. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1080470>. Acesso em 13 jan. 2026.

CAMPOS, T. S.; SOUSA, W. dos S.; OLIVEIRA, J. V. D. Uso de bioestimulantes no incremento da produtividade de grãos. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 9-15, 2020. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/pt_BR/article/view/9730. Acesso em: 17 jan. 2026.

CAPAL - COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL. **Relatório de sustentabilidade 2022.** CAPAL, 2023. Disponível em: <https://www.capal.coop.br/pdf/arquivo-2023-06-30-13-29-24.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2026.

CARVALHO, M. E. A. *et al.* Seaweed extract provides development and production of wheat. **Agrarian**, v. 7, p. 166-170, 2014. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/2459>. Acesso em: 16 jan. 2026.

CENCI, I. de O. *et al.* Characterization, qualification and comparison of irrigated barley grown in the cerrado for brewing malt production: part 1. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 2, n. 17, 2022. DOI: 10.22533/at.ed.9732172210121.

CLARK, A. **Managing cover crops profitably**, 3rd ed. Sustainable Agriculture Network, MD. 2007. p.78. Disponível em: <https://www.sare.org/wp-content/uploads/Managing-Cover-Crops-Profitably.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2026.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra de grãos**. Brasília: Conab, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/6o-levantamento-safra-2025-26/6o-levantamento-safra-2025-26>. Acesso em: 10 mar. 2026.

DA COSTA, M. V. R. **Utilização de biomassa de *Chlorella vulgaris* utilizada na biorremediação de efluentes vinícolas como bioaditivo agrícola**. Dissertação (Mestrado), Instituto Politécnico de Setúbal, 2025. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/entities/publication/7cd9a1b2-b6ab-4609-a97e-9e59c0c99370>. Acesso em: 7 abr. 2026.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Embrapa Trigo, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/969146/aspectos-economicos-e-conjunturais-da-cultura-da-cevada>. Acesso em: 12 jan. 2026.

DERNER, R. B. *et al.* Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v.36, p.1959-1967, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000600050.

DINESHKUMAR, R. *et al.* Explorando o efeito do biofertilizante de microalgas no cultivo de cebola por meio de experimento de campo. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, p. 77-87, 2020. DOI: 10.1007/s12649-018-0466-8.

DSMM-CATI. **Cevada cervejeira em São Paulo**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/cevada/index.htm. Acesso em: 8 abr. 2026.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Embrapa Solos, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338818/1/sistemabrasileirodeclassificacaodossolos2006.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2026.

EMBRAPA. **Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira: safras 2025 e 2026**. Brasília: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1179171/1/Indicacoes-Cevada-2025-e-2026-CGPE.pdf#page=14.16>. Acesso em: 15 jan. 2026.

EMBRAPA. **Linha do tempo da pesquisa com cevada cervejeira no Brasil**. Embrapa Trigo, abr. 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1153780/1/Documentos-204-online.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2026.

ESSI, L. *Hordeum* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115248>. Acesso em: 09 Mar. 2026.

FAO (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA) **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024: la transformación azul en acción**. 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/23317adf-15ec-402d-9989-1b2f426e3cc0>. Acesso em: 22 Jan. 2026.

FAPA- Fundação Agraria de Pesquisa Agropecuária. **Sementes**. 2025. Disponível em: <https://www.agraria.com.br/sementes>. Acesso em: 16 jan. 2026.

FERREIRA, A. P. N. *et al.* Produção de mudas de melão com aplicação de bioestimulante a partir de biomassa de *Chlorella* sp. ANAIS do **34º Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (CONIRD); 9º Inovagri International Meeting; 5º Simpósio Brasileiro de Salinidade e Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (SBS-AGRIS)**, 2025. Disponível em: https://icolibri.com.br/meeting2025/public/___anais/TC1850230.pdf. Acesso em: 6 abr. 2026.

FERREIRA, A. *et al.* Biostimulant and biopesticide potential of microalgae growing in piggery wastewater. **Environmental Advances**, v. 4, 2021. DOI: 10.1016/j.envadv.2021.100062.

FERREIRA, B. L. de S.; FERREIRA, F. A. P. **Estudo do uso de microalgas na agricultura com ênfase em biofertilizantes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/20546/1/BLSFerreira.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2026.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Embrapa, 542 p, 2012. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageira_sparaintegracaoFontaneli.pdf. Acesso em: 2 jan. 2026.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Barley: post-harvest operations. **FAO**, 1999. Disponível em: <https://www.fao.org/4/s2022e/s2022e00.htm#Contents>. Acesso em: 16 mar. 2026.

FRANCESCHINI, I. M. *et al.* **Algas: uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica**. Artmed, p.165, 2010.

JAMSHIDI-KIA, F. *et al.* Eficácia da aplicação foliar do extrato de *Chlorella vulgaris* na composição química e nas atividades biológicas do óleo essencial de hortelã-verde

(*Mentha spicata* L.). **Heliyon**, v. 10, n. 23, e40531, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40531.

KARAMAN, M. Relationship between physiological characteristics and grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 737-745, 2022. DOI: 10.3329/bjb.v51i4.63493.

KHOLSSI, R. *et al.* Agricultura verde: uma revisão da aplicação de micro e macroalgas e seu impacto na produção agrícola e na qualidade do solo. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 4627–4641, 2022. DOI: 10.1007/s42729-022-00944-3.

KRÜGER, D. *et al.* Cevada no Sul do Brasil: dinâmicas regionais e padrões espaciais. **Revista de Geopolítica**, v. 16, n. 5, p. 1–14, 2025. DOI: [10.56238/revgeov16n5-217](https://doi.org/10.56238/revgeov16n5-217). Disponível em: <https://revistageo.com.br/sevenpublicacoes.com.br/revista/article/view/1062>. Acesso em: 17 jan. 2026.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 4. ed. VLB, Berlin, p. 31-33, 2004.

KUSVURAN, S. Microalgae (*Chlorella vulgaris* Beijerinck) alleviates drought stress of broccoli plants by improving nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidative defense system. **Horticultural Plant Journal**, v. 7, n. 3, p. 221–231, 2021. DOI: 10.1016/j.hpj.2021.03.007. Acesso em: 04 fev. 2026.

LA BELLA, E. *et al.* Foliar Spray Application of *Chlorella vulgaris* Extract: Effect on the Growth of Lettuce Seedlings. **Agronomy**, v. 11, p. 308, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11020308.

MARTINS, M. B. **Avaliação do potencial fertilizante e bioestimulante da biomassa de microalgas obtidas no tratamento de águas de escurrência agrícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Lisboa, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/29555>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MATOS, Â. P. *et al.* Teores de proteínas e lipídeos de *Chlorella* sp. cultivada em concentrado de dessalinização residual. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 364-370, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20121104.

MENDES, A. R. *et al.* Compostos químicos, bioatividades e aplicações de *Chlorella vulgaris* em alimentos, rações e medicamentos. **Applied Sciences**, 2024. DOI: 10.3390/app142310810.

MEYER, M. C. *et al.* **Bioinsumos na cultura da soja**. Embrapa, 529 p, 2022. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1143066>. Acesso em: 5 jan. 2026.

MINELLA, E. Melhoramento da cevada. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. UFV, p. 253-272, 1999. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/825403>. Acesso em: 7 jan. 2026.

MORAES, V. C. *et al.* Extratos aquosos das microalgas *Tetrademus obliquus* e *Chlorella vulgaris* aumentaram a produtividade do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*):

um estudo de campo. **Journal of Applied Phycology**, v. 37, 2025. DOI: 10.1007/s10811-025-03622-w.

MORAES, V. C. *et al.* In field conditions the combined application of aqueous extracts from the cyanobacterium *Arthrospira platensis* (seeds) and the microalga *Nannochloropsis oculata* (foliar) enhanced the corn (*Zea mays* L.) yield. **Journal Of Applied Phycology**, p. 1, 2026a. DOI: 10.1007/s10811-025-03767-8.

MORAES, V. C. *et al.* Tratamento de sementes com biofertilizantes à base de extrato de algas marinhas e aplicação foliar de extratos mistos de microalgas aumentaram a produtividade da cevada (*Hordeum vulgare*). **Blue Biotechnology**, v. 3, n. 3, 2026b. DOI: 10.1186/s44315-026-00055-z.

MORAES, V. C. *et al.* Tratamento de sementes e aplicação foliar de bioestimulantes à base de algas na soja. Revista **Visão Acadêmica**, v. 24, n. 3, 2023. DOI: 10.5380/acd.v24i3.92072.

MOURA, L. G. de. **Qualidade da cevada cervejeira (*Hordeum vulgare*) sob os sistemas de tratamento biodinâmico, orgânico, convencional agroquímico e controle.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, 2023. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7065>. Acesso em: 8 abr. 2026.

MULATU, B.; LAKEW, B. Barley research and development in Ethiopia: an overview. In: MULATU, B.; GRANDO, E. (ed.). **Barley research and development in Ethiopia**. ICARDA, p. 1-16, 2011.

MURCIA, J. A. G. **Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.).** Tese (Doutorado em ciências) – Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-28092016-114839/publico/Julian_Alejandro_Giraldo_Murcia_versao_revisada.pdf#page=33.26. Acesso em: 2 abr. 2026.

NADER, C. **Potencial bioestimulante de extratos das microalgas *Arthrospira platensis*, *Porphyridium cruentum*, *Chaetoceros muelleri*, *Chlorella vulgaris* e *Pavlova* sp. aplicados em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.).** Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/269200>. Acesso em: 19 jan. 2026.

NITSCHKE, P. B.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná.** IAPAR, 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 03 Abr. 2026.

OHSE, S. *et al.* Conteúdo lipídico e perfis de ácidos graxos em dez espécies de microalgas. **Idésia** (Arica), v. 33, n.1, p.93-101, 2015.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. **Agrária vai investir R\$ 1,1 bilhão para produção de maltes especiais em Guarapuava.** 2025. Disponível em: <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Agraria-vai-investir-R-11-bilhao-para-producao-de-maltes-especiais-em-Guarapuava>. Acesso em: 03 Abr. 2026.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. **Com investimento de R\$ 1,6 bi, Maltaria campos gerais suprirá parte da indústria da cerveja**. 2024. Disponível em: <https://www.fazenda.pr.gov.br/Noticia/Com-investimento-de-R-16-bi-Maltaria-Campos-Gerais-suprira-parte-da-industria-da-cerveja>. Acesso em: 03 abr. 2026.

PIES, W. *et al.* Desenvolvimento inicial da cevada inoculada com *Azospirillum brasilense* em competição com populações de azevém. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 08, 2017. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2017b28.

PIMENTEL GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 15ª Ed., Livraria Nobel S.A., São Paulo. 2009. 451p.

PROCHÁZKOVÁ, G. *et al.* Efeito do status de fornecimento de nutrientes na composição da biomassa de microalgas verdes eucarióticas. **Journal of Applied Phycology**, v. 26, p. 1359–1377, 2014. DOI: 10.1007/s10811-013-0154-9.

QUEIROGA, V. de P. *et al.* **Cevada (*Hordeum vulgare* L.): tecnologias de plantio e de produção da cerveja puro malte**. 1. ed. Associação da Revista Eletrônica A Barriguda (AREPB), 2024. 261p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/385660266_Cevada_Hordeum_vulgare_L_Tecnologias_de_plantio_e_de_producao_da_cerveja_puro_malte. Acesso em: 04 fev. 2026.pimentel

RODRIGUES, O. *et al.* Improvement in Brazilian barley breeding: Changes in developmental phases and ecophysiological traits. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1032243, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.1032243.

ROSSO, P. *et al.* Processamento de informações de sensoriamento remoto para obter o índice de área foliar em cevada: uma comparação de métodos. **Precision Agric** **23**, 2022. DOI: 10.1007/s11119-022-09893-4.

SAFI, C. *et al.* Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 265–278, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.04.007.

SANTOS, N. H. S. dos. **Potencial bioestimulante do extrato de microalgas na germinação e crescimento de culturas agrícolas**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2022. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_16728_Tese_Nair.pdf#page=53. Acesso em: 28 jan. 2026.

SHIHIRA, I.; KRAUSS, R. W. **Physiology and taxonomy of forty-one isolates**. p. 1-97. University of Maryland, 1965. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19660005349>. Acesso em: 10 jan. 2026.

SHIVHARE, P. *et al.* Desempenho de variedades de cevada (*Hordeum vulgare* L.) em diferentes datas de semeadura sob condições de irrigação. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 4, 2020. DOI: 10.20546/ijcmas.2020.904.265.

SOUZA, J. L. de. *et al.* Desempenho agrônômico e qualitativo de cultivares de cevada cervejeira no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária**

Sustentável, v. 9, n. 2, p. 44-51, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/55389146/Desempenho_Agron%C3%B4mico_e_Qualitativo_De_Cultivares_De_Cevada_Cervejeira_No_Estado_Do_Esp%C3%ADrito_Santo. Acesso em: 5 abr. 2026.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Artmed, 2017, 858 p.

TIAN, S. L. *et al.* Efeitos de extratos de *Chlorella* no crescimento de mudas de *Capsicum annuum* L. **Scientific Reports**, v. 12, 15455, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-19846-6.

TURHAN, A. S. *et al.* The effect of use of microalgae [*Chlorella vulgaris* Beijerinck] in different fertilizer applications on plant growth of garden rocket (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa* Mill.). **Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology**, v. 10, n. 2, p. 323–329, 2022. DOI: 10.24925/turjaf.v10i2.323-329.4909.

ULLAH, A. *et al.* Using halothermal time model to describe barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination response to water potential and temperature. **Life**, v. 12, n. 2, p. 209, fev. 2022. DOI: 10.3390/life12020209.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Production, supply and distribution online: commodity 0430000**. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/0430000>. Acesso em: 12 jan. 2026.

VIDAL, M. C.; DIAS, R. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 175, 2023. DOI: 10.33240/rba.v18i1.23735.

WAMSER, A, F.; MUNDSTOCK, C. M. Teor de proteínas nos grãos em resposta à aplicação de nitrogênio em diferentes estádios de desenvolvimento da cevada. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1571-1576, 2007. DOI: 10.1590/S0103-84782007000600011.

YU, K. *et al.* Investigação de doenças foliares e estimativa da concentração de clorofila em sete variedades de cevada usando índices de fluorescência e hiperespectrais. **Sensoriamento Remoto**, p. 64-86, 2014. DOI: 10.3390/rs6010064.