



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA**

ELIDAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**PRODUÇÃO DE ALHO-NOBRE EM REGIÃO SEMIÁRIDA DE BAIXA ALTITUDE,
SOB APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS**

MOSSORÓ

2026

ELIDAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**PRODUÇÃO DE ALHO-NOBRE EM REGIÃO SEMIÁRIDA DE BAIXA ALTITUDE,
SOB APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Orientador: Leilson da Costa Grangeiro, Prof.
Dr.

MOSSORÓ

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237p Santos, Elidayane da Nóbrega .

Produção de alho-nobre em região semiárida de baixa altitude, sob aplicação de bioestimulantes e rizobactérias / Elidayane da Nóbrega Santos. - 2026.

69 f. : il.

Orientador: Leilson da Costa Grangeiro.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2026.

1. Allium sativum L . 2. Bioinsumos. 3. Desempenho agrônômico. 4. Sustentabilidade agrícola. 5. Estresse abiótico . I. Grangeiro, Leilson da Costa, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELIDAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**PRODUÇÃO DE ALHO-NOBRE EM REGIÃO SEMIÁRIDA DE BAIXA ALTITUDE,
SOB APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Defendida em: 27/ 02 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LEILSON COSTA GRANGEIRO**
Data: 28/05/2026 07:44:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leilson da Costa Grangeiro, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **FRED AUGUSTO LOUREDO DE BRITO**
Data: 27/05/2026 11:08:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fred Augusto Louredo de Brito (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ROMUALDO MEDEIROS CORTEZ COSTA**
Data: 27/05/2026 09:56:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Romualdo Medeiros Cortez Costa, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **WELDER DE ARAÚJO RANGEL LOPES**
Data: 27/05/2026 17:20:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Welder de Araújo Rangel Lopes, Dr.
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **CACIANA CAVALCANTI COSTA**
Data: 29/05/2026 09:18:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Caciana Cavalcanti Costa, Prof.^a Dra. (UFCG)
Membro Examinador

Dedico este trabalho à minha mãe (Edileusa Nóbrega). Herdei mais do que sobrenome: “herdei a fé, a coragem e a força de continuar. Mãe, toda vitória minha tem um pedaço teu!”

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha força maior, por me sustentar em cada etapa desta jornada. Não foram tempos fáceis: enfrentei dificuldades em várias áreas da minha vida, mas em todas elas encontrei em Deus o meu refúgio, a minha motivação e o meu fortalecimento.

À minha mãe, Edileusa da Nóbrega Santos, pelo amor, sacrifício e apoio inabalável em cada fase da minha vida acadêmica. À minha irmã Edilayne Nóbrega, pela presença e incentivo. Ao meu pai, José Duda dos Santos, e irmãos (Edizeuda Nóbrega, Edilaneuda Nóbrega, Ediliane Nóbrega e José Mario Nóbrega) pelo incentivo. E aos meus queridos pets, que, com seu carinho, tornaram meus dias mais leves. A Daniel Nóbrega, pela ajuda nessa reta final.

À minha colega de casa e de grupo, Gabriela Carvalho Maia de Queiroz, pela amizade e por estar sempre ao meu lado nesta caminhada.

Ao meu orientador, professor Dr. Leilson Costa Grangeiro, pela paciência, compreensão e orientação fundamental neste trabalho.

Ao Romualdo Medeiros Cortez Costa, pós-doutorando do grupo, pelas valiosas contribuições. A todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Nutrição de Plantas - GENAP, que contribuíram diretamente na implementação, execução e análise da pesquisa. Ao Dr. Francisco das Chagas Gonçalves, pela supervisão e ajuda no experimento em campo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelo conhecimento compartilhado.

Aos funcionários da UFERSA, aos colegas e a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que este momento fosse possível.

Por fim, agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e pelas contribuições que enriqueceram este trabalho.

“A educação transforma destinos; este trabalho
é fruto de fé, esforço e amor incondicional.”
Autor desconhecido.

RESUMO GERAL

A integração da aplicação de bioestimulantes e rizobactérias surge como alternativa promissora para melhorar o desempenho agrônômico de alho nobre em condições semiáridas, devido aos inúmeros benefícios desses bioinsumos às plantas cultivadas em condições adversas. O estudo teve como objetivo avaliar os aspectos morfofisiológicos, de produção e qualidade de alho nobre em resposta à aplicação de bioestimulantes e rizobactérias, em condições semiáridas. O ensaio foi desenvolvido em campo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, município de Mossoró – RN. Delineado em blocos ao acaso, em esquema fatorial $(4 \times 4) + 1$, com 4 repetições, contendo: quatro tipos de biostimulantes (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®] e Stimulate[®]) e quatro tipos de produtos comerciais fonte de rizobactérias (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®] e Onix OG[®]), e uma testemunha absoluta, utilizando água de irrigação. Foram avaliadas variáveis de crescimento, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, conteúdo relativo de água. As variáveis de produção, qualidade pós-colheita e nutrientes no bulbo. Os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de Scott-Knott e a testemunha confrontou os tratamentos pelo teste de Dunnet ($p \leq 0,05$). A correlação de Pearson foi realizada com as variáveis de produção, qualidade e nutrição no bulbo. A altura e do número de folhas não diferiram de forma estatística, enquanto, a matéria seca da parte aérea com a utilização do Megafol[®] + Onix[®] (23,59 g planta), foi significativamente maior. O Megafol[®] + Onix OG[®] também aumentou o conteúdo relativo de água (78,8%), os pigmentos fotossintéticos clorofila *b* (0,56 mg g⁻¹), clorofila total (0,95 mg g⁻¹) e carotenoides (21,57 mg g⁻¹). A combinação de Arbolim[®] + Onix[®] proporcionou aumento na taxa de assimilação de CO₂ (12,50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência instantânea do uso da água (3,98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A produtividade comercial foi elevada e a porcentagem de bulbos não comerciais diminuída com aplicação do Stimulate[®] + Biofree. O Megafol[®] + Onix OG[®] proporcionou maior porcentagem de bulbos classe 5. A pungência e o índice industrial do alho foram elevadas com Megafol[®] + 4Bacter[®] ou Biofree[®]. Conclui-se que a combinação de bioestimulantes e rizobactérias apresenta potencial para melhorar o desempenho agrônômico do alho nobre em região semiárida de baixa altitude. Com melhorias na qualidade dos bulbos, potencial industrial do alho, eficiência fisiológica e desenvolvimento do alho, destacando-se as combinações Stimulate[®] + Biofree[®] e Megafol[®] + Onix OG[®]. Recomenda-se a realização de estudos complementares visando à definição de doses e épocas de aplicação mais adequadas, de modo a maximizar a eficiência fisiológica e agrônômica desses bioinsumos na cultura do alho.

Palavras-chave: *Allium sativum* L.. Bioinsumos. Desempenho agrônômico. Sustentabilidade agrícola. Estresse abiótico.

GENERAL ABSTRACT

The integration of biostimulant and rhizobacteria applications emerges as a promising alternative to improve the agronomic performance of high-value garlic in semi-arid conditions, due to the numerous benefits of these bio-inputs to plants cultivated under adverse conditions. This study aimed to evaluate the morphophysiological, production, and quality aspects of high-value garlic in response to the application of biostimulants and rhizobacteria under semi-arid conditions. The trial was conducted in the field at the Rafael Fernandes Experimental Farm, in the municipality of Mossoró – RN. It was allocated in randomized blocks, in a factorial design (4 x 4) + 1, with 4 replications and a total of 17 treatments. The experiment included: four types of biostimulants (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®], and Stimulate[®]) and four types of commercial rhizobacteria-based products (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®], and Onix OG[®]), and an absolute control, using irrigation water. Variables evaluated included growth, gas exchange, photosynthetic pigments, relative water content, yield, post-harvest quality, and bulb nutrients. Data were subjected to analysis of variance and the Scott-Knott test, and the control compared treatments using Dunnett's test ($p \leq 0.05$). Pearson's correlation was performed with the yield, quality, and bulb nutrition variables. The height and number of leaves did not differ statistically, while the dry matter of the aerial part with the use of Megafol[®] + Onix OG[®] (23.59 g plant) was significantly higher. Megafol[®] + Onix OG[®] also increased the relative water content (78.8%), the photosynthetic pigments chlorophyll b (0.56 mg g⁻¹), total chlorophyll (0.95 mg g⁻¹) and carotenoids (21.57 mg g⁻¹). The combination of Arbolim[®] + Onix OG[®] provided an increase in the CO₂ assimilation rate (12.50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and the instantaneous water use efficiency (3.98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Commercial productivity was increased and the percentage of non-commercial bulbs decreased with the application of Stimulate[®] + Biofree. Megafol[®] + Onix OG[®] provided a higher percentage of class 5 bulbs. The pungency and industrial index of garlic were increased with Megafol[®] + 4Bacter[®] or Biofree[®]. It is concluded that the combination of biostimulants and rhizobacteria has the potential to improve the agronomic performance of high-value garlic in a semi-arid, low-altitude region. Improvements in bulb quality, garlic industrial potential, physiological efficiency, and garlic development were highlighted by the combinations Stimulate[®] + Biofree[®] and Megafol[®] + Onix OG[®]. Further studies are recommended to determine the most appropriate application rates and times, in order to maximize the physiological and agronomic efficiency of these bio-inputs in garlic cultivation.

Keywords: *Allium sativum* L. Bioinputs. Agronomic performance. Agricultural sustainability. Abiotic stress.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 – Área experimental na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, no município de Mossoró, Rio Grande do Norte - RN, Brasil.....24
- Figura 2 – Temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e precipitação pluviométrica (C) durante a condução do experimento, de 0 aos 120 DAP, 2023.....25

CAPÍTULO II

- Figura 1 – Localização da área experimental da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.....52
- Figura 2 – Temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica (mm) no período de junho a setembro de 2023. Fonte: dados adquiridos da estação meteorológica situada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFRSA, Mossoró - RN. 2026 53

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1	– Caracterização química do solo, na profundidade de 0 – 20 cm, da área experimental da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, Brasil	25
Tabela 2	– Identificação dos tratamentos. Mossoró, RN. 2026.	26
Tabela 3	– Caracterização dos bioestimulantes. Mossoró, RN. 2026	26
Tabela 4	– Caracterização dos produtos à base de rizobactérias. Mossoró, RN. 2026	27
Tabela 5	– Altura de planta (cm), número de folhas, razão bulbar (mm) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	31
Tabela 6	– Temperatura da folha (Tleaf), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e o déficit de pressão de vapor (VDP) em função de bioestimulantes e de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	33
Tabela 7	– Taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci), concentração externa de CO ₂ (Ca) e a relação entre a concentração interna e a externa de CO ₂ (Ci/Ca) em função de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	35
Tabela 8	– Conteúdo relativo de água (CRA), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) em função de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	37
Tabela 9	– Clorofila a, b, total e carotenoides, em função de bioestimulantes e coinoculação de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	40

CAPÍTULO II

Tabela 1	– Análise química do solo da área experimental (0 – 20 cm de profundidade), Mossoró, RN, Brasil. 2026.....	53
Tabela 2	– Descrição dos tratamentos. Mossoró, RN. 2026.	54
Tabela 3	– Descrição dos bioestimulantes e doses aplicadas	55
Tabela 4	– Descrição dos produtos à base de rizobactérias.....	55
Tabela 5	– Produtividade comercial, produtividade não comercial e total em função de bioestimulantes e coinoculação de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	59
Tabela 6	– Classificação de bulbos de alho, cv. Ito, em função de bioestimulantes e rizobactérias. Mossoró-RN, 2023	61
Tabela 7	– Número de bulbilhos por bulbo em função de bioestimulantes e coinoculação de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	62
Tabela 8	– Sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT) em função de bioestimulantes e coinoculação de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	62
Tabela 9	– Sólidos totais (ST), açúcares solúveis totais (AST), pungência, índice industrial (II), em função de bioestimulantes de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Taxa de assimilação de CO ₂
AST	Açúcares solúveis totais
AT	Acidez titulável
Ca	Concentração ambiental de CO ₂
Ci	Concentração intercelular de CO ₂
CRA	Conteúdo relativo de água
DAP	Dias após o plantio
DEA	Demanda evaporativa atmosférica
E	Taxa de transpiração
EiC	Eficiência instantânea de carboxilação
EiUA	Eficiência intrínseca do uso da água
EUA	Eficiência instantânea do uso da água
Gs	Condutância estomática
M.O	Matéria orgânica
MF	Matéria fresca
MS	Matéria seca
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MT	Matéria saturada
RN	Rio Grande do Norte
RBPC	Rizobactérias promotoras de crescimento
SB	Soma de bases
SS	Sólidos solúveis
ST	Sólidos totais
Tleaf	Temperatura da folha
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
VDP	Déficit de pressão de vapor

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca Registrada
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO I.....	20
UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS NA CULTURA DO ALHO: IMPACTOS NA FISIOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	20
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	24
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	25
2.3 Instalação e condução do ensaio	27
2.4 Variáveis analisadas.....	28
2.5 Análise estatística.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.1 Crescimento	31
3.2 Trocas gasosas	32
4 CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
CAPÍTULO II.....	48
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE ALHO NOBRE CULTIVADO NO SEMIARIDO SOB APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1 Caracterização da área de estudo	52
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	54
2.3 Instalação e condução do ensaio	55
2.4 Variáveis analisadas.....	56
2.5 Análise estatística.....	58
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
3.1 Classificação comercial e produtividade de bulbos	59
3.2 Qualidade do bulbo	62
4 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

INTRODUÇÃO GERAL

O alho (*Allium sativum* L.) é amplamente valorizado na culinária e na medicina, conhecido por seu aroma e sabor marcante (Thakur *et al.*, 2024), além de possuir excelente valor nutricional, sendo rico em proteínas, açúcares, nutrientes, vitaminas, fibras e mais de 30 compostos de enxofre, que são responsáveis por suas propriedades sensoriais e terapêuticas (Pasupula *et al.*, 2024; Aguiar-Galvão, 2025; Silva *et al.*, 2024). Essa riqueza confere-lhe destaque como cultura de alto valor agregado (Thakur *et al.*, 2024). Socialmente, o cultivo de alho tem grande relevância, pois esta atividade é desenvolvida principalmente por agricultores familiares (Botelho *et al.*, 2019).

A China é o maior produtor mundial de alho, produzindo anualmente cerca de 14,8 mil de toneladas (FAO, 2024). No Brasil, o alho é uma das hortaliças de grande importância, e cultivam-se sobretudo as cultivares de alho nobre Chonan, San Valentin e Ito (ANUÁRIO HF, 2022). Em 2024, a área plantada de alho no país foi de 12,9 mil hectares, com a quantidade produzida em torno de 172,8 mil e produtividade média de 13,4 t ha⁻¹ (FAO, 2024). Contudo, apesar do Brasil produzir e consumir bastante alho, uma quantidade significativa do produto é importada para atender ao mercado. No primeiro semestre de 2023, a Argentina foi responsável por cerca de 84% das importações, o equivalente a 6,3 milhões de caixas (ANAPA, 2023).

O Brasil tem potencial para elevar a produção de alho e, assim, tornar-se menos dependente das importações. Uma alternativa para impulsionar o desenvolvimento do alho nobre no país seria o uso de tecnologias sustentáveis capazes de melhorar o desempenho da planta em outras regiões, onde as condições naturais são diferentes daquelas exigidas pela cultura. O alho nobre, em particular, que é de maior interesse comercial, é muito sensível à temperatura elevada e exigente a fotoperíodos longos (Azevedo, 2019), sendo este fato o que mais dificulta para essa expansão da cultura, como, por exemplo, na região semiárida de baixa altitude (Morais *et al.*, 2023; Moraes *et al.*, 2026), tendo em vista que o desenvolvimento adequado da planta de alho é associado a ambientes com temperaturas predominantes entre 10 °C e 15 °C, embora essa exigência térmica seja passível de compensação parcial por meio da vernalização (armazenamento do alho-semente em baixa temperatura) (Silva, 2020).

A utilização de bioestimulantes e rizobactérias surge como estratégia promissora para fortalecer o desenvolvimento do alho nobre no país. Esses produtos têm sido cada vez mais estudados e estão associados a diversos efeitos positivos no desempenho das plantas, com estudos recentes destacando seus benefícios tanto para a planta quanto para a saúde do solo

(Singh *et al.*, 2019; Cavalcante *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2020; Souza e Cruz, 2024). Além de serem considerados sustentáveis, eles demonstram potencial para aumentar a tolerância das plantas a diferentes tipos de estresse ambiental (Ma, Freitas e Dias, 2022).

Embora os estudos sobre os bioestimulantes e as rizobactérias promotoras de crescimento (RBPC) de plantas tenham demonstrado efeitos benéficos no solo e nas culturas agrícolas, seu modo de ação ainda não está completamente elucidado, especialmente em situações de estresse abióticos para cultura (Castiglione *et al.* 2021; Ma, Freitas e Dias, 2022). A variedade dos compostos naturais presentes muitas vezes em um bioestimulante gera uma complexidade na interpretação da sua ação, o que torna necessários estudos para concretizar seus efeitos (Ma, Freitas e Dias, 2022). Em relação às RBPC, as evidências sugerem que esses efeitos positivos variam de acordo com a espécie de planta, as características do solo, a natureza do estresse biótico ou abiótico presente e o tipo de inóculo utilizado (Castiglione *et al.*, 2021). Os mecanismos hipotéticos propostos para explicar a ação incluem: (i) modulação hormonal; (ii) regulação do estado redox celular; (iii) aumento da eficiência no uso da água e otimização da resposta fotossintética; e (iv) maior eficiência na absorção e uso de nutrientes (Castiglione *et al.*, 2021). Segundo Singh *et al.* (2019), as RBPC criam associações vantajosas com a planta por meio da fixação natural de nitrogênio, da solubilização de fósforo, da geração de sideróforos e hormônios, dentre outros.

As rizobactérias dos gêneros *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus* têm potencial para uso na agricultura e podem ser encontradas em vários ecossistemas, inclusive em áreas semiáridas, com capacidade de se adaptar a condições adversas (Oosten *et al.*, 2017). Este fator é importante porque, além das plantas, os microrganismos sofrem interferências diversas do ambiente, sendo crucial a escolha de espécies mais adaptadas às condições de cultivo (Prisa e Altimari, 2024).

Trabalhos científicos têm consistentemente mostrado os benefícios dos bioestimulantes e das rizobactérias nas características produtivas e qualitativas das hortaliças (Abdel-Razzak e El-Sharkawy 2013; Silva *et al.*, 2019; Kumawat, 2022). A título de exemplo, no alho a aplicação do bioestimulante à base de extrato líquido de vermicomposto promoveu aumento do calibre do bulbo e do número de bulbilhos, impactando diretamente a qualidade final do produto (Balmori *et al.*, 2019). Por sua vez, a coinoculação de rizobactérias em alho evidenciou efeitos positivos no aumento do crescimento, rendimento de bulbo, na biomassa, produtividade total, da sua produção e na redução da adubação, além de potencializar a translocação de nutrientes (Esmaeilian *et al.*, 2018; Das *et al.*, 2020; Prasad, 2022; Mazzuco, Júnior e Botelho, 2023; Souza e Cruz, 2024). Prisa e Altimari (2024) avaliaram, em condições

controladas, um produto composto por *Spirulina platensis* e microrganismos benéficos como bactérias lácticas, fotossintéticas, leveduras e actinomicetos, no cultivo de cebola e alho. O tratamento foi comparado a um biofertilizante à base de *Ecklonia maxima* e a um controle irrigado com água, resultando em maior peso e diâmetro dos bulbos e melhor desenvolvimento radicular das duas culturas.

Apesar dos benefícios relatados, há escassez de estudos avaliando os efeitos de bioestimulantes e RBPC combinados ou isolados nas condições do semiárido brasileiro, especialmente para alho nobre. Desse modo, os resultados desta pesquisa podem fornecer contribuições importantes, servindo como base para o desenvolvimento dessas tecnologias de forma mais adequada às circunstâncias da realidade da região de cultivo. Além disso, o emprego de bioestimulantes e rizobactérias pode ser uma opção prática para diminuir os impactos ambientais e melhorar a eficácia do sistema de produção, uma vez que esses bioinsumos favorecem o crescimento vegetal, aumentam a disponibilidade de nutrientes e reduzem a necessidade de fertilizantes químicos (Reis, Pires e Galvão, 2026). Portanto, a aplicação combinada desses produtos pode potencializar o efeito na planta. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico de alho nobre em resposta à aplicação de bioestimulantes e rizobactérias, em região semiárida de baixa altitude.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAZZAK, H. S.; EL-SHARKAWY, G. A. Efeito da aplicação de biofertilizantes e ácido húmico no crescimento, rendimento, qualidade e capacidade de armazenamento de duas cultivares de alho (*Allium sativum* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 48–64, jan. 2013. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.48.64>.
- AGUIAR-GALVÃO, W. R. *Allium sativum* (alho): indicações em perspectivas. **Medicinae Plantae**, v. 1, n. 3, p. 1–4, 31 mar. 2025. <http://dx.doi.org/10.36517/mp.v1i3.95340>.
- ANAPA – Associação Nacional dos Produtores de Alho. **Revista Nosso Alho** – Edição 36, 2023. Disponível em: <https://anapa.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Revista-Nosso-Alho-N.36-Outubro-2023-1.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- ANUÁRIO HF. **Campos e Negócios**. 11. ed. Uberlândia: Miriam Lins Oliveira, 2022. 116 p.
- AZEVEDO, B. N. R. **Produtividade e qualidade de alho nobre sob temperatura negativa de vernalização**. 2019. 29f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3302>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- BALMORI, D. M. *et al.* Foliar application of humic liquid extract from vermicompost improves garlic (*Allium sativum* L.) production and fruit quality. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 103–112, jun. 2019. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0279-1>.
- BOTELHO, G. R. *et al.* Bactérias promotoras de crescimento do alho cultivado na microrregião de Curitiba – Santa Catarina – Brasil. **Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, set. 2019. Disponível em: https://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672019000100006&lng=es&nrm=iso. Acesso em 09 fev. 2026.
- CASTIGLIONE, A. M. *et al.* Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: composition, role and application of these innovative products. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1533, jul. 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/plants10081533>.
- CAVALCANTE, W. S. S. *et al.* Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754–763, dez. 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p754-763>
- DAS, S. *et al.* Response of biofertilizers and primary nutrients on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in new alluvial soil of West Bengal. **Current Journal of Applied Science and Technology**, p. 1-7, 14 mai. 2020. <http://dx.doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1030622>.
- ESMAEILIAN, Y. *et al.* Efeito de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal na produtividade e nos componentes de produtividade da planta medicinal alho (*Allium sativum* L.) sob as condições de aplicação de diferentes fertilizantes orgânicos e químicos. **Revista Iraniana de Pesquisa sobre Plantas Medicinais e Aromáticas**, v. 31, n. 4, p. 1-17, fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.22067/jhorts4.v31i4.60566>.
- FAO – Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura. **Culturas e produtos pecuários: alho verde**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 20 jan. 2026.

KUMAWAT, K. V. **Efeito dos bioestimulantes no crescimento, rendimento e qualidade do alho (*Allium sativum* L.)**. 2022. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências – Horticultura) – Departamento de Ciência Vegetal, Faculdade de Horticultura e Silvicultura, Jhalawar, 2022.

MA, Y. *et al.* Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1–15, 22 dez. 2022. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>.

MAZZUCO, V. R. *et al.* Fluorescent *Pseudomonas* spp. and *Bacillus* spp. for phosphate solubilization and growth promotion of garlic. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, p. 1–5, jul. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632023v5375301>.

MORAIS, É. G. *et al.* Vernalização com temperaturas negativas melhora a qualidade do alho nobre cultivado no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 30, n. 2, p. 1-9, nov. 2026. Disponível em: <https://www.agriambi.com.br/revista/v30n02/v30n02a10.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2026.

MORAIS, E. G. *et al.* Vernalização do alho semente com temperaturas negativas aumenta a produtividade de alho nobre no semiárido brasileiro. **Horticulturae**, v. 9, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347015122>.

PASUPULA, K. *et al.* Morphological, biochemical and molecular characterization of short-day tropical Indian garlic (*Allium sativum* L.). **Heliyon**, v. 10, n. 18, p. 37553, set. 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37553>.

PRASAD, K. Stimulation effect of rhizospheric microbes' plant growth promoting rhizobacteria, glycoprotein-producing AM fungi and synthetic fertilizers application on growth, yield, nutrient acquisition and alliin content of garlic cultivation under field conditions in Southeast region of Rajasthan, India. **Advances in Earth e Environmental Science**, v. 3, n. 2, p. 1–15, maio 2022. Disponível em: <https://unisciencepub.com/abstract/stimulation-effect-of-rhizospheric-microbes-plant-growth-promoting-rhizobacteria-glycoprotein-producing-am-fungi-and-synthetic-fertilizers-application-on-growth-yield-nutrients-ac/>. Acesso em: 20 jan. 2026.

PRISA, D.; ALTIMARI, A. Microorganisms and algae (GEA soil) use in the cultivation of onion (*Allium cepa* L.) and garlic (*Allium sativum* L.). **Magna Scientia Advanced Research and Reviews**, v. 10, n. 1, p. 115–122, 30 jan. 2024. <http://dx.doi.org/10.30574/msarr.2024.10.1.0015>.

REIS, G. C.; PIRES, A. J. V.; GALVÃO, P. C. S. Uso de bioestimulantes em forragens tropicais: avanços científicos e desafios para sistemas sustentáveis. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 24, n. 2, p. 1-13, 23 fev. 2026. Brazilian Journals. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv24n2-039>.

SILVA, B. T. **Temperaturas negativas de vernalização e seus efeitos na produção do alho nobre**. 2020. 28 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí, 2020. Disponível em: <https://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2019/02/BIANCA-TEIXEIRA-DA-SILVA.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2026.

SILVA, J. S. *et al.* Rendimento da cebola cultivada em condições semiáridas sob diferentes doses de biorreguladores. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5.; CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 28.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO

DE SALINIDADE, 1., 2019, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada; UFC; ABID, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1115431>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SILVA, R. B. L. C. *et al.* Potencial antimicrobiano dos extratos da casca e do bulbilho de *Allium sativum* frente a microrganismos patogênicos. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 5, p. 1–15, 22 mai. 2024. <http://dx.doi.org/10.56083/rev4n5-127>.

SINGH, J. *et al.* Rhizobacterias promotoras do crescimento de plantas: substitutos benignos e úteis para a mitigação de estresses bióticos e abióticos. In: SAYYED, R.; ARORA, N.; REDDY, M. (org.). Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable stress management. **Microorganisms for Sustainability**, v. 12, p. 81-101, ago. 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_5.

SOUZA, M. R.; CRUZ, S. P. Coinoculação de alho com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* em condições de adubação reduzida. **Ciência Agrícola**, v. 22, n. 13573, p. 1-11, abr. 2024. <https://doi.org/10.28998/rca.22.13573>.

THAKUR, P. *et al.* Garlic (*Allium sativum* L.): A review on bio-functionality, allicin's potency and drying methodologies. **South African Journal of Botany**, v. 171, p. 129-146, ago. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.039>.

TIAN, L. *et al.* Research advances of beneficial microbiota associated with crop plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 5, p. 1792, mar. 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21051792>.

VAN OOSTEN, M. J. *et al.* The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 3 abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS NA CULTURA DO ALHO: IMPACTOS NA FISIOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

RESUMO

O cultivo de alho nobre em regiões semiáridas representa um desafio agronômico, em razão da elevada sensibilidade da cultura à temperatura e ao fotociclo característicos da região. Nessas condições, os bioestimulantes e as rizobactérias podem modular a fisiologia da planta e mitigar o estresse abiótico. O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento vegetativo e fisiológico de alho nobre em resposta aos bioestimulantes e rizobactérias no semiárido. O estudo foi realizado em campo, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, município de Mossoró – RN. Avaliaram-se quatro tipos de bioestimulantes (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®] e Stimulate[®]) e quatro fontes de rizobactérias (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®] e Onix OG[®]), e uma testemunha absoluta. Delineado em blocos casualizados em esquema fatorial (4 x 4) + 1, com quatro repetições, somando-se 17 tratamentos. Foram analisados os parâmetros de crescimento, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos e conteúdo relativo de água da folha. Foram aplicados a ANOVA, teste de Scott-Knott e o teste de Dunnet. A altura e do número de folhas não foram influenciados pelos tratamentos, ao passo que a matéria seca da parte aérea foi significativamente maior com a combinação do Megafol[®] + Onix OG[®] (23,59 g planta), sendo esse tratamento também a combinação que aumentou o conteúdo relativo de água (78,8%) e os pigmentos fotossintéticos clorofila *b* (0,56 mg g⁻¹), clorofila total (0,95 mg g⁻¹) e carotenoides (21,57 mg g⁻¹). A utilização conjunta de Arbolim[®] + Onix[®] aumentaram a taxa de assimilação de CO₂ (12,50 μmol m⁻² s⁻¹) e a eficiência instantânea do uso da água (3,98 μmol m⁻² s⁻¹). Os resultados evidenciam o potencial da aplicação conjunta de bioestimulantes e rizobactérias, com destaque para Megafol[®] + Onix OG[®], na melhoria da eficiência fisiológica e desenvolvimento do alho em condições semiáridas.

Palavras-chave: *Allium sativum* L., trocas gasosas, estresse abiótico, semiárido.

ABSTRACT

The cultivation of high-quality garlic in semi-arid regions presents an agronomic challenge due to the crop's high sensitivity to the temperature and photocycle characteristic of the region. Under these conditions, biostimulants and rhizobacteria can modulate plant physiology and mitigate abiotic stress. The objective of this study was to evaluate the vegetative development of high value garlic in response to biostimulants and rhizobacteria in the semi-arid region. The study was conducted in the field at the Rafael Fernandes Experimental Farm, in the municipality of Mossoró – RN. Four types of biostimulants (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®], and Stimulate[®]) and four sources of rhizobacteria (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®], and Onix OG[®]) were evaluated, along with a control. Designed in randomized blocks in a factorial scheme (4 x 4) + 1, with four replications, totaling 17 treatments. The variables analyzed were growth, gas exchange, photosynthetic pigments, and relative leaf water content. ANOVA, Scott knott test, and Dunnett's test ($p \leq 0.05$) were applied. Height and number of leaves were not influenced by the treatments, while shoot dry mass was significantly higher with the Megafol[®] + Onix OG[®] combination. This treatment was also the combination that increased relative water content and photosynthetic pigments. The combined use of Arbolim[®] + Onix OG[®] and Lalstim Stress[®] + Biofree[®] increased CO₂ assimilation and water use efficiency. Thus, it is evident that the effects depend on the applied combination of biostimulants and rhizobacteria sources, highlighting the potential of the interaction between Megafol[®] + Onix OG[®] to improve the physiological efficiency and tolerance of garlic to the stress it undergoes in semi-arid conditions.

Keywords: *Allium sativum* L., gas exchange, abiotic stress, semiarid.

1 INTRODUÇÃO

As plantas cultivadas estão continuamente expostas a fatores ambientais potencialmente estressores, que podem exigir das plantas modificações no seu metabolismo e fisiologia a fim de possibilitar adaptação (Gull *et al.*, 2019; Ali *et al.*, 2024). Outro aspecto a destacar são as alterações climáticas que vêm ocorrendo em escala global, interferindo nos padrões de temperatura e precipitação, intensificando a incidência desses estresses (Hammond *et al.* 2022). A cultura do alho (*Allium sativum* L.) é extremamente exigente em fatores que a mantém no “ótimo fisiológico”, sendo sua sensibilidade a altas temperaturas e a elevada exigência ao fotoperíodo os principais desafios que comprometem a expansão do seu cultivo para outros locais (Oliveira e Martins, 2021).

Historicamente, o cultivo de alho nobre restringia-se a regiões de clima frio no Brasil porque a planta fica fora do seu ótimo fisiológico nas demais regiões. Entretanto, com o armazenamento dos bulbos em temperatura controlada (vernalização), é possível produzir alho nobre em ambientes com características ambientais adversas, como o semiárido (Lucena *et al.*, 2016). Apesar do avanço do cultivo na zona semiárida, estudo realizado no Rio Grande do Norte indica que mesmo que a vernalização favoreça o desenvolvimento inicial das plantas e algumas características agrônômicas ainda ficam muito inferiores às alcançadas em áreas mais tradicionais de produção no País (Moraes *et al.*, 2023). Porém, esses desafios podem vir a serem superados com uso de tecnologias.

Reforça-se a necessidade de investigar estratégias sustentáveis que possam aprimorar o crescimento e desenvolvimento do alho nobre no semiárido, seguindo além das técnicas já aplicadas. Diante das estratégias promissoras que vêm se destacando, tem-se a aplicação de bioestimulantes e as rizobactérias promotoras de crescimento (RBPC), devido aos seus múltiplos benefícios para as plantas e ao potencial para uma agricultura mais sustentável (Rai, Rai e Sarma, 2021; Cavalcante *et al.*, 2022; Gouda *et al.*, 2025), o que evidencia um caminho potencial para melhorar o desempenho vegetativo do alho, que, consequentemente, se reflete diretamente no produto final.

Os bioestimulantes são compostos diversos, extratos vegetais, aminoácidos, nutrientes, dentre outros, que, ao penetrarem nos tecidos vegetais, atuam em processos metabólicos, na regulação hormonal, no crescimento e no desenvolvimento da planta (Cavalcante *et al.*, 2020; Parađiković *et al.*, 2019). Eles também podem estimular a expressão do potencial genético da planta e promover o desenvolvimento radicular (Carmo *et al.*, 2021). Por exemplo, a aplicação do bioestimulante triptofol (indol-3-etanol) em bulbos de alho vernalizado

melhorou o desenvolvimento inicial das plantas, equilibrando o crescimento da parte aérea e das raízes (Nasser *et al.*, 2025). Em outro estudo, a aplicação do bioestimulante Radifarm[®], após o transplante de plantas de alho regeneradas *in vitro* resultou em aumento da matéria total da planta, do bulbo e do número de bulbilhos por bulbo, demonstrando sua eficácia no estímulo ao desenvolvimento da planta (Paradić *et al.*, 2014).

As RBPC exercem papel importante no manejo de estresses ambientais e no incremento da eficiência fisiológica das plantas. Elas promovem regulações hormonais e melhoram a disponibilidade de nutrientes (Franzoni *et al.*, 2021; Khalid *et al.*, 2024). Por exemplo, espécies do gênero *Azospirillum* produzem hormônios que favorecem o crescimento das raízes, ao passo que *Bacillus* podem solubilizar nutrientes minerais (Das *et al.*, 2020; Azeem, Javed e Zahoor, 2023). A inoculação com *Pseudomonas putida*, *P. stutzeri* e *Bacillus cereus* nos bulbilhos de alho resultou em melhorias na taxa de germinação, no crescimento foliar e radicular, na biomassa, no diâmetro do bulbo e nos teores de flavonoides, fenólicos, clorofila, proteínas e açúcares (Tariq, Bano e Khan, 2023).

Os estudos que avaliam a eficiência dessas tecnologias em diferentes condições edafoclimáticas, em especial no semiárido brasileiro, bem como sua interação com as práticas de cultivo convencionais, ainda são escassos, o que pode dificultar o aprimoramento do manejo da cultura com os biostimulantes e as rizobactérias. Deste modo, a intensificação de estudos focados no desempenho vegetativo de alho nobre com a aplicação dos biostimulantes e rizobactérias nas condições ambientais em que esta pesquisa foi desenvolvida é de importância singular, dando subsídios para futuras pesquisas acerca do comportamento fisiológico e crescimento de alho nobre em regiões semiáridas de baixa altitude, podendo também incrementar o setor produtivo do Brasil, com a expansão da fronteira agrícola para outros estados onde se cultiva pouco alho. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e fisiológico de alho nobre em resposta à aplicação de bioestimulantes e rizobactérias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, ($5^{\circ}3'33''$ S e a $37^{\circ}23'50''$ W, com altitude 72 m). A execução da pesquisa em campo ocorreu entre os meses de junho a setembro de 2023. A região é caracterizada pelo clima semiárido, classificado como BSh segundo Köppen (Figura 1).

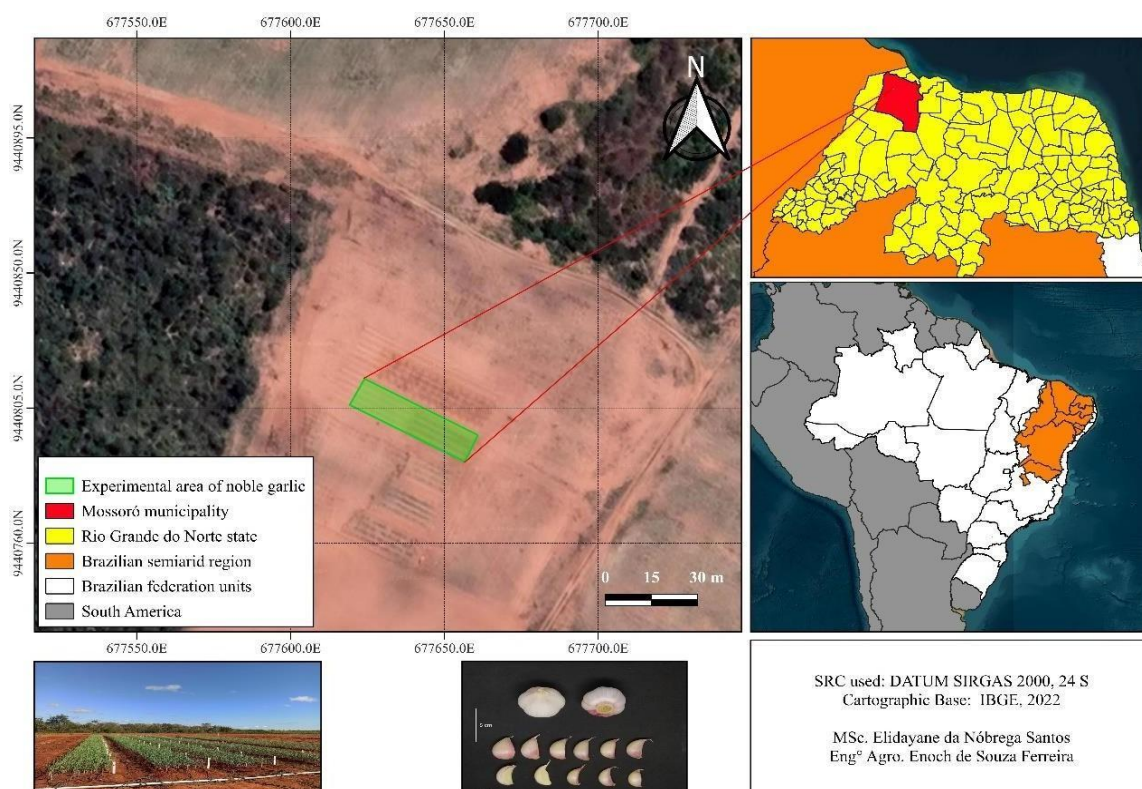


Figura 1. Área experimental na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, no município de Mossoró - Rio Grande do Norte - RN, Brasil. Fonte: A autora (2026).

Em estação meteorológica localizada na Fazenda Experimental, foram feitos registros climáticos durante o período de cultivo. Os registros foram iniciados em junho e finalizados em setembro. A temperatura variou entre $24,6^{\circ}\text{C}$ e $29,4^{\circ}\text{C}$, de mínima e máxima, respectivamente, com média foi de $27,3^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar média foi de 73,8% e a precipitação, 0,3 mm (Figura 2).

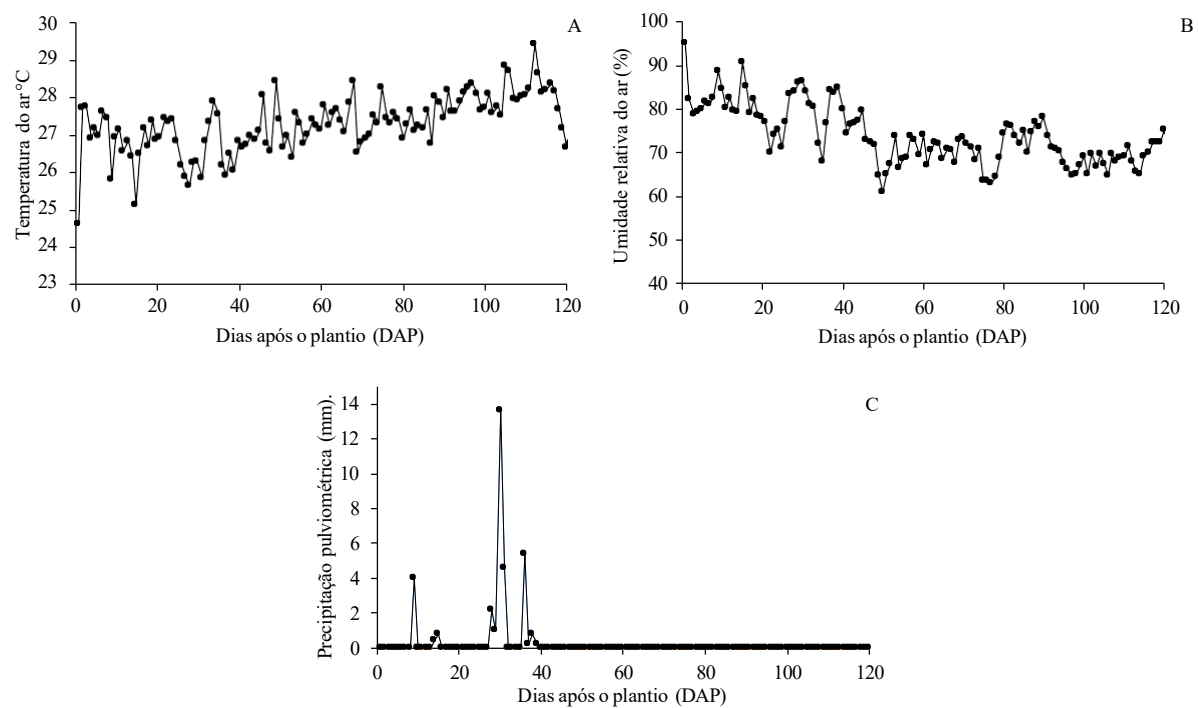


Figura 2. Temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e precipitação pluviométrica (C) durante a condução do experimento, de 0 aos 120 DAP, 2023. Fonte: Estação meteorológica localizada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFERSA, município de Mossoró-RN. 2026. Fonte: A autora (2026).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo (Santos *et al.*, 2025). A caracterização química do solo foi realizada a partir de uma amostra composta da camada de 0 – 20 cm. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo, na profundidade de 0 – 20 cm, da área experimental da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, Brasil.

MO	pH	P	S.SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	Al ³⁺	H+Al ³⁺	V%
g kg ⁻¹	água	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ³ -----								
7,9	6,12	10,2	2,7	0,08	0,01	1,04	0,38	1,5	0	0,61	71,3

Fonte: A autora (2026). Matéria orgânica (M.O.), potencial hidrogeniônico (pH), ânion sulfato (S.SO₄²⁻), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), alumínio (Al³⁺) e hidrogênio (H).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Delineado em blocos casualizados completos, em esquema fatorial 4 x 4 +1, foram testadas a aplicação combinada de bioestimulantes (Arbolim Biogenesis®, Lalstim Stress®, Megafol® e Stimulate®) com rizobactérias (Acta Forcer®, 4Bacter®, Biofree® e Onix OG®), e uma testemunha absoluta (água de irrigação), com quatro repetições (Tabela 2). Cada parcela experimental foi composta por canteiros medindo 1,0 m x 1,3 m, sendo constituído por seis

fileiras de plantas espaçadas de 0,20 x 0,10 m, medindo 1 1,0 m x 1,3 m. Apenas as plantas das quatro linhas centrais foram utilizadas para as avaliações, eliminando as extremidades.

Tabela 2. Identificação dos tratamentos. Mossoró, RN. 2026.

Tratamentos	Bioestimulante	Fonte de Rizobactéria
T1	Água de irrigação	Água de irrigação
T2	Arbolim Biogenesis®	Acta Force®
T3	Arbolim Biogenesis®	4Bacter®
T4	Arbolim Biogenesis®	Biofree®
T5	Arbolim Biogenesis®	Onix OG®
T6	Lalstim Stress®	Acta Force®
T7	Lalstim Stress®	4Bacter®
T8	Lalstim Stress®	Biofree
T9	Lalstim Stress®	Onix OG®
T10	Megafol®	Acta Force®
T11	Megafol®	4Bacter®
T12	Megafol®	Biofree®
T13	Megafol®	Onix OG®
T14	Stimulate®	Acta Force®
T15	Stimulate®	4Bacter®
T16	Stimulate®	Biofree®
T17	Stimulate®	Onix OG®

Fonte: A autora (2026).

As doses aplicadas dos bioestimulantes e rizobactérias seguiram as recomendações dos fabricantes (Tabela 3 e Tabela 4). Para os bioestimulantes, foram realizadas quatro aplicações ao longo do ciclo, aos 20, 30, 60 e 70 dias após o plantio (DAP), utilizando-se de pulverizador costal manual de pressão constante. As duas primeiras aplicações foram realizadas antes do início da diferenciação bulbar, e as duas últimas após esse estágio. As rizobactérias foram aplicadas via água de irrigação, aos 14, 21, 28 e 35 DAP.

Tabela 3. Caracterização dos bioestimulantes. Mossoró, RN. 2026.

Nome comercial	Marca comercial	Composição do produto	Dose aplicada
Arbolim Biogenesis®	Krilltech	400 g L ⁻¹ de Arbolina em suspensão aquosa	0,6 L ha ⁻¹
Lalstim Stress®	Lallemand	Extrato de levedura de cana-de-açúcar (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0,5 L ha ⁻¹
Megafol®	Valagro	Aminoácidos Betaína Vitaminas e biomoléculas	3 L ha ⁻¹
Stimulate®	Stoller	0,09 g L ⁻¹ de Cinetina 0,05 g L ⁻¹ de Ácido Giberélico 0,05 g L ⁻¹ de Ácido 4-indol-3-ilbutírico	0,5 L ha ⁻¹

Fonte: Lallemand (2024); Stoller (2026); Krilltech (2026), rótulo do produto.

Tabela 4. Caracterização dos produtos à base de rizobactérias. Mossoró, RN. 2026.

Nome Comercial	Marca comercial	Composição do produto	Dose Aplicada	Concentração estimada do produto
4Bacter®	DVA	<i>Azospirillum brasilense</i>	2 kg ha ⁻¹	1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹
		<i>Azotobacter vinelandii</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹
		<i>Bacillus megaterium</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹
		<i>Pseudomonas fluorescens</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹
Acta Force®	Acta Bio	<i>Bacillus subtilis</i>	2 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹
		<i>Bacillus megaterium</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹
		<i>Bacillus velezensis</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹
		<i>Pseudomonas fluorescens</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹
Biofree®	Biotrop	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Azospirillum brasilense</i>	2 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁸ UFC mL ⁻¹
Onix OG®	Lallemand	<i>Bacillus methylotrophicus</i>	2 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁹ UFC mL ⁻¹

Fonte: Rótulo dos produtos.

2.3 Instalação e condução do ensaio

Para o preparo do solo, foram feitos aração, gradagem e levantamento dos canteiros. A adubação de plantio foi feita com base na análise de solo e recomendação de Holanda *et al.* (2017), utilizando-se de 24,23 kg ha⁻¹ de composto orgânico e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples. A adubação de cobertura, aplicada semanalmente dos 14 DAP aos 106 DAP, foi feita via fertirrigação. Para isso, cada bloco recebeu um sistema de irrigação por gotejamento, composto por três mangueiras com emissores espaçados a cada 0,30 m e vazão de 1,5 L h⁻¹. Foram aplicados 87,39 kg ha⁻¹ de N, 55,71 kg ha⁻¹ de K₂O, 15,00 kg ha⁻¹ de Mg, 56 kg ha⁻¹ de Ca, 35,50 kg ha⁻¹ de S, 2,08 kg ha⁻¹ de B e 35,04 kg ha⁻¹ de Zn.

O alho-semente, cultivar Ito, foi vernalizado durante 55 dias, em uma temperatura controlada (de 0 a -2 °C) (Moraes *et al.*, 2023). Em seguida, foram feitas a debulha e classificação dos bulbilhos por tamanho, por meio de peneiras em tipo 2 (10 x 20 mm), tipo 3 (8 x 17 mm) e tipo 4 (5 x 17 mm). Para uniformizar nos blocos, os bulbilhos de classes 2 e 3 foram alocados nos blocos 1 e 2, ao passo que os de classe 4 foram usados nos blocos 3 e 4. O plantio foi feito a cerca de 2 cm de profundidade.

O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão, com emissores espaçados a cada 3,0 m e vazão de 27 L h⁻¹ e lâminas de 78,73 mL (inicial – 0 a 21 dias), 175,92 (vegetativo - 52 dias), 117,60 mm (bulbificação - 25 dias) e 41,31 mm (maturação - 12 dias). Foram considerados a evapotranspiração da cultura, características edafoclimáticas e o estágio de desenvolvimento da cultura. No estágio de maturação, reduziu-se a irrigação em 19%, durante 12 dias, com o objetivo de minimizar o surgimento de superbrotamento.

Foram realizados capinas manuais e manejo fitossanitário com ditiocarbamato, difenoconazol, azoxistrobina e oxiclreto de cobre, para prevenção e controle de mancha

púrpura e doenças bacterianas. Para o controle de pragas, como tripes e lagartas, foram utilizados inseticidas à base de clorfenapir, imidacloprido e beta-ciflutrina.

A colheita foi realizada quando aproximadamente 2/3 das folhas das plantas de alho estavam amareladas ou secas, o que ocorreu aos 111 DAP. O processo de cura teve início no campo, onde as plantas permaneceram em pleno sol por cinco dias e, em seguida, curadas à sombra até estarem completamente secas. A toalete foi realizada para limpeza dos bulbos, eliminando as raízes, folhas e túnicas secas e sujas.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas com um analisador portátil de infravermelho (IRGA, modelo Gfs 3000, marca Walz), aos 78 DAP. As medições foram realizadas entre 08h30 e 11h30, em folhas totalmente expandidas e fotossinteticamente ativas, sob irradiação de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2}$ e concentração de CO_2 de 400 ppm. As variáveis obtidas foram: temperatura da folha (Tleaf), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e déficit de pressão de vapor (VDP). Também foram coletados os valores de taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração intercelular de CO_2 (Ci) e concentração ambiental de CO_2 (Ca), a partir dos quais se calculou a relação entre a concentração intercelular e a concentração ambiental de CO_2 (Ci/Ca). As eficiências foram estimadas pelas razões A/E (eficiência instantânea do uso da água, EUA), A/Gs (eficiência intrínseca do uso da água, EiUA) e A/Ci (eficiência instantânea de carboxilação, EiC).

2.4.2 Pigmentos fotossintéticos e conteúdo relativo de água (CRA)

Para análise de pigmentos, coletou-se a terceira ou quarta folha funcional de quatro plantas por parcela, aos 78 DAP (Scopel *et al.*, 2011). Foi utilizada o método de Lichtenthaler (1997), com extração em acetona a 80%, e as leituras foram realizadas no espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 645, 652 e 663 nm. Os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides foram calculados por meio das equações de 1 a 4.

$$\text{Clorofila a} = \frac{12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645} \cdot V}{1000} \cdot W \quad (1)$$

$$\text{Clorofila b} = \frac{22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663} \cdot V}{1000} \cdot W \quad (2)$$

$$\text{Clorofila total} = \frac{A_{652} \times 1000 \times V \times 1000 \times W}{34,5} \quad (3)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{1000 \times A_{470} - 3,27 \times \text{clorofila } a - 104 \times \text{clorofila } b}{229} \quad (4)$$

Onde

A = absorvância no comprimento de onda indicado;

V = volume final (mL) do extrato (pigmentos + solução extratora);

W = matéria fresca (g) do material vegetal utilizado.

Para o conteúdo relativo de água (CRA), usaram-se 12 discos (0,5 cm² de área por disco) foliares por parcela. Mediu-se a matéria fresca (MF), em seguida imergiram-se os discos em água deionizada por 24 h para saturação. Retirado o excesso de água, obteve-se a massa saturada (MT). Depois, os discos foram secos a 65 °C até peso constante para obter a matéria seca (MS). O CRA foi calculado pela Equação 5 (Weatherley, 1950):

$$\text{CRA} = \frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que:

CRA – Conteúdo relativo de água (%);

MF – Matéria fresca dos discos foliares;

MT – Matéria saturada dos discos foliares;

MS – Matéria seca dos discos foliares.

2.4.3 Crescimento

-Altura da planta (cm): medida com auxílio de fita métrica, da base da planta ao ápice da folha de maior comprimento, em seis plantas por parcela aos 90 DAP.

-Número de folhas por planta: contagem das folhas totalmente expandidas e fotossinteticamente ativas, em seis plantas por parcela aos 90 DAP.

-Matéria seca (g planta⁻¹): foi coletada aos 90 DAP a parte aérea de seis plantas por parcela, que foi lavada em água corrente e deionizada, depois seca em estufa de circulação de ar a 65 °C até massa constante e pesada em balança de precisão.

2.5 Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, para comparação de médias entre tratamentos, foi utilizado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% ($p \leq 0,05$). Para comparar cada tratamento com a testemunha, aplicou-se o teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). As análises dos dados foram efetuadas no *software* RStudio® versão 4.3.3 (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento

A altura das plantas e o número de folhas não responderam significativamente aos tratamentos (Tabela 5). A altura das plantas variou entre 49,8 cm (Stimulate[®] + 4Bacter[®]) e 56,3 cm (Megafol[®] + Onix OG[®]), ao passo que o número de folhas por planta oscilou entre cinco e seis (Tabela 5).

Tabela 5. Altura de planta (cm), número de folhas e matéria seca da parte aérea (MSPA) em função de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Altura de planta (cm)				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	50,5 ± 3,00 ^{Aa}	53,3 ± 4,37 ^{Aa}	54,5 ± 2,68 ^{Aa}	52,5 ± 3,81 ^{Aa}
Lalstim Stress®	52,0 ± 2,14 ^{Aa}	52,8 ± 2,40 ^{Aa}	53,3 ± 5,47 ^{Aa}	52,5 ± 3,20 ^{Aa}
Megafol®	55,8 ± 5,47 ^{Aa}	54,8 ± 2,85 ^{Aa}	51,8 ± 3,17 ^{Aa}	56,3 ± 4,33 ^{Aa}
Stimulate®	54,5 ± 4,73 ^{Aa}	49,8 ± 2,15 ^{Aa}	55,0 ± 0,97 ^{Aa}	54,0 ± 4,50 ^{Aa}
Testemunha vs comum	54,7 ± 2,55ns			
Número de folhas				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	5 ± 0,26 ^{Aa}	6 ± 0,72 ^{Aa}	6 ± 0,77 ^{Aa}	5 ± 0,70 ^{Aa}
Lalstim Stress®	6 ± 0,44 ^{Aa}	6 ± 0,49 ^{Aa}	5 ± 0,62 ^{Aa}	5 ± 0,77 ^{Aa}
Megafol®	6 ± 0,88 ^{Aa}	6 ± 0,70 ^{Aa}	5 ± 0,16 ^{Aa}	6 ± 0,44 ^{Aa}
Stimulate®	6 ± 0,62 ^{Aa}	5 ± 0,16 ^{Aa}	6 ± 0,38 ^{Aa}	5 ± 0,37 ^{Aa}
Testemunha vs comum	5 ± 0,28ns			
Matéria seca de parte aérea (g planta)				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	16,35 ± 1,64 ^{Ba}	16,49 ± 0,84 ^{Aa}	18,96 ± 2,63 ^{Aa}	17,23 ± 2,63 ^{Ba}
Lalstim Stress®	17,89 ± 0,35 ^{Ba}	18,13 ± 1,75 ^{Aa}	17,57 ± 0,37 ^{Aa}	18,65 ± 0,91 ^{Ba}
Megafol®	20,01 ± 4,22 ^{Ab}	19,73 ± 1,96 ^{Ab}	17,72 ± 1,32 ^{Ab}	23,59 ± 2,25 ^{Aa*}
Stimulate®	19,36 ± 1,47 ^{Aa}	16,73 ± 1,72 ^{Aa}	18,42 ± 1,47 ^{Aa}	17,70 ± 1,03 ^{Ba}
Testemunha vs comum	16,17 ± 0,90*			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação entre bioestimulantes e rizobactérias.

Embora não tenham sido observados efeitos significativos sobre o crescimento primário das plantas (altura e folhas), os resultados sugerem possível redirecionamento energético para outras características da planta.

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi significativamente superior com a aplicação do Megafol[®] + Onix OG[®] (23,59 g. planta⁻¹), em comparação à testemunha (16,17 g planta⁻¹), correspondendo a 45,89% de incremento, além de diferir dos demais tratamentos (Tabela 5). Porém, observou-se também que o tratamento que apresentou maior

altura em números absolutos foi aquele que promoveu maior acúmulo de matéria seca da parte aérea, sugerindo que o manejo combinado com Megafol® + Onix OG® pode ter favorecido processos fisiológicos associados ao acúmulo de biomassa e, consequentemente, maior eficiência metabólica das plantas.

3.2 Trocas gasosas

A temperatura foliar (T_{leaf}) não foi significativamente alterada pelos tratamentos testados, com os valores médios entre 27,7 e 28,4°C. A maioria dos tratamentos apresentou taxa de transpiração (E) inferior à média geral da testemunha (Testemunha vs comum, 4,48 mmol m⁻² s⁻¹). Diferença estatisticamente significativa ocorreu nos tratamentos Arbolim® + Acta Force® (3,33 mmol m⁻² s⁻¹), Megafol® + Acta Force® (3,51 mmol m⁻² s⁻¹), Arbolim® + 4Bacter® (3,44 mmol m⁻² s⁻¹) e Lalstim Stress® + 4Bacter® (3,51 mmol m⁻² s⁻¹) (Tabela 6).

Tabela 6. Temperatura da folha (Tleaf), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e o déficit de pressão de vapor (DPV) em função de bioestimulantes e de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Temperatura da folha (Tleaf) °C				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix®
Arbolim®	28,01 ± 2,21 ^{Aa}	27,68 ± 1,94 ^{Aa}	28,23 ± 2,52 ^{Aa}	28,08 ± 2,52 ^{Aa}
Lalstim Stress®	28,30 ± 2,10 ^{Aa}	28,29 ± 2,21 ^{Aa}	28,24 ± 2,01 ^{Aa}	27,87 ± 2,08 ^{Aa}
Megafol®	28,22 ± 2,75 ^{Aa}	28,13 ± 2,11 ^{Aa}	28,07 ± 2,13 ^{Aa}	27,93 ± 2,74 ^{Aa}
Stimulate®	28,43 ± 1,74 ^{Aa}	28,12 ± 2,09 ^{Aa}	27,92 ± 2,13 ^{Aa}	28,05 ± 2,28 ^{Aa}
Testemunha vs comum	27,85 ± 2,03ns			
Taxa de transpiração (E) mmol m ⁻² s ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix®
Arbolim®	3,33 ± 0,25 ^{Aa*}	3,44 ± 0,74 ^{Ba*}	3,88 ± 0,91 ^{Aa}	3,62 ± 0,40 ^{Aa}
Lalstim Stress®	3,86 ± 0,70 ^{Aa}	3,51 ± 0,71 ^{Ba*}	4,16 ± 0,52 ^{Aa}	3,59 ± 0,47 ^{Aa}
Megafol®	3,51 ± 1,02 ^{Aa*}	3,66 ± 0,23 ^{Ba}	3,99 ± 0,64 ^{Aa}	4,06 ± 0,69 ^{Aa}
Stimulate®	3,88 ± 0,57 ^{Aa}	4,28 ± 1,08 ^{Aa}	3,51 ± 0,22 ^{Aa*}	3,93 ± 0,58 ^{Aa}
Testemunha vs comum	4,48 ± 0,27*			
Condutância estomática (Gs) mmol m ⁻² s ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix®
Arbolim®	134,16 ± 15,08 ^{Bb*}	164,65 ± 16,76 ^{Aa}	165,65 ± 17,70 ^{Ba}	163,63 ± 15,18 ^{Aa}
Lalstim Stress®	165,63 ± 13,29 ^{Aa}	149,57 ± 32,76 ^{Aa}	175,77 ± 06,16 ^{Aa}	157,09 ± 15,66 ^{Aa}
Megafol®	145,02 ± 22,79 ^{Bb}	176,79 ± 15,95 ^{Aa}	142,16 ± 27,24 ^{Bb}	177,03 ± 10,42 ^{Aa}
Stimulate®	166,98 ± 31,20 ^{Aa}	178,10 ± 14,73 ^{Aa}	168,65 ± 12,04 ^{Aa}	161,47 ± 05,68 ^{Aa}
Testemunha vs comum	177,07 ± 32,83*			
Déficit de pressão de vapor (DPV) Pa/kpa				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix®
Arbolim®	25,52 ± 3,52 ^{Ba}	24,67 ± 2,41 ^{Aa}	25,29 ± 3,93 ^{Aa}	25,20 ± 3,07 ^{Aa}
Lalstim Stress®	25,24 ± 3,17 ^{Ba}	25,67 ± 3,05 ^{Aa}	24,66 ± 2,92 ^{Aa}	24,86 ± 3,33 ^{Aa}
Megafol®	26,57 ± 2,06 ^{Aa*}	24,66 ± 2,69 ^{Ab}	25,51 ± 3,04 ^{Ab}	24,87 ± 3,97 ^{Aa}
Stimulate®	25,22 ± 3,40 ^{Ba}	24,49 ± 1,73 ^{Aa}	24,22 ± 2,28 ^{Aa}	24,98 ± 3,03 ^{Aa}
Testemunha vs comum	24,77 ± 2,19*			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs rizobactérias.

O resultado observado para Tleaf indica que não houve impacto significativo sobre o resfriamento evaporativo, mesmo diante das variações observadas na transpiração. A redução da transpiração sugere maior capacidade da planta em reter água, pois houve redução da perda hídrica por transpiração. Em ambientes semiáridos, tal regulação representa um mecanismo adaptativo essencial à manutenção da hidratação foliar e à proteção contra o estresse (Chaves *et al.*, 2016).

Para condutância estomática (Gs), a combinação Arbolim[®] + Acta Force[®] (134,16 mmol m⁻² s⁻¹) foi a única a apresentar redução estatisticamente significativa em comparação à testemunha (4,48 16 mmol m⁻² s⁻¹). Dentre as combinações dos bioestimulantes com as RBPC, o Megafol[®] + Acta Force[®], Arbolim[®] + Acta Force[®] e Megafol[®] + Biofree[®] também exibiram valores de Gs significativamente menores, mas apenas em relação às outras combinações (Tabela 6). A redução de Gs pode ser interpretada como estratégia adaptativa da planta para evitar a perda excessiva de água e prevenir a desidratação (Saradadevi *et al.*, 2017). Neste sentido, a menor E, sem alteração na Tleaf, indica que o fechamento estomático foi eficiente em economizar água.

A combinação Megafol[®] + Acta Force[®] (26,57 Pa/kpa) foi a única a apresentar um DPV significativamente maior em comparação à Testemunha (24,77 Pa/kpa), além de se destacar como superior aos demais bioestimulantes dentro da coluna Acta Force[®], evidenciando maior gradiente evaporativo folha-atmosfera (Tabela 6). Apesar do aumento do DPV, a Gs não apresentou variação significativa; contudo, houve redução da taxa de transpiração nesse tratamento, sugerindo que outros fatores podem estar regulando a perda de água.

As combinações Lalstim Stress[®] + Biofree[®] (13,01 μmol m⁻² s⁻¹) e Arbolim[®] + Onix OG[®] (12,50 μmol m⁻² s⁻¹) resultaram nas maiores taxas de assimilação de CO₂ (A), sendo as únicas que superaram estatisticamente a testemunha (7,83 μmol m⁻² s⁻¹), alcançando os maiores valores de A.

Tabela 7. Taxa de assimilação de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (Ci), concentração externa de CO₂ (Ca) e a relação entre a concentração interna e a externa de CO₂ (Ci/Ca) em função de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Taxa de assimilação de CO ₂ (A) μmol m ⁻² s ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	5,87 ± 0,76 ^{Bb}	6,97 ± 1,21 ^{Bb}	6,04 ± 1,02 ^{Cb}	12,50 ± 4,64 ^{Aa*}
Lalstim Stress®	7,81 ± 1,67 ^{Bb}	8,30 ± 0,53 ^{Bb}	13,01 ± 1,09 ^{Aa*}	7,20 ± 0,80 ^{Bb}
Megafol®	7,36 ± 1,06 ^{Ba}	8,10 ± 1,21 ^{Ba}	5,86 ± 0,82 ^{Ca}	7,70 ± 2,01 ^{Ba}
Stimulate®	10,44 ± 2,95 ^{Aa}	11,31 ± 0,54 ^{Aa}	9,12 ± 0,40 ^{Ba}	7,20 ± 0,41 ^{Ba}
Testemunha vs comum	7,83 ± 1,45*			
Concentração interna de CO ₂ (Ci) ppm				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	308,8 ± 11,43 ^{Aa}	301,5 ± 3,30 ^{Aa}	313,0 ± 26,40 ^{Aa}	272,8 ± 26,32 ^{Ab}
Lalstim Stress®	303,3 ± 20,34 ^{Aa}	298,2 ± 16,77 ^{Aa}	272,5 ± 18,67 ^{Ab}	299,8 ± 21,93 ^{Aa}
Megafol®	296,3 ± 19,08 ^{Aa}	297,0 ± 18,36 ^{Aa}	304,8 ± 18,66 ^{Aa}	299,4 ± 28,00 ^{Aa}
Stimulate®	293,3 ± 33,66 ^{Aa}	287,8 ± 13,19 ^{Aa}	295,7 ± 6,29 ^{Aa}	294,0 ± 11,03 ^{Aa}
Testemunha vs comum	299,4 ± 15,67 ns			
Concentração externa de CO ₂ (Ca) ppm				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	391,3 ± 2,40 ^{Aa}	390,5 ± 1,88 ^{Aa}	390,6 ± 3,77 ^{Aa}	382,3 ± 6,98 ^{Bb}
Lalstim Stress®	389,8 ± 1,52 ^{Aa}	390,1 ± 2,29 ^{Aa}	385,2 ± 2,14 ^{Aa}	389,8 ± 2,09 ^{Aa}
Megafol®	389,8 ± 1,56 ^{Aa}	388,8 ± 2,21 ^{Aa}	388,6 ± 4,07 ^{Aa}	388,3 ± 3,19 ^{Aa}
Stimulate®	388,5 ± 4,78 ^{Aa}	386,2 ± 3,22 ^{Aa}	388,6 ± 0,61 ^{Aa}	388,2 ± 1,45 ^{Aa}
Testemunha vs comum	388,4 ± 3,07 ns			
Concentração interna de CO ₂ /concentração ambiental de CO ₂ (Ci/Ca)				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	0,79 ± 0,03 ^{Aa}	0,77 ± 0,01 ^{Aa}	0,80 ± 0,06 ^{Aa}	0,71 ± 0,06 ^{Ab}
Lalstim Stress®	0,78 ± 0,05 ^{Aa}	0,76 ± 0,04 ^{Aa}	0,71 ± 0,05 ^{Ab}	0,77 ± 0,05 ^{Aa}
Megafol®	0,76 ± 0,05 ^{Aa}	0,76 ± 0,04 ^{Aa}	0,78 ± 0,04 ^{Aa}	0,77 ± 0,07 ^{Aa}
Stimulate®	0,75 ± 0,08 ^{Aa}	0,75 ± 0,03 ^{Aa}	0,76 ± 0,02 ^{Aa}	0,76 ± 0,03 ^{Aa}
Testemunha vs comum	0,77 ± 0,04ns			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs rizobactérias.

A concentração interna de CO₂ (Ci) e a concentração externa de CO₂ (Ca) não apresentaram diferença estatística entre as combinações e a testemunha. Enquanto isso, a relação Ci/Ca diferiu entre as combinações, com redução nas combinações Arbolim[®] + Onix OG[®] e Lalstim Stress[®] + Biofree[®]. Portanto, as variações na eficiência fotossintética estão associadas ao maior consumo de CO₂ no mesófilo. Esse padrão indica predominância do controle bioquímico eficiente da fotossíntese, com alta eficiência carboxilativa (atividade da Rubisco) (Farquhar *et al.*, 1980; Taiz *et al.*, 2015). Em outras palavras, o CO₂ está sendo

assimilado mais rapidamente do que é repostado no mesófilo, sugerindo que os bioestimulantes e rizobactérias tenham acelerado a fixação de carbono dentro da folha, superando as taxas observadas na testemunha.

A composição desses produtos fornece uma explicação bioquímica para o aumento da eficiência fotossintética observado. A Arbolina (Arbolim[®]) e o extrato de levedura (Lalstim Stress[®]) são ricos em aminoácidos, peptídeos, nucleotídeos e compostos fenólicos - moléculas com reconhecida ação elicitatória sobre o metabolismo primário da planta, estimulando a síntese proteica e a atividade enzimática no mesofilo (Goncharuk *et al.*, 2022). Estudos mostram que extratos de leveduras ricos em nucleotídeos e aminoácidos e compostos bioativos presentes em bioestimulantes, como aminoácidos e fenóis, podem desencadear respostas metabólicas nas plantas (Dima *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2024).

Paralelamente, as rizobactérias presentes em Biofree[®] (*Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasiliense*) e Onix OG[®] (*Bacillus methylotrophicus*) promovem fixação de nitrogênio, produção de fitormônios, solubilização de fósforo, disponibilidade de ferro por meio de sideróforos, elementos diretamente ligados à síntese e à atividade da Rubisco, ao transporte de elétrons e regeneração da RuBP (Su *et al.*, 2024; Habermann *et al.*, 2025). A ação combinada desses mecanismos provavelmente elevou a capacidade bioquímica do ciclo de Calvin, resultando em maior assimilação de CO₂, redução de Ci/Ca e caracterização de limitação não estomática.

O conteúdo relativo de água (CRA) foi significativamente superior ao da testemunha (57,2%), nas combinações Megafol[®] + Onix OG[®] (78,8%), seguido do Lalstim Stress[®] + Acta Force[®] (74,6 %), Stimulate[®] + 4Bacter[®] (72,9%) e Stimulate[®] + Biofree[®] (71,2 ± 6,96), evidenciando melhor hidratação e turgidez das folhas (Tabela 8).

Tabela 8. Conteúdo relativo de água (CRA), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) em função de bioestimulantes e rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Conteúdo relativo de água (CRA) %				
bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	55,1 ± 8,57 ^{Bb}	64,0 ± 8,28 ^{Ba}	67,5 ± 778 ^{Aa}	69,9 ± 2,75 ^{Ba*}
Lalstim Stress®	74,6 ± 2,90 ^{Aa*}	65,8 ± 4,09 ^{Bb}	64,0 ± 5,15 ^{Ab}	63,8 ± 6,82 ^{Ba}
Megafof®	65,6 ± 3,02 ^{Ab}	62,3 ± 10,82 ^{Bb}	64,8 ± 5,39 ^{Ab}	78,8 ± 1,79 ^{Aa*}
Stimulate®	68,0 ± 6,93 ^{Aa}	72,9 ± 5,11 ^{Aa*}	71,2 ± 6,96 ^{Aa*}	61,9 ± 1,80 ^{Bb}
Testemunha vs comum	57,2 ± 3,35*			
Eficiência instantânea do uso da água (EUA) µmol ⁻² mol ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	1,66 ± 0,11 ^{Ab}	2,38 ± 0,25 ^{Ab}	1,65 ± 0,23 ^{Bb}	3,98 ± 2,39 ^{Aa*}
Lalstim Stress®	2,06 ± 0,54 ^{Ab}	2,14 ± 0,17 ^{Ab}	3,27 ± 0,56 ^{Aa}	2,35 ± 0,32 ^{Bb}
Megafof®	2,18 ± 0,43 ^{Aa}	2,29 ± 0,66 ^{Aa}	2,20 ± 0,29 ^{Ba}	1,85 ± 0,39 ^{Ba}
Stimulate®	1,89 ± 0,40 ^{Aa}	2,67 ± 0,44 ^{Aa}	2,62 ± 0,27 ^{Aa}	2,35 ± 0,47 ^{Ba}
Testemunha vs comum	2,11 ± 0,18*			
Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) µmol ⁻² mol ⁻¹				
bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	0,045 ± 0,04 ^{Bb}	0,049 ± 0,00 ^{Ab}	0,042 ± 0,01 ^{Bb}	0,064 ± 0,02 ^{Aa}
Lalstim Stress®	0,047 ± 0,01 ^{Ba}	0,051 ± 0,01 ^{Aa}	0,065 ± 0,01 ^{Aa}	0,054 ± 0,01 ^{Aa}
Megafof®	0,052 ± 0,01 ^{Ba}	0,051 ± 0,01 ^{Aa}	0,042 ± 0,00 ^{Ba}	0,056 ± 0,01 ^{Aa}
Stimulate®	0,062 ± 0,01 ^{Aa}	0,055 ± 0,01 ^{Aa}	0,052 ± 0,01 ^{Ba}	0,053 ± 0,01 ^{Aa}
Testemunha vs comum	0,049 ± 0,01ns			
Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) µmol ⁻² mol ⁻¹				
bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	0,018 ± 0,00 ^{Bb}	0,026 ± 0,00 ^{Ab}	0,025 ± 0,01 ^{Bb}	0,048 ± 0,02 ^{Aa}
Lalstim Stress®	0,025 ± 0,00 ^{Bb}	0,028 ± 0,00 ^{Ab}	0,049 ± 0,00 ^{Aa}	0,026 ± 0,01 ^{Bb}
Megafof®	0,024 ± 0,00 ^{Ba}	0,027 ± 0,00 ^{Aa}	0,019 ± 0,00 ^{Ba}	0,030 ± 0,01 ^{Ba}
Stimulate®	0,038 ± 0,01 ^{Aa}	0,034 ± 0,01 ^{Aa}	0,031 ± 0,00 ^{Ba}	0,031 ± 0,00 ^{Ba}
Testemunha vs comum	0,033 ± 0,00ns			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs rizobactérias.

A betaína presente na formulação do Megafof® atua como osmoprotetor, contribuindo para a regulação osmótica das células, preservando a pressão osmótica e protegendo-as da desidratação (Sharma *et al.*, 2024). A aplicação de bioestimulantes contendo compostos osmoprotetores pode favorecer a retenção hídrica foliar e o ajuste osmótico em plantas submetidas a estresse, auxiliando na manutenção do turgor celular (Jiménez-Arias *et al.*, 2021). A elevação do CRA nas combinações mencionadas pode refletir a ativação desses mecanismos osmóticos induzidos pelos bioestimulantes e rizobactérias, permitindo que as plantas de alho mantenham hidratação e turgidez, o que favorece processos como fotossíntese,

transporte de nutrientes e crescimento. Vale destacar que este resultado reforça o comportamento apresentado na Gs, onde o menor CRA foliar (Tabela 8) ocorreu no tratamento Arbolim® + Acta Force®, que também proporcionou a menor Gs (Tabela 8). A redução de Gs está fortemente associada à diminuição do potencial hídrico, atuando como uma das primeiras respostas e mecanismo de proteção para se evitar perdas excessivas por transpiração (Salamóm *et al.*, 2025).

As RBPC também têm sido relacionadas a um impacto positivo na quantidade relativa de água das plantas. Acredita-se que a produção externa de osmoprotetores, como a prolina, e fitormônios, como o ácido indol-acético (IAA), permita que essas rizobactérias contribuam para o aumento do teor relativo de água nas folhas (Ahluwalia *et al.*, 2021). Dentre as rizobactérias nos produtos avaliados, *Azospirillum brasiliense*, *Azotobacter vinelandii*, espécies de *Bacillus* (p. ex., *B. subtilis*, *B. megaterium* e *B. methylotrophicus*) e *Pseudomonas fluorescens* já foram relacionados à produção de IAA e à indução da síntese ou acúmulo de osmoprotetores em plantas sob estresse, auxiliando para maior turgidez da folha e conteúdo de água nas plantas tratadas em comparação com o controle (Bouremani *et al.*, 2023).

A Eficiência Instantânea do Uso da Água (EUA) foi maximizada pela combinação Arbolim® + Onix OG® ($3,98 \mu\text{mol}^{-2} \text{mol}^{-1}$), sendo a única que superou estatisticamente a testemunha ($2,11 \mu\text{mol}^{-2} \text{mol}^{-1}$) (Tabela 8). Esse resultado decorre da relação entre taxa de assimilação de CO₂ elevada (A) (Tabela 7) e perdas de água reduzidas, expressas pela transpiração (Tabela 6), confirmando que essa combinação promoveu maior economia hídrica na conversão de carbono.

Em relação à Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EiUA), embora não tenha havido diferença estatisticamente significativa entre as combinações e a testemunha, as maiores eficiências em valores absolutos foram observadas em Lalstim Stress® + Biofree® ($0,065 \pm 0,01$), Arbolim® + Onix OG® ($0,064 \pm 0,02$) e Stimulate® + Acta Force® ($0,062 \pm 0,01$) (Tabela 8). Um valor elevado de EiUA, aliado à Gs (Tabela 6), reforça que os tratamentos favoreceram a assimilação de CO₂ de modo eficiente, garantindo que o metabolismo do carbono prevalecesse sem perdas excessivas de água (Mcausland *et al.*, 2016).

As duas combinações com maior A (Tabela 7) foram também as que apresentaram os maiores valores de Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiC): Lalstim Stress® + Biofree® ($0,049 \mu\text{mol}^{-2} \text{mol}^{-1}$) e Arbolim® + Onix OG® ($0,048 \mu\text{mol}^{-2} \text{mol}^{-1}$) (Tabela 8). Esses valores elevados de EiC corroboram a hipótese de limitação bioquímica e não estomática da fotossíntese. A baixa Ci (Tabela 7) observada nesses tratamentos não resultou de um

fechamento estomático excessivo, mas da rápida e eficiente fixação do CO₂ pela Rubisco, confirmando o princípio da limitação não estomática (Farquhar *et al.*, 1980).

Os resultados indicam que os bioestimulantes atuaram como moduladores fisiológicos: o Megafol[®] (composto por betaína e extratos vegetais) destacou-se na resiliência hídrica e na conservação de água (alto CRA e Gs modulado), sendo essencial para o maior acúmulo de MSPA. Por outro lado, o Lalstim Stress[®] (rico em aminoácidos) e o Arbolim[®] (Arbolina[®], nanotecnologia que fornece carbono orgânico e nitrogênio a célula do vegetal), mostraram-se aceleradores bioquímicos, otimizando a A e a EiC. O papel das rizobactérias, como o Onix OG[®] (*Bacillus methylothrophicus*) e o Biofree[®] (*P. fluorescens* e *A. brasilense*), possivelmente foi importante como catalisadores energético-nutricionais, fornecendo o suporte para que o estímulo fisiológico fosse sustentado pela otimização da absorção de nutrientes.

Esse desempenho deve ser interpretado sob as condições ambientais, visto que a análise das condições climáticas (Figura 2) contextualiza as respostas fisiológicas em um ambiente de estresse abiótico marcado por calor intenso e alta demanda evaporativa (Figura 2A e 2B). Durante as fases de bulbificação e maturação da cultivar Ito, períodos que geralmente exigem temperaturas mais amenas, as temperaturas alcançaram picos de 28 a 30 °C (Figura 2A). Esse fato foi ainda mais acentuado pela baixa umidade relativa do ar (Figura 2B), que ficou abaixo de 70%, gerando elevada Demanda Evaporativa Atmosférica (DEA).

O aumento do CRA, especialmente em tratamentos com Megafol[®] (graças à betaína), houve ativação de mecanismos de proteção celular contra a desidratação causada pelas intensas perdas de água exigidas pela DEA (Sharma *et al.*, 2024). Já a alta EiC demonstra que os tratamentos permitiram à planta manter uma fixação de carbono eficiente (alta taxa de assimilação, A), mesmo quando as condições de calor impuseram limitações estomáticas. Isso sugere que a estratégia de mitigação dos insumos não se limitou apenas ao controle estomático, mas também envolveu otimização bioquímica da fotossíntese como resposta ao estresse evaporativo e térmico (Mcausland *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2022).

A concentração de clorofila *a* não apresentou diferença estatística entre combinações de bioestimulantes e rizobactérias e nem em relação à testemunha (0,44 mg g⁻¹), ao passo que clorofila *b* e clorofila total mostraram respostas significativas (Tabela 9).

Tabela 9. Clorofila *a*, *b*, total e carotenoides, em função de bioestimulantes de rizobactérias na cultura do alho, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Clorofila <i>a</i> mg g ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force [®]	4Bacter [®]	Biofree [®]	Onix OG [®]
Arbolim [®]	0,43 ± 0,07 ^{Aa}	0,40 ± 0,03 ^{Aa}	0,41 ± 0,07 ^{Aa}	0,36 ± 0,04 ^{Aa}
Lalstim Stress [®]	0,37 ± 0,04 ^{Aa}	0,42 ± 0,07 ^{Aa}	0,46 ± 0,06 ^{Aa}	0,42 ± 0,02 ^{Aa}
Megafol [®]	0,43 ± 0,08 ^{Aa}	0,46 ± 0,05 ^{Aa}	0,45 ± 0,06 ^{Aa}	0,43 ± 0,05 ^{Aa}
Stimulate [®]	0,44 ± 0,03 ^{Aa}	0,44 ± 0,05 ^{Aa}	0,41 ± 0,06 ^{Aa}	0,42 ± 0,03 ^{Aa}
Testemunha vs comum	0,44 ± 0,03 ns			
Clorofila <i>b</i> mg g ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force [®]	4Bacter [®]	Biofree [®]	Onix OG [®]
Arbolim [®]	0,27 ± 0,03 ^{Aa}	0,28 ± 0,03 ^{Aa}	0,29 ± 0,02 ^{Aa}	0,22 ± 0,09 ^{Ba}
Lalstim Stress [®]	0,32 ± 0,05 ^{Ba}	0,26 ± 0,04 ^{Aa}	0,31 ± 0,07 ^{Aa}	0,31 ± 0,08 ^{Ba}
Megafol [®]	0,31 ± 0,06 ^{Aa}	0,25 ± 0,05 ^{Ab}	0,34 ± 0,05 ^{Ab}	0,56 ± 0,13 ^{Aa*}
Stimulate [®]	0,21 ± 0,01 ^{Bb}	0,33 ± 0,06 ^{Ab}	0,42 ± 0,05 ^{Aa}	0,29 ± 0,08 ^{Aa}
Testemunha vs comum	0,27 ± 0,05*			
Clorofila total mg g ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force [®]	4Bacter [®]	Biofree [®]	Onix OG [®]
Arbolim [®]	0,79 ± 0,07 ^{Aa}	0,68 ± 0,05 ^{Aa}	0,67 ± 0,06 ^{Aa}	0,58 ± 0,13 ^{Ba}
Lalstim Stress [®]	0,66 ± 0,12 ^{Ba}	0,67 ± 0,10 ^{Aa}	0,77 ± 0,10 ^{Aa}	0,71 ± 0,04 ^{Ba}
Megafol [®]	0,86 ± 0,10 ^{Aa}	0,71 ± 0,10 ^{Ab}	0,79 ± 0,11 ^{Ab}	0,95 ± 0,17 ^{Aa*}
Stimulate [®]	0,65 ± 0,02 ^{Bb}	0,79 ± 0,09 ^{Ab}	0,84 ± 0,08 ^{Aa}	0,83 ± 0,04 ^{Aa}
Testemunha vs comum	0,71 ± 0,07*			
Carotenoides mg g ⁻¹				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force [®]	4Bacter [®]	Biofree [®]	Onix OG [®]
Arbolim [®]	12,15 ± 0,45 ^{Ba}	11,96 ± 0,26 ^{Ba}	12,15 ± 0,32 ^{Ba}	10,16 ± 1,77 ^{Cb}
Lalstim Stress [®]	11,56 ± 0,79 ^{Ba}	11,61 ± 0,65 ^{Ba}	11,39 ± 0,70 ^{Ba}	11,27 ± 0,89 ^{Ca}
Megafol [®]	11,75 ± 0,20 ^{Bb}	10,56 ± 1,48 ^{Bb}	12,40 ± 0,39 ^{Bb}	21,57 ± 2,22 ^{Aa*}
Stimulate [®]	21,85 ± 1,66 ^{Aa*}	13,26 ± 1,01 ^{Ad}	17,38 ± 1,55 ^{Ab*}	15,14 ± 3,05 ^{Bc*}
Testemunha vs comum	11,65 ± 0,46*			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas comparam na coluna e letras minúsculas comparam na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs rizobactérias.

A combinação Megafol[®] + Onix OG[®] registrou os maiores valores absolutos e os únicos a superar a testemunha para clorofila *b* (0,56 mg g⁻¹) e clorofila total (0,95 mg g⁻¹). O aumento da clorofila total foi, portanto, impulsionado pelo incremento na clorofila *b*. Ajustes nos níveis de clorofilas são indicativos de mudanças na eficiência de captação de energia luminosa, frente as condições flutuantes. A clorofila *b* atua como pigmento acessório, expandindo a área de captação de luz e aumentando a eficiência de captação de energia nos complexos coletores de luz (Eggink, Park e Hooper, 2001; Kume, Akitsu e Nasahara, 2018).

A concentração de carotenoides também apresentou diferenças expressivas, sobretudo em Megafol® + Onix OG® e Stimulate®, com diferentes fontes de rizobactérias, que superaram a testemunha. Os carotenoides são pigmentos fundamentais para a fotoproteção, atuando na dissipação de energia excedente e na neutralização de espécies reativas de oxigênio (Sun *et al.*, 2022). O aumento observado nesses tratamentos sugere ajustes fotoquímicos de proteção em relação a danos, inclusive "térmicos", associados à dissipação de energia na forma de calor, podendo reduzir potenciais danos foto-oxidativos (Duffy e Ruban, 2015). Vale destacar que os tratamentos com maiores carotenoides incluíram rizobactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus*, reconhecidas pela capacidade de promover respostas antioxidantes em plantas (Chandran, Meena e Swapnil, 2021; Kaushal e Pati, 2025).

Portanto, a resposta dos pigmentos fotossintéticos, especialmente em Megafol® + Onix OG®, corrobora o aumento da MSPA e os ganhos fisiológicos discutidos anteriormente, revelando que essa combinação também fortaleceu o aparato fotoquímico no sentido de pigmentos para maior desempenho sob ambiente adverso.

4 CONCLUSÕES

Os efeitos dos produtos não se concentram no crescimento primário, mas na regulação de processos fisiológicos. O Megafol® + Onix OG® promoveu maior produção de matéria seca da parte aérea, maior conteúdo relativo de água e elevação das concentrações dos pigmentos fotossintéticos. As combinações Arbolim® + Onix OG® e Lalstim Stress® + Biofree® intensificaram a assimilação de CO₂ e a eficiência carboxilativa.

REFERÊNCIAS

- AHLUWALIA, O. *et al.* A review on drought stress in plants: implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 5, p. 100032, set. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>.
- ALI, S. *et al.* Molecular communication of microbial plant biostimulants in the rhizosphere under abiotic stress conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 22, p. 12424, 19 nov. 2024. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms252212424>.
- ALSHEGAIHI, R. M. *et al.* Effects of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on Cu stress in maize (*Zea mays* L.) with a focus on oxidative damage, antioxidant responses, and gene expression. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 2437-2455, 15 fev. 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-024-01662-8>.
- AZEEM, M. *et al.* Bacillus species as potential plant growth promoting rhizobacteria for drought stress resilience. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 70, n. 4, 25 maio 2023. <http://dx.doi.org/10.1134/s1021443723600538>.
- BOUREMANI, N. *et al.* Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress. **Water**, v. 15, n. 3, p. 418, 19 jan. 2023. <http://dx.doi.org/10.3390/w15030418>.
- CARMO, M. A. P. *et al.* Bioestimulants applied to seeds and sweet corn plants under abiotic stress conditions. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 31727-31741, 29 mar. 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-747>.
- CAVALCANTE, F. *et al.* Actinobactérias benéficas do solo: potencialidades de uso como promotores de crescimento vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 19, n. 40, 15 dez. 2022. 10.18677/EnciBio_2022B2
- CAVALCANTE, W. S. S. *et al.* Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, n. 4, p. 754-763, 16 dez. 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p754-763>.
- CHANDRAN, H.; MEENA, M.; SWAPNIL, P. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as a Green Alternative for Sustainable Agriculture. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 1-30, 3 out. 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/su131910986>.
- CHAVES, M. M. *et al.* Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool? **Plant Science**, v. 251, p. 54-64, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.06.015>.
- DAS, S. *et al.* Response of biofertilizers and primary nutrients on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in new alluvial soil of West Bengal. **Current Journal of Applied Science and Technology**, p. 1-7, 14 mai. 2020. <http://dx.doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i103062>.
- DIMA, S. O. *et al.* Plant Biostimulant Effects of Baker's Yeast Vinasse and Selenium on Tomatoes through Foliar Fertilization. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 133, 16 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10010133>.

DUFFY, Christopher D.P.; RUBAN, Alexander V. Dissipative pathways in the photosystem-II antenna in plants. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 152, p. 215-226, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.09.011>.

EGGINK, L. L.; PARK, H.; HOOBER, J. K. The role of chlorophyll b in photosynthesis: hypothesis. **Bmc Plant Biology**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 17 out. 2001. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-1-2>.

FARQUHAR, G. D. *et al.* A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, v. 149, n. 1, p. 78-90, jun. 1980. <https://doi.org/10.1007/BF00386231>.

FATNASSI, I. C. *et al.* Impact of dual inoculation with *Rhizobium* and PGPR on growth and antioxidant status of *Vicia faba* L. under copper stress. **Comptes Rendus. Biologies**, v. 338, n. 4, p. 241-254, 5 mar. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crvi.2015.02.001>.

FRANZONI, G. *et al.* O tempo de maceração afeta a eficácia dos extratos de borragem como potencial bioestimulante na salada de rúcula. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2182, 28 out. 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112182>.

GONCHARUK, E. A. *et al.* The Elicitor Effect of Yeast Extract on the Accumulation of Phenolic Compounds in *Linum grandiflorum* Cells Cultured In Vitro and Their Antiradical Activity. **Biology Bulletin**, v. 49, n. 6, p. 620-628, dez. 2022. Pleiades Publishing Ltd. <http://dx.doi.org/10.1134/s1062359022060061>.

GOUDA, A. E. A. I.; MOSA, A. A. A. Effect of different potassium and sulfur fertilization rates and silicate and/or thiobacilli bacteria inoculation on garlic (*Allium sativum* L.). **Journal of Plant Production**, v. 6, n. 8, p. 1371-1384, 2015.

GULL, A. *et al.* Estresses bióticos e abióticos em plantas. **Estresse Abiótico e Biótico em Plantas**, v. 7, n. 8, p. 1371 - 1384, agost. 2019. Disponível em: https://web.archive.org/web/20200320115210id_/https://jpp.journals.ekb.eg/article_51863_9800db878ecf753e09c5d1e465299e89.pdf. Acesso em: 10 fev. 2026.

HABERMANN, E. *et al.* Mariangela. Inoculation with plant growth-promoting bacteria mitigates the negative impacts of 2 °C warming on the photosynthesis, growth, and nutritional value of a tropical C₄ grassland under field conditions. **Science Of The Total Environment**, v. 967, p. 178769, mar. 2025. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178769>.

HAMMOND, J. C. *et al.* Going Beyond Low Flows: streamflow drought deficit and duration illuminate distinct spatiotemporal drought patterns and trends in the us. during the last century. **Water Resources Research**, v. 58, n. 9, p. 1-20, 30 ago. 2022. <http://dx.doi.org/10.1029/2022wr031930>.

HOLANDA, J. S. *et al.* **Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte**. Série Documentos, n. 46. Parnamirim, RN: EMPARN, 2017. 34 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 4. ed. São Paulo, 2005. 533 p.

JIMÉNEZ-ARIAS, D. *et al.* A beginner's guide to osmoprotection by biostimulants. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 363, 13 fev. 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10020363>.

KHALID, F. *et al.* Plant biostimulants: mechanisms and applications for enhancing plant resilience to abiotic stresses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, n. 2, p. 1-16, 24 set. 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-024-01996-3>.

KRILLTECH. **Nanotecnologia Agro. Instruções de Uso - Arbolin Biogenesis®**. Disponível em: <https://krilltech.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Instrucoes-de-Uso-Arbolin-.pdf>. Acesso em: 19 maio 2026.

KUME, A.; AKITSU, T.; NASAHARA, K. N. Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems? **Journal Of Plant Research**, v. 131, n. 6, p. 961-972, 10 jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s10265-018-1052-7>.

LALLEMAND SOLUÇÕES BIOLÓGICAS. **Ficha de informação de segurança do produto químico**. Piracicaba, SP, 7 p. 2024.

LATEF, A. A. H. A. *et al.* Mitigation of copper stress in maize by inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Bacillus circulans*. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1513, 8 nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/plants9111513>.

LIHAVAINEN, J. *et al.* Low vapour pressure deficit affects nitrogen nutrition and foliar metabolites in silver birch. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 14, p. 4353-4365, 3 jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erw218>.

LUCENA, R. R. M. *et al.* Desempenho produtivo de cultivares de alho semi-nobre vernalizadas na mesorregião oeste potiguar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 327-337, 3 maio 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n209rc>.

MA, Y. *et al.* Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-18, 13 nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>.

MCAUSLAND, L. *et al.* Effects of kinetics of light-induced stomatal responses on photosynthesis and water-use efficiency. **New Phytologist**, v. 211, n. 4, p. 1209-1220, 2016.

MORAIS, É. G. *et al.* Vernalização com temperaturas negativas melhora a qualidade do alho nobre cultivado no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 30, n. 2, p. 1-9, nov. 2026. Disponível em: <https://www.agriambi.com.br/revista/v30n02/v30n02a10.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2026.

MORAIS, E. G. *et al.* Vernalização do alho semente com temperaturas negativas aumenta a produtividade de alho nobre no semiárido brasileiro. **Horticulturae**, v. 9, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347015122>.

MORAVYEVIC, D. *et al.* Effect of plant density on the characteristics of photosynthetic apparatus of garlic (*Allium sativum* var. *vulgare* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 71, p. 1-8, 14 nov. 2011. <http://dx.doi.org/10.5897/ajb11.105>.

NASSER, V. G. *et al.* Biostimulant action of tryptophol in garlic cloves planting: metabolic and productivity enhancements. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 44, 5329-5339 p. 18 jun. 2025. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344>.

OLIVEIRA, A. P. C.; MARTINS, K. V. Produção e qualidade de alho nobre submetido a diferentes períodos de pré-câmara. **Cerrado Agrociências**, v. 12, p. 86-93, 16 dez. 2021. Disponível em:

<https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrociencias/article/view/2991/1737>. Acesso em: 10 fev. 2026.

PARADIKOVIĆ, N. *et al.* Biostimulants research in some horticultural plant species: a review. **Food and Energy Security**, v. 8, n. 2, p. 1–17, dez. 2019. <https://doi.org/10.1002/fes3.162>.

PRASAD, K. Stimulation effect of rhizospheric microbes' plant growth promoting rhizobacteria, glycoprotein producing AM fungi and synthetic fertilizers application on growth, yield, nutrient's acquisition and alliin content of garlic cultivation under field conditions in Southeast Region of Rajasthan, India. **Advances in Earth & Environmental Science**, v. 3, n. 2, p. 1-15, 9 mai. 2022. Disponível em: <https://unisciencepub.com/wp-content/uploads/2022/05/Stimulation-Effect-of-Rhizospheric-Microbes.pdfA>. Acesso em: 10 fev. 2026.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Version 4.3.3. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: https://www.r-project.org/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 20 de mar. 2026.

RAI, N. *et al.* Prospects for abiotic stress tolerance in crops utilizing phyto- and bio-stimulants. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 754853, 21 nov. 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.754853>.

REDDY, M. (orgs.) **Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas para o manejo sustentável do estresse**. Microorganismos para a Sustentabilidade, v. 12. Singapura: Springer, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_5.

SALOMÓN, R. L. *et al.* The Sequence of Drought-Driven Stomatal Closure, Stem Xylem Embolism, Dehydration, and Aquaporin Gene Expression Differs Among Species. **Physiologia Plantarum**, v. 177, n. 6, p. 70619, nov. 2025. <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.70619>.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa,– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 20 mai. 2026.

SARADADEVI, R. *et al.* ABA-mediated stomatal response in regulating water use during the development of terminal drought in wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1251, 17 jul. 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01251>.

SCOPEL, W. *et al.* Extração de pigmentos foliares em plantas de canola. **Unoesc e Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-94, jun. 2011. Disponível em: https://periodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/137/pdf_135. Acesso em: 10 fev. 2026.

SHARMA, J. *et al.* Emerging role of osmoprotectant glycine betaine to mitigate heavy metals toxicity in plants: a systematic review. **Biologia Futura**, v. 75, n. 2, p. 159-176, 6 jan. 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s42977-023-00198-9>.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2009. v. 2, p. 1-627.

SINGH, J. *et al.* Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas: substitutos benignos e úteis para a mitigação de estresses bióticos e abióticos. In: SAYYED, R.; ARORA, N.;

REDDY, M. (org.). Rizobactérias promotoras do crescimento vegetal para o manejo sustentável do estresse. **Microorganismos para a sustentabilidade**, v. 12, p. 81-101, 29 ago. 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_5.

SOUZA, R. J. *et al.* Absorção de nutrientes em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas cultivado sob doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 498-503, dez. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362011000400009>.

STOLLER. **Bula Stimulate - Composição**. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/produtos/fisiologicos/stimulate10x/bula-stimulate.html>. Acesso em: 19 maio 2026.

SU, F. *et al.* Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Modulate Carbohydrate Metabolism in Connection with Host Plant Defense Mechanism. **International Journal Of Molecular Sciences**, v. 25, n. 3, p. 1465, 25 jan. 2024. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms25031465>.

SUN, T.; RAO, S.; ZHOU, X.; LI, L. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. **Molecular Horticulture**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 21 jan. 2022. <http://dx.doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>.

SUN, W. *et al.* Amino Acids Biostimulants and Protein Hydrolysates in Agricultural Sciences. **Plants**, v. 13, n. 2, p. 210, 11 jan. 2024. <http://dx.doi.org/10.3390/plants13020210>.

TAIZ, L. *et al.* **Plant Physiology and Development**. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2015.

TARIQ, S.; Bano, A. ; Khan, N . Comparative analysis of various strains of plant growth promoting rhizobacteria on the physiology of garlic (*Allium sativum*). **Natural Science**, v. 15, n. 3, p. 79-90, mar. 2023. 10.4236/ns.2023.153007.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

TORTORA, G. J. *et al.* **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, P. *et al.* Light and Water Conditions Co-Regulated Stomata and Leaf Relative Uptake Rate (LRU) during Photosynthesis and CO₂ Assimilation: a meta-analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 2840, 28 fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/su14052840>.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81–97, mar. 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>.

YAO, H. *et al.* Plant density alters nitrogen partitioning among photosynthetic components, leaf photosynthetic nitrogen use efficiency in field-grown cotton. **Field Crops Research**, v. 184, p. 39-49, dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.5897/ajb11.105>.

CAPÍTULO II

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE ALHO NOBRE CULTIVADO NO SEMIARIDO SOB APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E RIZOBACTÉRIAS

RESUMO

As condições atípicas de cultivo do alho nobre em baixa altitude sob semiárido é um desafio, exigindo estratégias para melhorar o desenvolvimento e produtividade da cultura. Os bioestimulantes e as rizobactérias promovem benefícios às plantas, como melhorias no crescimento, desenvolvimento, aumento de produtividade e capacidade de tolerância a estresses abióticos. O trabalho objetivou avaliar a produção e qualidade de alho nobre, cultivado em condições semiáridas, em função do uso de bioestimulantes e rizobactérias. O ensaio experimental foi conduzido em campo, no município de Mossoró – RN. Foram testadas quatro formulações de bioestimulantes (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®] e Stimulate[®]) e quatro tipos de produtos fonte de rizobactérias (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®] e Onix OG[®]) combinadas e uma testemunha absoluta, com quatro repetições e alocada em delineamento de blocos ao acaso. Foram avaliadas as características de produção, qualidade pós-colheita e nutricionais da parte aérea e dos bulbos. Os dados foram submetidos a ANOVA e teste de Scott-knott a 5% de probabilidade e ao teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). A combinação de Stimulate[®] + Biofree[®] aumentou a produtividade comercial (5,60 t ha⁻¹) e reduziu bulbos não comerciais (0,86 t ha⁻¹), em comparação ao controle. O Megafol[®] + Onix OG[®] elevou a porcentagem de bulbos de classe 5 (13,42%). O Megafol[®] + 4Bacter[®] ou Biofree[®] aumentou a pungência (107 µMoles de ácido pirúvico por mL de suco) e o índice industrial do alho (47%). A associação de bioestimulantes e rizobactérias melhorou a qualidade e potencial industrial do alho, com destaque para Stimulate[®] + Biofree[®] e Megafol[®] + Onix OG[®].

Palavras-chave: *Allium sativum* L., bioestimulação, produção, pós-colheita, eficiência dos nutrientes.

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF GARLIC BULBS GROWN IN SEMI-ARID REGIONS UNDER THE APPLICATION OF BIOSTIMULANTS AND RHIZOBACTERIA.

ABSTRACT

The atypical growing conditions of high-altitude garlic in semi-arid regions present a challenge, requiring strategies to improve crop development and productivity. Biostimulants and rhizobacteria offer benefits to plants, such as improved growth, development, increased productivity, and tolerance to abiotic stresses. This study aimed to evaluate the production and quality of high-altitude garlic, cultivated under semi-arid conditions, as a function of the use of biostimulants and rhizobacteria. The experimental trial was conducted in the field in the municipality of Mossoró – RN. Four biostimulant formulations (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®], and Stimulate[®]) and four types of rhizobacteria-based products (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®], and Onix OG[®]) were tested in combination, along with an absolute control, with four replicates and allocated in a randomized block design. The production, post-harvest quality, and nutritional characteristics of the aerial part and bulbs were evaluated. Data were subjected to ANOVA and Scott-Knott test at 5% probability and Dunnett's test ($p \leq 0.05$). Pearson's correlation was performed with the variables of production, quality, and nutrition in the bulb. The combination of Stimulate[®] + Biofree[®] increased commercial productivity (5.60 t ha^{-1}) and reduced non-commercial bulbs (0.86 t ha^{-1}) compared to the control. Megafol[®] + Onix OG[®] increased the percentage of class 5 bulbs (13.42%). Megafol[®] + 4Bacter[®] or Biofree[®] increased pungency ($107 \text{ } \mu\text{mol}$ of pyruvic acid per mL of juice) and the industrial index of garlic (47%). The association of biostimulants and rhizobacteria improved the quality and industrial potential of garlic, with Stimulate[®] + Biofree[®] and Megafol[®] + Onix OG[®] standing out.

Keywords: *Allium sativum* L., biostimulation, production, post-harvest, nutrient efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de alho (*Allium sativum* L.) ocupa uma área de aproximadamente 1,7 milhão de hectares, resultando na produção de 29,7 milhões de toneladas, sendo a China e a Índia os maiores produtores mundiais (FAO, 2024). Segundo os dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE/PAM), no Brasil a produtividade anual foi de 13,65 t ha⁻¹ em 2023 (IBGE, 2024), ao passo que produção total é de aproximadamente 172,8 mil toneladas em 12,9 mil hectares cultivados (FAO, 2024). No entanto, esse volume ainda é insuficiente para atender à alta demanda do país, tornando o Brasil carente da importação de alho, especialmente da Argentina e da China (Gründling *et al.*, 2021; Souza e Cruz, 2024).

O cultivo do alho nobre em regiões semiáridas impõe desafios, especialmente em razão das condições climáticas adversas, fatores limitantes à produção, como altas temperaturas e radiação, que afetam o DPV e eficiência do cultivo. O alho nobre, em particular, é bastante sensível à temperatura elevada e ao fotoperíodo curto, devido à sua origem em regiões de clima frio (Atif *et al.*, 2019; Landau *et al.*, 2020; Luz *et al.*, 2022), necessitando predominantemente de temperaturas entre 10°C e 15°C e mais de 13 horas de luz para bulbificação e desenvolvimento da planta (Wu, Cheng e Meng, 2016). No entanto, pesquisas recentes têm demonstrado resultados positivos na adaptação do alho nobre a essas condições por meio da técnica de vernalização (Luz *et al.*, 2023; Morais *et al.*, 2023; Morais *et al.*, 2026), porém ainda insatisfatórios quando se compara ao desempenho da planta nas condições naturais de cultivo (Morais *et al.*, 2023). Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias que minimizem os efeitos do estresse abiótico e melhorem o desempenho da planta em tais condições torna-se essencial para incrementar a produção em ambientes semiáridos, configurando-se como estratégia promissora para expansão da cultura. O uso de bioestimulantes e rizobactérias promotoras de crescimento (RBPC) destaca-se como alternativa de grande potencial.

Os bioestimulantes têm sido foco de estudos não apenas por aumentarem o rendimento das culturas, como também por auxiliarem no enfrentamento de estresses abióticos (Gupta *et al.* 2022; Santos *et al.* 2023; Jesus *et al.* 2024). Esses produtos são compostos por diferentes substâncias, isoladas ou em mistura delas, que incluem aminoácidos, fitohormônios vegetais, vitaminas, nutrientes, ácidos fúlvicos e húmicos, dentre outros componentes (Dujardin *et al.*, 2015; Khalid *et al.*, 2024). Trabalhos cinetíficos já reportaram ganhos na produtividade e qualidade do alho com a utilização de bioestimulantes (Abdel-RAzzak e El-Sharkawy, 2013;

Paradić et al., 2014; Balmori et al., 2019). Os relatos atestam aumento da massa dos bulbos e redução das perdas de massa durante o armazenamento, maior calibre dos bulbos e bulbilhos e efeitos sobre a qualidade (pungência, teor de proteína, carboidratos, firmeza).

Diversos estudos mostram que as RBPC favorecem o crescimento vegetal, aumentam a resistência a doenças e estresses ambientais, além de reduzirem a dependência de fertilizantes e defensivos químicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável (Pérez-Montaña et al., 2020; Meyer et al., 2022; Silva et al., 2023). Em trabalhos realizados com a cultura do alho, a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* mostrou-se eficaz na melhoria das características produtivas e na redução da necessidade de adubação mineral (NPK), com destaque para o aumento do número de bulbilhos (Souza e Cruz, 2024). A aplicação de *Azotobacter lipoferum* + *Bacillus polymixa* associada à adubação NPK elevou a produtividade do alho e possibilitou a redução de 25% do uso de fertilizante inorgânico (Das et al., 2020).

Portanto, a utilização de bioestimulante com as rizobactérias pode não só complementar os efeitos benéficos da vernalização no desenvolvimento do alho nobre, como também representa uma estratégia sustentável e promissora para aumentar a produtividade nessas condições desafiadoras e promover um desenvolvimento da cultura mais eficiente. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção e a qualidade de alho nobre em função da aplicação de bioestimulantes combinada com rizobactérias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O ensaio experimental foi desenvolvido no período de junho a setembro de 2023, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), situada no distrito Alagoinha, município de Mossoró, RN, Brasil ($5^{\circ}3'33''$ S, $37^{\circ}23'50''$ W, com altitude 72 m) (Figura 1). O clima da é do tipo BSh, conforme classificação de Köppen, sendo registradas temperatura média de $27,3^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar de 73,8% e precipitação média de 0,3 mm ao longo do experimento (Figuras 2A, B e C, respectivamente).

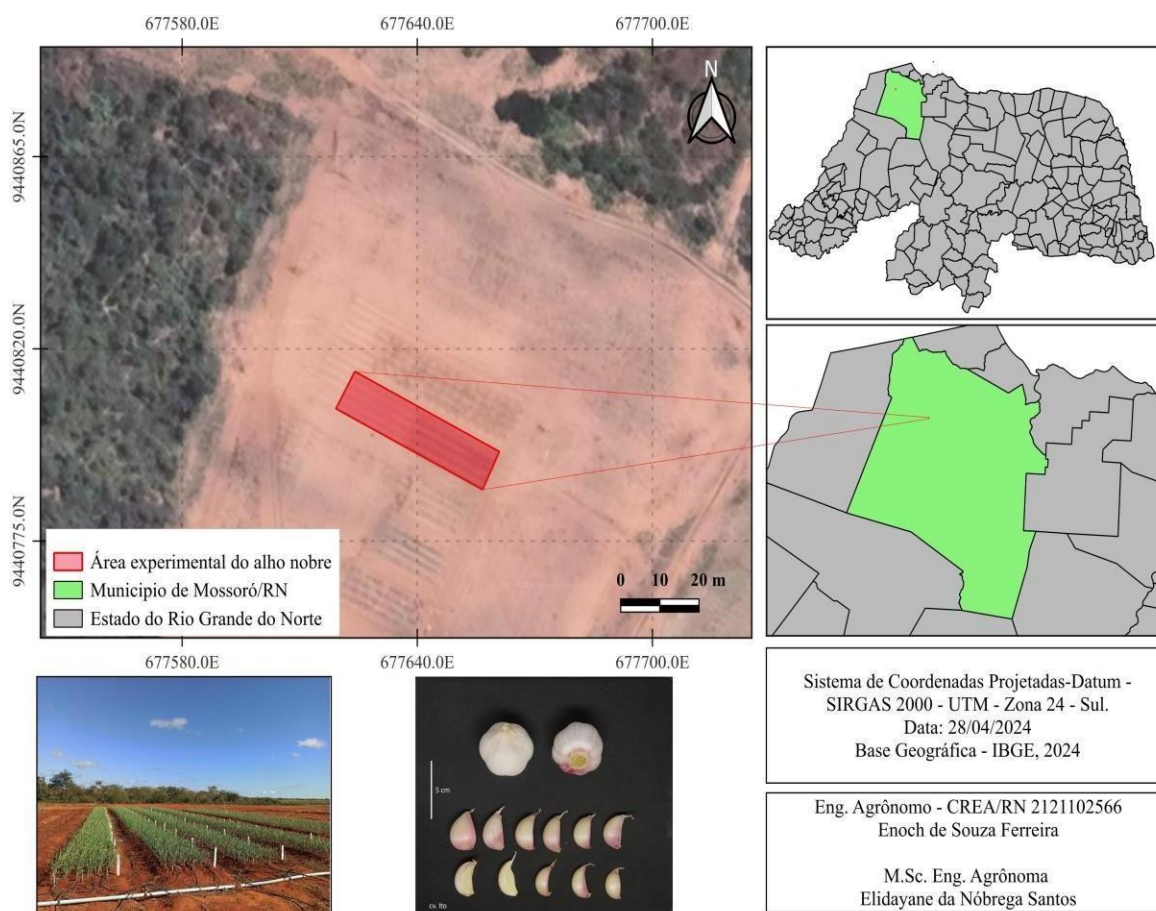


Figura 1. Localização da área experimental. Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: A autora (2026).

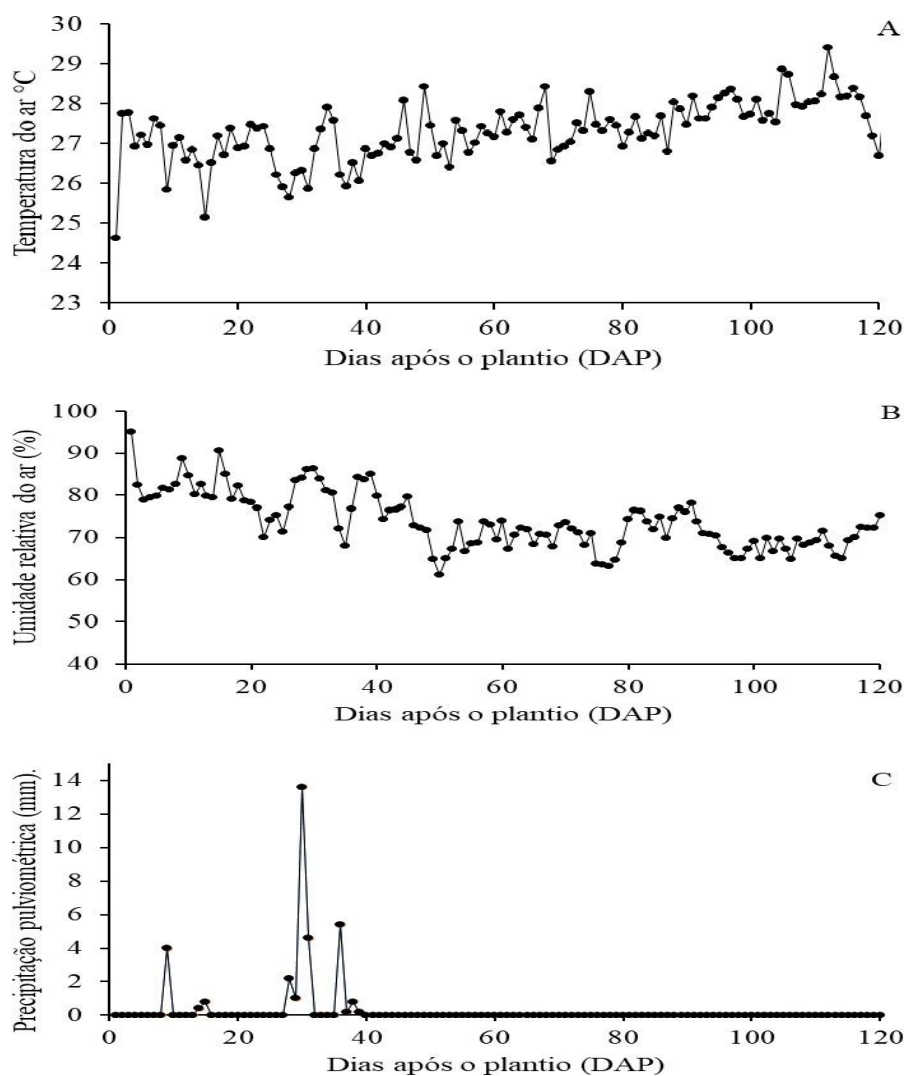


Figura 2. Temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica (mm) no período de junho a setembro de 2023. Fonte: dados adquiridos da estação meteorológica situada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFRSA, Mossoró - RN. 2026. Fonte: A autora (2026).

O solo da área de estudo é um Argissolo (Santos *et al.*, 2025). Uma amostra composta foi coletada na camada 0-20 cm e analisada quanto aos atributos físico-químicos (Teixeira *et al.*, 2017). Os dados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental (0 – 20 cm de profundidade), Mossoró, RN, Brasil. 2026.

pH	MO	P	S.SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	Al ³⁺	H+Al ³⁺	V%
água	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ³ -----								
6,12	7,9	10,2	2,7	0,08	0,01	1,04	0,38	1,5	0	0,61	71,3

Fonte: A autora (2026). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), ânion sulfato (S.SO₄²⁻), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), bases (SB), alumínio (Al³⁺) e hidrogênio (H), V% (Saturação por Bases).

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi alocado em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial $(4 \times 4) + 1$, com quatro repetições, totalizando 17 tratamentos. Foram combinados quatro bioestimulantes (Arbolim Biogenesis[®], Lalstim Stress[®], Megafol[®] e Stimulate[®]) com quatro produtos comerciais compostos de rizobactérias (Acta Forcer[®], 4Bacter[®], Biofree[®] e Onix OG[®]). No tratamento controle, foi utilizada água de irrigação (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos. Mossoró, RN. 2026.

Tratamentos		
T1	Água	Água
T2- T5	Arbolim Biogenesis [®]	Acta Force [®]
	Arbolim Biogenesis [®]	4Bacter [®]
	Arbolim Biogenesis [®]	Biofree [®]
	Arbolim Biogenesis [®]	Onix OG [®]
T6 -T9	Lalstim Stress [®]	Acta Force [®]
	Lalstim Stress [®]	4Bacter [®]
	Lalstim Stress [®]	Biofree
	Lalstim Stress [®]	Onix OG [®]
T10-T13	Megafol [®]	Acta Force [®]
	Megafol [®]	4Bacter [®]
	Megafol [®]	Biofree [®]
	Megafol [®]	Onix OG [®]
T14-T17	Stimulate [®]	Acta Force [®]
	Stimulate [®]	4Bacter [®]
	Stimulate [®]	Biofree [®]
	Stimulate [®]	Onix OG [®]

Fonte: A autora (2026).

A unidade experimental foi dimensionada em 1,3 m de comprimento por 1,0 m de largura, perfazendo área total de 1,3 m². Por parcela, foram distribuídas seis fileiras de plantas, usando o espaçamento de 0,20 x 0,10 m. Para a área útil, foram consideradas as quatro fileiras centrais, desconsiderando as bordas laterais de cada lado da parcela.

As informações gerais dos bioestimulantes e rizobactérias constam nas tabelas 3 e 4, respectivamente. As doses de cada produto foram calculadas conforme a recomendação do produto comercializado no mercado. Os bioestimulantes foram aplicados quatro vezes, aos 20 e 30 DAP (dias após o plantio) e aos 60 e 70 DAP, portanto duas destas antes do início da diferenciação bulbar e duas após. O volume de calda aplicado foi de 500 mL por parcela, e junto aos produtos foi adicionado o adjuvante Adesil[®] (5 mL para 20 L de água) para auxiliar na aderência das moléculas do produto na superfície da folha. A forma de aplicação foi via foliar, utilizando um pulverizador portátil para pesquisa com bico cônico e barra de seis bicos, marca Superagri[®]. As rizobactérias também tiveram quatro aplicações, com intervalo de sete

dias, iniciando aos 14 DAP e finalizando aos 35 DAP, utilizando o volume de aplicação de 1 L por parcela. As aplicações foram feitas via fertirrigação.

Tabela 3. Descrição dos bioestimulantes. Mossoró, 2026.

Composição	Dose	Nome comercial	Marca comercial
400 g. L ⁻¹ de Arbolina em suspensão aquosa	600 mL ha ⁻¹	Arbolim Biogenesis®	Krilltech
Extrato de levedura de cana-de-açúcar (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	500 mL ha ⁻¹	Lalstim Stress®	Lallemand
Aminoácidos Betaína Vitaminas e biomoléculas	3 L ha ⁻¹	Megafol®	Valagro
0,09 g L ⁻¹ de Cinetina 0,05 g L ⁻¹ de Ácido Giberélico 0,05 g L ⁻¹ de Ácido 4-indol-3-ilbutírico	500 mL ha ⁻¹	Stimulate®	Stoller

Fonte: Lallemand (2024); Stoller (2026); Krilltech (2026), rótulo do produto.

Tabela 4. Descrição dos produtos à base de rizobactérias. Mossoró, 2026.

Composição	Dose	Concentração estimada	Nome Comercial	Marca comercial
<i>Azospirillum brasilense</i>	2 kg ha ⁻¹	1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹	4Bacter®	DVA
<i>Azotobacter vinelandii</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹		
<i>Bacillus megaterium</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		1 x 10 ⁸ UFC g ⁻¹		
<i>Bacillus subtilis</i>	2 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹	Acta Force®	Acta Bio
<i>Bacillus megaterium</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹		
<i>Bacillus velezensis</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		1 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹		
<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Azospirillum brasilense</i>	2 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁸ UFC/mL ⁻¹	Biofree®	Biotrop
<i>Bacillus methylotrophicus</i>	2,0 L ha ⁻¹	1 x 10 ⁹ UFC mL ⁻¹	Onix OG®	Lallemand

Fonte: Rótulo dos produtos.

2.3 Instalação e condução do ensaio

O solo da área de estudo foi preparado de forma convencional, com aração e gradagem e posterior levantamento dos canteiros. As adubações foram feitas considerando a análise do solo e recomendação para cultura (Holanda *et al.*, 2017). Para adubação de fundação, foram incorporados 24,23 kg ha⁻¹ de composto orgânico e 0,30 t ha⁻¹ de P₂O, pela fonte superfosfato simples. A adubação de plantio foi feita via fertirrigação. Foram utilizadas três fitas

gotejadoras por canteiro, com gotejadores distantes em 0,30 m de espaçamento e com 1,5 L.h⁻¹ de vazão. Utilizaram-se durante o ciclo da cultura 87,39 kg ha⁻¹ de N, 55,71 kg ha⁻¹ de K₂O, 15,00 kg ha⁻¹ de Mg, 56 kg ha⁻¹ de Ca, 35,50 kg ha⁻¹ de S, 2,08 kg ha⁻¹ de B e 35,04 kg ha⁻¹ de Zn.

Inicialmente, o alho semente da cultivar Ito passou pela vernalização em *freezer*, na temperatura de 0 a -2 °C, de forma controlada, por termostato, durante 55 dias. Posteriormente, o alho semente foi debulhado, classificando-se os bulbilhos por tamanho, usando peneiras dos tipos 2, 3, 4 e 5 com tamanho 10 x 20 mm, 8 x 17 mm e 5 x 17 mm, respectivamente. Para o plantio, utilizaram-se os bulbilhos de tamanhos 2 e 3 nos primeiros dois blocos e o tamanho 4 nos dois últimos, visando à manutenção de maior uniformidade nos blocos. A profundidade de plantio foi de aproximadamente 2 cm.

Para irrigação, foi empregado o sistema de microaspersão com vazão média de 27 L.h⁻¹. Foram aplicadas lâminas de água de 78,73 mm (inicia 1- 21 dias), 175,92 (vegetativo - 52 dias), 117,60 mm (bulbificação - 25 dias) e 41,31 mm (maturação - 12 dias), considerando a evapotranspiração da cultura, características edafoclimáticas e do estágio de desenvolvimento da cultura. Na maturação, a irrigação foi reduzida em 19%, durante 12 dias, objetivando reduzir o surgimento de superbrotamento.

Os tratos culturais realizados na condução do trabalho foram capinas manuais e o controle químico para combate e prevenção de problemas fitossanitários. Utilizou-se para combater pragas, a exemplo de lagartas e tripses, inseticidas à base de imidacloprido e beta-ciflutrina, clorfenapir. Também foram utilizados produtos à base de azoxistrobina, mancozeb para prevenir e controlar a mancha-púrpura e doenças bacterianas.

A colheita do alho ocorreu aos 111 DAP, quando atingiram o ponto de colheita, momento em que 2/3 das plantas apresentavam secas. A pré-cura foi feita em campo, com os bulbos cobertos com as próprias folhas por cinco dias. Em seguida, foi feita a cura em ambiente sombreado até os bulbos estarem completamente secos. Após esse período, foi realizada a toalete dos bulbos, retirando as folhas, raízes e túnicas sujas e/ou secas.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1 Classificação comercial e produtividade

Para a classificação dos bulbos, considerou-se o diâmetro transversal de acordo com as categorias estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 1992): classe 3 (> 32 a 37 mm), classe 4 (> 37 a 42 mm), classe 5 (> 42 a 47 mm), classe 6 (>

47 a 56 mm) e classe 7 (> 56 mm). Em seguida, realizou-se a pesagem dos bulbos para determinar a porcentagem de cada classe. Com base nesses dados, foi calculada a produtividade comercial, incluindo os bulbos a partir da classe 3 e sem ocorrência de superbrotamento. A produtividade não comercial foi determinada considerando os bulbos inferior a classe 3, superbrotados, chochos e com algum defeito visual. Por fim, a produtividade total foi obtida pela soma das produtividades comercial e não comercial, com os resultados em $t\ ha^{-1}$.

2.4.2 Pós-colheita dos bulbos

Para as análises de qualidade foram utilizados dez bulbos comerciais por parcela experimental. Inicialmente, retirou-se a túnica dos bulbilhos, que em seguida foram processados até a obtenção de uma pasta homogênea. Para cada análise de qualidade, a massa de alho foi homogeneizada e filtrada em um tecido de 100% poliéster (colocar a malha), obtendo-se um suco.

Os sólidos solúveis (SS) foram avaliados por refratometria digital, com os resultados expressos em porcentagem. Para a determinação da acidez titulável (AT), transferiu-se 1 mL do suco para um Erlenmeyer e completou-se o volume para 50 mL com água destilada. Adicionaram-se três gotas de fenolftaleína, e a titulação foi realizada com NaOH 1 N até atingir o ponto de viragem, observado pela coloração cor da solução levemente rósea. Os resultados foram expressos em porcentagem (IAL, 2008). A partir dos valores de SS e AT, calculou-se a relação SS/AT, obtida pelo quociente entre as duas variáveis.

Os açúcares solúveis totais (AST) foram calculados pelo método da Antrona, conforme Yemm e Willis (1954), com resultados expressos em porcentagem.

A pungência (concentração de ácido pirúvico) foi determinada a partir de 0,2 mL do suco filtrado, utilizando o método colorimétrico com o reagente 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH), e os resultados foram expressos em μ moles de ácido pirúvico por mL de suco de alho (Schwimmer e Weston, 1961).

Para a determinação dos sólidos totais (ST), amostras de dez bulbos foram pesadas, secas em estufa de circulação de ar forçado (65 °C) até atingir massa constante. Os resultados foram expressos em porcentagem, calculados pela razão entre massa seca e massa fresca (Zenebon e Pascuet, 2005).

O índice industrial (II) foi determinado pela relação entre sólidos totais e ácido pirúvico e calculado pela Equação 6 em porcentagem (Carvalho *et al.*, 1991).

$$II = \frac{\text{Sólidos totais}}{\text{Ácido pirúvico}} \cdot 100 \quad (6)$$

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. A testemunha foi confrontada com os demais tratamentos por meio do teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* RStudio, versão 4.3.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação comercial e produtividade de bulbos

O uso combinado de bioestimulantes e rizobactérias no alho não resultou em ganhos significativos em produtividade comercial e total de bulbos, em relação à testemunha (Tabela 5). Observou-se, contudo, diferença entre os produtos testados para a produtividade comercial, com destaque para a combinação Stimulate® + Biofree® (5,60 t ha⁻¹). Em contrapartida, as menores produtividades comerciais foram registradas com Arbolim® + Biofree® (3,33 t ha⁻¹), Lalstim Stress® + Biofree® (3,38 t ha⁻¹) e Megafol® + Biofree® (4,32 t ha⁻¹).

Tabela 5. Produtividade comercial, não comercial e total de bulbos em função de aplicação combinada de bioestimulantes e rizobactérias no alho nobre, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Bioestimulantes	Produtividade comercial (t ha ⁻¹)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	2,74 ± 0,90 ^{Aa}	3,23 ± 0,71 ^{Aa}	3,33 ± 0,87 ^{Bb}	4,11 ± 0,93 ^{Aa}
Lalstim Stress®	3,43 ± 0,83 ^{Aa}	3,66 ± 0,89 ^{Aa}	3,38 ± 0,97 ^{Bb}	3,96 ± 0,69 ^{Aa}
Megafol®	4,59 ± 0,94 ^{Aa}	3,80 ± 0,86 ^{Aa}	4,32 ± 1,12 ^{Bb}	4,46 ± 1,61 ^{Aa}
Stimulate®	3,76 ± 1,12 ^{Aa}	3,33 ± 1,39 ^{Aa}	5,60 ± 0,92 ^{Aa}	4,08 ± 1,14 ^{Aa}
Testemunha vs. comum	4,36 ± 0,56ns			
Bioestimulantes	Produtividade não comercial (t ha ⁻¹)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	1,92 ± 0,39 ^{Aa*}	1,60 ± 0,20 ^{Aa}	1,61 ± 0,35 ^{Aa}	1,10 ± 0,40 ^{Ab}
Lalstim Stress®	1,45 ± 0,52 ^{Ba}	1,51 ± 0,34 ^{Aa}	1,40 ± 0,29 ^{Aa}	1,12 ± 0,36 ^{Aa}
Megafol®	1,05 ± 0,18 ^{Ba}	1,29 ± 0,60 ^{Aa}	0,88 ± 0,41 ^{Ba}	0,94 ± 0,56 ^{Aa}
Stimulate®	1,23 ± 0,48 ^{Ba}	1,50 ± 0,58 ^{Aa}	0,86 ± 0,19 ^{Ba}	0,96 ± 0,38 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	1,05 ± 0,57*			
Bioestimulantes	Produtividade total (t ha ⁻¹)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	4,65 ± 0,16 ^{Aa}	4,82 ± 0,60 ^{Aa}	4,94 ± 0,56 ^{Ba}	5,21 ± 0,56 ^{Aa}
Lalstim Stress®	4,88 ± 0,57 ^{Aa}	5,17 ± 0,57 ^{Aa}	4,77 ± 0,73 ^{Ba}	5,08 ± 0,42 ^{Aa}
Megafol®	5,65 ± 0,80 ^{Aa}	5,09 ± 0,30 ^{Aa}	5,20 ± 0,72 ^{Aa}	5,40 ± 1,09 ^{Aa}
Stimulate®	5,00 ± 0,66 ^{Ab}	4,83 ± 0,81 ^{Ab}	6,45 ± 1,05 ^{Ba}	5,05 ± 0,86 ^{Ab}
Testemunha Vs comum	5,40 ± 0,16ns			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas comparam na coluna e letras minúsculas comparam na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs. rizobactérias.

Embora a produtividade comercial de bulbos tenha sido estatisticamente igual à testemunha, a combinação Stimulate® + Biofree® destacou-se, apresentando incremento de 28,4% em relação à testemunha e de 104,4%, quando comparada à menor produtividade

observada nas combinações (Arbolim[®] + Acta Force[®]). Esse ganho, superior a 1 t ha⁻¹, é significativo para a cultura do alho, sobretudo em condições de cultivo no semiárido. Além disso, essa combinação também promoveu aumento da produtividade total e redução da fração não comercial, evidenciando efeito positivo da associação entre bioestimulantes e rizobactérias sobre o desempenho agrônomo da cultura.

O Stimulate[®] contém fitormônios das classes das citocininas, giberelinas e auxinas (cinetina, ácido giberélico e o ácido indolbutírico) que atuam diretamente sobre processos fisiológicos de crescimento e diferenciação celular, podendo favorecer o desenvolvimento radicular e o enchimento dos bulbos (Figueiredo *et al.*, 2024). O Biofree[®] é composto por *A. brasilense* e *P. fluorescens*. Essas bactérias estimulam a síntese de osmoprotetores e compostos antioxidantes nas plantas, reduzindo o estresse fisiológico e favorecendo a retenção de água, o que contribui para melhor produtividade em culturas inoculadas com RBPC (Kesavardhini *et al.*, 2026). Ensaios com consórcio de *A. brasilense* e *P. fluorescens* mostraram que a coinoculação melhorou parâmetros produtivos na cultura do alho (Souza e Cruz, 2024).

Além disso, a aplicação dos produtos Stimulate[®] + Biofree[®] influenciou a produtividade não comercial (0,86 ha⁻¹), com redução dos valores. Por outro lado, a aplicação dos produtos influenciou a produtividade não comercial de bulbos, com valores mais elevados observados na combinação Arbolim[®] + Acta Force[®] (1,92 t ha⁻¹), que diferiu significativamente da testemunha (1,05 t ha⁻¹) (Tabela 5).

Os bulbos classificados como Classe 3, Classe 4 e Refugo (pequeno e miúdo) não diferiram significativamente do controle. No entanto, verificou-se variação entre as combinações, com a menor média em Stimulate[®] + Biofree[®] (13,04%) e a maior em Arbolim[®] + Acta Force[®] (41,84%) para o refugo. Na classe 3, não houve diferenças entre os tratamentos, com médias variando entre 41% e 61%. Destacou-se, contudo, a combinação Stimulate[®] + Onix OG[®] (61,56%), que apresentou a maior proporção de bulbos nesta classe. De modo semelhante, na classe 4 observou-se discreta variação entre os tratamentos, com maiores percentuais na combinação Megafol[®] + Acta Force[®] (32,58%) (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação de bulbos de alho, cv. Ito, em função de aplicação combinada de bioestimulantes e rizobactérias. Mossoró-RN, 2023.

Bioestimulantes	Refugo (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	41,83 ± 11,78 ^{Aa}	33,33 ± 07,33 ^{Aa}	32,84 ± 10,26 ^{Aa}	21,33 ± 09,31 ^{Ab}
Lalstim Stress®	29,65 ± 11,59 ^{Ba}	29,88 ± 10,19 ^{Aa}	30,16 ± 08,51 ^{Aa}	22,21 ± 08,51 ^{Aa}
Megafol®	18,87 ± 5,27 ^{Ba}	25,24 ± 12,97 ^{Aa}	17,93 ± 10,61 ^{Ba}	19,43 ± 17,69 ^{Aa}
Stimulate®	25,66 ± 13,01 ^{Ba}	33,10 ± 16,72 ^{Aa}	13,04 ± 02,09 ^{Bb}	19,96 ± 09,00 ^{Ab}
Testemunha Vs comum	23,82 ± 6,87ns			
Bioestimulantes	Classe 3 (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	41,53 ± 09,64 ^{Aa}	44,04 ± 12,29 ^{Aa}	41,77 ± 08,75 ^{Ba}	54,53 ± 10,31 ^{Aa}
Lalstim Stress®	50,58 ± 12,52 ^{Aa}	44,92 ± 06,06 ^{Aa}	60,15 ± 04,41 ^{Aa}	49,72 ± 07,54 ^{Aa}
Megafol®	43,43 ± 13,02 ^{Aa}	53,72 ± 10,04 ^{Aa}	59,77 ± 06,05 ^{Aa}	46,64 ± 07,59 ^{Aa}
Stimulate®	51,44 ± 4,27 ^{Aa}	48,54 ± 10,97 ^{Aa}	57,30 ± 12,89 ^{Aa}	61,56 ± 09,53 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	48,83 ± 4,02ns			
Bioestimulantes	Classe 4 (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	14,23 ± 05,20 ^{Ba}	19,33 ± 14,58 ^{Aa}	21,03 ± 16,94 ^{Aa}	17,47 ± 17,24 ^{Aa}
Lalstim Stress®	13,92 ± 14,99 ^{Ba}	22,43 ± 11,03 ^{Aa}	07,18 ± 06,51 ^{Aa}	25,27 ± 05,70 ^{Aa}
Megafol®	32,58 ± 16,06 ^{Aa}	13,79 ± 06,01 ^{Aa}	18,43 ± 10,06 ^{Aa}	23,48 ± 15,94 ^{Aa}
Stimulate®	19,28 ± 15,94 ^{Ba}	18,36 ± 12,08 ^{Aa}	24,66 ± 10,33 ^{Aa}	18,49 ± 12,80 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	29,21 ± 8,25ns			
Bioestimulantes	Classe 5 (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	2,07 ± 2,55 ^{Aa}	2,96 ± 3,97 ^{Aa}	3,89 ± 2,95 ^{Aa}	6,17 ± 1,66 ^{Aa}
Lalstim Stress®	5,45 ± 6,46 ^{Aa}	2,56 ± 3,31 ^{Aa}	2,28 ± 2,77 ^{Aa}	2,57 ± 1,83 ^{Ba}
Megafol®	4,84 ± 4,78 ^{Ab}	6,71 ± 3,89 ^{Ab}	3,74 ± 4,44 ^{Ab}	13,42 ± 1,57 ^{Aa*}
Stimulate®	3,39 ± 2,51 ^{Aa}	0,00 ± 0,00 ^{Aa}	4,78 ± 1,35 ^{Aa}	0,00 ± 0,00 ^{Ba}
Testemunha Vs comum	2,64 ± 3,32*			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas comparam na coluna e letras minúsculas comparam na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de ScottKnott. Letras seguidas de * se diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs. rizobactérias.

Na Classe 5, houve diferença com incremento de 408,33%, observado com a combinação Megafol® + Onix OG® (13,42%), em relação à testemunha (2,64%) (Tabela 6). O número de bulbilhos por bulbo não diferiu significativamente entre o tratamento testemunha e as combinações de bioestimulantes com rizobactérias (média de três a seis bulbilhos por bulbo), sugerindo que, embora a produtividade total tenha sido semelhante ao controle (Tabela 5), essa combinação (Megafol® + Onix OG®) favoreceu o aumento do tamanho dos bulbos com maior porcentagem de classe 5 (Tabela 6), pois não houve alteração na quantidade de bulbilhos por bulbo (Tabela 7).

Tabela 7. Número de bulbilhos por bulbo em função de aplicação combinada de bioestimulantes e rizobactérias no alho nobre, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Número de bulbilho por bulbo				
Bioestimulantes	Rizobactérias			
	Acta Force [®]	4Bacter [®]	Biofree [®]	Onix OG [®]
Arbolim [®]	3 ± 1,42 ^{Aa}	4 ± 1,46 ^{Aa}	4 ± 0,89 ^{Aa}	4 ± 1,43 ^{Aa}
Lalstim Stress [®]	5 ± 1,62 ^{Aa}	4 ± 1,57 ^{Aa}	4 ± 1,07 ^{Aa}	5 ± 1,17 ^{Aa}
Megafof [®]	4 ± 0,41 ^{Aa}	4 ± 0,73 ^{Aa}	4 ± 1,19 ^{Aa}	4 ± 1,27 ^{Aa}
Stimulate [®]	4 ± 1,92 ^{Aa}	4 ± 0,75 ^{Aa}	6 ± 1,16 ^{Aa}	5 ± 1,26 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	5 ± 1,79 ^{ns}			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * se diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum= interação dos bioestimulantes vs rizobactérias.

3.2 Qualidade do bulbo

Para os sólidos solúveis (SS), não foi observada diferença significativa em relação à testemunha. No entanto, verificou-se que as combinações Stimulate[®] + Acta Force[®] (35,0%), Megafof[®] + 4Bacter[®] (34,50%) e Lalstim Stress[®] + Biofree[®] (34,43%) apresentaram os maiores valores em relação aos demais tratamentos (Tabela 8).

Tabela 8. Sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT) em função de aplicação combinada de bioestimulantes e rizobactérias no alho nobre, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Bioestimulantes	Sólidos solúveis (° Brix)			
	Rizobactérias			
	Acta force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	33,43 ± 0,76 ^{Ba}	34,00 ± 0,83 ^{Aa}	32,53 ± 0,37 ^{Ba}	33,55 ± 1,00 ^{Aa}
Lalstim Stress®	32,40 ± 0,90 ^{Ba}	33,33 ± 0,94 ^{Aa}	34,43 ± 0,41 ^{Aa}	34,05 ± 0,70 ^{Aa}
Megafof®	32,20 ± 1,14 ^{Bb}	34,50 ± 1,25 ^{Aa}	31,75 ± 1,98 ^{Bb}	34,45 ± 1,50 ^{Aa}
Stimulate®	35,00 ± 0,63 ^{Aa}	32,15 ± 2,05 ^{Bb}	32,88 ± 0,98 ^{Bb}	34,23 ± 1,3 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	33,00 ± 1,10 ns			
Bioestimulantes	Acidez titulável (%)			
	Rizobactérias			
	Acta force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	8,03 ± 0,49 ^{Ba}	7,79 ± 0,79 ^{Aa}	7,77 ± 0,49 ^{Aa}	8,14 ± 0,34 ^{Aa}
Lalstim Stress®	8,03 ± 0,55 ^{Ba}	7,61 ± 0,41 ^{Aa}	7,28 ± 0,15 ^{Aa}	7,74 ± 0,37 ^{Aa}
Megafof®	8,95 ± 0,69 ^{Aa}	7,48 ± 0,36 ^{Ab}	7,35 ± 0,83 ^{Ab}	6,78 ± 0,78 ^{Bb*}
Stimulate®	7,31 ± 0,19 ^{Ba}	7,39 ± 0,43 ^{Aa}	7,72 ± 0,71 ^{Aa}	7,64 ± 0,45 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	8,29 ± 0,28*			
Bioestimulantes	Relação sólidos solúveis/acidez titulável			
	Rizobactérias			
	Acta force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	4,17 ± 0,17 ^{Ba}	4,39 ± 0,37 ^{Aa}	4,20 ± 0,33 ^{Aa}	4,13 ± 0,26 ^{Ba}
Lalstim Stress®	4,06 ± 0,40 ^{Ba}	4,38 ± 0,17 ^{Aa*}	4,73 ± 0,12 ^{Aa}	4,41 ± 0,29 ^{Ba}
Megafof®	3,82 ± 0,54 ^{Bd}	4,63 ± 0,37 ^{Ab*}	4,34 ± 0,24 ^{Ac}	5,15 ± 0,80 ^{Aa*}
Stimulate®	4,79 ± 0,13 ^{Aa*}	4,36 ± 0,31 ^{Aa}	4,28 ± 0,43 ^{Aa}	4,49 ± 0,19 ^{Ba}
Testemunha Vs comum	3,83 ± 0,32*			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas compara na coluna e letras minúsculas compara na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum= interação dos bioestimulantes vs. rizobactérias.

Em relação à acidez titulável (AT), a combinação Megafof® + Onix OG® (6,78%) foi a única a diferir estatisticamente da testemunha (8,29%), apresentando valor inferior. Dentre as combinações de bioestimulantes e rizobactérias, Megafof® + Acta Force® (8,95%) foi a que apresentou maior AT (Tabela 8). Para a relação SS/AT, observou-se diferença entre os tratamentos. As maiores relações foram verificadas com Megafof® + Onix OG® (5,15), Stimulate® + Acta Force® (4,79) e Megafof® + 4Bacter® (4,63), todas significativamente superiores à testemunha (3,83) (Tabela 8).

O aumento da acidez titulável com a combinação Megafof® + Acta Force® resultou em menor relação SS/AT. No caso do alho, menores relações SS/AT indicam maior teor de ácidos orgânicos, o que confere sabor e aroma mais pronunciados, características desejáveis pelo consumidor (Morais *et al.*, 2026). O comportamento observado sugere que menores relações SS/AT podem refletir maior desvio dos ácidos orgânicos nos processos metabólicos

da planta, como respiração e biossíntese de compostos essenciais, em plantas com maior eficiência fisiológica (Panchal, Miller e Giri, 2021). Esses tratamentos possivelmente atuaram através da influência nos níveis hormonais e processos metabólicos, incluindo fitormônios e regulação de respostas ao estresse (Kaushal *et al.*, 2023).

Os sólidos totais variaram entre 40,23% e 44,89%, sem diferenças significativas entre a testemunha e as combinações de bioestimulantes com as rizobactérias. Os sólidos totais obtidos nesta pesquisa indicam que o alho produzido, incluindo o da testemunha, apresenta características desejáveis para a indústria de desidratação (Bessa *et al.*, 2017) (Tabela 9).

Tabela 9. Sólidos totais (ST), açúcares solúveis totais (AST), pungência e índice industrial (II), em função de aplicação combinada de bioestimulantes e rizobactérias no alho nobre, cv. Ito. Mossoró-RN, 2023.

Bioestimulantes	Sólidos Totais (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	42,31 ± 2,16 ^{Aa}	42,74 ± 0,98 ^{Aa}	41,86 ± 2,35 ^{Ba}	42,40 ± 0,44 ^{Aa}
Lalstim Stress®	42,98 ± 0,65 ^{Aa}	42,53 ± 2,02 ^{Aa}	44,89 ± 2,15 ^{Aa}	42,70 ± 0,87 ^{Aa}
Megafof®	42,45 ± 1,77 ^{Aa}	44,12 ± 1,53 ^{Aa}	41,85 ± 1,95 ^{Ba}	40,23 ± 3,37 ^{Aa}
Stimulate®	41,68 ± 1,77 ^{Aa}	43,79 ± 1,96 ^{Aa}	40,57 ± 1,67 ^{Ba}	41,52 ± 0,59 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	41,43 ± 0,73 ^{ns}			
Bioestimulantes	Açúcares solúveis totais (%)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	23,28 ± 2,36 ^{Ab}	27,14 ± 1,41 ^{Aa*}	24,20 ± 3,57 ^{Na}	22,91 ± 1,40 ^{Ab}
Lalstim Stress®	21,09 ± 1,81 ^{Aa}	18,24 ± 1,32 ^{Bb*}	16,39 ± 0,68 ^{Cb*}	20,64 ± 1,94 ^{Bb}
Megafof®	20,91 ± 1,46 ^{Aa}	19,65 ± 1,77 ^{Ba}	19,72 ± 0,77 ^{Ba}	20,13 ± 0,93 ^{Ba}
Stimulate®	20,57 ± 1,29 ^{Aa}	19,44 ± 1,06 ^{Ba}	20,77 ± 2,41 ^{Ba}	20,63 ± 2,55 ^{Ba}
Testemunha Vs comum	22,47 ± 3,47 [*]			
Bioestimulantes	Pungência (µMoles de ácido pirúvico por mL de suco)			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	90,63 ± 4,48 ^{Aa}	95,04 ± 3,59 ^{Ba}	88,58 ± 4,29 ^{Ca}	91,23 ± 4,62 ^{Aa}
Lalstim Stress®	87,31 ± 5,20 ^{Aa}	92,18 ± 3,79 ^{Ba}	85,47 ± 4,51 ^{Ca}	90,42 ± 4,12 ^{Aa}
Megafof®	95,53 ± 2,87 ^{Ab}	107,96 ± 2,22 ^{Aa*}	107,12 ± 5,45 ^{Aa*}	84,95 ± 8,61 ^{Bc}
Stimulate®	89,83 ± 2,55 ^{Aa}	91,46 ± 3,65 ^{Ba}	96,32 ± 4,41 ^{Ba}	94,13 ± 4,98 ^{Aa}
Testemunha Vs comum	92,42 ± 3,38 [*]			
Bioestimulantes	Índice industrial (II) %			
	Rizobactérias			
	Acta Force®	4Bacter®	Biofree®	Onix OG®
Arbolim®	38,29 ± 1,06 ^{Aa}	40,62 ± 1,61 ^{Ba}	37,07 ± 2,54 ^{Ba}	38,69 ± 2,17 ^{Ba}
Lalstim Stress®	37,51 ± 1,92 ^{Aa}	39,21 ± 2,52 ^{Ba}	38,32 ± 1,37 ^{Ba}	38,64 ± 2,52 ^{Ba}
Megafof®	40,52 ± 1,17 ^{Ab}	47,64 ± 2,37 ^{Aa*}	44,75 ± 1,81 ^{Aa*}	34,12 ± 1,54 ^{Ac}
Stimulate®	37,46 ± 2,39 ^{Aa}	40,04 ± 2,04 ^{Ba}	39,03 ± 0,79 ^{Ba}	39,07 ± 1,77 ^{Ba}
Testemunha Vs comum	38,31 ± 1,67 [*]			

Fonte: A autora (2026). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras maiúsculas comparam na coluna e letras minúsculas comparam na linha. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras seguidas de * diferem estatisticamente da testemunha de acordo com o teste de Dunnett. ns = não significativo. Comum = interação dos bioestimulantes vs. rizobactérias.

Para os açúcares solúveis totais (AST), houve diferenças estatísticas entre algumas combinações. O maior teor foi observado em Arbolim[®] + Acta Force[®] (27,14%), que se destacou em relação à testemunha (22,74%). Em contrapartida, Lalstim Stress[®] + 4Bacter[®] (18,24%) e Lalstim Stress[®] + Biofree[®] (16,39%) apresentaram reduções significativas. As demais combinações apresentaram valores próximos aos da testemunha (Tabela 9).

As combinações de rizobactérias com Arbolim[®] promoveram aumento dos teores de açúcares solúveis totais, especialmente Arbolim[®] + 4Bacter[®], que elevou os teores em 20,94% em relação à testemunha (Tabela 9). Uma hipótese para esse comportamento é a de que as plantas, sob condições de estresse, direcionam parte de sua energia para a produção dos AST, os quais, juntamente com outros compostos osmoprotetores, atuam como estratégias fisiológicas de sobrevivência (Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001).

Quanto à pungência dos bulbos, as combinações Megafol[®] + 4Bacter[®] (107,96 $\mu\text{Moles mL}^{-1}$) e Megafol[®] + Biofree[®] (107,12 $\mu\text{Moles mL}^{-1}$) apresentaram os maiores valores e diferiram significativamente da testemunha (92,42 $\mu\text{Moles mL}^{-1}$). Os demais tratamentos apresentaram valores entre 84,95 e 96,3 $\mu\text{Moles mL}^{-1}$. De acordo com Prakash e Prasad (2023), todos os tratamentos produziram bulbos classificados como altamente picantes ($> 70 \mu\text{Moles mL}^{-1}$), destacando-se Megafol[®] + 4Bacter[®] e Megafol[®] + Biofree[®], com incrementos de 16,8 e 15,9% em relação à testemunha.

Este desempenho pode estar relacionado à presença de aminoácidos na formulação do Megafol[®], que pode ter intensificado o metabolismo do enxofre, favorecendo a oxidação e posterior formação de compostos sulfurados (como alicina) responsáveis pela pungência característica do alho (Ammarellou, 2024). Em outras palavras, essas combinações favoreceram maior síntese de compostos sulfurados, responsáveis pela pungência do alho. Bulbos com maior pungência são preferidos tanto pela indústria quanto pelo consumidor final (Bessa *et al.*, 2016; Lucena *et al.*, 2016; Ammarellou *et al.*, 2022).

No índice industrial (II), observou-se incremento com as combinações Megafol[®] + 4Bacter[®] (47,64%) e Megafol[®] + Biofree[®] (44,75%), estatisticamente maiores que a testemunha (38,31%). Por sua vez, Megafol[®] + Onix OG[®] (34,12%) apresentou o menor índice (Tabela 9). O aumento do II nas combinações Megafol[®] + 4Bacter[®] e Megafol[®] + Biofree[®] foi associado aos elevados teores de pungência, uma vez que o II é determinado pela relação entre sólidos totais e pungência.

4 CONCLUSÕES

A combinação Stimulate® + Biofree® destacou-se pelo melhor desempenho produtivo e qualitativo, seguida por Megafo1® + Onix OG® e Megafo1® + Acta Force®, evidenciando o potencial dessas associações para otimizar o crescimento, a produtividade comercial e a qualidade pós-colheita dos bulbos.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAZZAK, H. S.; EL-SHARKAWY, G. A. Efeito da aplicação de biofertilizantes e ácido húmico no crescimento, rendimento, qualidade e capacidade de armazenamento de duas cultivares de alho (*Allium sativum* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 48–64, jan. 2013. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.48.64>.
- AHLUWALIA, O. *et al.* A review on drought stress in plants: implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 5, p. 100032, set. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>.
- ATIF, M. J. *et al.* Influence of different photoperiod and temperature regimes on growth and bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 879, 11 dez. 2019. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9120879>.
- BALMORI, D. M. *et al.* Foliar application of humic liquid extract from vermicompost improves garlic (*Allium sativum* L.) production and fruit quality. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 103–112, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0279-1>.
- CARVALHO, V. D. *et al.* Tempo de armazenamento na qualidade do alho cv. *Amarante*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 10, p. 1679-1684, out. 1991. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/106169/1/pab12out91.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.
- WU, C.; WANG, M.; CHENG, Z.; MENG, H. Response of garlic (*Allium sativum* L.) bolting and bulbing to temperature and photoperiod treatments. **Biology Open**, v. 5, n. 4, p. 507-518, 30 mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.1242/bio.016444>.
- DAS, S. *et al.* Response of biofertilizers and primary nutrients on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in new alluvial soil of West Bengal. **Current Journal of Applied Science and Technology**, p. 1-7, 14 mai. 2020. <http://dx.doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1030622>.
- DUJARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, nov. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF, 2018. 356 p.
- FAO – Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura. **Culturas e produtos pecuários: alho verde**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 20 jan. 2026.

GRUNDLING, R. *et al.* Mercado mundial do alho: tendências gerais e as implicações para o Brasil. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, v. 59, 2021, Brasília, DF. *Ações coletivas e resiliência: inovações políticas, socioeconômicas e ambientais*. Brasília, DF: SOBER, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1142479/1/ALHO-SOBER-2021.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2026.

GUPTA, S. *et al.* Role of non-microbial biostimulants in regulation of seed germination and seedling establishment. **Plant Growth Regulation**, v. 97, p. 271–313, 25 jan. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00794-6>.

HOLANDA, J. S. *et al.* **Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte**. Série Documentos, n. 46. Parnamirim, RN: EMPARN, 2017. 34 p.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Perfil da cultura do alho- outubro 2024. [Relatório]. Dados de produtividade do alho no Brasil em 2023. Disponível em: https://www.mg.gov.br/system/files/media/documento_detalhado/2024-10/perfil_alho_outubro_2024.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 05 de jan. 2026.

JESUS, J. F. *et al.* Bioestimulante derivado de *Ascophyllum nodosum* promove condicionamento fisiológico para aumentar a produtividade da soja em clima semiárido. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, 30 set. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03365-0>.

KAUSHAL, P. *et al.* Physiological and molecular insight of microbial biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers In Plant Science**, v. 14, p. 1-17, 30 jan. 2023. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2023.1041413>.

KESAVARDHINI, K. *et al.* Harnessing plant growth promoting rhizobacteria to bolster drought tolerance in plants. **Discover Applied Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-25, 8 dez. 2026. <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-025-08095-7>.

KHALID, F. *et al.* Plant biostimulants: mechanisms and applications for enhancing plant resilience to abiotic stresses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, p. 6641–6690, 24 set. 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-024-01996-3>.

KRILLTECH. **Nanotecnologia Agro. Instruções de Uso - Arbolin Biogenesis®**. Disponível. <https://krilltech.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Instrucoes-de-Uso-Arbolin-.pdf>. Acesso 19 mai. 2026.

LALLEMAND SOLUÇÕES BIOLÓGICAS. **Ficha de informação de segurança do produto químico**. Piracicaba-SP, 7 p. 2024.

LANDAU, E. C. *et al.* Evolução da produção de alho (*Allium sativum*, Amaryllidaceae). In: **Embrapa Milho e Sorgo. Capítulo em livro científico (ALICE)**. p. 298-322, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122644/1/Cap11-EvolucaoProducaoAlho.pdf>. Acesso em: 11 de jan. 2026.

LUZ, J. M. Q. *et al.* Productivity and quality of garlic produced using below-zero temperatures when treating seed cloves. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 96, 21 jan. 2022. <https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.3390/horticulturae8020096>.

LUZ, J. M. Q. *et al.* Vernalization temperature and maturation point of seed cloves on garlic production and quality. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. 1-13, mar. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202347015122>.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria n.º 242, de 17 de setembro de 1992**. 1992. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapaechave=1429352813>. Acesso em: 30 out. 2025.

MEYER, M. C. *et al.* **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 550 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1143066>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MORAIS, E. G. *et al.* Vernalização com temperaturas negativas melhora a qualidade do alho nobre cultivado no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 30, n. 2, p. 1-9, nov. 2026. Disponível em: <https://www.agriambi.com.br/revista/v30n02/v30n02a10.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2026.

MORAIS, E. G. *et al.* Vernalização do alho semente com temperaturas negativas aumenta a produtividade de alho nobre no semiárido brasileiro. **Horticulturae**, v. 9, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347015122>.

PANCHAL, P.; MILLER, A. J; GIRI, J. Organic acids: versatile stress-response roles in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 11, p. 4038-4052, 20 jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erab019>.

PARADIKOVIĆ, N. *et al.* Aplicação de bioestimulantes na produção de mudas de *Allium sativum* L. e *Rosa canina* L. In: KOVAČEVIĆ, D. (Ed.). **Livro de anais do Quinto Simpósio Científico Agrícola Internacional “Agrosym 2014”**, 23 a 26 de outubro de 2014, Faculdade de Agricultura, Sarajevo, Bósnia e Herzegovina. p. 694-699.

PÉREZ-MONTAÑO, F. *et al.* Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. **Microorganisms**, v. 169, n. 5-6, p. 325-336, jun. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011>.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 20 maio 2026.

SANTOS, J. P. *et al.* Potencial bioestimulante de macroalgas brasileiras: variações sazonais e efeitos no crescimento inicial e germinação de alface. **Brazilian Journal of Botany**, v. 46, p. 767–774, 2 nov. 2023. <https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s40415-023-00950-4>.

SCHWIMMER, S.; WESTON, W. J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 9, n. 4, p. 303-304, agost.1961. Disponível em: <file:///D:/Documents/Downloads/jf60116a018.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2026.

STOLLER. **Bula Stimulate - Composição**. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/produtos/fisiologicos/stimulate10x/bula-stimulate.html>. Acesso em: 19 maio 2026.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2009. v. 2, p. 1-627.

SILVA, H. *et al.* Impact of plant growth-promoting bacteria inoculation on maize and soybean crop yield. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 3, p. 45-56, 9 fev. 2023. Doi 10.1007/s11104-017-3193-1.

SOUZA, M. R.; CRUZ, S. P. Coinoculação de alho com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* em condições de adubação reduzida. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 22, p.13573, 15 abr. 2024. <https://doi.org/10.28998/rca.22.13573>.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 574 p.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. A estimativa de carboidratos em extratos vegetais por antrona. **The Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508–514, 1 jul. 1954. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, SP: IAL, 2005.