



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

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMO A BASE DE ALGAS NA PRODUÇÃO DE MELÃO

MOSSORÓ

2026

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMO A BASE DE ALGAS NA PRODUÇÃO DE MELÃO

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
Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Orientador: Nildo da Silva Dias, 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 tomar-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.

S729a Souza, Bruno Goulart de Azevedo.
Aplicação de bioinsumo a base de algas na
produção de melão / Bruno Goulart de Azevedo
Souza. - 2026.
63 f. : il.

Orientador: Nildo da Silva Dias.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2026.

1. Cucurbitaceae. 2. Elicitores. 3. Produtor.
4. Bioquímica . I. Dias, Nildo da Silva, 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.

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMO A BASE DE ALGAS NA PRODUÇÃO DE MELÃO

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
Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Defendida em: 19 / 02 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Naama Jessica de Assis Melo, Prof^a. Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinadora

Asdrubal Jesus Farias Ramirez, Prof. Dr. (PECEGE USP/ESALQ)
Membro Examinador

Lunara Gleika da Silva Rego, Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinador

Khadidja Dantas Rocha de Lima, Prof^a Dr^a.
Membro Examinadora

Ao meu tio Evandro Azevedo que foi um grande amigo e exemplo de pessoa que sabe superar os obstáculos da vida, nunca será esquecido. (In Memoriam).

Dedico este trabalho a minha filha Letícia Alves Goulart, a minha esposa Gabriela Alves de Souza Goulart, aos meus pais Eunice Regina de Azevedo Souza e João Goulart Carvalho de Souza, ao meu irmão João Victor Goulart de Azevedo Souza, e amigos pelo carinho e apoio (presentes)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por me dar a capacidade de adquirir conhecimento e estar sempre me ajudando nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha esposa Gabriela Alves por total apoio ao longo do doutorado, e por ter me dado a benção de ser pai de Letícia.

Agradeço aos meus pais Eunice Regina e João Goulart pelo amor e total apoio em minha vida.

Ao meu irmão João Victor, por todo amor, atenção e apoio.

A minha família, a minha avó Maria de Lourdes, meu tio Joaquim Inácio de Azevedo que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste sonho.

Agradeço aos amigos e colegas, Val, Felipe, Pedro, Micharlyson, Romulo, André, Maik, Lunara, Naama, Wendelfy, Vladimir, Carla, Sérgio, Edwin, Marcondes, Léo, Professor Aurélio, Professor Francismar e Professora Patrícia que conheci ao longo do curso e ajudaram no meu aprendizado e formação.

Agradeço ao professor Dr. Nildo Dias pela orientação, amizade e ensinamentos repassados durante esse período, que foi indispensável para a construção deste trabalho, sem o seu apoio e por acreditar em mim nada disso seria possível.

Aos membros da banca por aceitarem participar e pela contribuição para com este trabalho.

Agradeço aos amigos Adriano Gabriel, Fábio Fontes, Julierme Medina, Yuri Bruno, Rodolfo Texeira, Anildo Neto e Modesto Neto, pelo total apoio e amizade nesse período.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade de conclusão de um curso de pós-graduação.

Agradeço à CAPES pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa de estudo/pesquisa durante minha formação.

Agradeço a Yara Brasil pelo fornecimento do produto a ser testado e pelo apoio a pesquisa.

A todos que estão comigo, estamos juntos sempre, **MUITO OBRIGADO!**

O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.

Albert Einstein

RESUMO

A Bacia Potiguar, porção mais oriental do Nordeste que se estende pelos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, é responsável por cerca de 80% da produção nacional de melão. O sucesso da produção desta região está relacionado às condições edafoclimáticas favoráveis ao crescimento, desenvolvimento e qualidade dos frutos sob irrigação em ambiente semiárido. Apesar das condições edafoclimáticas ideais para o cultivo do meloeiro, a intensificação do sistema produtivo expõe as lavouras a pressões fisiológicas severas, principalmente, ao estresse salino, térmico e hídrico, resultando na produção excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), sendo uma alternativa o uso de Bioinsumos para atenuar os efeitos negativo do estresse e garantir o melhor rendimento e a qualidade dos frutos. O Yara Amplix Biotrac é um bioinsumo à base de extratos da alga marinha, comercializado pela Yara Brasil que, atua como ativador metabólico para atenuar o estresse abiótico em plantas e, pode ser utilizado para garantir elevados índices de colheita e qualidade de frutos de melão. Um experimento foi realizado em uma Fazenda produtora de melão com o objetivo de avaliar os efeitos de dosagens de Biotrac sobre a ecofisiologia de plantas de melão amarelo (*Cucumis melo* L., Híbrido McLaren). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com cinco tratamentos (Doses de Biotrac aplicado via foliar: 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L ha⁻¹) e 4 repetições. Os resultados mostraram que, o uso do Biotrac influenciou positivamente na produção e componentes da produção de melão e, também, nas trocas gasosas e atividade metabólica da cultura. A dose de 1,5 L ha⁻¹ de Biotrac proporcionou o aumento do rendimento (37,14 t ha⁻¹) e peso médio de fruto de melão (1,24 kg por fruto) e, também, a maior firmeza de polpa (2,05 N) e teor de sólidos solúveis totais (11,1 °Brix). Além disso, na dose 1,5 L ha⁻¹ de Biotrac registrou-se otimização das trocas gasosas e a eficiência instantânea de carboxilação, resultando em incremento na absorção de nutrientes chaves (N, P, K, B e Zn) e conciliando a maior produtividade comercial com a qualidade pós-colheita dos frutos. Em relação às variáveis bioquímicas, as doses de Biotrac ente 0,5 - 1,0 L ha⁻¹ induziram a máxima atividade das enzimas antioxidantes Superóxido Dismutase (SOD) e Catalase (CAT). O Biotrac atuou como mitigador do estresse abiótico em plantas de melão, reduzindo os níveis de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) e preservando o conteúdo de Proteínas Solúveis Totais, especialmente nas doses intermediárias. A partir da dose de 2,0 L ha⁻¹ apresenta redução significativa da firmeza e acidez da polpa do fruto de melão, indicando um possível desbalanço fisiológico. Com isso, a dose de 1,5 L ha⁻¹ estabeleceu-se como o ponto de máxima eficiência agrônômica para o melão cultivado em campo aberto nas condições semiárida.

Palavras-chave: *Cucurbitaceae*. Elicitores. Produtor. Bioquímica.

ABSTRACT

The Potiguar Basin, the easternmost portion of Northeast Brazil extending through the states of Rio Grande do Norte and Ceará, is responsible for approximately 80% of the national melon production. The success of production in this region is related to edaphoclimatic conditions favorable to the growth, development, and quality of the fruit under irrigation in a semi-arid environment. Despite the ideal edaphoclimatic conditions for melon cultivation, the intensification of the production system exposes the crops to severe physiological pressures, mainly saline, thermal, and water stress, resulting in the excessive production of Reactive Oxygen Species (ROS). Therefore, the use of bioinputs is an alternative to mitigate the negative effects of stress and ensure better yield and fruit quality. The Yara Amplic Biotrac is a bioinput seaweed extracts based, marketed by Yara Brasil, which acts as a metabolic activator to mitigate abiotic stress in plants and can be used to guarantee high harvest rates and melon fruits quality. An experiment was carried out on a melon-producing farm to evaluate the effects of Biotrac dosages on the ecophysiology of yellow melon plants (*Cucumis melo* L., McLaren Hybrid). The experimental design used was a randomized block design with five treatments (Biotrac doses applied via foliar spray: 0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2.0 L ha⁻¹) and 4 replications. The results showed that the use of Biotrac positively influenced the production and components of melon production, as well as the gas exchange and metabolic activity of the crop. The dose of 1.5 L ha⁻¹ of Biotrac provided an increase in yield (37.14 t ha⁻¹) and average melon fruit weight (1.24 g per fruit), as well as greater pulp firmness (2.05 N) and total soluble solids content (11.1 °Brix). Furthermore, at 0.5 L ha⁻¹ Biotrac dose, optimization of gas exchange and instantaneous carboxylation efficiency was observed, resulting in key nutrients increased absorption (N, P, K, B, and Zn) and combining higher commercial productivity with post-harvest fruit quality. Regarding biochemical variables, Biotrac doses between 0.5 and 1.0 L ha⁻¹ induced the antioxidant enzymes Superoxide Dismutase (SOD) and Catalase (CAT) maximum activity. Biotrac acted as a abiotic stress mitigation in melon plants, reducing hydrogen peroxide (H₂O₂) levels and preserving total soluble protein content, especially at intermediate doses. From a dose of 2.0 L ha⁻¹ onwards, there is a significant reduction in the firmness and acidity of the melon fruit pulp, indicating a possible physiological imbalance. Therefore, a dose of 1.5 L ha⁻¹ was established as the maximum agronomic efficiency point for melon grown in open fields under semi-arid conditions.

Keywords: Cucurbitaceae. Elicitors. Producer. Biochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Fazenda Dinamarca localizada em Pau Branco, Município de Mossoró/RN.....	26
Figura 2	–	Imagem da área experimental na Fazenda Dinamarca, Mossoró/RN.....	27
Figura 3	–	Croqui da área experimental com destaque de uma unidade experimental na área de cultivo comercial do meloeiro.....	27
Figura 4	–	Aplicação de Biotrac em uma parcela da área experimental, após a retirada da manta TNT – 22 dias após o transplante do melão Amarelo (cv McLaren) na Fazenda Dina Dinamarca Industrial Agrícola LTDA, Mossoró, RN.....	28
Figura 5	–	Análise pós-colheita do meloeiro – firmeza de casca e firmeza de polpa.....	31
Figura 6	–	Teste de médias e regressão para o SST (⁰ Brix 11,1 máx) (A) e a firmeza da polpa (2,05 N máx) (B) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa.....	35
Figura 7	–	Teste de médias e regressão para o pH (6,6 máx e 6,2 mín.) (A) e a acidez titulável (0,25 máx e 0,11 mín) (B) em função das doses do Bioinsumo Biotrac. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa.....	36
Figura 8	–	Teste de médias para Peso dos frutos (g) (A) e Produtividade total (t ha ⁻¹) (B), em função das doses do Bioinsumo. Com destaque dose 1,5 produtividade 37,14 t ha ⁻¹ e peso de fruto médio 1.238 g. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância (p<0,05).....	38
Figura 9	–	Análise de Regressão para A = taxa de assimilação de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) (A), EiC = eficiência instantânea da carboxilação (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / ppm) (A/Ci) (B).....	41
Figura 10	–	Composição mineral do tecido vegetal: Nitrogênio (N) (A); Fósforo (P) (B); Potássio (K) (C); Enxofre (S) (D); Cálcio (Ca) (E) e Magnésio (Mg) (F) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância (p<0,05).....	43
Figura 11	–	Composição mineral do tecido vegetal: Ferro (Fe) (A); Cobre (Cu) (B); Boro (B) (C); Zinco (Zn) (D) e Manganês (Mn) (F) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância (p<0,05).....	45

Figura 12	–	Teste de médias para Proteínas Solúveis Totais (PS Totais) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa.....	48
Figura 13	–	Regressão (A) e Teste de médias (B) para Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa.....	49
Figura 14	–	Análise de regressão para Superóxido Dismutase (SOD) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa (Tukey p<0,01).....	50
Figura 15	–	Análise de regressão para Catalase (CAT) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa (Tukey p<0,01).....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Teste de médias de Tukey para as variáveis: pH, °BRIX, acidez titulável (AT), firmeza da casca e firmeza da polpa em função das doses do bioinsumo.....	33
Tabela 2	–	Resumo da ANOVA para as variáveis: pH, °BRIX, acidez titulável (AT), firmeza da casca e firmeza da polpa em função das doses do bioinsumo.....	34
Tabela 3	–	Teste de médias de Tukey para as variáveis: Tleaf = Temperatura da folha (°C), E = transpiração (mmol de H ₂ O m ⁻² s ⁻¹), VPD = Déficit de pressão de vapor (Pa/kPa), gs = condutância estomática (μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹), A = taxa de assimilação de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹), Ci = Concentração interna de CO ₂ (ppm), EUA = eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [(μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)/(mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹], e EiC = eficiência instantânea da carboxilação (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / ppm) (A/Ci) em função das dosagens do Bioinsumo.....	39
Tabela 4	–	Resumo da ANOVA para as variáveis: Tleaf = Temperatura da folha (°C), E = transpiração (mmol de H ₂ O m ⁻² s ⁻¹), VPD = Déficit de pressão de vapor (Pa/kPa), gs = condutância estomática (μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹), A = taxa de assimilação de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹), Ci = Concentração interna de CO ₂ (ppm), EUA = eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [(μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)/(mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹], e EiC = eficiência instantânea da carboxilação (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / ppm) (A/Ci) em função das dosagens do Bioinsumo.....	40
Tabela 5	–	Resumo da ANOVA para as variáveis: H ₂ O ₂ , PS Totais, SOD, CAT e APX em função das doses do biostimulante.....	46
Tabela 6	–	Teste de médias de Tukey para as variáveis: H ₂ O ₂ , PS Totais, SOD, CAT e APX em função das doses do biostimulante.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Caracterização do Semiárido brasileiro	18
2.2 A cultura do meloeiro e os desafios produtivos na região potiguar.....	20
2.3 Estresses Abióticos e Danos Oxidativos em Plantas	21
2.4 Sistema de Defesa Antioxidante	22
2.5 Bioinsumos e Elicitores na Agricultura	23
2.6 O Papel do Extrato de <i>Ascophyllum nodosum</i> associado ao Boro e Zinco.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Localização e caracterização da área experimental	26
3.2 Delineamento experimental e condução do experimento	26
3.3 Trocas gasosas	29
3.4 Produção e componentes de produção	29
3.5 Composição mineral do tecido vegetal	30
3.6 Análise pós-colheita de frutos.....	30
3.7 Atividades antioxidantes (Variáveis bioquímicas)	31
3.8 Análise estatística	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Análises pós-colheita	33
4.2 Índice de colheita	37
4.3 Trocas gasosas	39
4.4 Composição mineral do tecido vegetal	41
4.5 Análise bioquímica e atividade antioxidante do melão	46
5 CONCLUSÕES	53
6 REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A cultura do melão (*Cucumis melo* L.), pertencente à família *Cucurbitaceae*, tem como origem a África e o sudeste asiático, sendo o continente africano seu centro primário de diversidade, com centros secundários na Ásia (Pitrat, 2017). Desde a sua domesticação, a espécie disseminou-se globalmente se espalhando por Oriente Médio, Europa e outras partes do mundo, tornando-se uma das olerícolas de maior relevância econômica mundial. No cenário internacional atual, a produção é liderada pela China, que detém cerca de metade do volume global, seguida por países como Turquia, Índia e Irã (FAO, 2024). Contudo, enquanto esses países focam principalmente no abastecimento interno, outros produtores, como o Brasil, destacam-se pela vocação exportadora, atendendo à demanda de países do Hemisfério Norte durante a entressafra, agosto a março. Neste contexto, o Brasil posiciona-se como um fornecedor estratégico para a Europa. Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2024), o continente europeu absorve boa parte das remessas brasileiras, tendo como principais destinos os Países Baixos (Holanda), que atuam como principal porta de entrada logística, seguidos pelo Reino Unido e pela Espanha. Recentemente, a abertura de protocolos fitossanitários com a China e a expansão do mercado norte-americano sinalizam novas fronteiras comerciais, ampliando a necessidade de tecnologias que garantam a vida útil pós-colheita dos frutos.

A chegada do meloeiro ao continente americano se deu no contexto das Grandes Navegações, sendo introduzido por volta do ano de 1494 (Robinson; Decker-Walters, 1997). No Brasil, trazido pelos portugueses no século XVI, o melão adaptou-se inicialmente como cultura de subsistência. Contudo, foi somente a partir de meados do século XX, com o avanço da agricultura irrigada e tecnologias de pós-colheita, que a cultura migrou seu eixo produtivo decisivamente para a região Nordeste, transformando-se em um pilar do agronegócio nacional (Filgueira, 2013).

No semiárido brasileiro o meloeiro encontra condições edafoclimáticas excepcionais para expressar seu máximo potencial genético. A região caracteriza-se por uma oferta elevada e constante de energia radiante, alta incidência de radiação solar (2.000 - 3.000 horas ano⁻¹), baixa umidade relativa do ar (50 - 65%), e temperaturas médias anuais diárias (24 - 32 °C) que favorecem o metabolismo acelerado da cultura, permitindo múltiplos ciclos produtivos ao longo do ano. Além disso, a escassez de chuvas, com precipitação pluvial concentrada nos quatro primeiros meses do ano (janeiro a abril), outrora vista como limitante, torna-se um trunfo agrônomo nesta região: ela permite o controle total do suprimento hídrico via

irrigação. Isso possibilita ao produtor induzir, de forma controlada, o estresse hídrico na fase final de maturação, técnica fundamental para elevar a concentração de sólidos solúveis (°Brix) e garantir a firmeza de polpa, características que conferem ao melão do Nordeste sua competitividade no mercado global (Santos et al., 2018).

Além da aptidão climática, a dimensão social da cultura do melão é estruturante para o desenvolvimento do Semiárido. Diferentemente de outras commodities, que são altamente mecanizadas, a cadeia produtiva do melão necessita de bastante mão de obra, demandando um elevado contingente de trabalhadores em todas as fases do ciclo produtivo, desde o preparo do solo e tratos culturais diários até a colheita manual e o beneficiamento rigoroso nos packing houses. A instalação de grandes empresas exportadoras na região fomentou um ecossistema econômico robusto, que atua como âncora de desenvolvimento regional. Essas companhias não apenas geram emprego e renda, mas promovem a qualificação técnica e a fixação de mão de obra no campo. Esse dinamismo é importante para mitigar o êxodo rural, oferecendo estabilidade econômica para as famílias locais mesmo durante os períodos de estiagem, transformando a realidade socioeconômica dos municípios produtores (Figueiredo et al., 2021).

Neste panorama, o município de Mossoró, no Rio Grande do Norte, consolida-se como um importante centro produtor nacional. Favorecida por estas condições singulares, a região lidera as estatísticas do setor com boa margem. Segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2023), o Rio Grande do Norte atingiu a marca de 604 mil toneladas de melão, volume sete vezes superior ao do segundo estado produtor. Deste montante, o município de Mossoró foi responsável, isoladamente, por mais de 216 mil toneladas, reafirmando o seu potencial produtivo. Tais cifras evidenciam a importância econômica da região, mas também a pressão sobre o sistema produtivo local.

Mesmo com muitas características favoráveis, a intensificação deste sistema produtivo em ambiente semiárido expõe as lavouras a pressões fisiológicas severas. O meloeiro é frequentemente submetido a condições desfavoráveis como à salinidade da água de irrigação e a altas temperaturas, fatores que impõem à planta dois tipos distintos de estresse: o osmótico, que restringe a absorção hídrica reduzindo o potencial da água no solo, e o iônico, decorrente da toxicidade e do desbalanço nutricional causado pelo acúmulo de íons nos tecidos. Essa desordem metabólica perturba a cadeia transportadora de elétrons na fotossíntese e na respiração, resultando na produção excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), com destaque para o acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Em concentrações elevadas, o H_2O_2 causa danos oxidativos a lipídios de membrana, proteínas e

DNA. Portanto, a capacidade da planta em tolerar essas condições depende diretamente da eficiência de seu sistema de defesa antioxidante, mediado principalmente pela ação de enzimas do sistema antioxidante, como a catalase (CAT), a peroxidase (POD) e a superóxido dismutase (SOD). Nesse contexto, a manutenção da atividade dessas enzimas é um biomarcador crucial para a produtividade e qualidade do fruto (Noctor; Foyer, 2016; Saha et al., 2022).

Frente a tais limitações, os Bioinsumos vegetais se apresentam como uma ferramenta estratégica para a promoção de uma agricultura resiliente às adversidades climáticas. Rouphael e Colla (2020) definem estes insumos como formulados capazes de estimular processos naturais para aprimorar a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses. Especificamente, os extratos da alga marinha *Ascophyllum nodosum* têm recebido atenção prioritária. Pesquisas recentes indicam que, além de ativar o sistema antioxidante, estes extratos são ricos em fitohormônios naturais (como auxinas, citocininas e giberelinas) e moléculas sinalizadoras (poliaminas e betaínas). Esses compostos desempenham um papel crucial na regulação da relação fonte-dreno, estimulando a translocação de fotoassimilados das folhas para os frutos, o que favorece a expansão celular e o acúmulo de sólidos solúveis (Shukla et al., 2019).

O produto Yara Amplix Biotrac insere-se nesta categoria tecnológica ao formular uma combinação sinérgica de extrato de *Ascophyllum nodosum* com nutrientes essenciais (Nitrogênio, Boro e Zinco).

No caso específico do produto Yara Amplix Biotrac, a formulação é enriquecida estrategicamente com Boro e Zinco. O Boro é fundamental para a germinação do tubo polínico e para o transporte de açúcares através do floema, garantindo o "pegamento" dos frutos mesmo sob estresse térmico e incrementando o Brix. Já o Zinco atua como precursor do triptofano (base para síntese de auxina) e cofator da enzima Superóxido Dismutase (SOD), criando uma sinergia nutricional-fisiológica que visa sustentar o crescimento do fruto em condições adversas (Wang et al., 2022).

Embora os benefícios isolados do extrato de alga sobre o desenvolvimento vegetal sejam documentados em diferentes cenários, existe uma lacuna de conhecimento no que diz respeito à interação metabólica desta formulação comercial específica com a fisiologia do meloeiro cultivado no Semiárido potiguar. Dessa maneira, torna-se necessária uma validação científica detalhada que considere as variáveis ambientais de Mossoró e seus reflexos na bioquímica da cultura.

Portanto, esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência da aplicação do Bioinsumo foliar a base de algas na fisiologia, crescimento, e balanço nutricional na produção de melão e avaliar a influência da aplicação do Bioinsumo na bioquímica e atividade antioxidante de melão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização do Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro abrange uma vasta extensão territorial, englobando grande parte da região Nordeste e o norte do estado de Minas Gerais. De acordo com a delimitação oficial da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), esta região caracteriza-se por precipitações pluviométricas médias anuais inferiores a 800 mm, um Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e um risco de seca superior a 60% (SUDENE, 2021).

Do ponto de vista climatológico, segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o BSw_h (clima semiárido quente), marcado por altas temperaturas ao longo de todo o ano, baixa umidade relativa do ar e alta incidência de radiação solar. A pluviosidade, além de escassa, apresenta uma distribuição tanto de espaço, como de tempo, extremamente irregular, concentrando-se em um curto período de três a quatro meses, seguido por um longo período de seca (Alvares et al., 2013). Essas condições climáticas resultam em taxas de evapotranspiração potencial que frequentemente superam os índices de precipitação, gerando um balanço hídrico negativo na maior parte do ano.

As elevadas temperaturas, características marcantes da região semiárida, exercem um impacto severo no desenvolvimento vegetal. O calor excessivo atua diretamente na ecofisiologia das culturas, podendo provocar danos às membranas celulares, inibição das reações fotoquímicas nos tilacoides e a degradação de enzimas essenciais. Além disso, temperaturas ambientais acima do ótimo térmico da espécie aceleram o metabolismo respiratório da planta, resultando em um balanço de carbono desfavorável. Esse desequilíbrio leva, consequentemente, à redução do acúmulo de biomassa e à queda significativa na produtividade e na qualidade comercial dos cultivos (Taiz et al., 2017; Wahid et al., 2007).

Associada ao calor intenso, a baixa umidade relativa do ar atua como outro fator limitante de grande relevância agrônômica. Esse cenário atmosférico gera um elevado Déficit de Pressão de Vapor (DPV) entre a superfície da folha e o ar circundante, forçando as plantas a aumentarem drasticamente suas taxas transpiratórias. Como mecanismo primário de defesa para evitar a dessecação severa, as plantas respondem com o rápido fechamento estomático. Embora essa resposta evite a perda de água, ela também atua como uma barreira física que restringe a difusão de dióxido de carbono CO₂ para o interior do mesófilo foliar, limitando

substancialmente a taxa de assimilação líquida da fotossíntese (Bergamaschi; Bergonci, 2017).

Agravando os efeitos dos estresses provocados pelas altas temperaturas e baixa umidade do ar, os baixos e irregulares índices pluviométricos impõem o estresse hídrico como uma condição crônica limitante na região. A deficiência de água no sistema solo-planta reduz drasticamente o potencial hídrico foliar, inibindo a turgescência, a expansão celular e o crescimento vegetativo. Essa escassez hídrica compromete os processos metabólicos das culturas e torna a agricultura de sequeiro, ou seja, aquela que depende das chuvas para o fornecimento direto de água as culturas, uma atividade de alto risco, impondo a necessidade de tecnologias de irrigação para a viabilização de cultivos comerciais de alto rendimento, como o meloeiro (Chaves et al., 2009).

Os solos da região semiárida apresentam grande variabilidade, mas de forma geral, em áreas de cristalino, tendem a ser rasos e pedregosos. No entanto, em bacias sedimentares, como as encontradas no polo agrícola de Mossoró-Assu (RN), predominam solos mais profundos, como Argissolos e Latossolos, que apresentam excelentes características físicas para a exploração agrícola (Lopes et al., 2018). Apesar do potencial, a combinação de alta evapotranspiração, baixa precipitação e características pedológicas torna esses solos particularmente suscetíveis aos processos de salinização, especialmente quando submetidos à irrigação sem o manejo adequado da drenagem (Silva et al., 2025).

No contexto dos recursos hídricos, a escassez superficial impulsiona o uso intensivo de águas subterrâneas para a irrigação. No polo de Mossoró, por exemplo, a captação de água no Aquífero Jandaíra é comum. Contudo, as águas desse aquífero frequentemente apresentam concentrações variáveis de sais dissolvidos, o que impõe um desafio adicional ao cultivo (Peixoto et al., 2021).

Apesar das adversidades edafoclimáticas, o Semiárido brasileiro, notadamente o polo de fruticultura irrigada do Rio Grande do Norte e Ceará, consolidou-se como um dos principais polos de produção e exportação de frutas do país. As mesmas condições que configuram estresse para as plantas – como a alta luminosidade e a amplitude térmica – são, paradoxalmente, os fatores que garantem a alta qualidade fotossintética, a sanidade e o elevado teor de sólidos solúveis (°Brix) nos frutos, como o melão (Basílio et al., 2024).

Desta maneira, o desafio da agricultura moderna nesta região consiste em manejar o ambiente de produção para mitigar os efeitos deletérios dos múltiplos estresses inerentes ao Semiárido, garantindo a sustentabilidade fisiológica e a produtividade das culturas de alto valor agregado.

2.2 A cultura do meloeiro e os desafios produtivos na região potiguar

Originário de regiões de clima quente, o meloeiro (*Cucumis melo* L.) encontrou no Semiárido brasileiro as condições ideais para a expressão do seu máximo potencial produtivo e qualitativo. Atualmente, a cultura representa um dos principais pilares da fruticultura irrigada na região Nordeste, com destaque para o polo agrícola de Mossoró (RN). Graças à elevada e constante incidência de radiação solar e ao emprego indispensável da irrigação, o Brasil não apenas supre integralmente a demanda do mercado interno, mas também se consolidou como um fornecedor global da cultura, entregando frutos de excelente padrão fitossanitário e elevado grau de doçura (IBGE, 2023).

Do ponto de vista ecofisiológico, o meloeiro é uma planta adaptada a climas quentes e secos, sendo altamente exigente em luminosidade. Tais características requerem que a cultura mantenha elevadas taxas de trocas gasosas e eficiência fotossintética para garantir o rápido acúmulo de fotoassimilados. Esse balanço de carbono positivo é essencial para o desenvolvimento vegetativo vigoroso e, sobretudo, para o enchimento e a maturação dos frutos. A qualidade final do melão, expressa pelo teor de sólidos solúveis totais (°Brix), firmeza da polpa e padrão visual, é diretamente dependente do sucesso desse metabolismo durante o seu ciclo, que é relativamente curto (Taiz et al., 2017).

No entanto, a intensificação do cultivo comercial na região semiárida impõe severos e constantes desafios produtivos. Como a cultura possui alta demanda hídrica, o sucesso da produção está irremediavelmente atrelado à irrigação. Conforme evidenciado anteriormente, a utilização frequente de águas subterrâneas do Aquífero Jandaíra, que muitas vezes apresentam níveis elevados e variáveis de condutividade elétrica, expõe as plantas a um quadro de recorrente estresse salino (Silva et al., 2023).

A salinidade da água de irrigação, quando sobreposta aos picos de temperatura e à alta demanda evaporativa atmosférica local, provoca a redução do potencial osmótico na zona radicular e promove a absorção excessiva de íons tóxicos, como o sódio (Na^+) e o cloreto (Cl^-). Esse cenário de estresse múltiplo e simultâneo (salino, hídrico e térmico) desencadeia uma série de desordens morfofisiológicas na planta. Observa-se o comprometimento severo das trocas gasosas (primariamente pelo fechamento estomático), a degradação de pigmentos fotossintéticos e o consequente desequilíbrio na relação fonte-dreno, o que limita drasticamente a produtividade e a rentabilidade das lavouras (Oliveira et al., 2024).

2.3 Estresses Abióticos e Danos Oxidativos em Plantas

No ambiente agrícola do Semiárido, as plantas de meloeiro raramente estão expostas a um único fator adverso. A ocorrência simultânea de estresse salino, hídrico e térmico desencadeia uma complexa sequência de respostas fisiológicas, cujo impacto primário é a interrupção da homeostase celular. A homeostase refere-se ao estado de equilíbrio dinâmico do ambiente interno da célula, condição indispensável para o pleno funcionamento do metabolismo vegetal, englobando a manutenção do balanço hídrico, da regulação iônica (como a proporção adequada entre K^+ e Na^+) e do estado redox. A salinidade, em particular, atua em duas fases distintas: inicialmente, provoca um estresse osmótico que restringe a absorção de água pelas raízes; em um segundo momento, causa toxicidade iônica devido ao acúmulo excessivo de íons como o sódio (Na^+) e o cloreto (Cl^-) nos tecidos foliares. Esse acúmulo desequilibra a nutrição mineral, prejudica reações enzimáticas vitais e, invariavelmente, culmina em um quadro severo de estresse oxidativo (Fu; Yang, 2023).

Como consequência secundária comum a esses múltiplos estresses abióticos, ocorre um severo desequilíbrio entre a absorção de energia luminosa e a sua utilização na via fotossintética. Com os estômatos fechados (para evitar a perda de água) e a fixação de CO_2 reduzida, o excesso de energia de excitação nos cloroplastos leva à sobrecarga (over-reduction) das cadeias de transporte de elétrons. Esse cenário favorece a transferência não intencional de elétrons para o oxigênio molecular (O_2), resultando na alta geração de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) (Mittler et al., 2022).

As EROs incluem radicais livres altamente instáveis, como o radical superóxido (O_2^-) e o radical hidroxila (OH^-), bem como moléculas de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Em concentrações basais, essas moléculas funcionam como importantes sinalizadores secundários, regulando o desenvolvimento da planta e a ativação de genes de defesa. No entanto, sob condições de estresse prolongado ou severo, a taxa de produção de EROs supera amplamente a capacidade de neutralização da célula, instaurando o que se denomina "estresse oxidativo" (Mansoor et al., 2022).

O estresse oxidativo pode ser letal para o maquinário celular. As EROs, devido à sua alta reatividade, atacam indiscriminadamente macromoléculas biológicas. O dano mais característico e quantificável é a peroxidação lipídica, um processo em que os radicais livres degradam os ácidos graxos poli-insaturados das membranas plasmáticas e das organelas. Essa

degradação não apenas destrói a integridade estrutural e a seletividade das membranas (levando ao extravazamento de eletrólitos), mas também causa a desnaturação de proteínas essenciais e promove danos diretos às fitas de DNA e RNA (Ahmad et al., 2023).

No meloeiro, a manifestação do estresse oxidativo traduz-se diretamente na degradação da clorofila, na senescência precoce das folhas e na drástica redução da viabilidade do pólen e do pegamento de frutos. Portanto, para que a planta consiga sobreviver e manter a sua produtividade sob tais condições hostis, é imprescindível que ela ative mecanismos eficientes para detectar e eliminar o excesso dessas moléculas tóxicas antes que os danos celulares se tornem irreversíveis.

2.4 Sistema de Defesa Antioxidante

Para neutralizar o excesso de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e reestabelecer a homeostase celular sob condições de estresse abiótico, as plantas desenvolveram um sofisticado e eficiente sistema de defesa antioxidante. Esse sistema atua de forma integrada e é classicamente dividido em componentes não enzimáticos (como ácido ascórbico, glutatona, tocoferóis e carotenoides) e componentes enzimáticos, que constituem a principal e mais rápida linha de defesa do metabolismo vegetal contra o dano oxidativo (Hasanuzzaman et al., 2023).

A primeira e mais crucial barreira enzimática contra a toxicidade das EROs é a enzima Superóxido Dismutase (SOD). Atuando na linha de frente do combate ao estresse oxidativo, a SOD catalisa a desintoxicação primária da célula ao converter rapidamente o radical superóxido (O_2^-) que é altamente reativo e letal, em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio (O_2). Embora a ação da SOD elimine o radical superóxido, o produto dessa reação, o H_2O_2 , ainda é tóxico para a célula, pois possui grande capacidade de atravessar membranas biológicas e causar danos em organelas distantes do seu local de origem. Dessa forma, a segunda etapa da desintoxicação exige a atuação coordenada de enzimas que removem o peróxido, principalmente a Catalase (CAT) e as Peroxidases, como a Ascorbato Peroxidase (APX) (Zandalinas; Mittler, 2022).

A Catalase (CAT) possui alta taxa de renovação e atua predominantemente nos peroxissomos, convertendo o H_2O_2 diretamente em água (H_2O) e oxigênio (O_2), sem a necessidade de um redutor celular. Paralelamente, a Ascorbato Peroxidase (APX) atua em conjunto no ciclo ascorbato-glutationa, possuindo uma afinidade muito maior pelo H_2O_2 do

que a CAT. Essa característica permite que a APX faça uma regulação fina dos níveis de peróxido no citosol e nos cloroplastos, garantindo que o H_2O_2 seja reduzido a níveis basais para atuar apenas como sinalizador celular, sem causar peroxidação lipídica. A peroxidação lipídica é um processo deletério que ocorre quando as EROs atacam e oxidam os lipídios que formam as membranas celulares. Esse ataque destrói a integridade da membrana, provocando o vazamento do conteúdo intracelular e levando à morte celular (Nath et al., 2023).

Além da ativação dessas enzimas específicas, a manutenção ou o acúmulo de proteínas solúveis totais é um importante indicador bioquímico de tolerância ao estresse. Sob múltiplas condições adversas no semiárido, plantas suscetíveis tendem a apresentar intensa degradação proteica (proteólise). Em contrapartida, plantas que conseguem modular positivamente o seu maquinário antioxidante protegem suas estruturas celulares e mantêm a síntese de proteínas de defesa, assegurando a continuidade das reações bioquímicas, da fotossíntese e, consequentemente, da produtividade do meloeiro.

2.5 Bioinsumos e Elicitores na Agricultura

A crescente necessidade de garantir a segurança alimentar, aliada às severas alterações climáticas e à contínua degradação dos solos, tem impulsionado a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes. Neste contexto, a utilização de bioinsumos, com especial destaque para os bioestimulantes e elicitores, emergiu como uma das estratégias biotecnológicas mais promissoras para mitigar os impactos negativos dos estresses abióticos em culturas de elevado valor comercial, como o meloeiro (Di Sario et al., 2025).

Os bioinsumos compreendem uma vasta gama de produtos de origem biológica que, quando aplicados às plantas ou ao solo, estimulam os processos naturais para melhorar a absorção e a eficiência do uso de nutrientes, a tolerância a estresses e a qualidade geral das culturas. Dentro desta categoria, os "elicitores" assumem um papel de destaque. Tratam-se de moléculas ou compostos bioativos que possuem a capacidade de mimetizar os sinais de alerta de estresse ambiental. Ao serem percebidos pelos receptores celulares da planta, estes compostos desencadeiam uma complexa cascata de sinalização que ativa precocemente os mecanismos de defesa vegetal, um fenómeno conhecido na literatura científica como priming ou condicionamento prévio (Godinez-Alvarez et al., 2023).

Quando uma planta é previamente tratada ou estimulada com um elicitor, o seu sistema de resposta a estresses entra num estado de prontidão metabólica. Consequentemente,

ao enfrentar o estresse abiótico real, como a conjugação de alta radiação, salinidade e déficit hídrico característico do Semiárido, a planta condicionada consegue montar uma resposta fisiológica e bioquímica consideravelmente mais rápida, robusta e duradoura do que uma planta não tratada (Pessoa et al., 2025). Esta resposta otimizada traduz-se na regulação estomática mais eficiente, na síntese de solutos compatíveis (osmoprotetores) e na ativação imediata do sistema de defesa antioxidante, envolvendo o aumento na atividade enzimática da SOD, CAT e APX (Del Buono, 2021).

Ao promoverem a manutenção da integridade das membranas celulares, através da redução drástica dos níveis de peroxidação lipídica, e ao assegurarem a estabilidade dos fotossistemas, os bioinsumos de ação elicitora garantem que a planta consiga manter uma taxa assimilatória líquida de carbono favorável. Esta manutenção da homeostase celular sob condições adversas reflete-se de forma direta na melhoria do vigor vegetativo e na otimização da relação fonte-dreno. Assim, a planta mantém a sua capacidade de translocar eficientemente os fotoassimilados para os frutos, preservando o rendimento agronômico e os rigorosos padrões qualitativos exigidos pelo mercado de exportação (Bulgari et al., 2024).

Dentre as diversas fontes de matrizes biológicas atualmente exploradas para a formulação de bioinsumos de alta performance, os extratos de algas marinhas têm ganhado notório destaque. A sua riqueza intrínseca em moléculas elicitoras, fitohormônios e a sua sinergia com micronutrientes essenciais constituem uma ferramenta de elevado potencial agronômico para a mitigação de estresses na horticultura irrigada.

2.6 O Papel do Extrato de *Ascophyllum nodosum* associado ao Boro e Zinco

Dentre as matrizes biológicas utilizadas na formulação de elicitores e bioestimulantes, os extratos da macroalga parda *Ascophyllum nodosum* consolidaram-se como uma das ferramentas agronômicas mais eficientes e amplamente estudadas. A eficácia ecofisiológica dessas algas reside na sua complexa e rica composição bioquímica, que inclui polissacarídeos, betainas, manitol, aminoácidos e precursores de fitohormônios. Quando aplicados de forma exógena, esses compostos bioativos atuam como potentes sinalizadores celulares, promovendo o condicionamento do metabolismo vegetal e conferindo maior resiliência a condições de estresse salino, hídrico e térmico (Shukla et al., 2023).

O mecanismo primário de proteção mediado pelo extrato de *A. nodosum* envolve a forte modulação do sistema de defesa antioxidante da planta. Estudos evidenciam que a

aplicação do extrato de algas induz a regulação positiva de genes codificadores das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Ascorbato Peroxidase (APX). Esse estímulo acelera a neutralização das Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e reduz drasticamente a peroxidação lipídica, preservando a integridade das membranas celulares e a eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII) sob condições adversas (Ali et al., 2022).

Para potencializar essa ação biostimulante, formulações de alta tecnologia têm associado o extrato de algas a macronutrientes e micronutrientes essenciais, como no nosso estudo o Zinco (Zn) e o Boro (B), criando uma sinergia metabólica interessante. O Zinco desempenha um papel estrutural e catalítico crítico no combate ao estresse oxidativo. Além de ser essencial para a estabilidade e função dos ribossomos (garantindo a síntese proteica contínua), o Zn é o cofator metálico central da isoforma citosólica e cloroplastídica da SOD (Cu/Zn-SOD). A deficiência ou indisponibilidade de Zn sob estresse salino inviabiliza o funcionamento adequado dessa enzima, tornando a suplementação fundamental para manter a primeira linha de defesa antioxidante ativa (Stavridou et al., 2023).

O Boro, por sua vez, atua de maneira complementar, sendo vital para a estabilidade estrutural da parede celular por meio da formação de complexos com substâncias pécticas. Sob a ótica reprodutiva e produtiva, fatores determinantes para a cultura do meloeiro, o Boro é indispensável para o crescimento do tubo polínico, viabilidade do pólen e efetivo pegamento dos frutos. Além disso, este micronutriente facilita o transporte transmembrana e a translocação de açúcares das folhas (fontes) para os frutos (drenos), sendo um dos principais responsáveis por assegurar o elevado teor de sólidos solúveis (°Brix) mesmo quando a planta é submetida a restrições edafoclimáticas (Singh et al., 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em uma área de cultivo comercial da Fazenda Dina Dinamarca LTDA. localizada em Pau Branco, município de Mossoró, RN (Latitude: 5° 11' Sul, Longitude: 37° 20" e 18 m) e, segundo a classificação de Köppen, possui clima do tipo BSw'h', isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono (Figura 1).



Figura 1. Fazenda Dinamarca localizada em Pau Branco, Município de Mossoró/RN. Fonte: Autor (2026).

3.2 Delineamento experimental e condução do experimento

O experimento foi conduzido em campo aberto durante o período de setembro a outubro de 2024, utilizando o delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos, 4 repetições (Figura 2). Cada unidade experimental foi composta por seis fileiras de plantas com 25 m de comprimento, espaçadas de 2 m e, 0,5 m entre plantas. As duas fileiras extremas de cada parceira experimental foram consideradas como bordaduras (Figura 3).



Figura 2. Imagem da área experimental na Fazenda Dinamarca, Mossoró/RN. Fonte: Autor (2026).

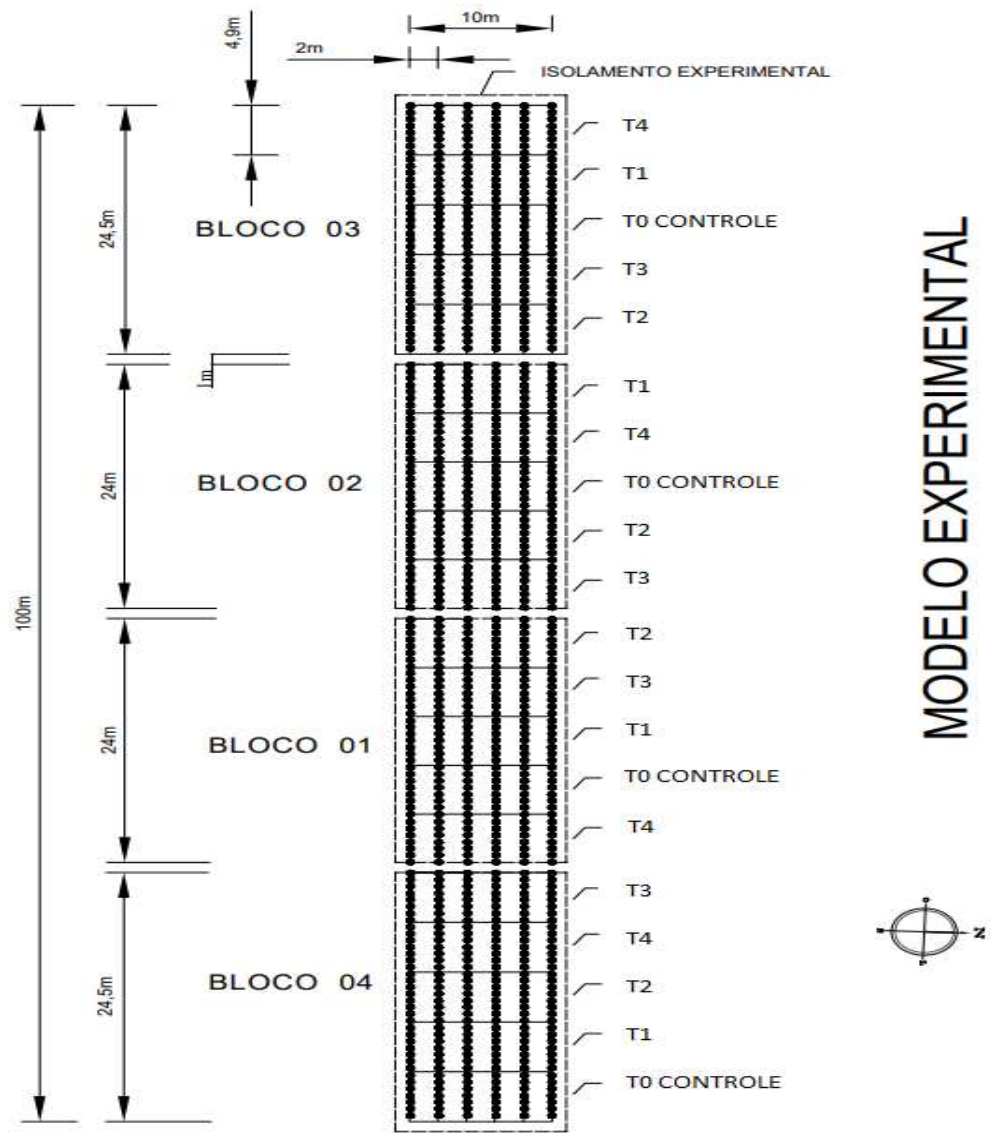


Figura 3. Croqui da área experimental com destaque de uma unidade experimental na área de cultivo comercial do meloeiro. Fonte: Autor (2026).

Avaliou-se cinco doses do Yara Amplix Biotrac aplicadas nas folhas do meloeiro após a retirada da manta TNT (30 dias após o plantio). As plantas do meloeiro (*Cucumis melo* L., cv. McLaren) foram nutridas com Yara Amplix Biotrac, Bioestimulante para estresse abiótico comercializado pela Yara Brasil, sendo testado 4 dosagens (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L ha⁻¹) e um tratamento controle (sem a aplicação de Biotrac).

As dosagens de Biotrac foram aplicadas utilizando pulverizador costal, a cada 7 dias a partir da retirada da manta TNT da área de cultivo do meloeiro, totalizando 3 aplicações nos dias 25/09/2024, 02/10/2024 e 09/10/2024, correspondendo, respectivamente à 1^a, 2^a e 3^a (Figura 4).



Figura 4. Aplicação de Biotrac em uma parcela da área experimental, após a retirada da manta TNT – 22 dias após o transplântio do melão Amarelo (cv McLaren) na Fazenda Dina Dinamarca Industrial Agrícola LTDA, Mossoró, RN. Fonte: Autor (2026).

O manejo pré-plantio e pós-plantio foi o tradicionalmente adotado pela Fazenda produtora comercial do melão. Com o solo a capacidade de campo, fez-se o suprimento hídrico obedecendo-se aos estádios de desenvolvimento da cultura. As adubações foram realizadas diariamente em fertirrigação, seguindo-se o cronograma da empresa e a necessidade da cultura, enquanto o controle fitossanitário e as capinas foram realizados de acordo com a necessidade, seguindo-se os critérios adotados para o plantio comercial da Fazenda.

Na irrigação foi utilizada água com restrições moderadas de uso quanto aos riscos de salinização do solo ($CE_a = 0,3 \text{ dS m}^{-1}$) oriunda da mistura das águas de poços perfurados no

Arenito ($CE_a = 0,5 \text{ dS m}^{-1}$) e Calcário Jandaíra ($CE_a = 4,5 \text{ dS m}^{-1}$), sendo adotado um turno de rega diário, aplicando-se em cada unidade experimental um volume de água de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo.

Durante a condução do experimento, os tratos culturais e fitossanitários preconizados para a cultura foram realizados, quando necessário, para o controle preventivo de pragas e doenças em cada estágio de desenvolvimento.

3.3 Trocas gasosas

Para a cultura do melão, o momento ideal para realizar essa análise é durante a fase de pegamento e enchimento dos frutos. Essa é a fase mais crucial no desenvolvimento da cultura, pois a planta está direcionando uma enorme quantidade de energia e recursos para o crescimento dos frutos.

As trocas gasosas foram realizadas entre 7:00 às 9:00 h, sendo analisadas as folhas maduras, em cada parcela experimental, situadas no terço superior de cada planta, com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro⁺ Portable Photosynthesis System[®] (ADC Bio Scientific Limited, UK) LCPro⁺ com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e fluxo de ar de 200 mL min^{-1} .

Foram determinados a taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Concentração interna de CO_2 (Ci) (ppm), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Déficit de pressão de vapor (VPD) (Pa/kPa), Temperatura da folha (Tleaf) (°C), condutância estomática (gs) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci). Além disso, foi calculado a eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EICi) (A/C_i) (Silva et al., 2014).

3.4 Produção e componentes de produção

Os frutos foram colhidos aos 65 dias após o plantio (09/10/2024). Foram avaliados os pesos individuais de cada fruto, e obtido o valor de produtividade total, através da pesagem de todos os frutos da área útil, estimada em Mg ha^{-1} .

3.5 Composição mineral do tecido vegetal

Foram coletadas amostras da folha diagnostico (6° folha do ramo principal) em cada parcela experimental para determinar da composição mineral do tecido vegetal por meio de digestão seca de 0,500 mg de biomassa em solução ácida (ácido nítrico e HCl a 1 mol l⁻¹), conforme metodologia da EMBRAPA (2009). O momento ideal para a coleta das folhas para análise é a fase de pegamento do primeiro fruto, ou seja, quando as plantas já estão com frutos em desenvolvimento. Essa fase é a mais representativa porque a planta está em plena atividade metabólica, demandando uma grande quantidade de nutrientes para o crescimento e enchimento dos frutos.

3.6 Análise pós-colheita de frutos

Foram determinadas as seguintes variáveis de qualidade pós-colheita dos frutos:

Sólidos solúveis – SS (%): determinado diretamente no suco homogeneizado, através de leitura em refratômetro digital (modelo PR – 100, Palette, AtagoCo., LTD., Japan), segundo a recomendação proposta pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005).

Acidez Titulável - AT (% de ácido cítrico): determinada por titulometria, utilizando-se uma alíquota de 1,0 mL de suco, à qual serão adicionados 49,0 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína alcoólica a 1%, usando-se solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N, padronizada com biftalato de potássio, como titulante (IAL, 2008).

Firmeza da polpa: A textura dos frutos foi determinada dividindo-se longitudinalmente em quatro partes, sendo que em cada uma delas proceder a uma leitura (em regiões diferentes) com penetrômetro digital, cujos resultados médios foram expressos em newton (N). Determinação da firmeza da casca, realizado através de texturômetro digital (Figura 5).

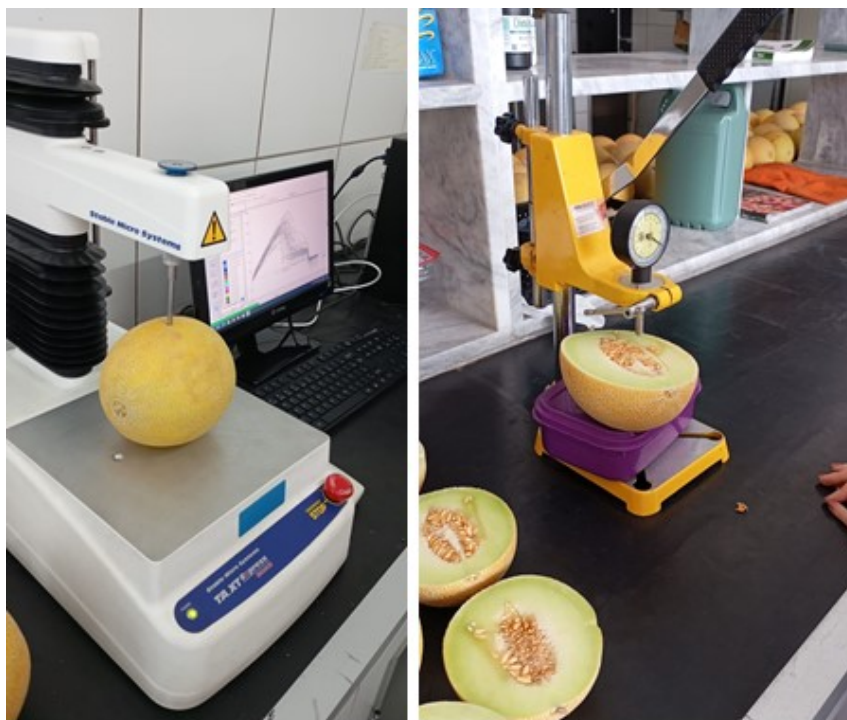


Figura 5. Análise pós-colheita do meloeiro – firmeza de casca e firmeza de polpa. Fonte: Autor (2026).

3.7 Atividades antioxidantes (Variáveis bioquímicas)

Extração de proteínas solúveis: Amostras de folhas frescas, trituradas em Nitrogênio líquido, foram homogeneizadas em tampão fosfato de potássio 1 mM, suplementado com 1mM de EDTA e 3mM de DTT. O extrato obtido foi centrifugado e o sobrenadante armazenado em ultra- freezer a 80 °C. O teor de proteína foi determinado com base em uma curva padrão de albumina de soro bovino (Bradford, 1976).

A atividade das enzimas, foi determinada a partir do extrato bruto de proteínas. Para determinar a atividade da Ascorbato peroxidase (APX) um MIX foi preparado com 10 ml de tampão de fosfato de potássio a 80 mM (pH 7,0), 2 mL de ácido ascórbico a 5mM e 2 mL de EDTA a 1mM. A reação foi obtida partir de 850 μ L do MIX acrescido de 50 μ L do extrato vegetal e 100 μ L de H₂O₂ a 1mM. A leitura foi acompanhada durante um minuto a 290 nm em espectrofotômetro (Micronal, Modelo B572). Os resultados foram expressos em μ mol/mg de proteínas/min, considerando que uma unidade de APX decompõe 1 μ mol de H₂O₂ por mg de proteína em 1 minuto a pH 7,0, conforme Nakano e Asada (1981).

Peroxidação lipídica: determinada conforme Heath e Packer (1968), com modificações. Para isso, um extrato foi produzido a partir do macerado de 200 mg de

biomassa fresca da folha em ácido tricloroacético a 0,1% (TCA), juntamente com 20% de PVPP (polivinilpolipirrolidona). A mistura foi homogeneizada e centrifugada a 10.000 g por 5 minutos a 4 °C. Para determinação, uma alíquota de 0,250 µL do sobrenadante mais 1,0 mL de solução, contendo 0,5% de TBA e 20% de TCA, foram postas em banho-maria (95 °C) por 30 minutos e depois resfriada por 10 min.

Peróxido de hidrogênio (H₂O₂): determinado a partir do extrato da peroxidação lipídica. Uma alíquota de 200 µL do sobrenadante foi misturada com 200 µL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 800 µL de solução de iodeto de potássio. As amostras foram mantidas em gelo e no escuro por 60 minutos. Foram mantidas em temperatura ambiente, para leitura em espectrofotômetro a 390 nm, conforme proposto por Alexieva et al., (2001).

A atividade da catalase, conforme método de Havir e Mchale (1987), com modificações de Azevedo et al., (1998). O ensaio foi realizado a 25 °C em uma solução contendo 1,390 µL de tampão de fosfato de potássio a 100 mM (pH 7,5), 50 µL de extrato vegetal e 60 µL de H₂O₂. A reação foi iniciada pela adição do H₂O₂ e a atividade acompanhada monitorando a degradação a 240 nm, durante 1 minuto. Os resultados foram expressos em µmol/mg de proteínas/min.

A superóxido dismutase, foi determinada conforme Giannopolitis e Ries (1977). Em tubos de ensaio foram adicionados 3,32 ml de meio de reação (tampão de fosfato de potássio 50 mM (pH 6,0), EDTA a 1 mM e metionina 13 mM), acrescido de 400 µL de NBT a 750 µM, 80 µL de riboflavina a 1 mM e 200 µL do extrato vegetal diluído (50 µL da amostra mais 150 µL do tampão de extração). Os tubos foram submetidos a iluminação com lâmpadas fluorescentes de 30 watts (30 µmol de fótons m⁻² s⁻¹) por 5 minutos. A leitura ocorreu em ambiente sem iluminação, iniciando com o branco escuro, seguido das amostras, em 560 nm. Os resultados foram expressos em U SOD g⁻¹ MF.

3.8 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada por meio do software estatístico SISVAR® versão 5.6 (Ferreira, 2011). Onde foram realizadas análise de variância (teste F; p<0,05) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Análise de regressão linear e quadrática (p<0,05).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis analisadas foram feitos o teste F para verificação do nível de significância quanto a comparação de médias e análise de regressão linear e quadrática.

4.1 Análises pós-colheita

Para as análises de pós-colheita dos frutos foram observados significância para o tratamento das doses do Bioinsumo Biotrac para pH, sólidos solúveis (expresso em °Brix), Acidez titulável (AT) e Firmeza da Polpa do Fruto (Tabela 1).

Tabela 1. Teste de médias de Tukey para as variáveis: pH, °BRIX, acidez titulável (AT), firmeza da casca (N) e firmeza da polpa (N) em função das doses do bioinsumo.

Teste de médias – pós-colheita de frutos					
Dose	pH **	°BRIX **	AT **	F Casca ^{ns}	F Polpa **
0,0	6,57 a	7,80 bc	0,11 b	48,31 a	1,51 b
0,5	6,28 b	7,03 c	0,19 ab	49,25 a	1,44 b
1,0	6,24 b	10,78 ab	0,20 ab	50,94 a	1,73 ab
1,5	6,27 b	11,13 a	0,19 ab	52,66 a	2,05 a
2,0	6,48 ab	6,63 c	0,25 a	42,78 a	1,48 b

ns não significativo, ** , * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) letras minúsculas diferentes diferem estatisticamente pelo teste de tukey na linha.

Para Firmeza da casca não houve significância. AT e pH apresentaram significância para regressão linear e quadrática, enquanto °Brix e F Polpa apresentaram significância para regressão quadrática. Já a firmeza da casca não houve efeito significativo para nenhuma análise de regressão (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da ANOVA para as variáveis: pH, °BRIX, acidez titulável (AT), firmeza da casca (N) e firmeza da polpa (N) em função das doses do bioinsumo.

Estatística F – pós-colheita de frutos*					
Fator de variação	pH	°BRIX	AT	F Casca	F Polpa
Dose	**	**	**	ns	**
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns
- Linear	**	ns	**	ns	ns
- Quadrática	**	*	**	ns	*
CV	3,74	16,07	4,00	13,71	13,02
Média	6,23	8,67	0,19	48,78	1,64

ns não significativo, **, * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% ($p < 0,01$ e $p < 0,05$).

A qualidade pós-colheita, determinante para a aceitação do melão no mercado, foi significativamente influenciada pelos tratamentos. A análise de variância demonstrou efeito significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) para o teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) e para a Firmeza da Polpa, com ambas as variáveis se ajustando a modelos de regressão quadrática (Figura 6). Para o teor de sólidos solúveis (°Brix), observou-se que as doses entre 1,0 e 1,5 L ha⁻¹ proporcionaram os maiores incrementos na doçura dos frutos. O ponto de máxima foi atingido na dose de 1,5 L ha⁻¹, registrando um valor médio de 11,1 °Brix. Este patamar é superior ao mínimo exigido pelos principais mercados internacionais. Segundo a norma internacional UNECE (2017) para exportação à União Europeia e autores como Filgueira (2013), frutos de melão devem apresentar, no mínimo, entre 9,0 e 10,0 °Brix para serem considerados de boa qualidade organoléptica; valores inferiores a estes são frequentemente rejeitados pelo mercado consumidor por serem considerados insípidos. Comportamento similar foi verificado para a Firmeza da Polpa. A dose de 1,5 L ha⁻¹ destacou-se isoladamente, promovendo frutos significativamente mais firmes (2,05 N) em comparação ao controle e às demais doses. As dosagens inferiores (0,5 e 1,0 L ha⁻¹) não diferiram estatisticamente da testemunha, enquanto a dose de 2,0 L ha⁻¹ apresentou redução na firmeza, retornando aos patamares do controle. Esse resultado indica que a dose de 1,5 L ha⁻¹ foi a única capaz de promover alterações estruturais positivas na textura da polpa do fruto.

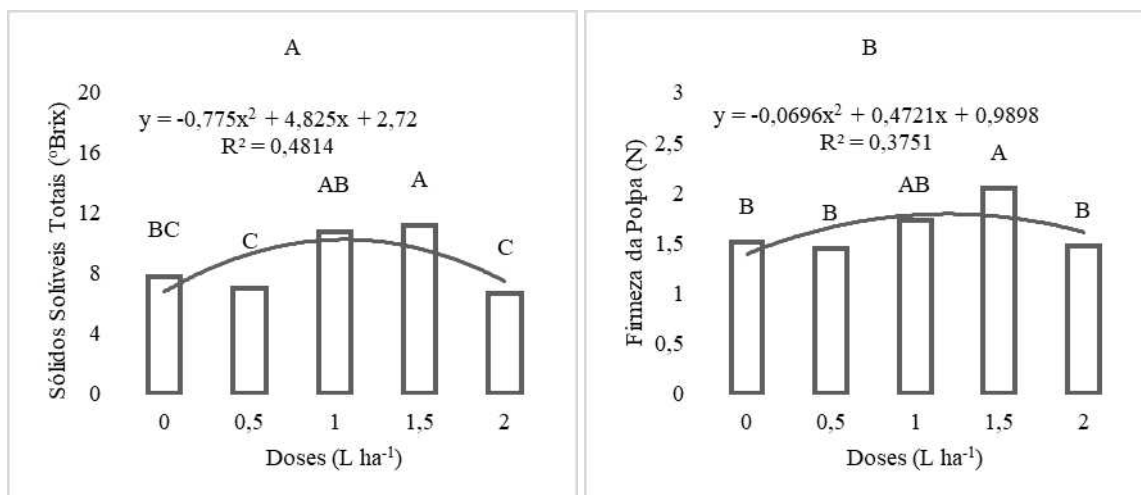


Figura 6. Teste de médias e regressão para o SST (^oBrix 11,1 máx) (A) e a firmeza da polpa (2,05 N máx) (B) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa. Fonte: Autor (2026).

O incremento no teor de sólidos solúveis na dose de 1,5 L ha⁻¹ corrobora a hipótese de que a suplementação com o Bioinsumo otimizou a relação fonte-dreno. Segundo Góes et al. (2021), que avaliaram a conservação pós-colheita de melão amarelo sob uso de Bioestimulantes no Rio Grande do Norte, a aplicação exógena de compostos bioativos mantém a integridade da maquinaria fotossintética por mais tempo, permitindo maior síntese e translocação de sacarose para os frutos nas fases finais de maturação.

Além da ação das algas, a presença de micronutrientes na formulação potencializa esse efeito. Hassan et al. (2021) destacam que o Boro é vital para o transporte de açúcares através das membranas (formação de complexos açúcar-borato), enquanto o Zinco atua na ativação de enzimas como a anidrase carbônica, fundamental para a eficiência fotossintética. A combinação desses elementos no produto Biotrac favoreceu o acúmulo de biomassa seca solúvel (açúcares) no mesocarpo.

Quanto à firmeza, o ganho observado na dose ótima está alinhado aos princípios fisiológicos descritos por Chitarra e Chitarra (2005). O Boro atua na estabilização da parede celular através da formação de ligações cruzadas entre as cadeias de pectina (pectatos de boro) na lamela média, conferindo maior coesão tecidual. Adicionalmente, os extratos de *Ascophyllum nodosum* podem reduzir a atividade de enzimas hidrolíticas (como poligalacturonase e pectinametilesterase) que degradam a parede celular durante o amadurecimento, resultando em frutos mais firmes e com maior vida útil de prateleira (Mannino et al., 2020).

A aplicação do Bioinsumo Biotrac alterou significativamente o equilíbrio químico da polpa dos frutos. A análise de variância indicou diferenças estatísticas significativas para o potencial hidrogeniônico (pH) e para a Acidez Titulável (AT), variáveis que apresentaram uma correlação inversa bem definida (Tabela 1).

Para o pH, observou-se que a aplicação do produto promoveu uma leve acidificação do meio. As doses entre 0,5 e 1,5 L ha⁻¹ resultaram em valores de pH significativamente inferiores ao tratamento controle (que apresentou médias próximas a 6,6). Nessas dosagens, o pH situou-se na faixa de 6,2 a 6,3. Curiosamente, na dose máxima de 2,0 L ha⁻¹, o efeito foi menos pronunciado, com o pH retornando a patamares estatisticamente semelhantes ao controle e às demais doses, sugerindo uma perda da capacidade regulatória nessa concentração. Em contrapartida, a Acidez Titulável (AT) apresentou tendência de aumento conforme a elevação da dosagem. Embora as doses de 0,5 a 1,5 L ha⁻¹ tenham apresentado incremento numérico na acidez, elas não diferiram estatisticamente do controle pelo teste de médias. O destaque ocorreu na dose de 2,0 L ha⁻¹, que promoveu um aumento significativo na concentração de acidez, diferindo estatisticamente da testemunha (Figura 7).

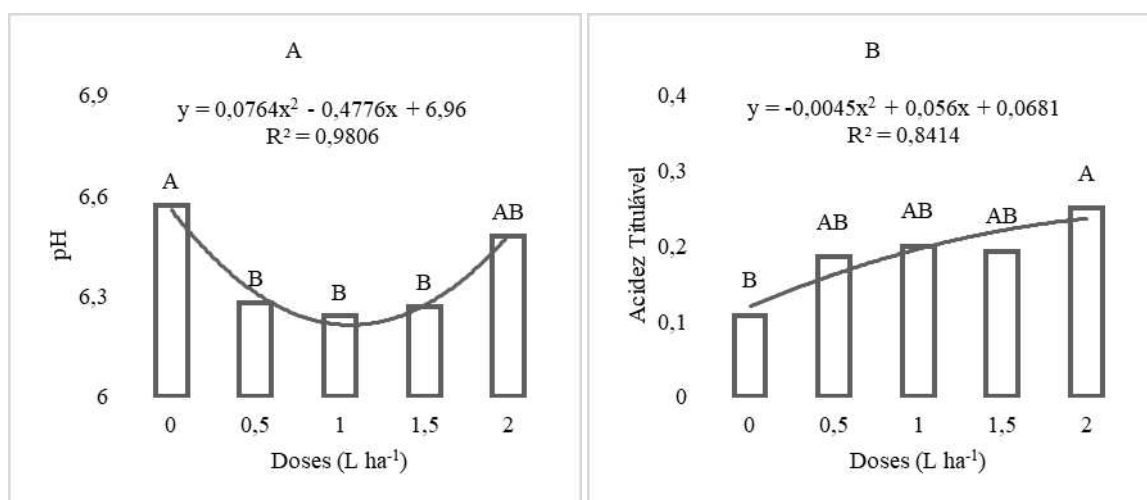


Figura 7. Teste de médias e regressão para o pH (6,6 máx e 6,2 mín.) (A) e a acidez titulável (0,25 máx e 0,11 mín) (B) em função das doses do Bioinsumo Biotrac. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa. Fonte: Autor (2026)

A redução do pH e a manutenção da acidez em níveis controlados nas doses intermediárias (até 1,5 L ha⁻¹) são aspectos positivos para a pós-colheita. Segundo Lima et al. (2020), que estudaram a fisiologia do melão no semiárido, frutos com pH levemente mais ácido (abaixo de 6,5) apresentam maior estabilidade microbiológica, uma vez que o meio

menos alcalino desfavorece a proliferação de bactérias deteriorantes, contribuindo para a extensão da vida útil (shelf-life).

A aplicação de Bioinsumos à base de *Ascophyllum nodosum* pode modular a atividade do Ciclo de Krebs, Ammar et al. (2022) relatam que os compostos bioativos das algas podem reduzir a taxa respiratória dos frutos, preservando os ácidos orgânicos por mais tempo. Isso explica por que os frutos tratados mantiveram a acidez ligeiramente superior ao controle. Do ponto de vista metabólico, a alteração na acidez pode estar ligada à respiração celular. Os ácidos orgânicos são substratos consumidos durante a respiração para gerar energia (Taiz et al., 2017).

No entanto, o comportamento da dose de 2,0 L ha⁻¹ (maior acidez, mas baixo Brix e baixa firmeza, conforme discutido nos tópicos anteriores) pode indicar um desbalanço fisiológico. A dose de 1,5 L ha⁻¹ entregou o melhor cenário: alto Brix e acidez equilibrada, resultando em fruto saboroso. Já a dose de 2,0 L ha⁻¹ entregou um fruto com baixo açúcar e alta acidez, característica sensorial indesejável. Este acúmulo excessivo de ácidos na maior dose pode ser uma resposta ao estresse induzido por uma concentração além da desejada do produto, conforme alertam Preciado-Rangel et al. (2020) ao trabalharem com biofortificação em melão.

4.2 Índice de colheita

A aplicação foliar do Bioinsumo Biotrac exerceu influência positiva sobre os componentes de rendimento da cultura. A comparação de médias demonstrou diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), tanto para a massa média dos frutos quanto para a produtividade total, indicando que a aplicação do Bioinsumo interferiu na capacidade do meloeiro em alocar biomassa aos frutos. Ao analisar o comportamento dos dados, observou-se que as doses intermediárias promoveram ganhos produtivos, seguidos de um declínio na maior dosagem testada (Figura 8). Com relação à massa média dos frutos (Peso de Frutos), os tratamentos com doses entre 0,5 e 1,5 L ha⁻¹ resultaram em frutos estatisticamente superiores ao controle. O pico de desempenho foi obtido na dose de 1,5 L ha⁻¹, resultando em frutos com massa média de 1,238 kg. Em contrapartida, a dose de 2,0 L ha⁻¹ apresentou médias estatisticamente semelhantes ao tratamento testemunha, demonstrando que a dose mais alta perdeu o efeito positivo observado nas dosagens anteriores. Tendência idêntica foi verificada para a produtividade total. A dose de 1,5 L ha⁻¹

destacou-se com a maior média, atingindo 37,14 t ha⁻¹. Este tratamento diferiu estatisticamente do controle e da dose máxima de 2,0 L ha⁻¹. Esses dados evidenciam que a dose de 1,5 L ha⁻¹ proporcionou o equilíbrio ideal entre estímulo fisiológico e aporte nutricional para as condições edafoclimáticas de Mossoró-RN.

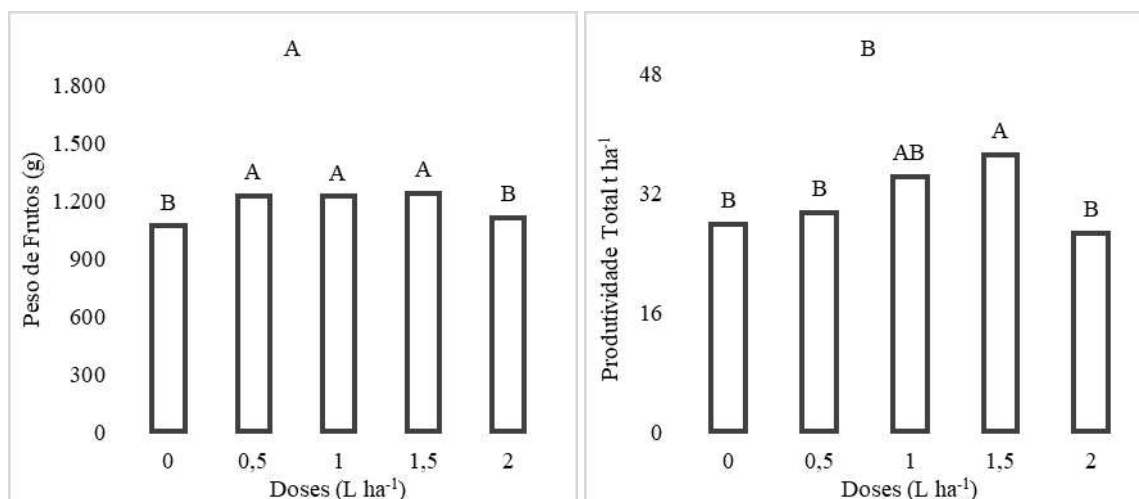


Figura 8. Teste de médias para Peso dos frutos (g) (A) e Produtividade total (t ha⁻¹) (B), em função das doses do Bioinsumo. Com destaque dose 1,5 produtividade 37,14 t ha⁻¹ e peso de fruto médio 1.238 g. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$). Fonte: Autor (2026).

Os resultados obtidos evidenciam que o uso do Bioinsumo, na dose otimizada, promoveu incrementos reais na produção de biomassa. Estes achados corroboram os estudos de Queiroga et al. (2020), que, ao avaliarem a aplicação de Bioestimulante na cultura do melão no semiárido paraibano, também observaram aumentos na produtividade comercial com doses intermediárias (próximas a 1,5 L ha⁻¹), atribuindo o ganho à otimização fisiológica das plantas. O incremento associado à dose de 1,5 L ha⁻¹ pode ser explicado pela ação bioativa do extrato de *Ascophyllum nodosum* na regulação hormonal. Conforme descrito por Rouphael e Colla (2020), os extratos de alga contêm precursores de citocininas e auxinas que estimulam a divisão celular nos estádios iniciais de formação do fruto, resultando em drenos com maior capacidade de acumular fotoassimilados.

Além do componente orgânico, o incremento pode estar relacionado a sinergia com os micronutrientes Boro e Zinco. O Boro é essencial para o transporte de açúcares via floema (translocação da fonte para o dreno), facilitando o enchimento do fruto. Já o Zinco atua na síntese do aminoácido triptofano, precursor do Ácido Indolacético (AIA), hormônio

responsável pela expansão celular (Dechen et al., 2018). Resultados semelhantes foram reportados por Nascimento et al. (2021), onde a suplementação foliar com Boro e Zinco resultou em frutos mais pesados devido à otimização da translocação de reservas.

4.3 Trocas gasosas

Os parâmetros fisiológicos relacionados às trocas gasosas foliares não apresentaram variações significativas em resposta às diferentes doses aplicadas (Tabela 3). As variáveis temperatura foliar (Tleaf) taxa de transpiração (E), déficit de pressão de vapor (VPD), condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) mantiveram-se estatisticamente homogêneas pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Teste de médias de Tukey para as variáveis: Tleaf = Temperatura da folha (°C), E = transpiração (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), VPD = Déficit de pressão de vapor (Pa/kPa), gs = condutância estomática (μmol H₂O m⁻² s⁻¹), A = taxa de assimilação de CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Ci = Concentração interna de CO₂ (ppm), EUA = eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [(μmol CO₂ m⁻² s⁻¹)/(mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹], e EiC = eficiência instantânea da carboxilação (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/ ppm) (A/Ci) em função das dosagens do Bioinsumo.

Teste de médias – trocas gasosas										
Dose	Tleaf ^{ns}	E ^{ns}	VPD ^{ns}	gs ^{ns}	A ^{ns}	Ci ^{ns}	EUA ^{ns}	EiC ^{ns}		
0,0	27,08 a	3,16 a	13,60 a	229,78 a	17,25 a	248,98 a	5,88 a	0,69 a		
0,5	27,51 a	3,96 a	13,77 a	287,23 a	22,83 a	238,90 a	5,99 a	0,98 a		
1,0	27,68 a	4,15 a	13,94 a	295,98 a	24,38 a	236,40 a	6,03 a	0,10 a		
1,5	27,74 a	4,10 a	14,10 a	296,38 a	26,16 a	219,40 a	6,58 a	0,12 a		
2,0	27,27 a	4,08 a	13,04 a	313,18 a	19,12 a	271,48 a	4,88 a	0,73 a		

ns não significativo, ** , * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% (p<0,01 e p<0,05) letras minúsculas diferentes diferem estatisticamente pelo teste de tukey na linha.

De acordo com a Anova não houve efeito significativo para as trocas gasosas em relação as doses aplicadas. Porém houve efeito significativo para A (taxa de assimilação de CO₂) e EiC (eficiência instantânea da carboxilação) na análise de regressão quadrática (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da ANOVA para as variáveis: Tleaf = Temperatura da folha (°C), E = transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), VPD = Déficit de pressão de vapor (Pa/kPa), gs = condutância estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), A = taxa de assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci = Concentração interna de CO_2 (ppm), EUA = eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$], e EiC = eficiência instantânea da carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{ppm}$) (A/C_i) em função das dosagens do Bioinsumo.

Estatística F – trocas gasosas								
Fator de variação	Tleaf	E	VPD	gs	A	Ci	EUA	EiC
Dose	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
- Quadrática	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
C.V (%)	1,90	17,87	9,01	23,01	22,90	11,35	19,55	30,36
Média	27,45	3,89	13,69	284,5	21,95	243,03	5,86	0,09

^{ns} não significativo, **, * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% respectivamente ($p < 0,01$ e $p < 0,05$).

O Bioinsumo otimiza a capacidade da planta de assimilar CO_2 . Sendo a melhor dose em torno de 1,5 (Figura 9). A taxa de assimilação de CO_2 é a base de todo o processo produtivo da planta. É através da fotossíntese que a planta converte a energia luminosa em energia química, produzindo açúcares (carboidratos) a partir do CO_2 atmosférico e da água. Esses açúcares são a matéria-prima para o crescimento de toda a planta, incluindo caules, folhas, raízes e, crucialmente para nosso estudo, os frutos. Sem uma fotossíntese eficiente, não há produção de biomassa (Farias et al., 2024).

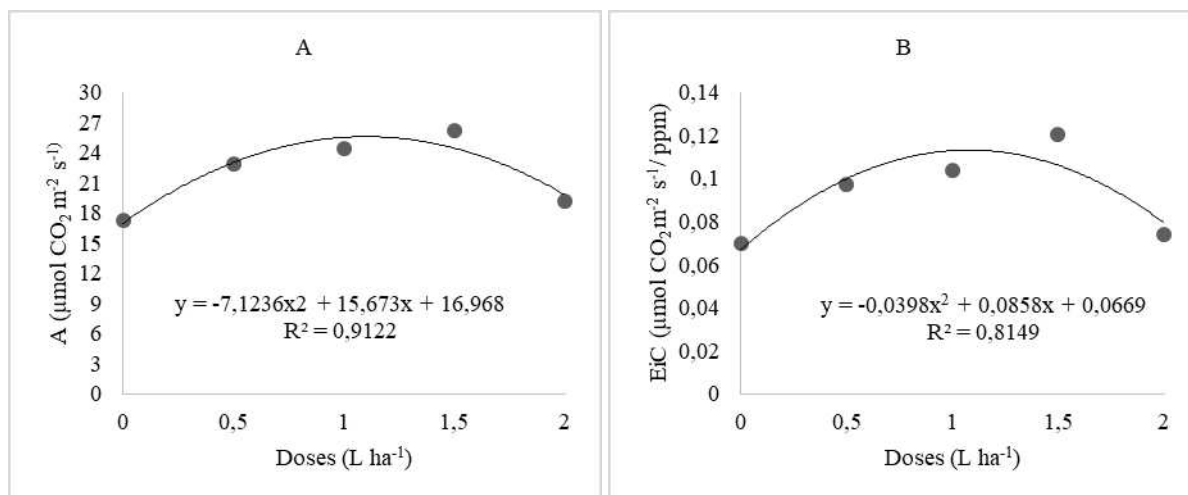


Figura 9. Análise de Regressão para A = taxa de assimilação de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (A), EiC = eficiência instantânea da carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{ppm}$) (A/Ci) (B). Fonte: Autor (2026).

O Bioinsumo aumenta a eficiência com que a planta converte o CO₂ em energia em doses intermediárias, diminuindo com o aumento na dosagem do produto (Figura 9). A Eficiência Instantânea da Carboxilação (EIC) é uma variável fisiológica crucial que reflete a eficiência com que a planta utiliza o CO₂ para a fotossíntese. Ela é calculada como a razão entre a taxa de assimilação de CO₂ (A) e a concentração interna de CO₂ (Ci), ou seja, $EIC = A/Ci$. A EIC nos dá uma visão mais profunda do que a fotossíntese por si só, pois ela indica a performance da principal enzima fotossintética, a RuBisCO (Silva et al., 2022). Uma maior EIC significa que a planta está convertendo CO₂ em açúcares de forma mais eficiente. Essa maior eficiência se traduz diretamente no aumento dos Sólidos Solúveis (°Brix), que é a principal medida de qualidade do melão. A EIC, portanto, reforça que o Bioinsumo nas doses corretas aprimora o processo de produção de açúcares na fonte (a folha), o que beneficia a qualidade final do dreno (o fruto).

4.4 Composição mineral do tecido vegetal

A diagnose foliar, revelou que a aplicação foliar de Biotrac alterou significativamente a dinâmica de absorção e acúmulo de nutrientes. A análise de variância indicou diferenças significativas ($p < 0,05$) para a maioria dos macros e micronutrientes avaliados, indicando a hipótese de que o Bioinsumo atua como um modulador nutricional.

Com relação aos macronutrientes observou-se um efeito sinérgico positivo para os nutrientes N, P, K. As doses de 0,5, 1,0 e 1,5 L ha⁻¹ promoveram incrementos significativos na concentração foliar de Nitrogênio (N), diferindo estatisticamente do controle e da dose máxima (2,0 L ha⁻¹). Para o Fósforo (P), a dose de 1,5 L ha⁻¹ isolou-se como a mais eficiente, maximizando o acúmulo foliar. Comportamento semelhante foi notado para o Potássio (K), onde as doses de 0,5 e 1,5 L ha⁻¹ elevaram os teores acima da testemunha.

Em relação aos demais macronutrientes, a dose de 1,0 L ha⁻¹ destacou-se no acúmulo de Cálcio (Ca). O Enxofre (S) e o Magnésio (Mg), por sua vez, apresentaram comportamento estável, não havendo diferença estatística significativa entre as doses testadas e o controle, indicando que a homeostase desses elementos não foi afetada pelos tratamentos (Figura 10).

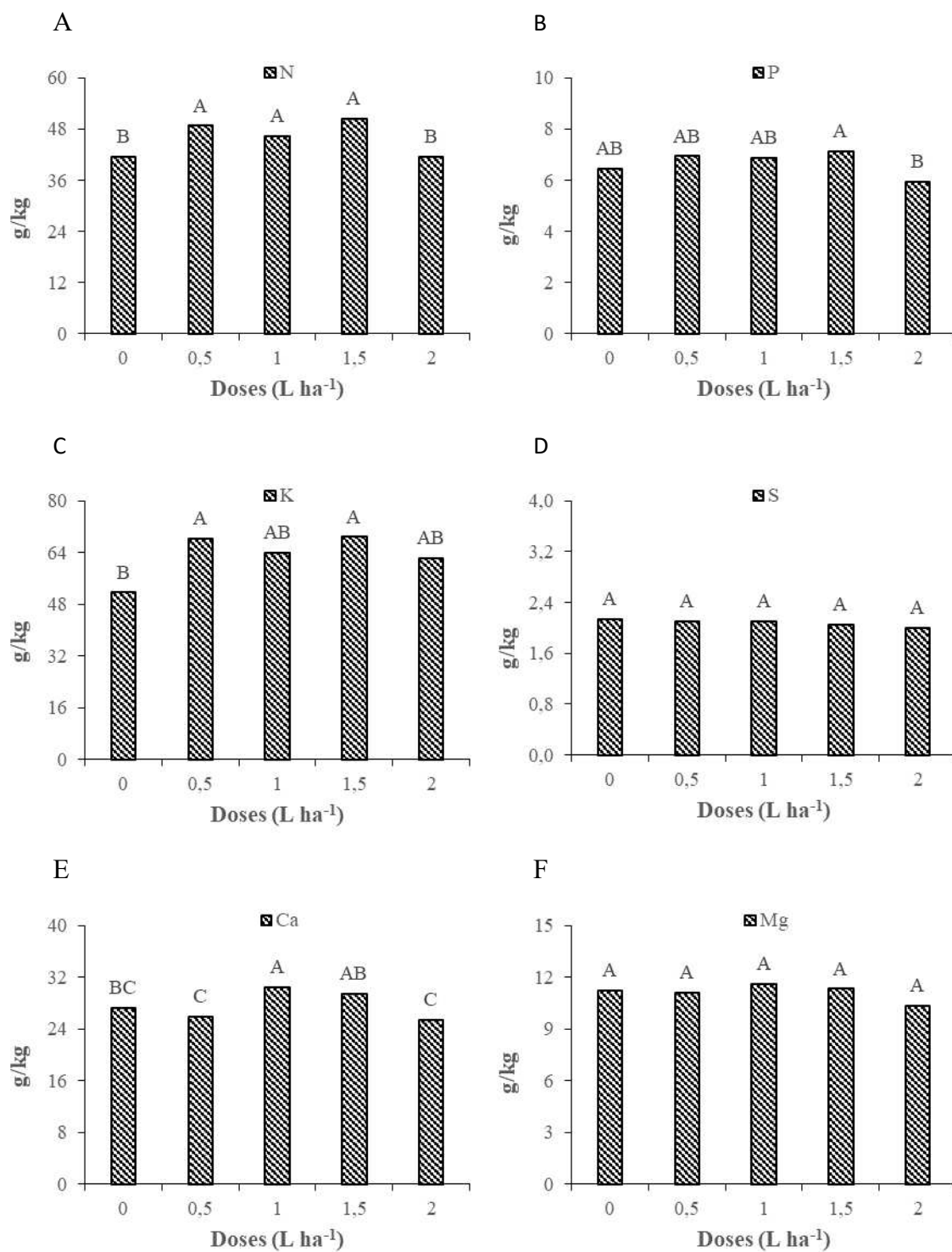


Figura 10. Composição mineral do tecido vegetal: Nitrogênio (N) (A); Fósforo (P) (B); Potássio (K) (C); Enxofre (S) (D); Cálcio (Ca) (E) e Magnésio (Mg) (F) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$). Fonte: Autor (2026).

O aumento nos teores de N, P e K, mesmo com a aplicação sendo foliar e em baixas concentrações, evidencia o efeito indireto do extrato de algas sobre o sistema radicular. Conforme relatado por Goñi et al. (2018), os extratos de *Ascophyllum nodosum* estimulam a expressão de genes transportadores de nitrato e fosfato nas raízes. Além disso, a presença de auxinas naturais nas algas promove o crescimento de raízes laterais e pelos radiculares, aumentando a superfície de exploração do solo e a interceptação de nutrientes.

O maior teor de Potássio (K) observado na dose de 1,5 L ha⁻¹ é fisiologicamente coerente com os resultados de qualidade (°Brix) discutidos anteriormente. O potássio é o principal cátion osmorregulador e atua no carregamento do floema junto com os açúcares. Plantas com melhor status de K translocam mais sacarose para os frutos, resultando em maior doçura (Cheng et al., 2022).

Com relação aos micronutrientes, a análise comprovou a eficiência da absorção foliar dos elementos presentes na formulação do produto. O Bioinsumo foi altamente eficaz em elevar os níveis de Zinco (Zn) em todas as doses testadas, superando estatisticamente o controle. Para o Boro (B), as doses de 1,0 e 1,5 L ha⁻¹ proporcionaram os maiores acúmulos foliares, validando a tecnologia de complexação do nutriente com a matriz orgânica da alga.

Por outro lado, observou-se um comportamento antagônico para o Ferro (Fe) e o Cobre (Cu). O tratamento controle (Dose 0) apresentou as maiores concentrações de Ferro, havendo redução significativa desses teores nas plantas tratadas com Bioinsumo. O Manganês (Mn) manteve-se estável na dose de 1,5 L ha⁻¹, semelhante ao controle (Figura 11).

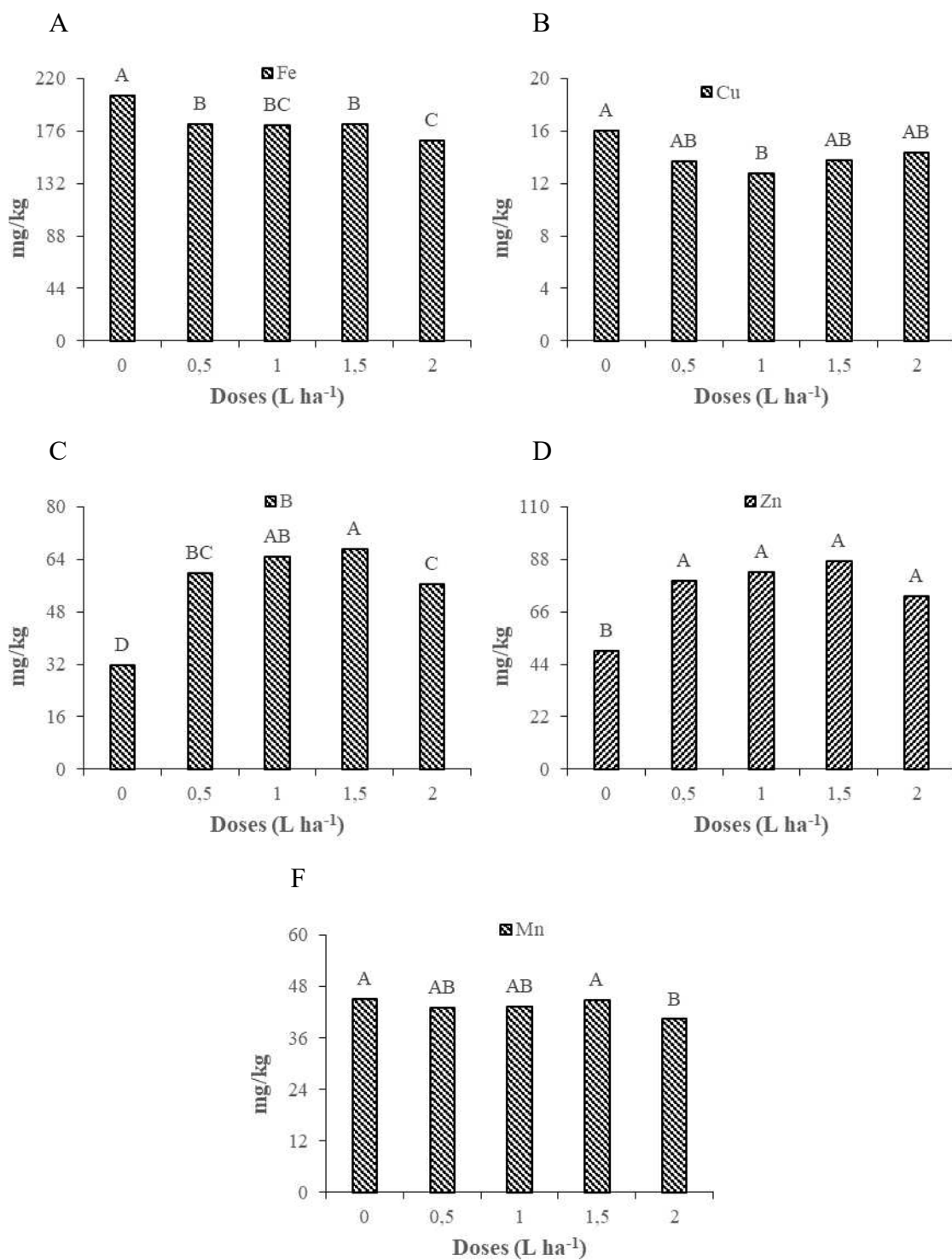


Figura 11. Composição mineral do tecido vegetal: Ferro (Fe) (A); Cobre (Cu) (B); Boro (B) (C); Zinco (Zn) (D) e Manganês (Mn) (F) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas semelhantes não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$). Fonte: Autor (2026).

O incremento significativo de Boro e Zinco mostra que os nutrientes foram absorvidos e metabolizados. Níveis adequados de Zn são cruciais para a atividade da fotossíntese e síntese de auxinas, enquanto o Boro garante a integridade da parede celular e o fluxo de açúcares, funções metabólicas corroboradas por Zahoor et al. (2023), que destacam a sinergia desses elementos na regulação fisiológica sob condições de estresse. Ainda nessa linha, a redução nos teores de Ferro (Fe) nas plantas tratadas pode ser explicada pelo antagonismo iônico competitivo entre Zinco e Ferro. Como o produto fornece uma determinada carga de Zinco, este cátion compete pelos mesmos sítios de absorção e transportadores do Ferro nas membranas celulares, contudo, apesar da redução estatística, os níveis de Fe não atingiram faixas de deficiência, indicando que a planta manteve sua funcionalidade metabólica sem prejuízos à síntese de clorofila (Marschner, 2012).

4.5 Análise bioquímica e atividade antioxidante do melão

Para todas as variáveis bioquímicas analisadas foram feitos o teste F para verificação do nível de significância quanto a comparação de médias e análise de regressão linear e quadrática (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da ANOVA para as variáveis: H₂O₂, PS Totais, SOD, CAT e APX em função das doses do biostimulante.

Estatística F – Enzimas					
Fator de variação	H ₂ O ₂	PS Totais ^a	SOD	CAT ^a	APX ^a
Dose	**	**	**	**	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns
- Linear	**	ns	**	*	ns
- Quadrática	**	ns	**	**	ns
C.V (%)	4,29	8,93	10,40	16,76	9,83
Média	252,23	176,19	11,92	1322,26	3,38

a dados transformados em raiz quadrada-SQRT, ns não significativo, ** , * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% (p<0,01 e p<0,05).

Para as análises bioquímicas do meloeiro foram observados significância para o tratamento das doses do Bioinsumo Biotrac para Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂), Proteínas

Solúveis Totais (PS Totais), Superóxido Dismutase (SOD), e Catalase (CAT). Para Ascorbato Peroxidase (APX) não houve significância (Tabela 6). H_2O_2 , SOD e CAT apresentaram significância para regressão linear e quadrática. PS Totais e APX não apresentaram significância para regressão linear e quadrática.

Tabela 6. Teste de médias de Tukey para as variáveis: H_2O_2 , PS Totais, SOD, CAT e APX em função das doses do biostimulante.

Teste de médias – Enzimas					
Dose	H_2O_2 **	PS Totais ^a **	SOD **	CAT ^a **	APX ^a ns
0,0	289,92 c	202,68 b	12,89 b	886,05 b	3,41 a
0,5	254,70 b	149,23 c	17,45 a	1969,50 a	3,46 a
1,0	225,65 a	144,25 c	11,73 b	1899,25 a	3,46 a
1,5	216,00 a	264,33 a	11,75 b	1019,75 b	3,26 a
2,0	274,90 bc	120,48 c	5,80 c	836,75 b	3,29 a

a dados transformados em raiz quadrada-SQRT. ns não significativo, **, * Significativo ao nível de probabilidade de 1% e 5% ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) letras minúsculas diferentes diferem estatisticamente pelo teste de tukey na linha.

A análise de variância revelou efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de Biotrac sobre o conteúdo de proteínas solúveis totais. Contudo, os dados não se ajustaram satisfatoriamente aos modelos de regressão linear ou quadrática, indicando que a resposta fisiológica não seguiu uma proporcionalidade direta com o aumento das doses. Pelo teste de comparação de médias (Tukey), observou-se que a aplicação do Bioinsumo promoveu incremento no teor de proteínas em relação ao tratamento controle (Dose 0). A análise de comparação de médias revelou um comportamento singular: a dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ promoveu o maior acúmulo de proteínas, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos. (Figura 12).

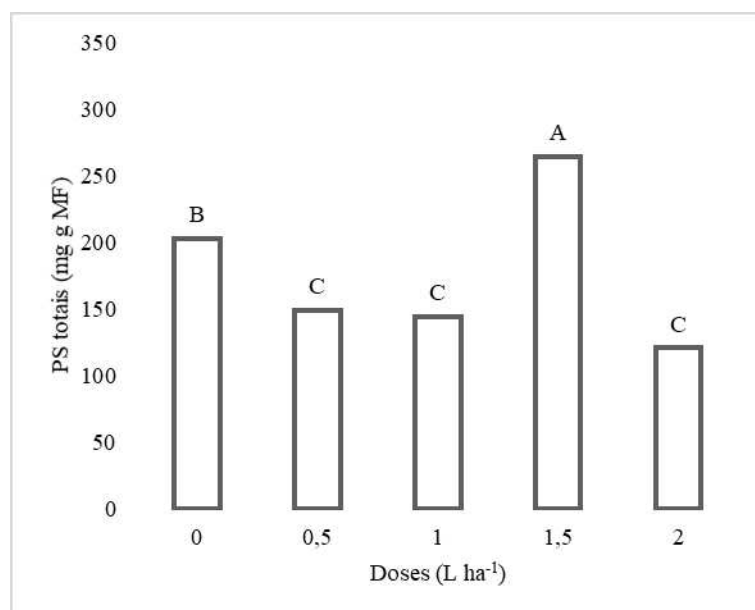


Figura 12. Teste de médias para Proteínas Solúveis Totais (PS Totais) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa. Fonte: Autor (2026).

O pico isolado de proteínas solúveis na dose de 1,5 L ha⁻¹ mostrou um comportamento interessante do ponto de vista fisiológico e bioquímico. Para que haja um aumento significativo na síntese proteica, a planta precisa atingir um limiar de elicitação, ou seja precisa que a dose seja a correta, a mais assertiva possível. As doses inferiores (0,5 e 1,0 L ha⁻¹) provavelmente forneceram uma concentração de moléculas sinalizadoras (como polissacarídeos de algas) insuficiente para disparar a expressão massiva de genes relacionados ao metabolismo do nitrogênio, mantendo a planta em seu estado basal, semelhante, ou como evidenciado no estudo, inferior ao controle. Como já dito, o sucesso específico da dose de 1,5 L ha⁻¹ sugere que este foi um ponto onde ocorreu uma sincronia fisiológica. Neste nível, o Bioinsumo otimizou a atividade das enzimas responsáveis pelo conteúdo proteico, maximizando a Eficiência do Uso do Nitrogênio. Segundo Sible et al. (2021), Bioinsumos atuam reduzindo a energia de ativação necessária para o metabolismo do nitrogênio, mas esse efeito depende de uma estequiometria precisa entre o sinal recebido e a capacidade metabólica da planta.

O conteúdo de peróxido de hidrogênio foi significativamente alterado pelas doses do Bioinsumo, ajustando-se ao modelo de regressão quadrática. Observou-se uma redução progressiva nos níveis de H₂O₂ com o aumento das doses, atingindo os menores valores nas doses intermediárias (Figura 13). Através da equação de regressão podemos chegar ao ponto

de mínima teórica de acúmulo de H_2O_2 onde temos aproximadamente $1,12 \text{ L ha}^{-1}$. No entanto, pelo teste de comparação de médias (Tukey) não houve diferença estatística entre as doses de $1,0$ e $1,5 \text{ L ha}^{-1}$, que proporcionaram as menores médias absolutas, diferindo significativamente do controle (Dose 0) e demonstrando a eficiência do produto em mitigar o estresse oxidativo nessa faixa de dosagem.

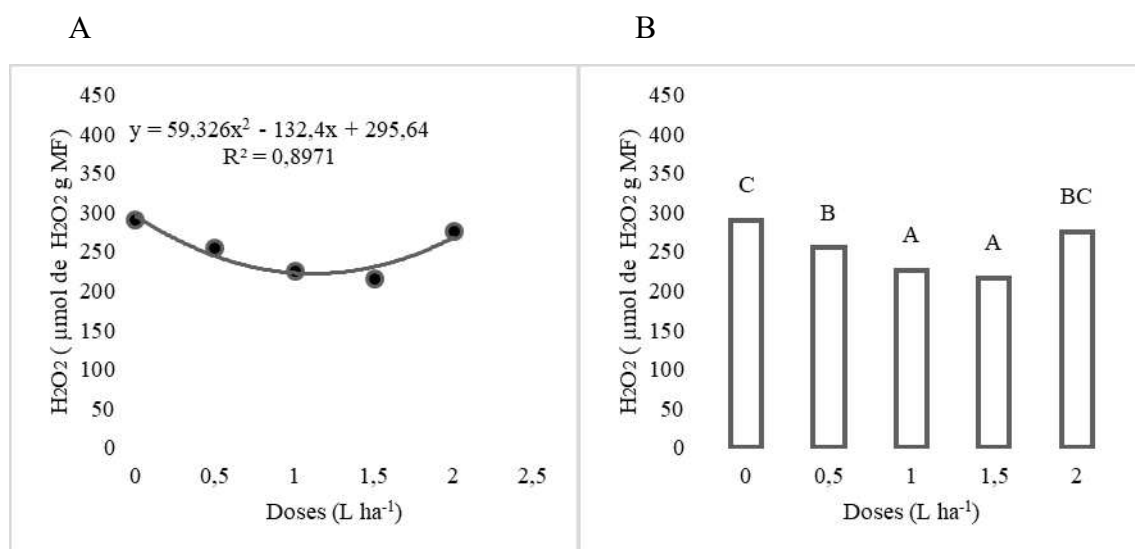


Figura 13. Regressão (A) e Teste de médias (B) para Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa. Fonte: Autor (2026).

O comportamento quadrático do H_2O_2 com redução na faixa entre $1,0 - 1,5 \text{ L ha}^{-1}$, demonstra o efeito protetor do Biotrac. No tratamento controle, os altos níveis de peróxido indicam que a planta estava sofrendo estresse oxidativo devido às condições ambientais. A aplicação do Bioinsumo reverteu esse quadro, atingindo a máxima eficiência de "quenching" (supressão de EROs) próximo à dose de $1,12 \text{ L ha}^{-1}$. Compostos presentes no extrato de *Ascophyllum nodosum* (como manitol e polifenóis) e os micronutrientes da formulação (Zn, B) atuam reduzindo a formação de radicais livres ou sequestrando-os diretamente (scavenging), restaurando a homeostase redox celular. Nesse intervalo de dose, o produto funcionou de maneira eficiente, protegendo as estruturas celulares contra a toxicidade do H_2O_2 . Resultados semelhantes foram observados no semiárido potiguar por Silva et al. (2021), que utilizando ácido salicílico, relataram que o uso de elicitores exógenos em meloeiro sob estresse é capaz de reduzir a geração de EROs e preservar a integridade da membrana.

A atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD) foi influenciada significativamente pelas doses do Bioinsumo, ajustando-se ao modelo de regressão quadrática. De acordo com a equação, o ponto de máxima atividade enzimática foi estimado na dose de 0,54 L ha⁻¹. Isso foi confirmado pelo teste de comparação de médias (Tukey, $p < 0,01$), onde a dose de 0,5 L ha⁻¹ apresentou a maior média absoluta, diferindo estatisticamente das doses superiores. Observou-se que, à medida que as doses aumentaram para 1,0 e 1,5 L ha⁻¹, a atividade da SOD decresceu, atingindo o menor valor na dose de 2,0 L ha⁻¹ (Figura 14).

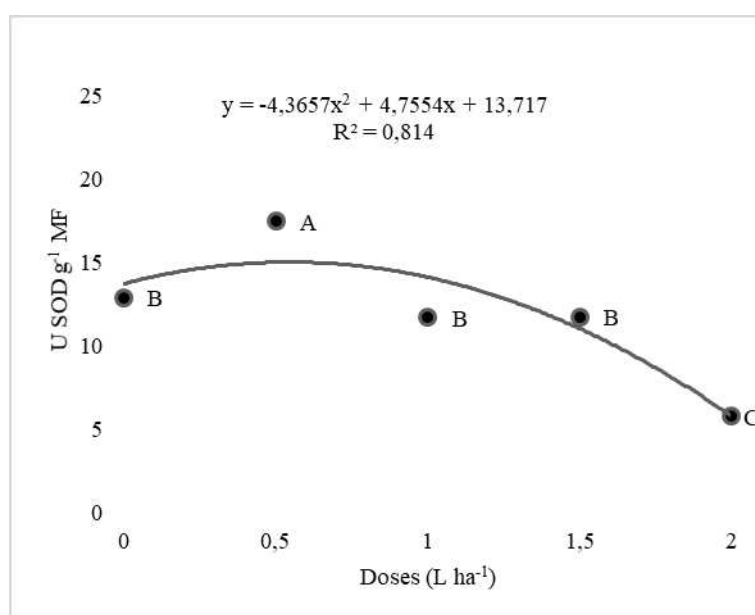


Figura 14. Análise de regressão para Superóxido Dismutase (SOD) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa (Tukey $p < 0,01$). Fonte: Autor (2026).

O pico isolado de atividade da SOD na dose de 0,5 L ha⁻¹ sugere uma ativação imediata do sistema de defesa. Nessa dosagem baixa, os compostos bioativos do extrato de alga atuam como moléculas sinalizadoras, disparando a expressão de genes de defesa antes mesmo que o estresse severo ocorra. Segundo Minaoui et al. (2024), extratos de algas aplicados em doses iniciais funcionam como "alarmes moleculares", aumentando transitoriamente a atividade de enzimas antioxidantes para preparar a planta para condições adversas. Por outro lado, o comportamento observado na dose de 1,5 L ha⁻¹ onde a SOD retornou a níveis básicos semelhantes ao controle, mas com alta produtividade e baixo H₂O₂, como vimos anteriormente, indica um estado de homeostase redox eficiente. Diferentemente

da dose 0,5, onde a planta precisou de muita enzima, na dose 1,5 L ha⁻¹ o equilíbrio pode ter sido alcançado provavelmente por vias não-enzimáticas (como prolina ou compostos fenólicos). Conforme explicado por Omoarelojie et al. (2021), quando um Bioestimulante é aplicado na dose ótima, ele reduz a geração de EROs na fonte (fotossistemas); havendo menos radicais livres para combater, a planta reduz a síntese de SOD para economizar energia metabólica, redirecionando-a para outras fontes, como a floração e frutificação. Já a redução observada na dose de 2,0 L ha⁻¹ reflete os limites fisiológicos do Bioinsumo, ou da atividade Bioestimulante. Rady et al. (2023) alertam que doses excessivas de Bioinsumos podem induzir desbalanços osmóticos ou fitotoxidez subclínica, inibindo a atividade enzimática ao invés de estimulá-la. Nesse caso, o excesso de zinco ou de fitohormônios exógenos pode ter causado uma supressão metabólica, deixando a planta mais vulnerável, o que condiz com o aumento de H₂O₂ observado anteriormente nesta mesma dose.

A atividade da enzima Catalase (CAT) foi influenciada significativamente pela aplicação foliar do Bioinsumo. Os dados ajustaram-se ao modelo de regressão quadrática, apresentando um comportamento de aumento inicial seguido de declínio (Figura 15). O teste de comparação de médias (Tukey, $p < 0,01$) revelou que as maiores atividades enzimáticas foram registradas nas doses de 0,5 e 1,0 L ha⁻¹ que não diferiram estatisticamente entre si, mas superaram os demais tratamentos. Em contrapartida, as doses de 1,5 e 2,0 L ha⁻¹ apresentaram redução na atividade da CAT, retornando a níveis estatisticamente semelhantes ao tratamento controle.

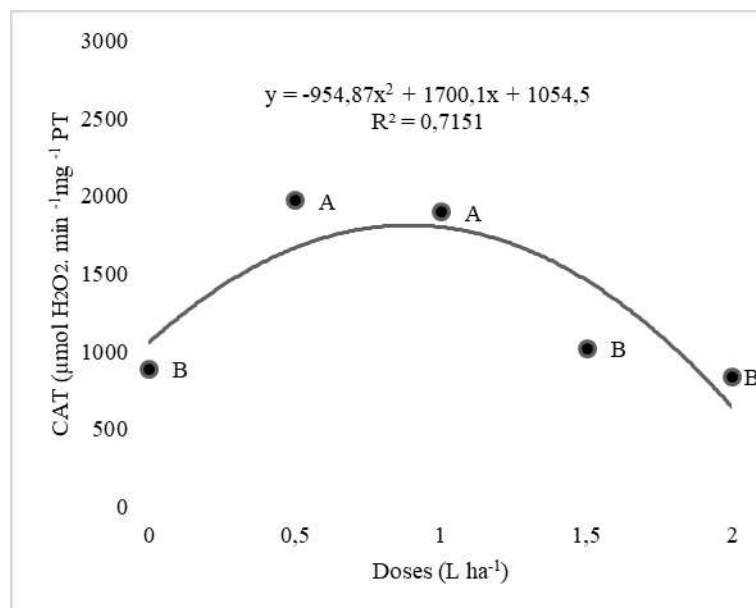


Figura 15. Análise de regressão para Catalase (CAT) em função das doses do Bioinsumo. Letras maiúsculas iguais indicam não haver diferença significativa (Tukey $p < 0,01$). Fonte: Autor (2026).

A atividade da CAT atua de forma sincronizada com a SOD na defesa antioxidante. O pico de atividade observado nas doses de 0,5 e 1,0 L ha^{-1} é uma resposta direta ao aumento da atividade da SOD. A SOD dismuta o superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) consequentemente, a planta precisou aumentar rapidamente a atividade da CAT nessas doses iniciais para eliminar o H_2O_2 gerado, convertendo-o em água e oxigênio. Esse mecanismo conjunto representa a ativação rápida do sistema de defesa induzida pelos sinalizadores do Bioinsumo. Estudos recentes de Sorour e Hassan (2023) com extratos de algas confirmam que aplicações exógenas estimulam a superexpressão gênica de todo o aparato antioxidante (SOD, CAT, POD) como uma estratégia de blindagem metabólica inicial.

5 CONCLUSÕES

A aplicação foliar do Bioinsumo Yara Amplix Biotrac, composto por extrato de *Ascophyllum nodosum* combinado com Nitrogênio, Potássio, Boro e Zinco, demonstrou ser uma estratégia eficiente para o manejo fisiológico e nutricional do meloeiro nas condições do semiárido potiguar.

A dose de 1,5 L ha⁻¹ estabeleceu-se como o ponto de máxima eficiência agronômica. Nesta dosagem, o produto otimizou as trocas gasosas (maior Eficiência Instantânea de Carboxilação e taxa de assimilação de CO₂), resultando em incremento na absorção e acúmulo de nutrientes chaves (N, P, K, B e Zn).

Esse equilíbrio nutricional e metabólico traduziu-se em ganhos reais de produtividade (37,14 t ha⁻¹) e qualidade de fruto, com destaque para o teor de sólidos solúveis (11,1 °Brix) e firmeza de polpa.

Doses superiores (2,0 L ha⁻¹) induziram efeitos deletérios, caracterizados por redução da fotossíntese, desbalanço nutricional e perda de qualidade dos frutos, sugerindo fitotoxicidade ou estresse metabólico.

A aplicação foliar do Bioinsumo promoveu alterações significativas no metabolismo bioquímico do meloeiro.

As doses de 1,0 e 1,5 L ha⁻¹ foram as mais eficientes na redução dos níveis de peróxido de hidrogênio H₂O₂ e na preservação do conteúdo de proteínas solúveis totais a dose de 1,5 L ha⁻¹.

A máxima atividade da enzima antioxidante Superóxido Dismutase (SOD) ocorreu na dose 0,5 L ha⁻¹ e a Catalase (CAT) ocorreu nas doses de 0,5 e 1,0 L ha⁻¹.

A dose de 2,0 L ha⁻¹ resultou em menor atividade enzimática e maior estresse oxidativo, sendo a menos recomendada para o metabolismo da cultura.

Conclui-se que o uso do Yara Amplix Biotrac da Yara Brasil, quando aplicado na dose de 1,5 L ha⁻¹, protege a cultura no sentido de atenuar os efeitos deletérios causado pelo estresse abiótico do meloeiro, em condição semiárida, conferindo maior índice de colheita e qualidade dos frutos.

6 REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS. **Dados estatísticos de exportação de frutas 2023/2024**. Brasília: ABRAFRUTAS, 2024. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/estatisticas/>>. Acessado em: 20 de novembro de 2025.

AHMAD, P. et al. Reactive oxygen species and antioxidant defense systems in plants under abiotic stress. **Plant Stress**, v. 8, e100153, 2023.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 24, n. 12, p. 1337-1344, 2001.

ALI, O.; RAMPAZZO, C.; DE BOODT, A.; PELLNY, T.; SMITH, A. M.; ROWLAND, O.; LUNN, J. E.; MACFIE, S. M. *Ascophyllum nodosum* extract mitigates salinity stress in plants by modulating osmolytes, antioxidant systems and essential macronutrients. **Journal of Applied Phycology**, v. 34, p. 3203-3218, 2022.

ALI, O.; RAMSANGI, A.; CHANDRASHEKAR, S. B. Seaweed extract efficacy improvement of plant growth and physiology under abiotic stress conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 40, p. 779-796, 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMMAR, E. E. et al. Seaweed extracts as biostimulants: mechanisms of action and applications in agriculture. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 43, p. 102424, 2022.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC, 2005.

BASÍLIO, F. de O.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, C. R. M. G. de A.; TRAVASSOS, K. D.; MIRANDA, N. de O.; COSTA, L. R. da; DIAS, N. da S.; FARIA, F. Y. G. de. Qualidade e produtividade de frutos de melão em relação a atributos do solo. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 11, p. e7926, 2024.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. As plantas e o clima: princípios e aplicações. Guaíba: Agrolivros, 2017.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BULGARI, R. et al. Biostimulants and crop responses: a review. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 40, n. 1, p. 1-24, 2024.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHENG, Hong et al. Identification of key gene networks controlling soluble sugar and organic acid metabolism during oriental melon fruit development by integrated analysis of metabolic and transcriptomic analyses. **Frontiers in plant science**, v. 13, p. 830517, 2022.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

CHOUDHURY, S. et al. Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. **Plant Signaling & Behavior**, Philadelphia, v. 17, n. 1, p. 202-218, 2022.

COSTA, A. A. da; DANTAS, M. S.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; SILVA, S. S. da. Growth and gas exchange of melon cultivated with saline water and silicon application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 4, p. 289-296, 2022.

CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E.; PANCOTTE, J. P. Nutrição e adubação de hortaliças. In: PRADO, R. M. (Ed.). Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. p. 325-350.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. cap. 13, p. 327-354.

DEL BUONO, D. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. **Science of the Total Environment**, v. 751, 141763, 2021.

DI SARIO, L.; BOERI, P.; MATUS, J. T.; PIZZIO, G. A. Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 3, p. 1129, 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Edição de Fábio César da Silva. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT database. Rome: FAO, 2024. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 20 de novembro de 2025.

FARIAS, Neila Barbosa et al. Aspectos fisiológicos e produtivos de *Stylosanthes* SPP. CV. Campo Grande no semiárido brasileiro sob diferentes condições nutricionais. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 2, p. e3410-e3410, 2024.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FIGUEIREDO, F. R. A. et al. Bioinsumos na agricultura: uma revisão... **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 2, 2021.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013.

FOYER, C. H. et al. Reactive oxygen species and redox signaling. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 171, n. 1, p. 1-16, 2021.

FU, H.; YANG, Y. How plants tolerate salt stress. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 45, n. 7, p. 5914-5934, 2023.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 59, n. 2, p. 309-314, Feb. 1977.

GODINEZ-ALVAREZ, H. et al. Plant biostimulants: An overview of their mechanisms of action and applications in agriculture. **Plant Stress**, v. 10, 100234, 2023.

GÓES, G. B. de et al. Application methods of biostimulants affect the production and postharvest conservation of yellow melon. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 37, e37075, 2021.

GOÑI, O.; QUILLE, P.; O'CONNELL, S. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in plant growth and stress tolerance. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 40, n. 4, p. 1437-1452, 2021.

GOÑI, O.; QUILLE, P.; O'CONNELL, S. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 126, p. 63-73, 2018.

HASANUZZAMAN, M. et al. Plant oxidative stress: Biology, physiology and mitigation. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, e11584, 2023.

HASSAN, F. A. S. et al. Micronutrients and biostimulants application enhances yield and fruit quality of cantaloupe under sandy soil conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 2336–2348, 2021

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, San Diego, v. 125, n. 1, p. 189-198, 1968.

HUSSAIN, S. et al. Zinc essentiality, toxicity, and its bacterial bioremediation: a comprehensive insight. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 13, art. 900740, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. v. 50.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KAPOOR, D.; SINGH, S.; KUMAR, V.; ROMERO, R.; PRASAD, R.; SINGH, J. Antioxidant enzymes regulation in plants in response to abiotic stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 40, n. 3, p. 1-19, 2021.

LIMA, D. S. R. et al. Production and post-harvest of yellow melon under irrigation blades and use of biostimulant. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e8891, 2020.

LOPES, P. R. C.; BARROS, A. H. C.; TAVARES, V. C. P. **Zoneamento agropecuário do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: Embrapa Solos, 2018. (Documentos / Embrapa Solos, 206).

MANNINO, G. et al. Bioactive compounds in seaweed extracts: effects on plant growth and quality. **Plants**, Basel, v. 9, n. 12, p. 1-23, 2020.

MANSOOR, S.; WANI, O. A.; LONE, J. K.; MANHAS, S.; KOUR, N.; ALAM, P.; AHMAD, P. Reactive oxygen species in plants under abiotic stress: Toxicity and tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 182, p. 1-12, 2022.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MINAOUI, F. et al. Biostimulant effect of microalgae suspensions on germination and growth of wheat. **Algal Research**, v. 82, p. 103655, 2024.

MITTLER, R.; ZANDALINAS, S. I.; FICHMAN, Y.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, n. 10, p. 663-679, 2022.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NASCIMENTO, V. da S. et al. Yield and quality of watermelon grown under different doses of boron and zinc. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 2, p. 104-110, 2021.

NATH, M. et al. Antioxidant defense system and ROS detoxification in plants under abiotic stress. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 45, n. 4, p. 2785-2801, 2023.

NOCTOR, G.; FOYER, C. H. ROS generation and metabolism in plants. **Plant Physiology**, v. 171, p. 2381–2392, 2016.

OLIVEIRA, F. A. de; SOUZA NETA, M. L. de; SILVA, R. T. da; SOUZA, A. A. T. de; OLIVEIRA, M. K. T. de. Growth and yield of melon irrigated with saline water and fertilized with nitrogen and potassium. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 4, p. 888-897, 2021.

OLIVEIRA, F. A. de; SOUZA, M. W. de L.; SILVA, R. C. P. da; ALVES, R. C.; MEDEIROS, J. F. de. Morphophysiological and productive responses of melon cultivars under salt stress and different irrigation management. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 37, e11584, 2024.

OMOARELOJIE, L. O. et al. Biostimulants and the modulation of plant antioxidant systems and properties. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1-18, 2021.

PEIXOTO, F. et al. Uma cidade sobre as águas:: Uso e qualidade das águas subterrâneas em Mossoró/RN. GEOSABERES: **Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 12, n. 1, p. 294-307, 2021.

PESSOA, L. N.; ARAÚJO, A. G. R.; COURA, L. K. S.; SOUZA, B. G. A.; DANTAS, D. S.; SILVA, R. R.; SOUTO, A. G. L.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M.; RIBEIRO, J. E. S. Exogenous hydrogen peroxide attenuates salinity damage in cowpea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 12, e293064, 2025.

PITRAT, M. Melon genetic resources: phenotype diversity and horticultural taxonomy. In: GRUMET, R.; KATZIR, N.; GARCIA-MAS, J. (Eds.). **Genetics and Genomics of Cucurbitaceae**. Cham: Springer, 2017. p. 25-60.

PRECIADO-RANGEL, P. et al. Biofortification with organic selenium improves the yield and quality of melon. **Terra Latinoamericana**, v. 38, n. 1, p. 33-40, 2020.

QUEIROGA, R. C. F. et al. Melon fruit yield and quality as a function of doses and times of biostimulant application. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, e130973911, 2020.

RADY, M. M. et al. Exploring the Role of Novel Biostimulators in Suppressing Oxidative Stress and Reinforcing the Antioxidant Defense Systems. **Agronomy**, v. 13, n. 7, p. 1916, 2023.

ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. Cucurbits. New York: **Cab International**, 1997.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 40, 2020.

SAHA, D. et al. Plant response to abiotic stress: physiological and biochemical mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 1493, 2022.

SANTOS, A. et al. Environmental and economic performance of melon produced in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 118-126, 2018.

SHUKLA, P. S.; BORZA, T.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: A review on their metabolic and molecular mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, art. 1150, 2023.

SHUKLA, P. S.; MANTON, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, art. 655, 2019.

SIBLE, C. N.; SEEBOLD, J. E.; BELOW, F. E. Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and future prospects. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 7, p. 1297, 2021.

SILVA, A. A. R. DA; LIMA, G. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; VELOSO, L. L. DA S. A.; GHEYI, H. R. Salicylic acid as an attenuator of salt stress in Cucumis melo L. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 6, p. 391-399, 2021.

SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. H. C. de; PEREIRA, F. E. B.; FREITAS, C. A. S. de. Gas exchange and yield of melon irrigated with saline water under different leaching fractions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n. 4, p. 287-294, 2023.

SILVA, C. M.; SILVA, R. B.; SILVA, A. V.; ARAÚJO, L. C. (Org.). **Águas no Sertão: Irrigação para o Semiárido Brasileiro**. Formiga, MG: Editora MultiAtual, 2025. 163 p.

SILVA, F. G. D.; SILVA, A. S.; FERREIRA NETO, M.; SILVA DIAS, N. S.; SOUZA, L. P.; ALVES FERREIRA JÚNIOR, J. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. supl., p. 21–27, 2014.

SILVA, Kellen Lagares Ferreira et al. Análises Fisiológicas de Genipa americana L.(Rubiaceae), Quando Exposta A Diferentes Concentrações de Glifosato Physiological Analysis of Genipa americana L.(Rubiaceae), When Exposed to Different Glyphosate Concentrations. 2022.

SINGH, A.; KUMAR, P.; SHARMA, R.; KUMAR, S. Role of boron in plant growth, physiological and biochemical responses under abiotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 207, 108345, 2024.

SOROUR, M. A.; HASSAN, F. A. Efficiency of seaweed extract in enhancing growth and flowering. **Journal of Plant Production, Mansoura**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2023.

STAVRIDOU, E.; HASTINGS, A.; WEBSTER, R. J.; ROBSON, P. R. The impact of zinc application on plant antioxidant defense system under abiotic stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 206, 105178, 2023.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 150, de 13 de dezembro de 2021**. Aprova a nova delimitação do Semiárido. Recife: SUDENE, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNECE. Standard FFV-23 concerning the marketing and commercial quality control of melons. New York: United Nations Economic Commission for Europe, 2017. Disponível em: <https://unece.org/trade/wp7/FFV-23>. Acesso em: 09 de Dez de 2025.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007.

WANG, Y. et al. Zinc and Boron influence on fruit set and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 295, 2022.

ZAHOOR, I.; MUSHTAQ, A.; SIDDIQUI, M. H.; RAJPUT, V. D.; MINKINA, T. Zinc and Boron-mediated regulation of physiological and biochemical traits in plants under abiotic stress. **South African Journal of Botany**, Pietermaritzburg, v. 157, p. 34-45, 2023.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R. Plant responses to multifactorial stress combination. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, p. 663-679, 2022.