

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

RENATA MARIA FRÓIO PELOSO

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES NO CRESCIMENTO E
DESENVOLVIMENTO INICIAIS DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RENATA MARIA FRÓIO PELOSO

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES NO CRESCIMENTO E
DESENVOLVIMENTO INICIAIS DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P392e Peloso, Renata Maria Froio.
Efeitos da aplicação de bioestimulantes no crescimento e desenvolvimento iniciais da cana-de-açúcar / Renata Maria Froio Peloso. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
68 f. : il.

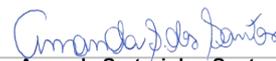
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo

Co-orientador: Gustavo do Valle Polycarpo

Inclui bibliografia

1. Auxina. 2. Giberelina. 3. Citocinina. 4. Taxa fotossintética.



Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITOS DE BIOESTIMULANTE NO CRESCIMENTO E
DESENVOLVIMENTO INICIAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: RENATA MARIA FRÓIO PELOSO

ORIENTADOR: PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia,
especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO (Participação Virtual)
Diretoria Geral da FCAT / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Prof. Dr. SÉRGIO BISPO RAMOS (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - UNESP

Ilha Solteira, 19 de maio de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me capacitado e dado forças para vencer todas as adversidades no caminho. Aos meus pais, José Francisco, Eliana e ao meu esposo Rafael, com todo o meu amor, por serem os motivos da minha conquista e por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me encorajar ao final de cada dia durante a realização desse trabalho, me dando muita força, discernimento e sabedoria, até mesmo nos dias mais difíceis. Agradeço a Ele também por todos os momentos vividos neste período, que me permitiram crescer tanto como profissional, quanto como pessoa.

Aos meus pais Eliana e José Francisco, por serem sempre meu porto seguro, meu alicerce, e por não medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos nesta nova caminhada.

Agradeço em especial e com carinho ao meu esposo e Engenheiro Agrônomo Rafael, que muito me incentivou com a sua garra e paixão por tudo aquilo que faz.

Ao meu professor orientador Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo por transmitir o seu conhecimento, e pelo suporte e atenção nas correções e na execução deste trabalho.

Agradeço a todos os colaboradores envolvidos no processo, à empresa Max Crop – LTDA, e aos seus respectivos representantes: Silvio Daun e Rafael Peloso, e à FCAT - Câmpus de Dracena – SP, por tornarem possível a realização e desenvolvimento do presente trabalho. Agradeço também, em especial, a Usina Rio Vermelho do grupo Viterra, pelo fornecimento de mudas e demais apoio na instalação e condução do experimento.

“Alguns homens vêem as coisas como são, e dizem ‘Por quê?’ Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘Por que não?’” (George Bernard Shaw)

RESUMO

O uso de bioestimulantes assume o papel de complemento na manutenção fisiológica da cana-de-açúcar, o que pode ser uma importante ferramenta em condições ambientais adversas. Mediante a composição, concentração e proporção, os bioestimulantes são capazes de promover ganhos em termos de crescimento e desenvolvimento vegetal. Nesse sentido, a realização de estudos adicionais torna-se uma estratégia para a determinação de concentrações mais eficientes e de formas mais adequadas à aplicação, com o objetivo de se obter melhores resultados em termos de produtividade. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo compreender os efeitos da aplicação de bioestimulantes no crescimento e desenvolvimento iniciais da cana-de-açúcar, quando cultivada em Casa de Vegetação. O delineamento experimental adotado foi em Blocos Casualizados (DBC), sendo 10 (dez) tratamentos, e cinco repetições, totalizando 50 parcelas ou unidades experimentais. A composição dos bioestimulantes utilizados foram: complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5- sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico, assim como doses de outros compostos similares com a mesma finalidade. No trabalho foram avaliados dados referentes a velocidade de emergência (VE) e índice de velocidade de emergência (IVE), parâmetros biométricos de crescimento, produtivos de massas de matérias secas, parâmetros morfológicos e fisiológicos. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), assim como análises de regressão e correlações pertinentes. A aplicação de bioestimulantes proporcionou incremento em relação a determinadas características avaliadas, como altura de plantas, número de colmos, diâmetro de colmos, espessura do limbo, e melhorou os resultados em relação a alguns dos parâmetros fisiológicos das plantas, como a obtenção de menor taxa de transpiração e menor Índice de murcha em condição de restrição hídrica, além da obtenção de maior massa seca de raiz.

Palavras-chave: auxina; giberelina; citocinina; taxa fotossintética.

ABSTRACT

The use of biostimulants plays a complementary role in the physiological maintenance of sugarcane, which can be an important tool in adverse environmental conditions. Through composition, concentration and proportion, biostimulants are capable of promoting gains in terms of plant growth and development. In this sense, carrying out additional studies becomes a strategy for determining more efficient concentrations and more appropriate forms for application, with the aim of obtaining better results in terms of productivity. Thus, the present work aimed to understand the effects of the application of biostimulants on the initial growth and development of sugarcane, when cultivated in a greenhouse. The experimental design adopted was in Randomized Blocks (DBC), with 10 (ten) treatments, and five replications, totaling 50 plots or experimental units. The composition of the biostimulants used were: hormone complex, amino acids, 5-sulfosalicylic acid, ethylenediaminetetraacetic acid and salicylic acid salt, as well as doses of other similar compounds with the same purpose. In the work, data regarding emergence velocity (VE) and emergence velocity index (IVE), biometric parameters of growth, productive mass of dry matter, morphological and physiological parameters were evaluated. The results were submitted to analysis of variance by F test ($p < 0.05$), as well as regression analyzes and relevant correlations. The application of biostimulants provided an increase in relation to certain evaluated characteristics, such as plant height, number of stems, stem diameter, blade thickness, and improved the results in relation to some of the physiological parameters of the plants, such as obtaining a lower rate of transpiration and less wilting index in condition of hydric restriction, in addition to obtaining a greater yield of greater root dry mass.

Keywords: auxin; gibberellin; cytokinin; photosynthetic rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos vasos na Casa de Vegetação	22
Figura 2 – Adubação de cobertura referente ao experimento.....	22
Figura 3 – Distribuição dos vasos na Casa de Vegetação	23
Figura 4 – Distribuição dos vasos na Casa de Vegetação	23
Figura 5 – Aplicação dos tratamentos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	23
Figura 6 – Avaliação do VE e IVE das plantas	24
Figura 7 – Biometria não destrutiva das plantas.....	25
Figura 8 – Avaliações fisiológicas, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar plantas.....	25
Figura 9 – Coleta e preparo das amostras de folhas referentes ao experimento.....	27
Figura 10 – Emblocamento e preparo de lâminas contendo fragmentos de folha	27
Figura 11 – Mensuração do Índice de Murcha das Plantas	28
Figura 12 – Lavagem das partições das plantas para posterior secagem em estufa apropriada.....	28
Figura 13 – Velocidade de Emergência referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	31
Figura 14 – Índice de Velocidade de Emergência, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar.....	31
Figura 15 – Número de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	33
Figura 16 – Número de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações	33
Figura 17 – Largura de folhas referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	34
Figura 18 – Largura de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações	35
Figura 19 – Altura de plantas referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	35

Figura 20 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista a característica altura de plantas	36
Figura 21 – Número de colmos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	37
Figura 22 – Número de colmos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliação...	37
Figura 23 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar.....	39
Figura 24 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar.....	39
Figura 25 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, em função das épocas de avaliação (entre épocas) do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	40
Figura 26 – Diâmetro de colmos referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	41
Figura 27 – Diâmetro de colmos referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações	41
Figura 28 – Desdobramento estatístico para a variável diâmetro de colmos, em função do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar ...	42
Figura 29 – Desdobramento estatístico da variável diâmetro de colmos, em função do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar ..	43
Figura 30 – Desdobramento estatístico da variável diâmetro de colmos, em função das épocas de avaliação (entre épocas) do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar	44
Figura 31 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista a característica diâmetro de colmos	45
Figura 32 – Temperatura foliar em função da aplicação de bioestimulante na cultura da cana-de-açúcar	47
Figura 33 – Carbono interno referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	47

Figura 34 – Transpiração referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	48
Figura 35 – Condutância estomática referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	49
Figura 36 – Taxa fotossintética referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	49
Figura 37 – Eficiência do uso da água referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	50
Figura 38 – Espessura do limbo referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	52
Figura 39 – Espessura da epiderme junto com a cutícula abaxial das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	52
Figura 40 – Espessura da epiderme junto com a cutícula adaxial das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar em função da aplicação dos tratamentos	53
Figura 41 – Espessura do feixe xilemático das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	53
Figura 42 – Espessura do feixe floemático das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	54
Figura 43 – Índice de Murcha referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	57
Figura 44 – Índice de Murcha referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações	57

Figura 45 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista o Índice de Murcha	58
Figura 46 – Massa seca da parte aérea, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	60
Figura 47 – Massa seca da parte aérea, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	60
Figura 48 – Massa seca das raízes, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Cana-de-açúcar: a sua importâncias e as principais características fisiológicas e fenológicas	17
2.2	O uso de bioestimulantes e a sua importância para a cultura.	18
3	OBJETIVO	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1	Localização do experimento e atributos do solo	21
4.2	Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos.....	21
4.3	Avaliações	25
4.4	Análises estatísticas	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1	Velocidade de emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE).....	31
5.2	Comportamento inicial do crescimento da cana-de-açúcar.....	33
5.3	Parâmetros fisiológicos.....	45
5.4	Parâmetros morfoestruturais	50
5.5	Índice de Murcha das Plantas.....	55
5.6	Parâmetros produtivos	58
6	ANÁLISES DE CORRELAÇÕES.....	63
7	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma espécie pertencente à Família Poaceae, extremamente importante para o cultivo comercial voltado à indústria sucroalcooleira em diferentes partes do mundo. Nesse cenário o Brasil destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar, sendo o Estado de São Paulo responsável por grande parte da produção em uma área expressiva, além disso o cultivo da cana encontra-se em franca expansão, em virtude da demanda crescente por biocombustíveis e açúcar (MARTINS; CASTRO, 1999).

A cana-de-açúcar é uma planta semiperene, de grande porte e formadora de rizomas, sendo considerados como atributos determinantes para obtenção de potencial agrícola: altura de colmo, número de perfilhos e diâmetro de colmos. Nesse sentido, para a obtenção do número máximo de colmos suportáveis por área, sempre que possível, é importante a indução das ramificações, ou perfilhos, durante as fases iniciais de desenvolvimento da planta, que serão posteriormente estruturados em touceiras. Vale destacar que, os perfilhos são colmos originados na base da planta, sendo estruturas características das Poaceas, ou gramíneas (RODRIGUES, 1995).

Para crescer, uma planta necessita de luz, dióxido de carbono, água e sais minerais que em quantidades suficientes promovem o aumento de sua massa e volume. Aliado ao crescimento está a diferenciação, que é o desenvolvimento e aquisição de formas particulares, a partir da interação de inúmeros fatores internos e externos ao vegetal. Dentre muitos desses fatores relevantes, como temperatura e comprimento do dia, está a existência dos hormônios vegetais (PEREIRA et al., 2010).

Os hormônios também são conhecidos como reguladores de crescimento, e definem-se como compostos orgânicos elaborados em diversas partes do indivíduo, ocorrendo de forma natural e com função não nutriente. Apresentam-se como moléculas pequenas, de fácil penetração nas células, com capacidade de promover, inibir ou modificar processos morfológicos e fisiológicos nos organismos. Têm suas concentrações bastante variadas e geralmente são produzidos em um tecido e transportados para outros, onde serão estimuladas respostas específicas, desde que respeitadas suas quantidades nos locais de atuação (RAVEN et al., 2007).

Porém, quando se apresentam em baixas ou altas concentrações, esses hormônios podem comprometer as principais características e funções de tecidos, órgãos ou sistemas, como as raízes. Plantas com sistema radicular mais desenvolvido

podem absorver água e nutrientes em maior volume de solo, sobretudo em condições de deficiência hídrica, influenciando na sua produtividade.

Os hormônios também estão intimamente relacionados com a emergência das gemas contidas nos toletes de cana-de-açúcar por ocasião do plantio dos colmos, como já foi evidenciado em outros estudos. Após a cobertura dos toletes com terra e estando em condições ambientais favoráveis, as gemas passam do estágio latente para o ativo, desencadeado por um complexo de alterações morfofisiológicas nos meristemas e consumo das reservas do tolete, principalmente por meio de ações hormonais e enzimáticas (AUDE, 1993).

Os fitormônios desencadeiam os processos de crescimento e da diferenciação celular, além de sincronizarem o desenvolvimento da planta mediante as mudanças sazonais do ambiente, considerando que as diferentes condições ambientais a que estão sujeitas as espécies cultivadas podem promover modificações na anatomia e na fisiologia de diferentes órgãos da planta, como folhas e raízes (PEREIRA et al., 2008; SOUZA et al., 2009; PEREIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2010). Além disso, são responsáveis por promoverem a regulação da atividade metabólica, da intensidade e da orientação do crescimento, do estoque e transporte de materiais nutritivos (LARCHER, 2006).

Estudos demonstraram que misturas chamadas de estimulantes vegetais ou bioestimulantes ao serem aplicadas em doses pequenas, apresentaram efeitos positivos em relação ao crescimento e o desenvolvimento da planta, mesmo sob condições ambientais adversas (CASILHAS et al., 1986).

A observação da morfologia interna do vegetal, destaca-se nesse sentido como uma ferramenta significativa na avaliação das alterações promovidas e seus respectivos efeitos nas condições de cultivo das plantas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). A morfologia interna da cana-de-açúcar pode demonstrar modificações na presença de fitorreguladores, responsáveis por alterações a nível celular (MARTINS; CASTRO, 1999).

Aliados às diferentes condições ambientais, que também interferem e promovem modificações, a presença de fitorreguladores pode acarretar melhor estabelecimento da cultura e obtenção de maior produtividade. Outros trabalhos já foram realizados para caracterizar o efeito de reguladores de crescimento relacionados à brotação e ao desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, buscando melhor perfilhamento e produção final de colmos (SILVA et al., 2007).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar: a sua importâncias e as principais características fisiológicas e fenológicas

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma espécie vegetal pertencente à família Poaceae e originária do Sudeste asiático (DANIELS et al., 1987). A sua introdução no Brasil se deu com a *Saccharum officinarum* (L.), porém, a espécie demonstrou-se vulnerável aos danos intensos provocados por estresses bióticos e abióticos, destacando a dificuldade desta em se adaptar ao novo ambiente. Assim, levantou-se a necessidade da produção de híbridos interespecíficos, mais resistentes e melhor adaptados em relação às diversas condições ambientais, por meio dos programas de melhoramento genético, possibilitando a sua disseminação no Brasil (FIGUEIREDO et al., 1995 apud MARQUES et al., 2007).

A cana-de-açúcar tem a sua importância relacionada ao caráter múltiplo de sua utilidade, podendo ser usada in natura, na forma de forragem para a alimentação animal, como matéria-prima para a fabricação de rapadura, melado, aguardente, açúcar e álcool, além de seus resíduos também serem utilizados como alternativa de produção, como o vinhoto transformado em fertilizante, e o bagaço que gera combustível (CAPUTO et al., 2008).

O Brasil tem se destacado não apenas como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, mas também como o maior produtor de açúcar, sendo o segundo maior produtor mundial de etanol, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Sozinho o Estado de São Paulo é responsável por gerar 55% da produção de cana-de-açúcar do Brasil (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR-UNICA, 2016).

A cana pode ser compreendida como uma planta semiperene, composta por folhas, raízes e caule/colmo. A sua base perfilha para produzir caules não ramificados, possuindo quatro estádios fenológicos: brotação e emergência, perfilhamento e estabelecimento da cultura, período de crescimento (considerado do perfilhamento final ao início do acúmulo de sacarose) e a maturação, período em que ocorre o intenso acúmulo deste carboidrato nos colmos (CHEAVEGATTIGIANOTTO et al., 2011).

Por possuir ciclo semiperene, a cana sofre com a interferência de variações climáticas no decorrer de todo o ano. Tendo em vista a importância da obtenção de

alto teor de sacarose, a planta necessita de épocas com condições de temperatura e umidade adequadas, possibilitando que ela atinja o máximo de seu crescimento na fase vegetativa, seguida também de um período de restrição hídrica ou térmica, que propicia o acúmulo de sacarose no colmo, na época do corte (INMANBAMBER; SMITH, 2005).

Os processos de crescimento e o desenvolvimento de plantas, são determinados tanto por fatores endógenos, quanto por fatores externos. Quanto aos fatores endógenos, estes apresentam-se ativos não apenas em nível celular e molecular, com a interferência direta nos processos metabólicos via transcrição e tradução, mas atuam também na coordenação do organismo como um todo, por meio dos hormônios vegetais.

2.2 O uso de bioestimulantes e a sua importância para a cultura.

Os hormônios vegetais expressam a sua importância por meio do seu papel de substância transdutora; com base na percepção dos estímulos ambientais, as partes da planta são sinalizadas acerca da situação de outras partes por meio da síntese ou de mudanças de concentração de um ou mais fitormônios. Aliados aos fatores externos, os fitormônios dão início ao processo do crescimento e da diferenciação, além de se encarregarem da sincronização do desenvolvimento da planta com as mudanças sazonais do ambiente. Os hormônios vegetais também regulam a intensidade e a orientação do crescimento vegetal, a sua atividade metabólica, o transporte, o estoque e a mobilização de materiais nutritivos (LARCHER, 2006).

Os hormônios são responsáveis pelo controle do metabolismo, do crescimento e da morfogênese de plantas, por meio dos sinais transmitidos de uma parte a outra da planta, assumem o papel de “mensageiros químicos”, e influenciam em muitas partes do desenvolvimento (HARTMANN et al., 1988; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Determinados processos importantes como a germinação, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturação sofrem a interferência de variados fatores, dentre os quais os hormônios vegetais desempenham papel relevante no controle do desenvolvimento de componentes que interferem na produtividade de uma cultura. Compreender acerca dos locais de produção, biossínteses, vias de transporte, estrutura química, mecanismo de ação e efeitos fisiológicos destas substâncias, torna-

se uma ferramenta essencial para estudos que objetivam modificar as respostas das plantas, por meio da manipulação destas e/ou a aplicação de similares (CATO, 2006).

Com a agricultura moderna, muitos avanços têm se dado com relação às técnicas de cultivo, com o objetivo de amenizar os fatores que limitam a produção tais como o clima, pragas e doenças. Nesta perspectiva, a fisiologia vegetal figura como uma das áreas da ciência agrônoma que possibilita resultados significativos, promovendo o avanço por meio de modernas técnicas como a produção de plantas por cultura de tecidos, a manipulação genética e a biotecnologia.

Nesse sentido, os bioestimulantes figuram como a mistura de biorreguladores ou a mistura entre um ou mais biorreguladores com outros compostos de natureza química diferente, dentre os quais destacam-se os aminoácidos, enzimas, vitaminas, sais minerais, etc. (CASTRO, 2006).

Por biorreguladores, compreende-se as substâncias similares aos hormônios vegetais (auxinas, citocininas, giberelinas), que apresentam um papel de grande importância, podendo ser responsáveis por uniformizar a germinação, estimular o desenvolvimento radicular e o perfilhamento. Dentre os principais reguladores vegetais considerando os endógenos e os sintéticos, destacam-se as auxinas, as giberelinas, as citocininas, o ácido abscísico, o etileno, os brassinosteróides, os jasmonatos, os salicilatos, as poliaminas e os compostos fenólicos (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Os bioestimulantes, considerando a sua composição, concentração e proporção, são capazes de promover ganhos em termos de crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo responsáveis por estimular a divisão celular, diferenciação e o alongamento das células, podendo também, potencializar a absorção e a utilização de água e dos nutrientes pelas plantas (CASTRO; VIEIRA, 2001). Em relação à sua concentração hormonal, os bioestimulantes apresentam menos de 0,02% ou 200 ppm de cada hormônio em um litro, com doses recomendadas de 0,5 a 1,0 litro/ha, ou seja, consideravelmente baixas. Sendo assim, o uso de bioestimulantes figura como um complemento na manutenção fisiológica, o que pode ser uma importante ferramenta em condições ambientais adversas, como a seca e a geada, ou bióticas limitantes (pragas e doenças) (VASCONCELOS, 2006).

A distribuição natural de plantas e a produtividade das mais variadas culturas agrícolas, tem relação direta com a capacidade que estas apresentam em lidar com estresses. A água é o principal constituinte vegetal, totalizando cerca de 90% da sua

massa de matéria verde. Dentre todos os recursos que a planta necessita para o seu crescimento e funcionamento, a água define-se como o mais importante, e da mesma maneira, o mais limitante relacionado à produtividade agrícola, sendo a matriz e o meio em que ocorre a maior parte dos processos bioquímicos essenciais à vida vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O estresse é entendido como um fator externo que assume influência negativa em relação a um vegetal. Desta forma, é importante entender como se dá a tolerância ao estresse, abrangendo as características que possibilitam a uma planta enfrentar um ambiente desfavorável à sua sobrevivência. Uma determinada planta pode ser tolerante ao estresse, ou, a tolerância pode ser obtida e amplificada em consequência da sua exposição ao estresse (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Para exercer a defesa contra o estresse causado pelo déficit hídrico a planta utiliza de alguns artifícios como: a limitação da expansão foliar (evitando a perda de água por transpiração) e o alongamento das raízes em direção a regiões mais profundas do solo, as que permanecem úmidas durante um período mais longo. Com relação à expansão da área foliar, por exemplo, tem-se uma sensibilidade bastante elevada ao déficit hídrico, sendo um mecanismo diretamente ligado à turgescência da planta: sendo que quanto menor a turgidez, menor a expansão foliar; ou seja, uma menor área foliar corrobora, conseqüentemente, na obtenção de uma menor taxa de transpiração, possibilitando a conservação de uma reserva de água por um período prolongado (TAIZ & ZEIGER, 2009).

A obtenção de desenvolvimento significativo da parte aérea, sistema radicular, absorção e a eficiência do uso da água e nutrientes pelas plantas, mesmo sob condições adversas, podem ser proporcionados por meio do fornecimento de concentrações adequadas de bioestimulantes (CASILLAS et al., 1986; CASTRO & VIEIRA, 2001; KOHATSU et al.; 2012). Ferreira et al. (2013) e Silva et al. (2010) apontam que com o uso do bioestimulante, pode-se haver o aumento no crescimento e desenvolvimento inicial dos perfilhos principais e secundários, tendo em vista a cultura da cana-de-açúcar.

A realização de estudos adicionais nesse sentido tornou-se uma importante ferramenta para a determinação de concentrações mais eficientes e de formas mais adequadas na aplicação de bioestimulantes, especialmente, quando em condições de elevada radiação e de restrição hídrica, com objetivo de se obter os melhores resultados em termos de produtividade (MENDES, 2010; SILVA et al., 2010).

3 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo geral compreender os efeitos da aplicação de bioestimulantes no crescimento e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, quando cultivada em Casa de Vegetação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento e atributos do solo

O experimento foi instalado em Casa de Vegetação, no dia 17 de julho 2021, na Área Experimental da FCAT - Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP, localizada no município de Dracena - SP, com coordenadas geográficas: Latitude 21°27' S e Longitude 51°33' W e altitude média de 400m.

O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi coletado de modo uniforme, em profundidade acima de 0,40m, em um solo caracterizado como Latossolo distroférico, apresentando 17% de argila. A análise do solo foi realizada segundo Raij et al. (2001); e foram determinados ou calculados os teores de P, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, pH, M.O, B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados das análises químicas do solo do solo utilizados na condução do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³	
4,00	4,0	1,0	7,0	6,0	2,0	0,3	13,0	33,0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O solo foi corrigido com calcário, visando a elevação da saturação por bases a 70%. Após sua aplicação, aguardou-se um período de dez dias para a perfeita incubação, empregando-se irrigações diárias.

4.2 Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos

O experimento foi instalado com Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), contendo dez tratamentos (Tabela 2) e cinco repetições, totalizando 50 parcelas ou unidades experimentais.

Quadro 1 – Descrição dos tratamentos do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Tratamento	Descrição	Tratamento	Descrição
T1	Testemunha	T6 – P2	bioestimulante composto por complexo hormonal e aminoácidos 0,4 L ha ⁻¹
T2 – P1	bioestimulante composto por complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5-sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico 0,4 L ha ⁻¹	T7– P2	bioestimulante composto por complexo hormonal e aminoácidos 0,8 L ha ⁻¹
T3 – P1	bioestimulante composto por complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5-sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico 0,8 L ha ⁻¹	T8 – P2	bioestimulante composto por complexo hormonal e aminoácidos 1,6 L ha ⁻¹
T4 – P1	bioestimulante composto por complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5-sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico 1,2 L ha ⁻¹	T9 – P3	composto de 0,009% de cinetina (citocinina), 0,005% de ácido giberélico - GA3 (giberelina) e 0,005% de ácido indolbutírico (análogo à auxina) na dose recomendada 0,5 L ha ⁻¹
T5 – P1	bioestimulante composto por complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5-sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico 1,6 L ha ⁻¹	T10 – P4	composto de 0,1% a 5% sulfato ferroso; 0,5% a 1,5% sulfato de manganês e 0,1% a 7% solução de nitrato de zinco 0,5 L ha ⁻¹

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os vasos, preenchidos com solo corrigido, foram distribuídos na parte central da Casa de Vegetação, identificados e distanciados, de forma a favorecer a movimentação da equipe. Assim, foi possível a realização adequada das atividades diárias de manejo e avaliações (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição dos vasos na Casa de Vegetação



. Fonte: Próprio autor (2021).

No momento do plantio, foi realizada a adubação do experimento com fertilizantes sólidos, de forma homogênea para todas as unidades experimentais. As doses de nutrientes aplicadas foram: 50-150-50 kg ha⁻¹ de Ureia-P₂O₅-K₂O. Posteriormente, como adubação de cobertura, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de Ureia e 50 kg ha⁻¹ e K₂O, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Adubação de cobertura referente ao experimento



Fonte: Próprio autor (2021).

A variedade utilizada no experimento foi a CTC4, com idade de 10 meses, retirada de uma lavoura destinada à produção de mudas, em excelentes condições fitotécnicas e livre de doenças.

Os minitoletes foram retirados da parte mediana dos colmos, cortados em comprimento padrão de 5 cm, apresentando uma gema por minitolete, classificados conforme a sanidade e diâmetro. Foram plantados em número de três por vaso e dispostos de forma triangular (Figura 3).

Figura 3 – Distribuição dos vasos na Casa de Vegetação



Fonte: Próprio autor (2021).

Os bioestimulantes previstos nos tratamentos foram aplicados no momento do plantio dos minitoletes de cana-de-açúcar, sobre as gemas e conforme preparo prévio das doses em laboratório (Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Preparo da calda dos tratamentos



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 5 – Aplicação dos tratamentos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Próprio autor (2021).

Em relação ao fornecimento de água, os vasos foram irrigados diariamente com 1L por vaso, de modo a atingir a capacidade de campo. Após 30 dias, foi realizado desbaste mantendo uma planta por vaso, para a condução do experimento. Aos 97 dias, a irrigação de todos os vasos foi suspensa durante um período, com a finalidade de determinação do Índice de Murcha e retomada aos 101 dias.

4.3 Avaliações

Durante os primeiros 30 dias após o plantio dos minitoletes de cana-de-açúcar foi avaliada a Velocidade de Emergência (VE), segundo metodologia e cálculos específicos. Para essa característica não destrutiva (ND), ao longo do período acima citado, foram realizadas contagens diárias do total de brotos emergidos nas parcelas experimentais. Foram considerados brotos emergidos aqueles que foram observados a partir do rompimento da camada superficial do solo, independentemente do tamanho do mesmo. A partir da determinação da velocidade de emergência das plantas, calculou-se o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), em função da aplicação dos tratamentos (Figura 6).

As fórmulas usadas para cálculo do IVE e VE foram propostas por Maguire (1962), as quais são apresentadas a seguir: $IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn)$, em que: IVE = índice de velocidade de emergência; G = número de plântulas normais computadas nas contagens; N = número de dias da semeadura à 1ª, 2ª ... 8ª avaliação. Para Maguire (1962), o cálculo da velocidade de emergência (VE) é realizado com os dados utilizados para o cálculo do IVE, utilizando-se a fórmula proposta: $VE = [(N1$

$G_1) + (N_2 G_2) + \dots + (N_n G_n)] / (G_1 + G_2 + \dots + G_n)$, em que: VE = velocidade de emergência (dias); G = número de plântulas emergidas observadas em cada contagem; N = número de dias da semeadura a cada contagem.

Figura 6 – Avaliação do VE e IVE das plantas



Fonte: Próprio autor (2021).

Após esse período, foram realizadas quatro avaliações biométricas para a estimativa do crescimento inicial da cana-de-açúcar. Aos 45, 60, 75 e também por ocasião da colheita, aos 90 dias após o plantio, foram mensurados o número, largura e altura de folhas e diâmetro e número de colmos (Figura 7).

Figura 7 – Biometria não destrutiva das plantas



Fonte: Próprio autor (2021).

Aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos, foram avaliados os parâmetros fisiológicos das plantas como Temperatura foliar, Carbono interno, Transpiração, Condutância estomática, Taxa fotossintética e Eficiência do uso da água,

empregando-se o aparelho analisador de gases no infravermelho IRGA (LCA-4, ADC, Analytical Development Company, Hodesdon, UK). As avaliações se deram no intervalo de 9h00min às 12h00min, de forma a padronizar as medições, evitando maiores oscilações em relação a obtenção dos dados, conforme Barros (2015), tendo em vista a sensibilidade do aparelho (Figura 8).

Figura 8 – Avaliações fisiológicas, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Próprio autor (2021).

Aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas folhas recém-maduras (folhas+1) para avaliação das características ultraestruturais histológicas, ou seja, morfológicas. Na ocasião foram retirados 05 (cinco) fragmentos de folhas+1 do colmo principal em cada parcela experimental. Cada fragmento possuía 5 (cinco) cm de comprimento extraídos da parte central do limbo.

As amostras foram enviadas para o Laboratório de Morfofisiologia Vegetal da FCAT - Faculdade de Ciências Agrárias da Unesp de Dracena - SP. Todo material coletado foi fixado em solução F.A.A. 70 (formaldeído 37%, ácido acético e etanol 70% na proporção de 1,0:1,0:18,0 – V/V). Após 24 horas foi lavado em etanol 70% e armazenado em etanol 70% até a data de realização das análises, segundo Kraus e Arduim (1997).

Todos os fragmentos de tecidos vegetais receberam os procedimentos pertinentes à desidratação, diafanização, inclusão e emblocagem. Com auxílio de um micrótomo de mesa Leica contendo lâmina de aço foram realizadas secções transversais de 8 μ m em cada fragmento foliar emblocado. Para a montagem das lâminas histológicas foram escolhidas as primeiras secções transversais que apresentaram o material mais preservado, sem danos ou injúrias provocadas pelo

corde nos tecidos vegetais. Todas as secções escolhidas foram fixadas com adesivo de Mayer, coradas com safranina a 1% e montadas em lâminas e lamínulas com adesivo Entellan.

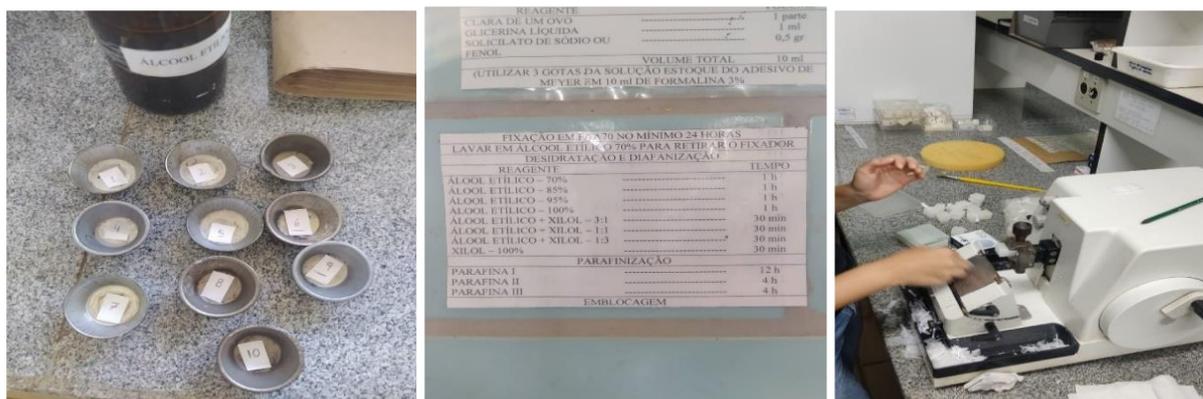
Todas as lâminas foram observadas em microscópio óptico Leica, com uma câmara acoplada para realização das fotografias dos cortes. As imagens foram utilizadas para as medições dos parâmetros anatômicos por meio do programa de análise de imagens QWin, calibrado com régua microscópica nos mesmos aumentos das fotografias, segundo metodologia descrita por Pereira et al. (2008). Nos cortes transversais, foram observadas na região da nervura central das folhas as seguintes características ultraestruturais histológicas: espessura do limbo (EL); espessura da epiderme e cutícula abaxial (EECAB); espessura da epiderme e cutícula adaxial (EECAD); diâmetro do feixe dos vasos do xilema (DFVX); diâmetro do feixe dos vasos do floema (DFVF); (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Coleta e preparo das amostras de folhas referentes ao experimento



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 10 – Emblocamento e preparo de lâminas contendo fragmentos de folha



Fonte: Próprio autor (2021).

Com a finalidade de determinação do Índice de Murcha das Plantas, a irrigação do experimento foi interrompida aos 97 dias; e retomada aos 101 dias após o plantio dos minitoletes. Como não foi encontrado nenhum referencial como base na literatura, foram criados parâmetros quantitativos que oscilaram de 1 a 3 para a análise da murcha. A nota 1 foi atribuída ao vaso sem constatação visual de murcha; 2 para nível mediano de murcha; e 3 para níveis críticos de murcha. As avaliações foram realizadas aos 97, 98, 99, 100 e 101 dias após o plantio (DAA), conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Mensuração do Índice de Murcha das Plantas



Fonte: Próprio autor (2021).

A colheita final do experimento ocorreu no dia 26 de outubro de 2021, aos 102 dias após o plantio dos minitoletes e aplicação dos tratamentos. Os vasos foram desmontados, suas raízes foram lavadas e as plantas partilhadas em sistema radicular e parte aérea, para a determinação de suas massas de matéria seca, com consequente obtenção da massa de matéria seca total (Figura 12).

Figura 12 – Lavagem das partições das plantas para posterior secagem em estufa apropriada



Fonte: Próprio autor (2021).

4.4 Análises estatísticas

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Quando encontrados efeitos significativos foram realizadas análises envolvendo o Teste de Tukey, além das devidas análises de regressão e correlações, quando cabíveis.

Para a análise das correlações, os dados foram submetidos, finalmente, à estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) (CRUZ, 2001).

O coeficiente de correlação de Pearson é representado pela letra r e assume valores de -1 a 1. ($r = 1$), representando a correlação perfeita e positiva entre duas variáveis, ($r = -1$), representando correlação perfeita negativa entre duas variáveis, ou seja, enquanto uma aumenta a outra diminui, à medida que se aproxima do 1 vai ficando perfeita a correlação.

O coeficiente de correlação de Pearson calcula-se segundo a seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

onde x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos de ambas as variáveis. Para, além disso:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$$

São as médias aritméticas de ambas as variáveis (CRUZ, 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Velocidade de emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE)

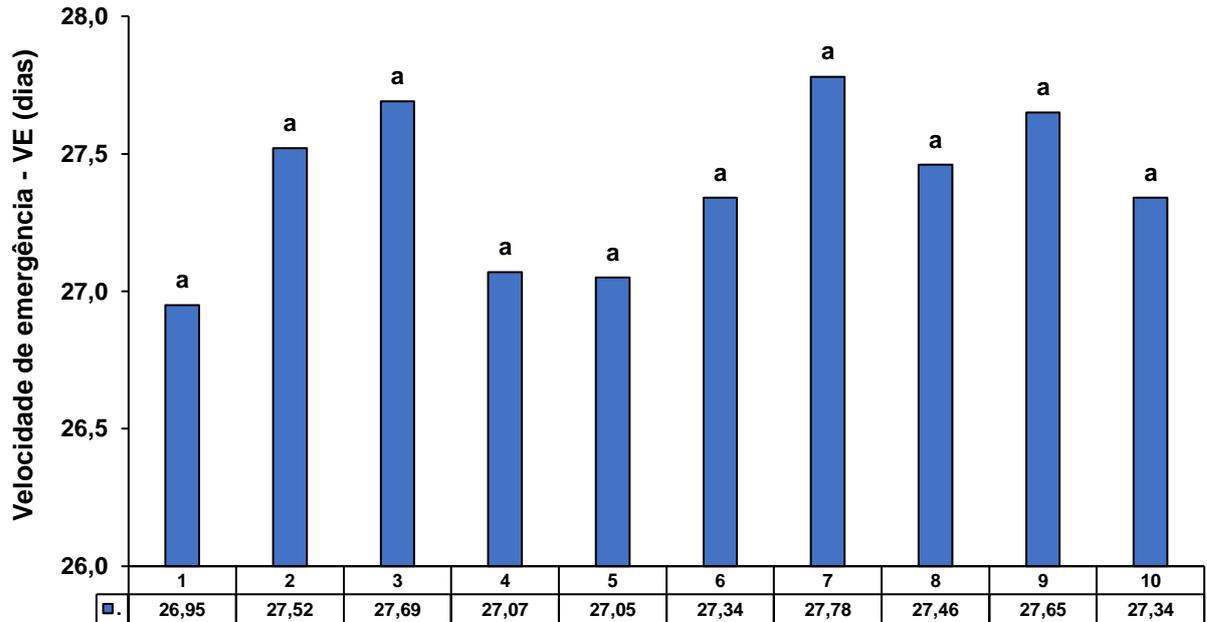
Durantes os primeiros 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) foram realizadas avaliações diárias de emergências de brotações da cana, a fim de se determinar a Velocidade de Emergência (VE) e o Índice de Velocidade de Emergência das plantas, em função da aplicação dos tratamentos, conforme demonstrado da Tabela 3.

Tabela 2 – Velocidade de Emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE), referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes nas fases iniciais da cultura da cana-de-açúcar

Causa de variação	Velocidade de emergência e Índice de velocidade de emergência	
	VE Dias	IVE Plantas dias ⁻¹
Tratamento		
1	26,95	a 0,666
2	27,52	a 0,566
3	27,69	a 0,464
4	27,07	a 0,622
5	27,05	a 0,554
6	27,34	a 0,512
7	27,78	a 0,350
8	27,46	a 0,372
9	27,65	a 0,384
10	27,34	a 0,592
¹ D.M.S.	1,47	0,402
Teste F	0,87^{NS}	1,73^{NS}
² C.V.	2,53%	37,16%

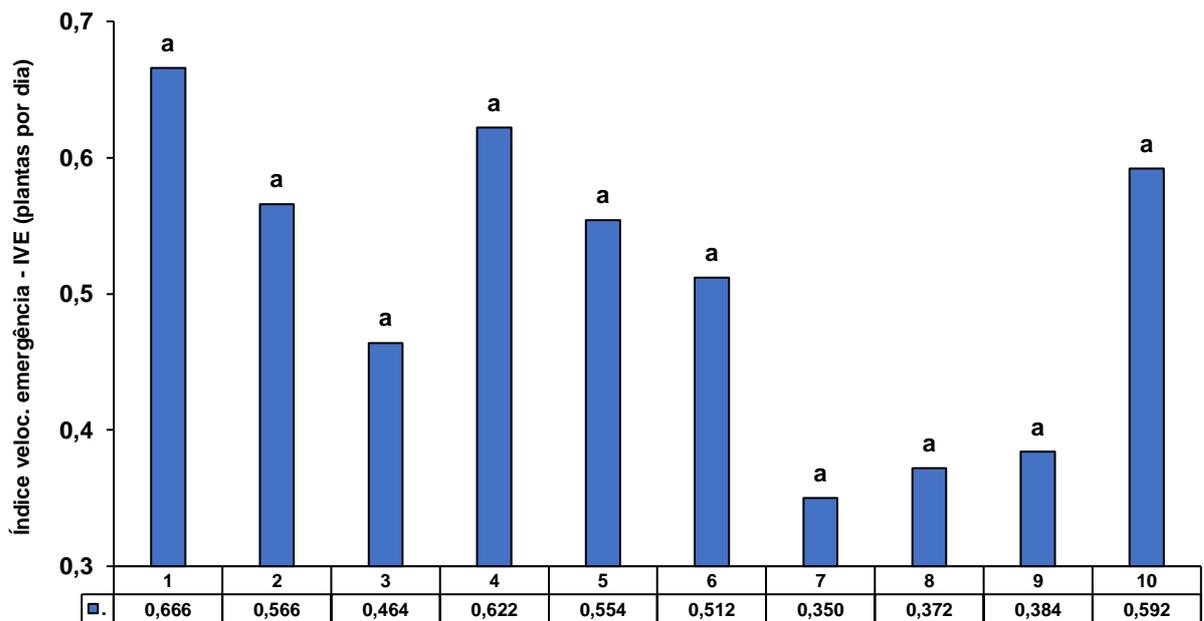
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 13 – Velocidade de Emergência referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 14 – Índice de Velocidade de Emergência, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Não foram evidenciados efeitos significativos tanto para Velocidade de Emergência (VE), como para o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) em relação aos tratamentos aplicados (Tabela 3 e Figuras 13 e 14), em contraposição aos

resultados descritos por Wanderley Filho (2011) que apontam efeitos significativos em relação a VE e IVE, mediante a aplicação de bioestimulante em cana-de-açúcar.

5.2 Comportamento inicial do crescimento da cana-de-açúcar

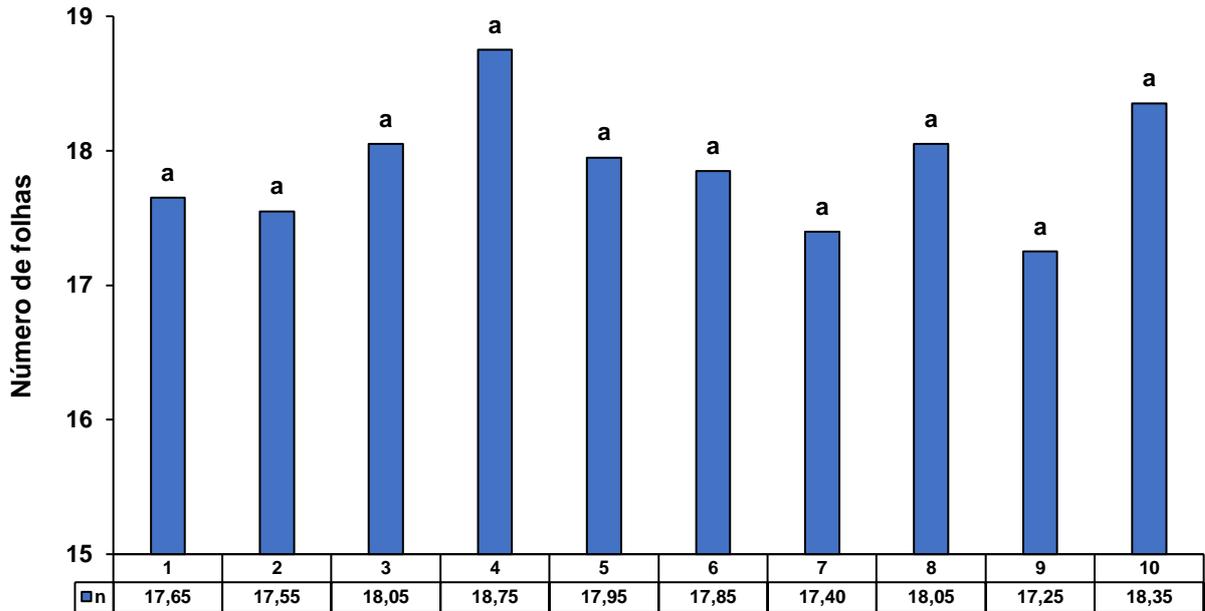
Em relação ao comportamento inicial do crescimento da cana-de-açúcar, foram realizadas quatro avaliações: aos 45, 60, 75 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), visando a determinação do: número de folhas; largura das folhas; altura da planta; número de colmos; e diâmetro dos colmos (Tabela 4).

Tabela 3 – Número de folhas; largura das folhas; altura da planta; número de colmos; e diâmetro dos colmos, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Causa de variação	Parâmetros de crescimento									
	Número de folhas		Largura de Folhas		Altura da Planta		Número de Colmos		Diâmetro de Colmos	
Treatamento (A)	---		cm	cm	---		---	cm		
1	17,65	a	2,04	a	119,99	abc	5,55	a	1,20	ab
2	17,55	a	1,96	ab	126,23	a	4,70	a	1,39	a
3	18,05	a	1,85	ab	111,36	c	5,25	a	1,37	a
4	18,75	a	1,99	ab	119,15	abc	5,55	a	1,31	ab
5	17,95	a	1,97	ab	122,71	ab	5,35	a	1,32	ab
6	17,85	a	2,01	ab	120,60	abc	5,25	a	1,36	a
7	17,40	a	2,03	ab	119,35	abc	4,70	a	1,26	ab
8	18,05	a	1,91	ab	114,30	bc	5,00	a	1,24	ab
9	17,25	a	1,76	b	116,09	abc	5,70	a	1,14	b
10	18,35	a	1,94	ab	116,50	abc	6,05	a	1,32	ab
d.m.s.	14,09		0,27		10,44		1,37		0,27	
Teste F (A)	0,32^{NS}		2,03*		3,43**		2,02*		3,21**	
Época (B)										
45 DAA	5,80	d	1,48	c	78,07	D	2,54	d	0,67	c
60 DAA	12,36	c	1,86	b	116,08	C	5,02	c	1,29	b
75 DAA	24,88	b	2,20	a	134,26	B	5,74	b	1,63	a
90 DAA	28,50	a	2,24	a	146,10	A	7,94	a	1,57	a
d.m.s.	1,85		0,14		5,34		0,70		0,10	
Interação										
A x B	0,45^{NS}		0,48^{NS}		0,53^{NS}		1,61*		1,91**	
C.V.	19,89%		13,8%		8,67%		25,48%		15,47%	

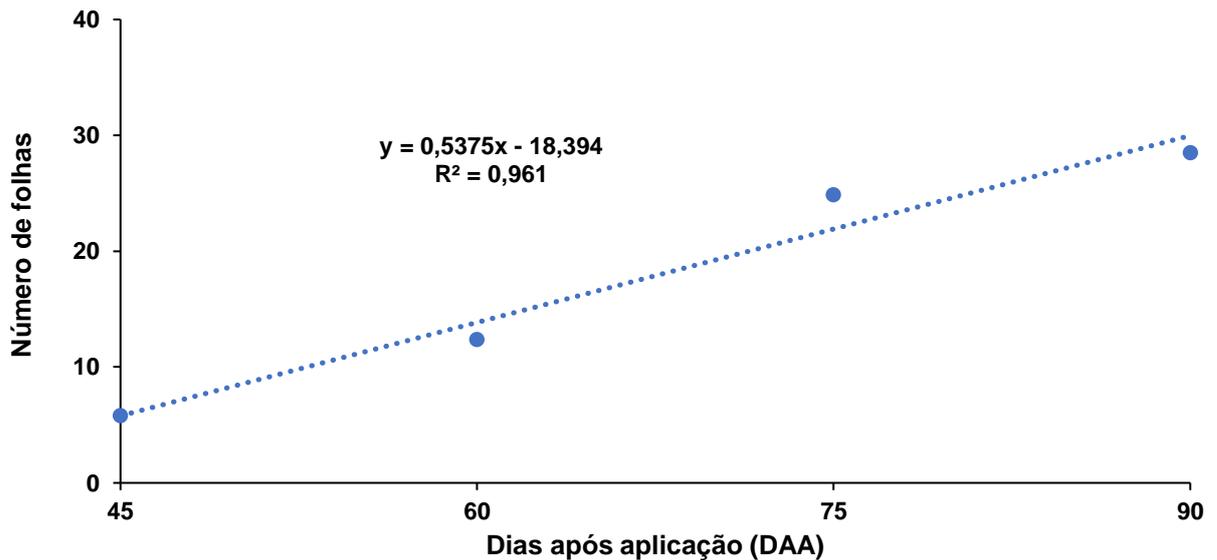
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 15 – Número de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 16 – Número de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações

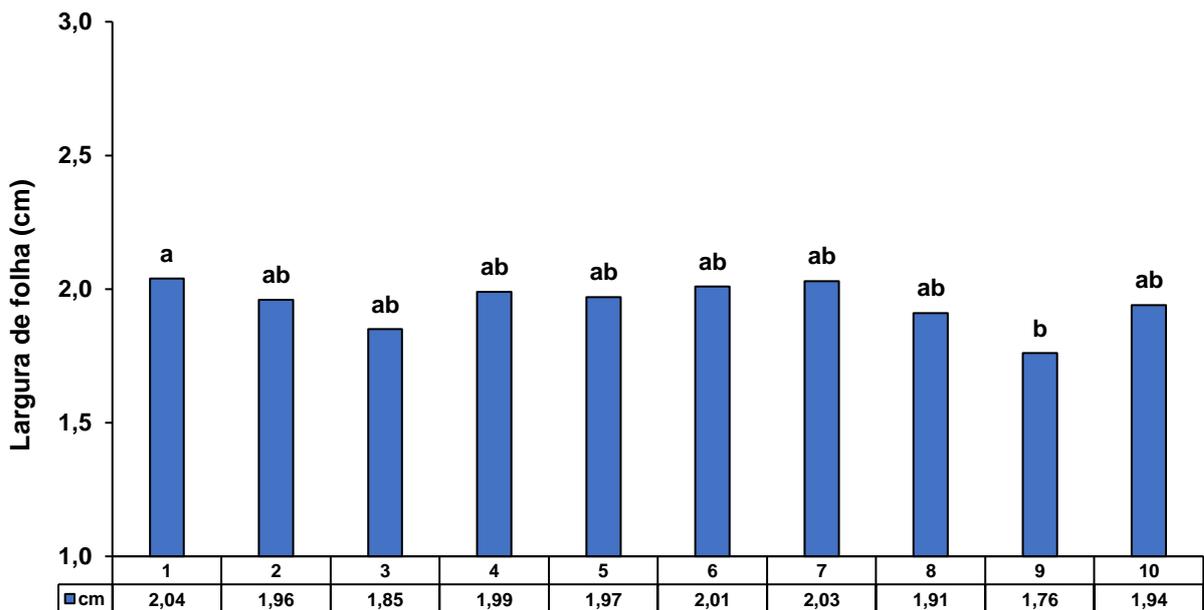


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para a característica número de folhas, não houve efeitos significativos em relação aos tratamentos aplicados (Tabela 4 e figuras 15 e 16), e também não foram constatadas interações no que diz respeito aos períodos (época) em que foram realizadas as avaliações, sendo possível compreender que os tratamentos não impactaram nesse sentido.

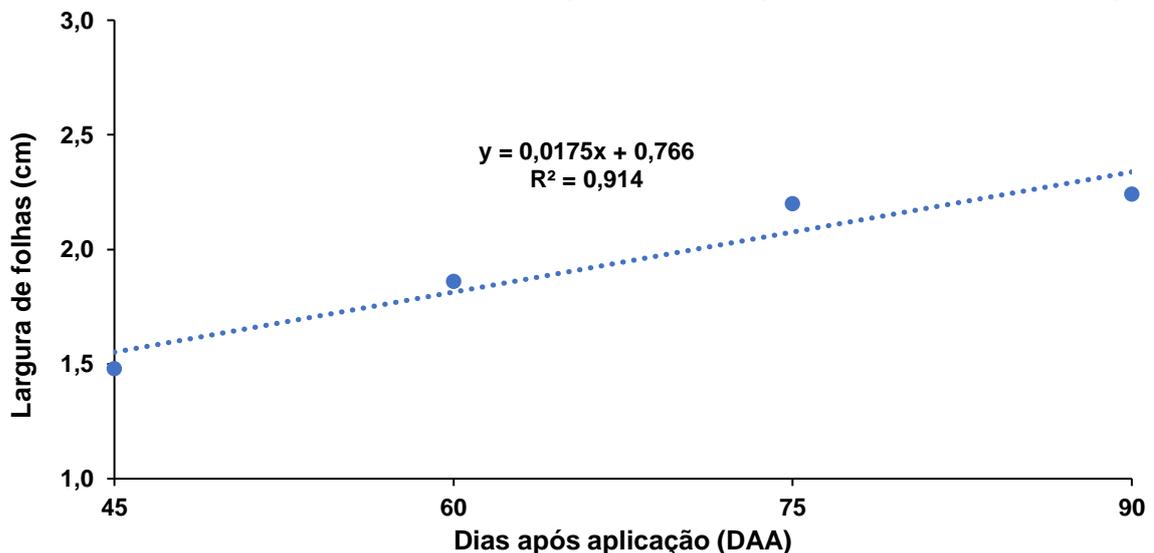
A característica número de folhas é definida como fator limitante para o desenvolvimento do vegetal, demonstrando uma relação entre o maior número de folhas com o maior crescimento, ligada também à altura da planta. As folhas desempenham função primordial no processo fotossintético da planta, elevando a produção de açúcares e, conseqüentemente, proporcionando maior desenvolvimento vegetal (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; LI; SOLOMON, 2003).

Figura 17 – Largura de folhas referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor

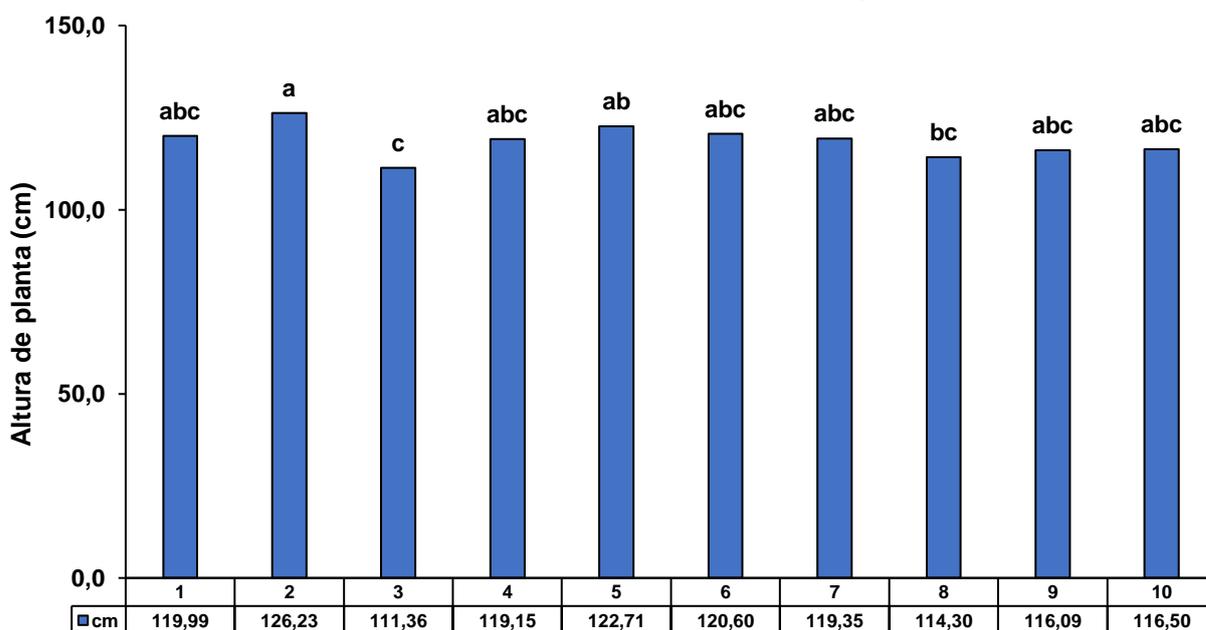
Figura 18 – Largura de folhas referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação à largura de folhas (Tabela 4 e Figuras 17 e 18), compreendeu-se que os efeitos em relação aos tratamentos não demonstraram diferença significativa em relação à época (períodos) de avaliações realizadas, contrapondo-se também aos resultados positivos descritos por Wanderley Filho (2011) em seus estudos.

Figura 19 – Altura de plantas referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



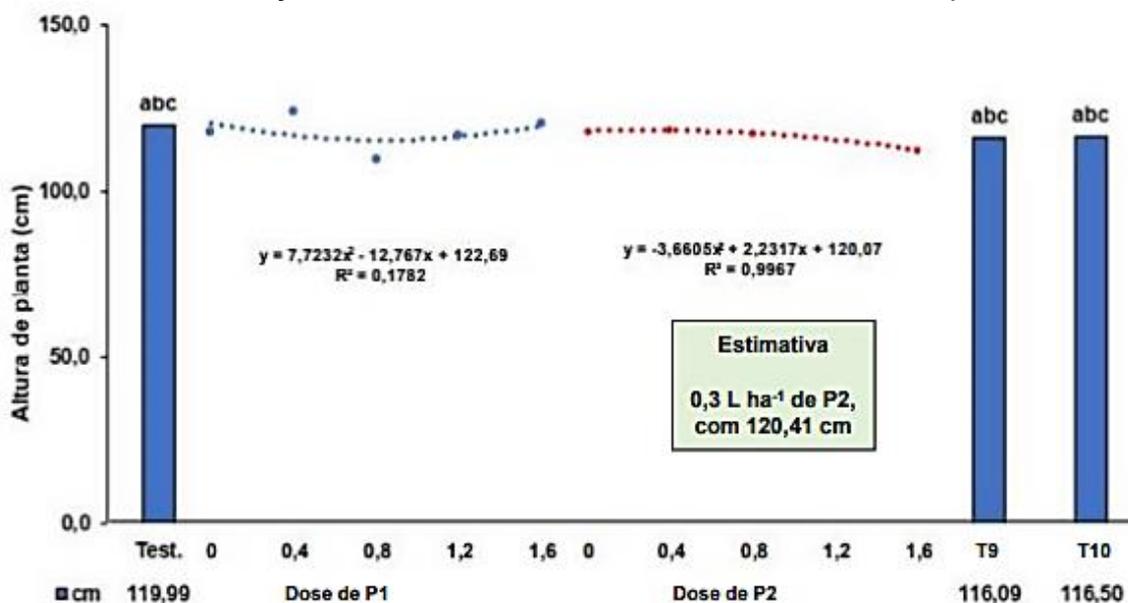
Fonte: Elaboração do próprio autor.

No que diz respeito à característica altura de plantas, houve diferença estatística para os fatores isolados, porém, também não foram constatados efeitos significativos em relação aos tratamentos, em função da interação com os períodos (época) em que foram realizadas as avaliações (Tabela 3 e Figura 19).

O tratamento 2 apresentou melhores efeitos em relação aos tratamentos 3 e 8, porém se assemelha aos tratamentos 1,4,5,6,7,9 e 10. Nesse contexto, uma das possíveis explicações, para o efeito demonstrado pelo Tratamento 2, pode estar ligado a presença de ácido salicílico no composto. O ácido salicílico funciona como um dos sinalizadores endógenos envolvidos na resistência sistêmica adquirida (TAIZ & ZEIGER, 2013), e representa papel de destaque como sinalizador envolvido nessa defesa (MAUCH et al., 2001).

A análise de regressão foi realizada, para a verificação da melhor dosagem em relação aos tratamentos, referentes a P2 (Tratamentos 6, 7 e 8), descritos na Tabela 2, como demonstra a Figura 20.

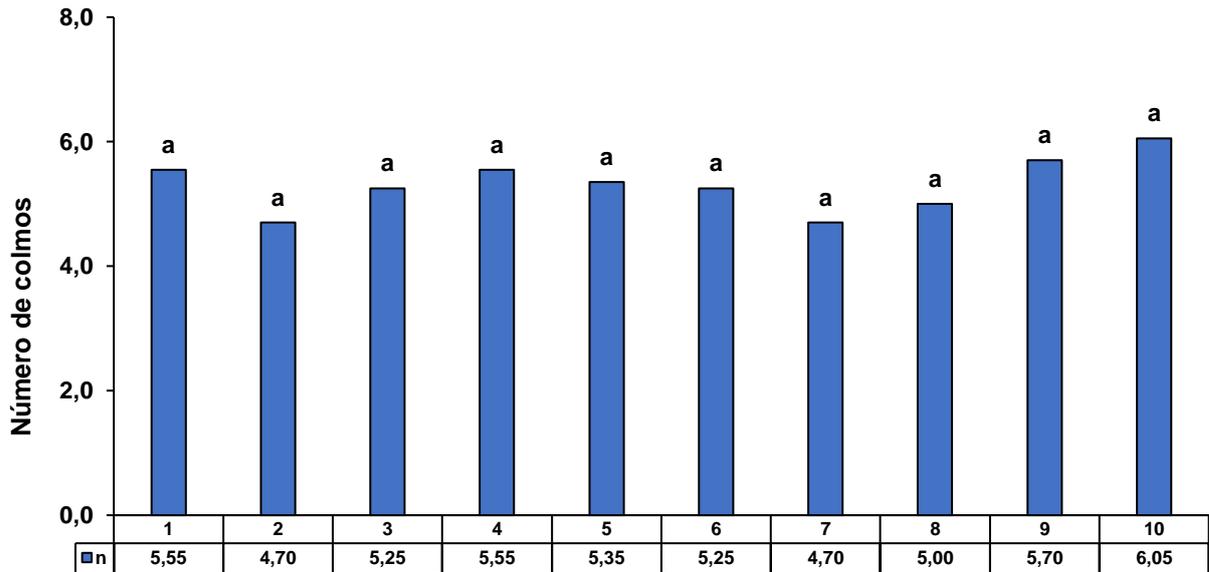
Figura 20 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista a característica altura de plantas



Fonte: Elaboração do próprio autor.

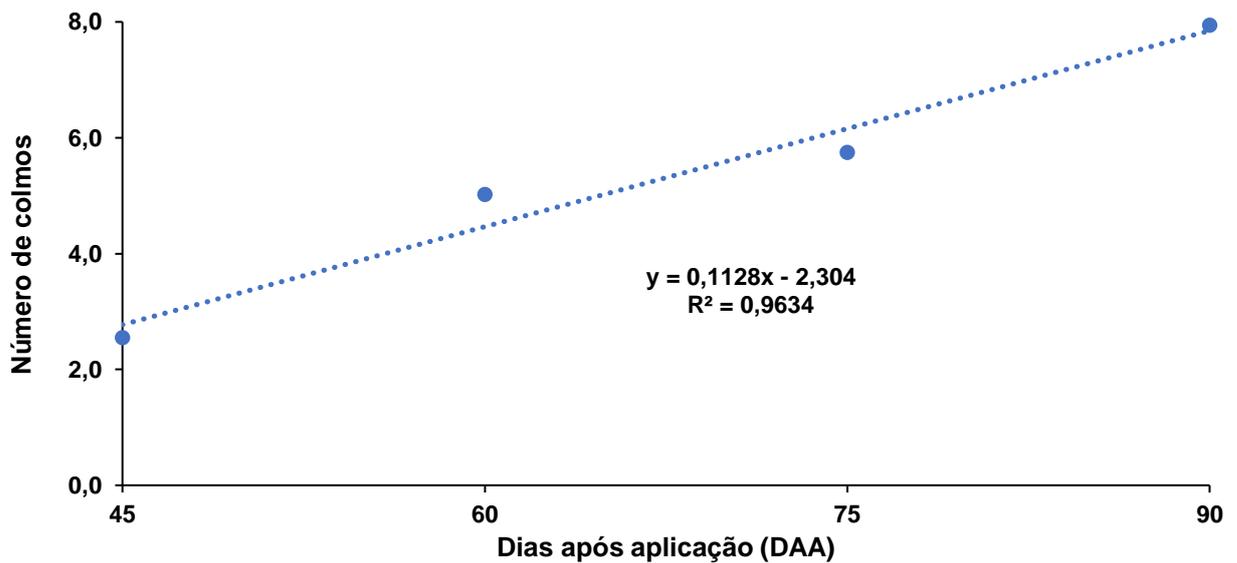
De acordo com a Figura 20, em relação à comparação das dosagens referentes a P2, destacou-se o melhor efeito para a dosagem de $0,3 \text{ L ha}^{-1}$, obtendo-se $120,41 \text{ cm}$ de altura estimada das plantas.

Figura 21 – Número de colmos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 22 – Número de colmos referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliação



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação à característica número de colmos, houve diferença estatística significativa na interação entre os fatores (Tabela 3), desta forma, deu-se o desdobramento estatístico para tratamentos e as épocas de aplicação.

Em discordância com Torsian et al. (2021), que não evidenciou efeitos significativos para a característica número de colmos em seus estudos, apesar do incremento proporcionado em termos de produtividade.

Tabela 4 – Desdobramento estatístico para a variável número de colmos, em função dos tratamentos aplicados e épocas de avaliação do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

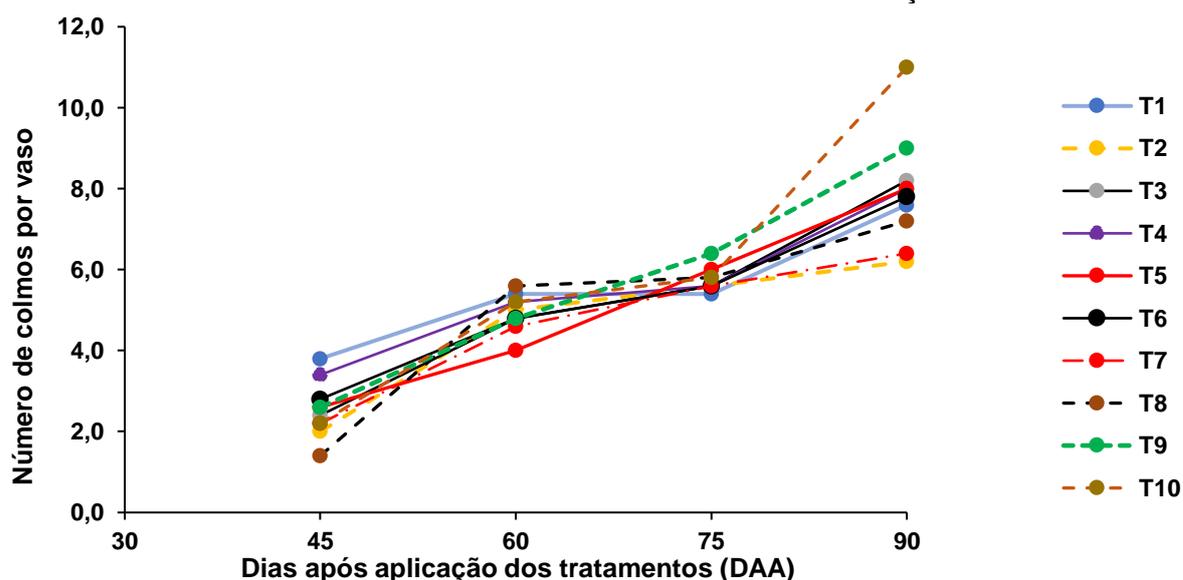
Desdobramento do Número de colmos						
		45 DAA	60 DAA	75 DAA	90 DAA	Teste F
T1		3,80 aB	5,40 aAB	5,40 aAB	7,60 bcA	6,65**
T2	0,4	2,00 aB	5,00 aA	5,60 aA	6,20 cA	9,50**
T3	0,8	2,40 aC	4,80 aB	5,60 aB	8,20 bcA	15,61**
T4	1,2	3,40 aB	5,20 aB	5,60 aB	8,00 bcA	9,78**
T5	1,6	2,60 aC	4,00 aBC	6,00 aAB	8,00 bcA	13,93**
T6	0,4	2,80 aC	4,80 aBC	5,60 aAB	7,80 bcA	11,68**
T7	0,8	2,20 aB	4,60 aA	5,60 aA	6,40 bcA	9,07**
T8	1,6	1,40 aB	5,60 aA	5,80 aA	7,20 bcA	17,11**
T9		2,60 aC	4,80 aBC	6,40 aB	9,00 abA	19,84**
T10		2,20 aC	5,20 aB	5,80 aB	11,00 aA	36,51**
Teste F		1,29^{NS}	0,28^{NS}	0,22^{NS}	5,05**	

*Letras maiúsculas são comparadas dentro da linha.

*Letras minúsculas são comparadas dentro da coluna

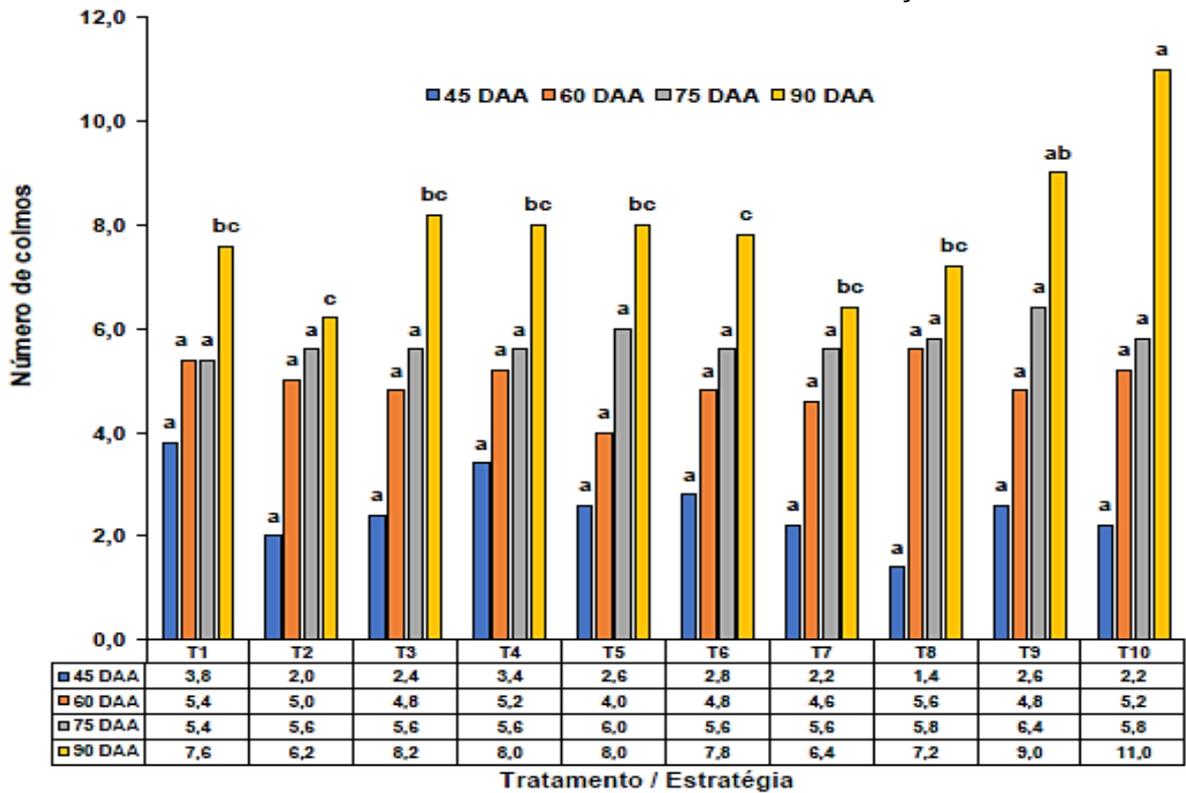
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 23 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



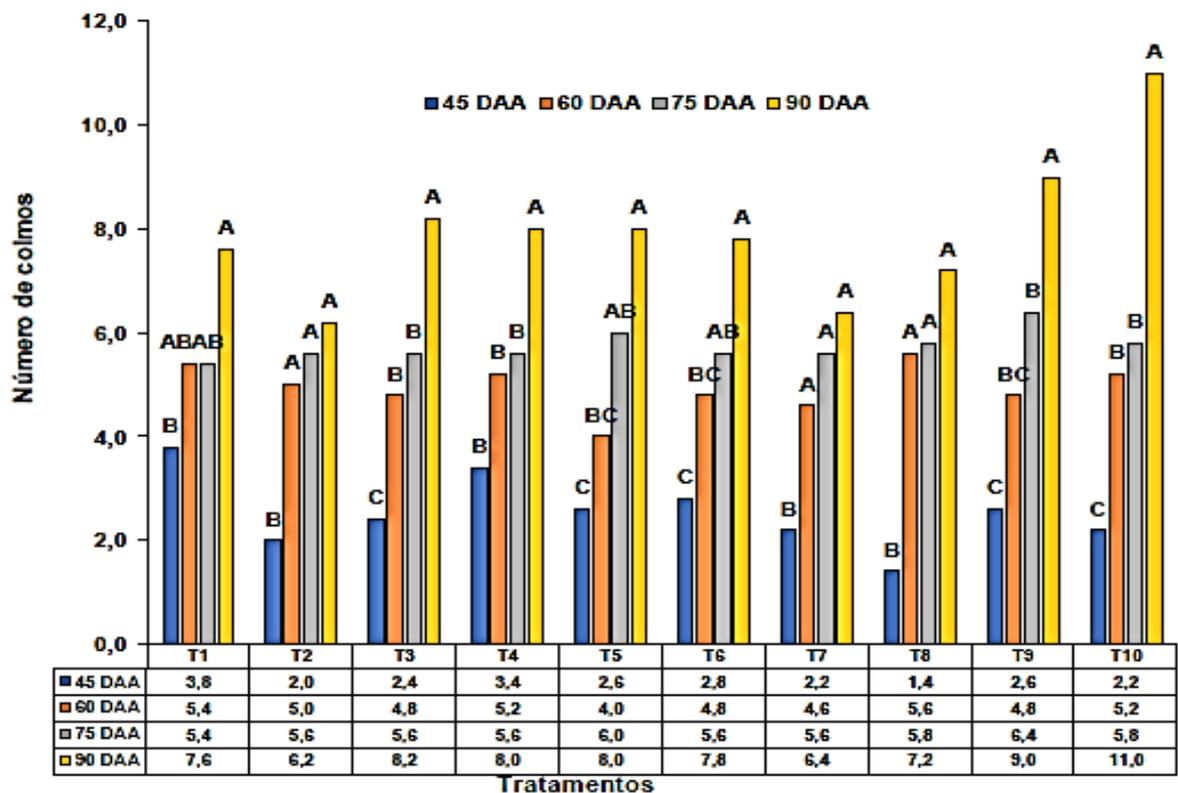
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 24 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 25 – Desdobramento estatístico da variável número de colmos, em função das épocas de avaliação (entre épocas) do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

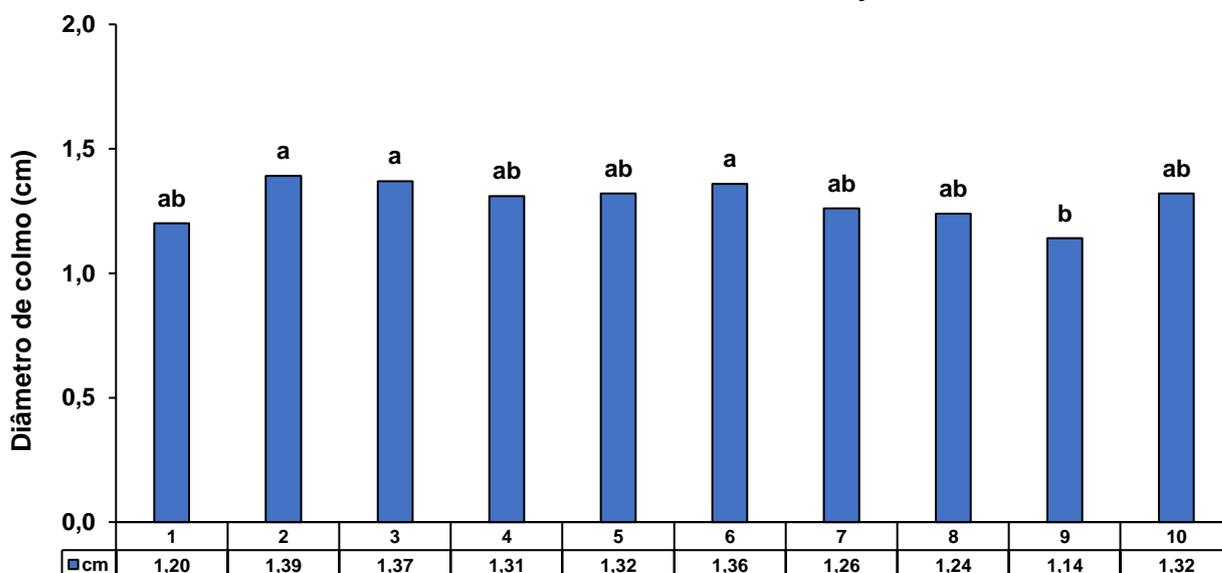


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foram destacados efeitos significativos estatisticamente na avaliação aos 90 dias, considerando que os efeitos de T9 e T10, apesar de semelhantes, sobressaíram em relação aos demais (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8). Os gráficos acima (Figuras 23, 24 e 25) demonstram esses resultados.

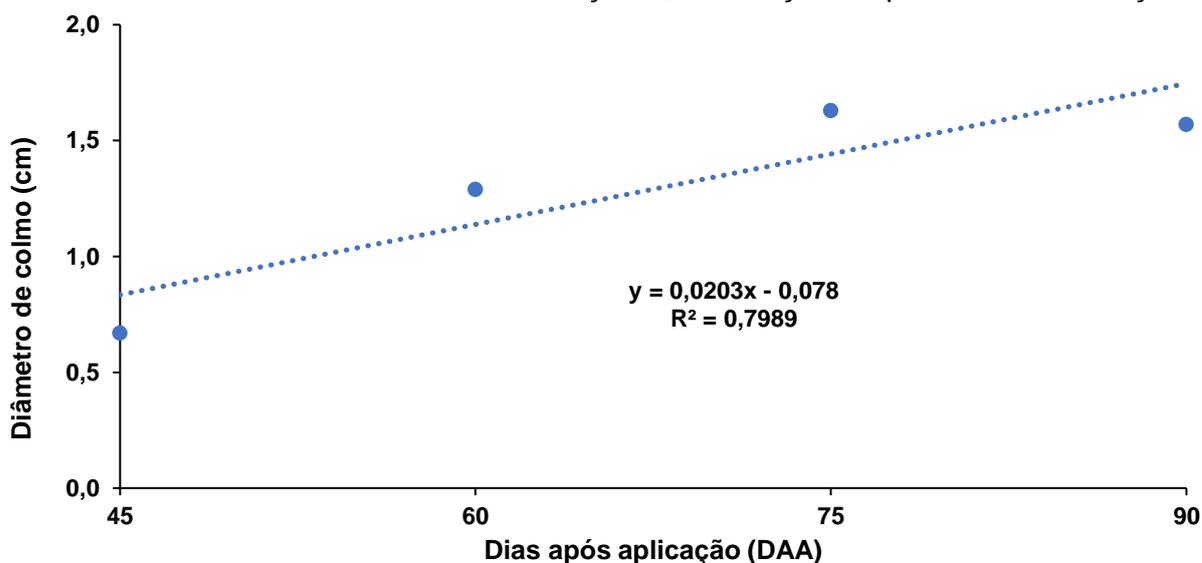
Algumas das possíveis razões ligadas a esses efeitos, seria a presença de cinetina (citocinina), responsável pela divisão celular, ácido giberélico - GA3 (giberelina) e ácido indolbutírico (análogo à auxina), responsáveis pelo alongamento e crescimento de caule (TAIZ & ZEIGER, 2013), no composto referente a T9.

Figura 26 – Diâmetro de colmos referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 27 – Diâmetro de colmos referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para a característica diâmetro de colmos, houve diferença significativa em função do tempo (interação), o que também era esperado, devido ao crescimento e desenvolvimento do vegetal com o passar dos dias. Desta maneira, foi realizado o desdobramento estatístico, de forma a propiciar a análise entre os tratamentos realizados e as épocas de aplicação.

Tabela 5 – Desdobramento estatístico para a variável diâmetro de colmos, em função do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

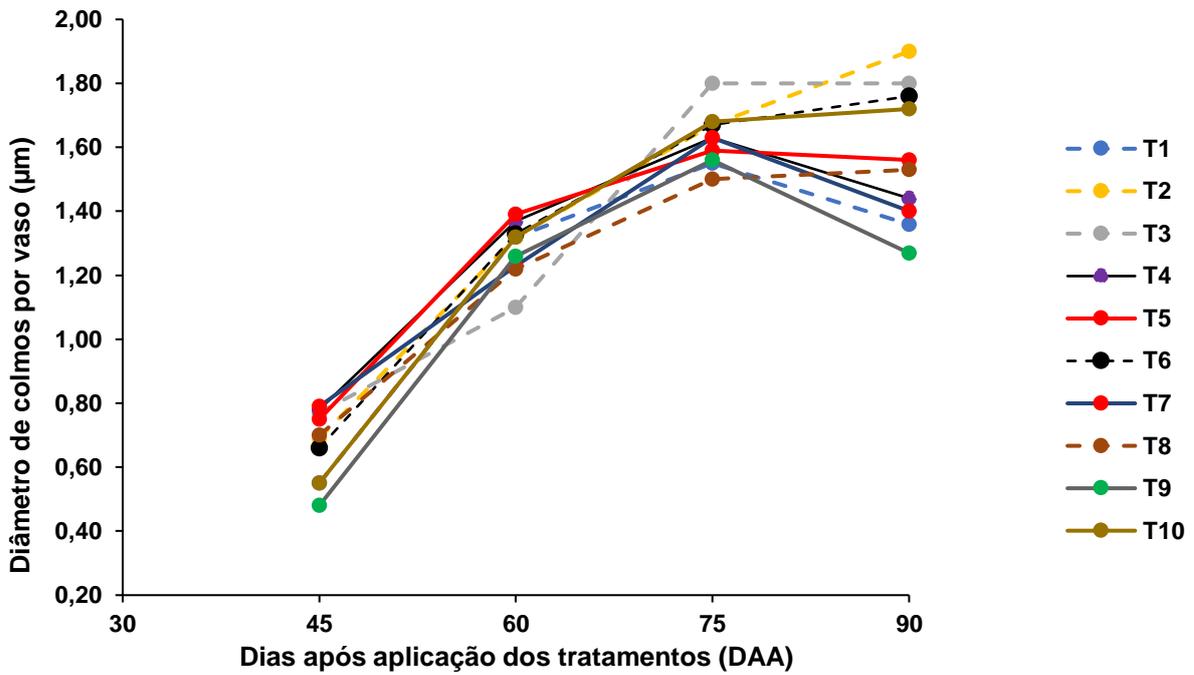
Desdobramento referente ao Diâmetro de colmo					
	45 DAA	60 DAA	75 DAA	90 DAA	Teste F
T1	0,55 aB	1,32 aA	1,55 aA	1,36 cdA	24,18**
T2	0,4 0,69 aC	1,32 aB	1,67 aA	1,90 aA	34,68**
T3	0,8 0,77 aB	1,10 aB	1,80 aA	1,80 abA	33,67**
T4	1,2 0,78 aB	1,37 aA	1,63 aA	1,44 bcdA	16,99**
T5	1,6 0,75 aB	1,39 aA	1,59 aA	1,56 abcdA	19,16**
T6	0,4 0,66 aC	1,33 aB	1,67 aA	1,76 abcA	30,97**
T7	0,8 0,79 aC	1,23 aB	1,63 aA	1,40 bcdAB	15,96**
T8	1,6 0,70 aB	1,22 aA	1,50 aA	1,53 abcdA	18,72**
T9	0,48 aB	1,26 aA	1,56 aA	1,27 dA	26,88**
T10	0,55 aC	1,32 aB	1,68 aA	1,72 abcA	36,88**
Teste F	1,50^{NS}	0,95^{NS}	0,91^{NS}	5,57**	

*Letras maiúsculas são comparadas dentro da linha.

*Letras minúsculas são comparadas dentro da coluna

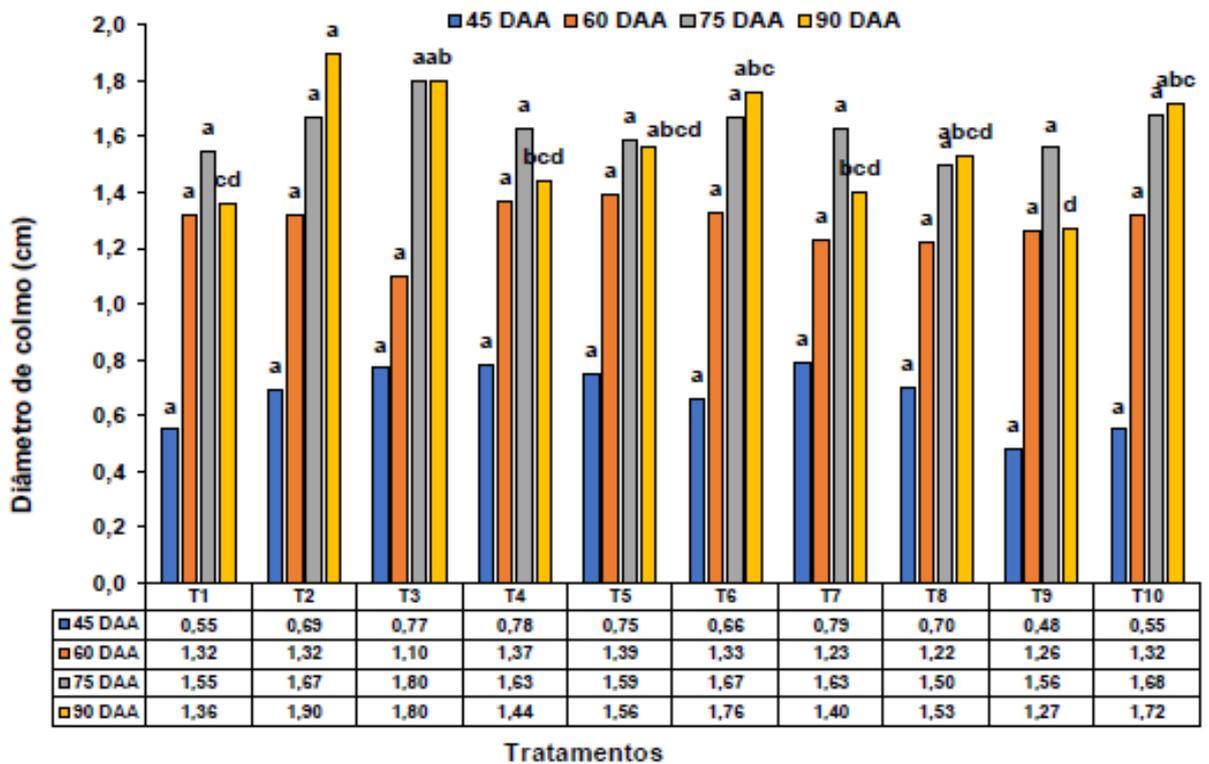
Fonte - Elaboração do próprio autor.

Figura 28 – Desdobramento estatístico para a variável diâmetro de colmos, em função experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



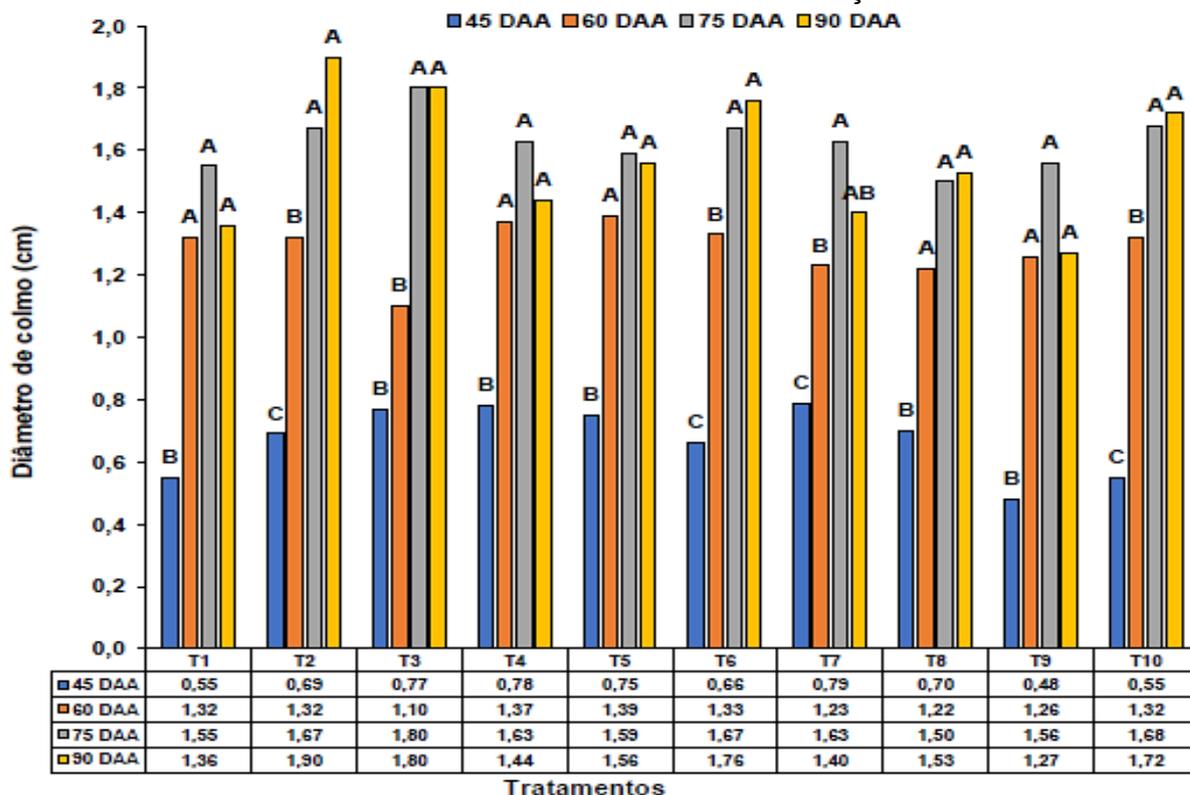
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 29 – Desdobramento estatístico da variável diâmetro de colmos, em função do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 30 – Desdobramento estatístico da variável diâmetro de colmos, em função das épocas de avaliação (entre épocas) do experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

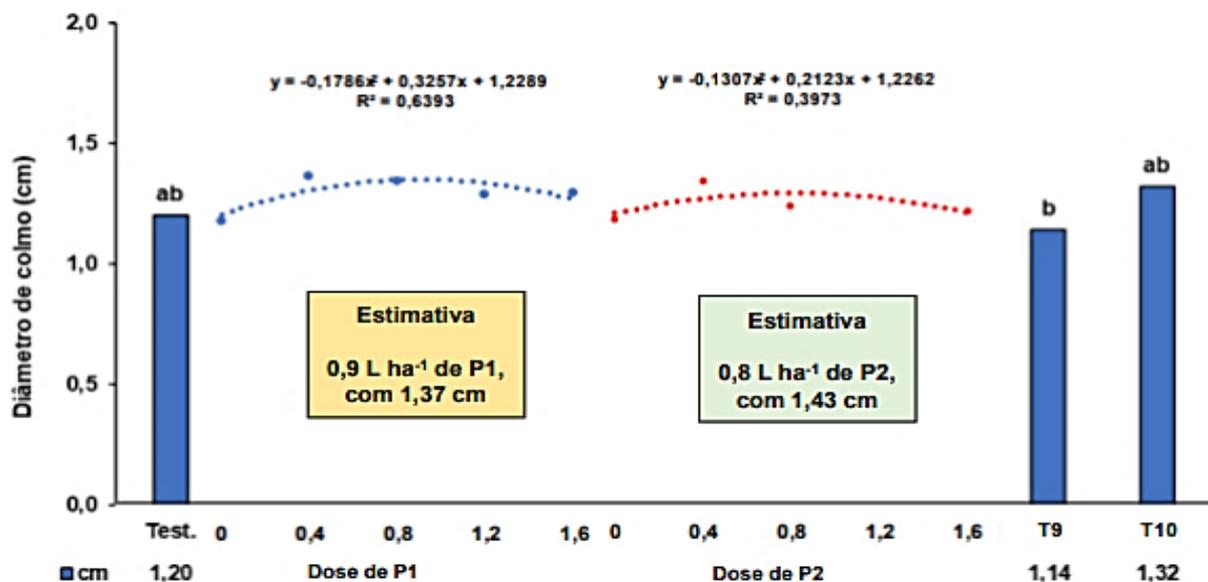


Fonte: Elaboração do próprio autor.

As análises propostas e ilustradas na Tabela 6 e gráficos (Figuras 28, 29 e 30), demonstraram diferença significativa entre os tratamentos aos 90 dias após a aplicação, sendo que dentre eles, T2, T3, T5, T6, T8 e T10, apesar de não diferirem estatisticamente entre si, apresentaram melhores efeitos em relação a T1, T4, T7 e T9. Em conformidade, Silva et al. (2010) observou que o uso de bioestimulantes pode proporcionar acréscimo relacionado ao diâmetro de colmo.

Para a verificação da melhor dosagem em relação aos tratamentos, foi realizada a análise de regressão referente a P1 e P2 (Tratamentos 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8), descritos na Tabela 2, como demonstra a Figura 31.

Figura 31 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista a característica diâmetro de colmos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação à análise das dosagens (Figura 31), constatou-se melhores efeitos de diâmetro do colmo com a dosagem 0,9 L ha⁻¹ para P1, com a obtenção de 1,37 cm de diâmetro estimado. E para P2, destacou-se a dosagem de 0,8 L ha⁻¹ considerando a estimativa de 1,43 cm de diâmetro de colmo.

5.3 Parâmetros fisiológicos

Aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) foram determinados os parâmetros fisiológicos: Temperatura foliar; Carbono interno; Transpiração; Condutância estomática; Taxa fotossintética e Eficiência do uso da água, utilizando-se o aparelho IRGA, conforme apresentado da Tabela 7.

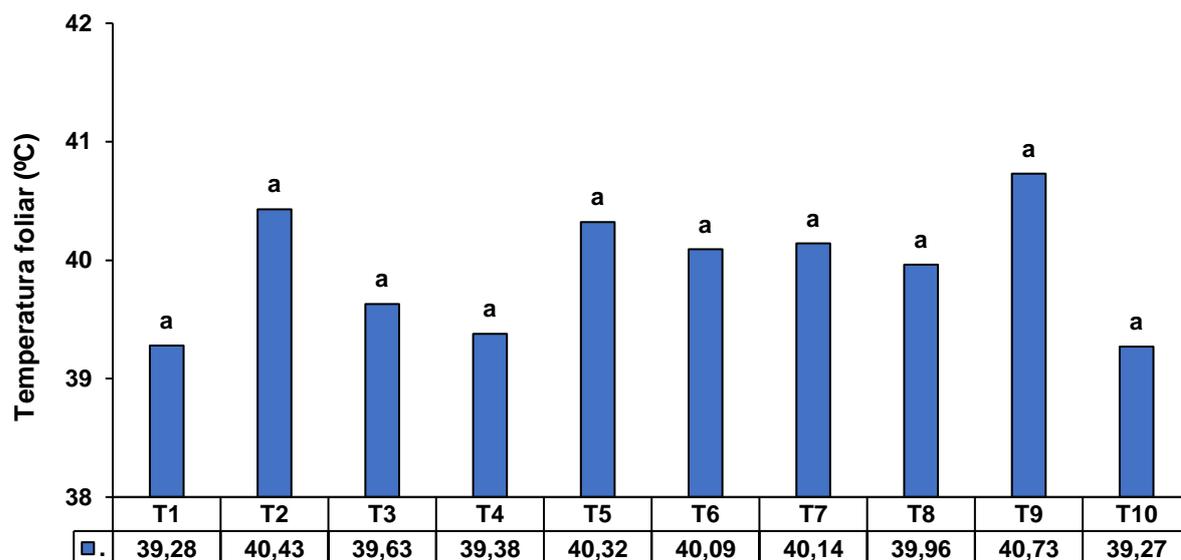
Tabela 6 – Temperatura foliar, Carbono interno, Transpiração, Condutância estomática, Taxa fotossintética e Eficiência do uso da água, referentes ao experimento envolvendo uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Causas de variação	Parâmetros fisiológicos					
	Temperat foliar °C	Carbono Interno mmol m ⁻² s ⁻¹	Transpiração mmol m ⁻² s ⁻¹	Condut. Estomática mol m ⁻² s ⁻²	Taxa Fotossintética µmol m ⁻² s ⁻³	Eficiência do Uso da Água µmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹
Tratamentos						
T1	39,28 a	181,24 a	3,33 ab	0,115 a	11,24 a	3,49 a
T2	40,43 a	211,08 a	3,81 ab	0,106 a	10,07 a	2,61 a
T3	39,63 a	159,04 a	2,39 b	0,098 a	8,03 a	3,65 a
T4	39,38 a	176,29 a	2,73 ab	0,088 a	9,44 a	3,43 a
T5	40,32 a	189,15 a	5,55 a	0,108 a	11,91 a	3,12 a
T6	40,09 a	163,68 a	4,03 ab	0,094 a	14,18 a	3,58 a
T7	40,14 a	171,63 a	2,75 ab	0,100 a	8,75 a	3,18 a
T8	39,96 a	155,94 a	3,19 ab	0,082 a	10,98 a	3,47 a
T9	40,73 a	151,08 a	2,68 b	0,094 a	9,25 a	3,37 a
T10	39,27 a	129,38 a	2,80 ab	0,108 a	11,87 a	4,33 a
d.m.s.	1,92	130,07	2,86	0,08	6,89	2,01
Teste F	1,61^{NS}	0,68^{NS}	2,46*	0,40^{NS}	1,60^{NS}	1,07^{NS}
C.V.	2,26%	36,16%	40,36%	36,27%	30,57%	27,56%

Fonte: Elaboração do próprio autor.

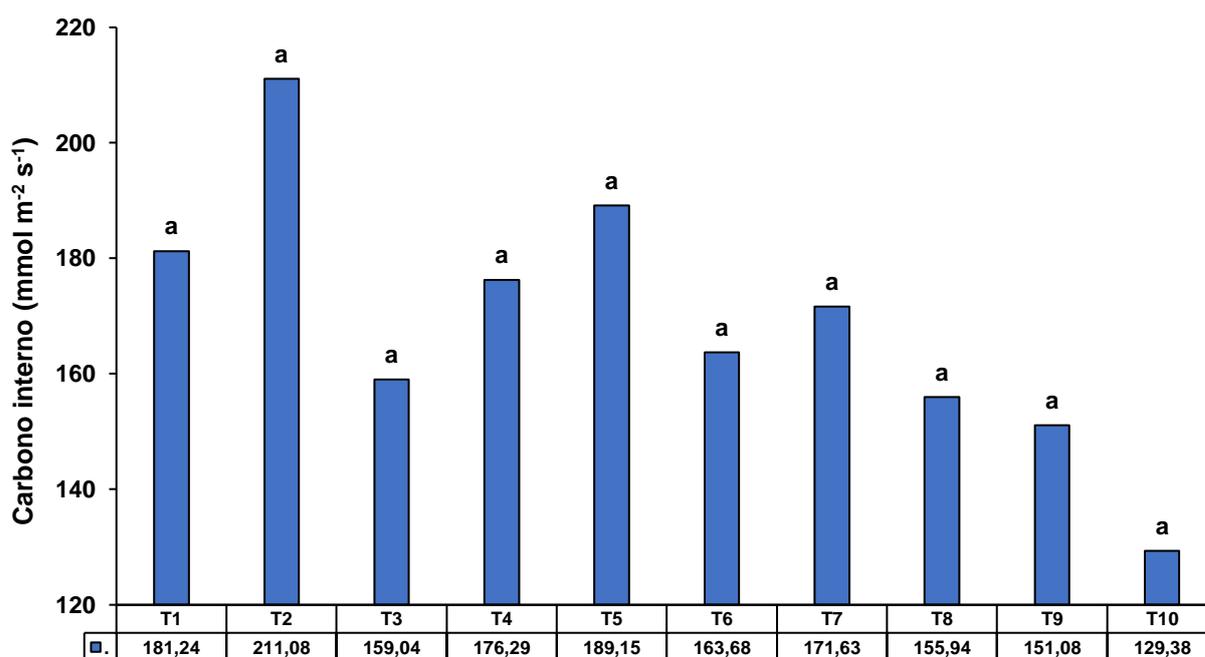
Conforme a Tabela 7 constata-se que não houve efeitos significativos dos tratamentos aplicados para os parâmetros Temperatura Foliar, Carbono Interno, Condutância Estomática, Taxa Fotossintética e Eficiência de uso da água.

Figura 32 – Temperatura foliar em função da aplicação de bioestimulante na cultura da cana-de-açúcar



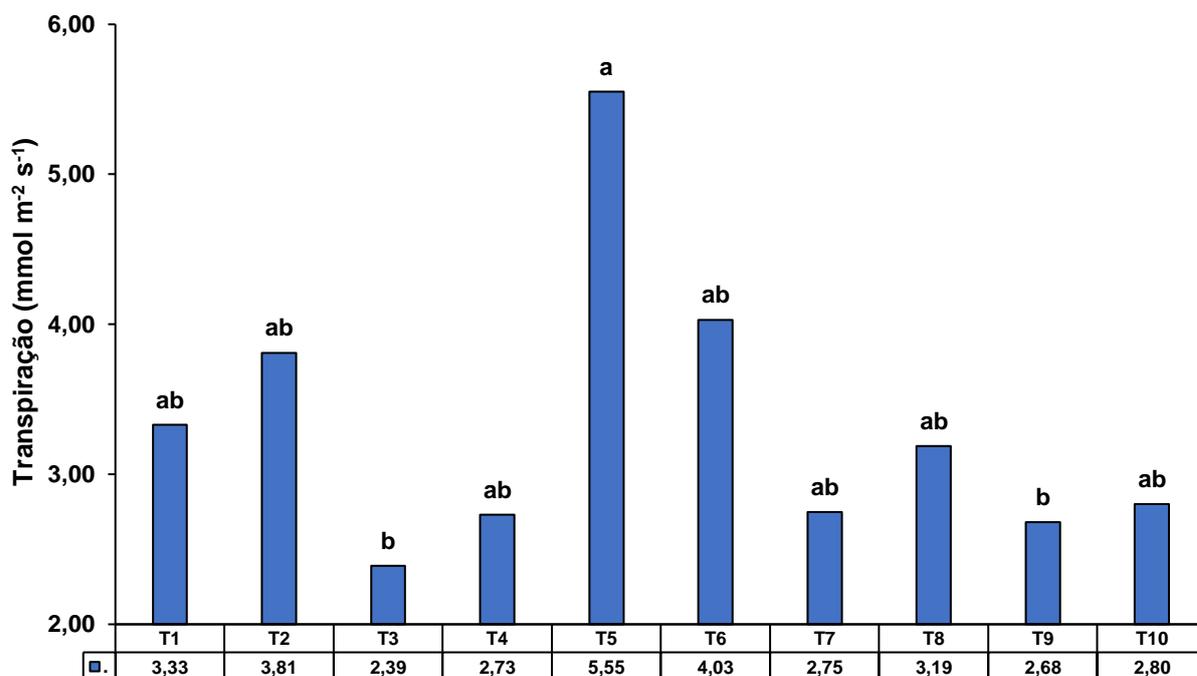
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 33 – Carbono interno referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função em função da aplicação dos tratamentos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 34 – Transpiração referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

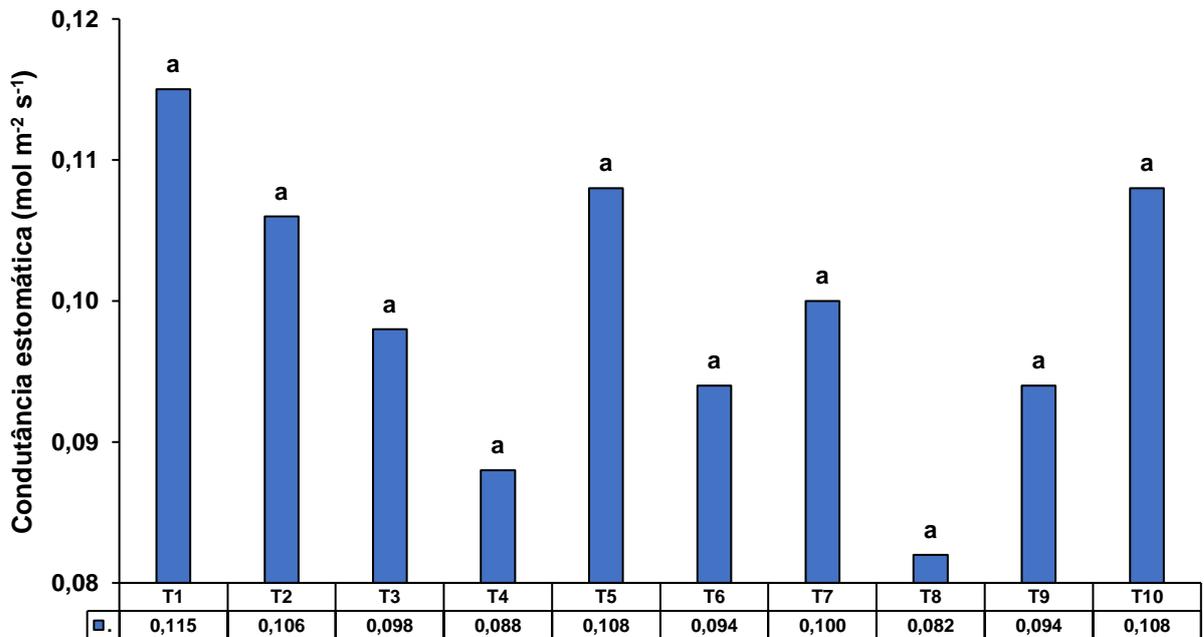
No que diz respeito ao parâmetro Transpiração, a diferença estatística entre os tratamentos foi evidenciada, apontando para efeito superior de T5 em relação a T3 e T9, porém considera-se T5 semelhante aos tratamentos T1, T2, T4, T6, T7, T8 e T10.

O ácido salicílico é considerado como um hormônio vegetal atuante na regulação da planta, sinalizando e amplificando sinais que promovem a indução da expressão de genes de resistência em vegetais, além de assumir o papel de indutor de vários eventos fisiológicos (AGOSTINI et al., 2013), tais como transpiração, abscisão de folhas e transporte de íons (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

O processo de transpiração, figura como um componente do balanço de energia que determina a temperatura foliar, de acordo com seus fatores anatômicos (dimensões, pigmentação e massa), fatores ambientais (radiação solar, velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar) e também fatores biológicos, responsáveis por determinar o número e a distribuição dos estômatos (LEUZINGER et al., 2010).

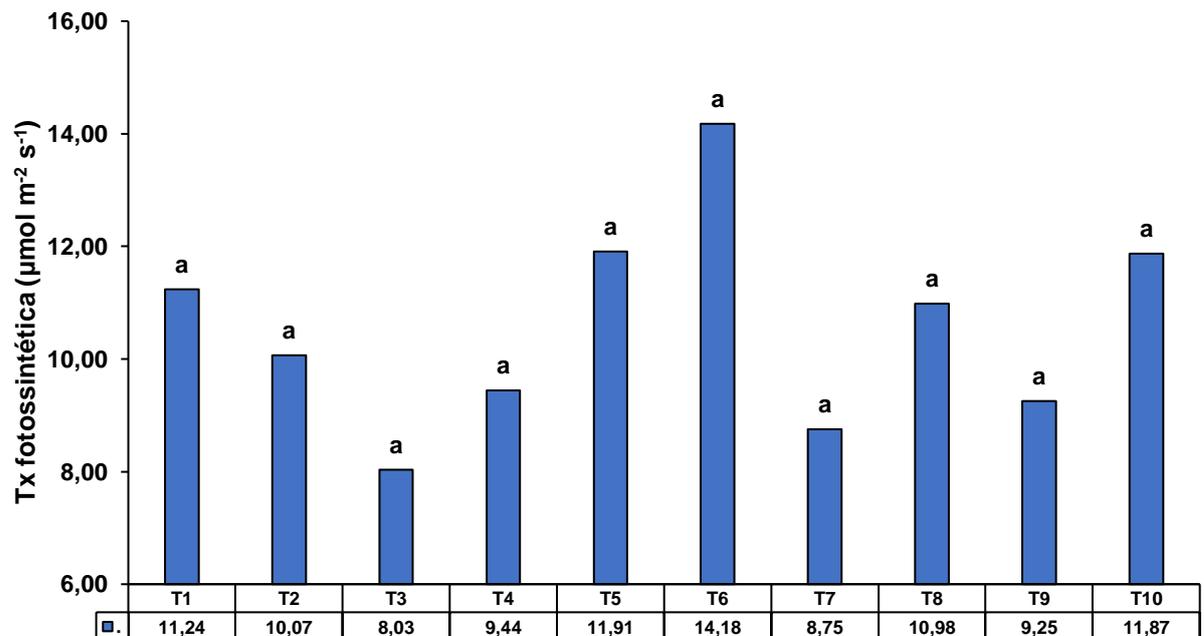
Compreende-se que, possivelmente, o tratamento 5 tenha apresentado maior efeito em relação à transpiração, tendo em vista o aumento da dosagem de P1, interferindo na resposta da planta.

Figura 35 – Condutância estomática referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação em função da aplicação dos tratamentos



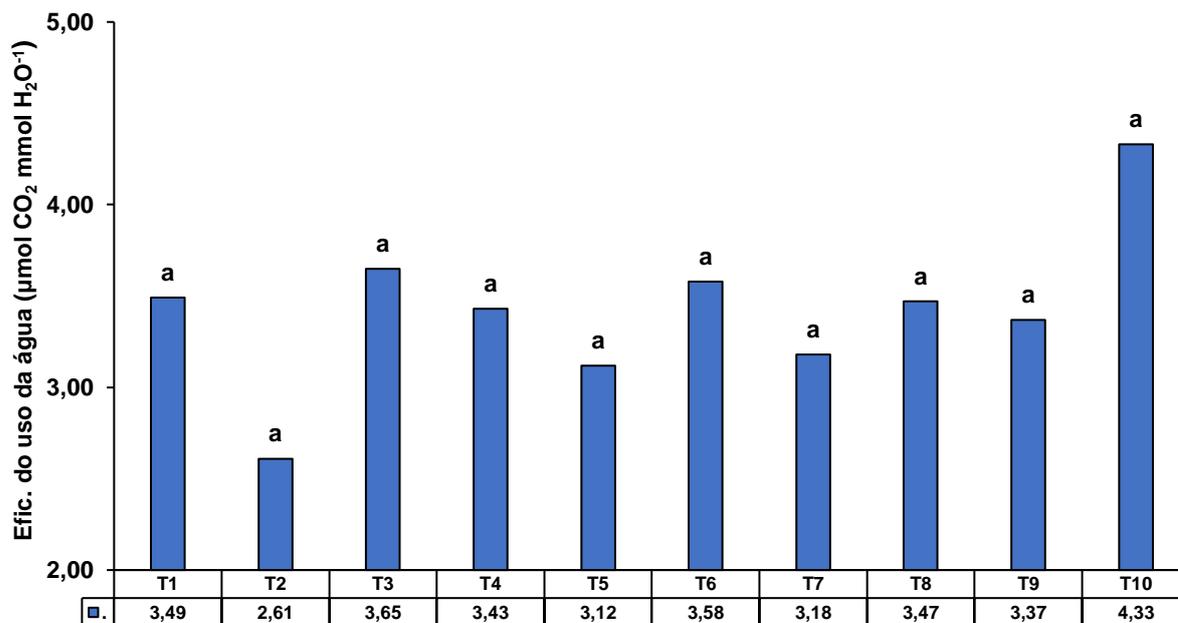
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 36 – Taxa fotossintética referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 37 – Eficiência do uso da água referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.4 Parâmetros morfoestruturais

No momento da colheita, foram coletados fragmentos do terço central da folha +1 das plantas para mensuração da espessura do limbo (EL), espessura da epiderme associada à cutícula abaxial (EECAB), espessura da epiderme associada à cutícula adaxial (EEDAB), espessura do feixe xilemático (EFX) e espessura do feixe floemático (EFF), segundo apontado na Tabela 8.

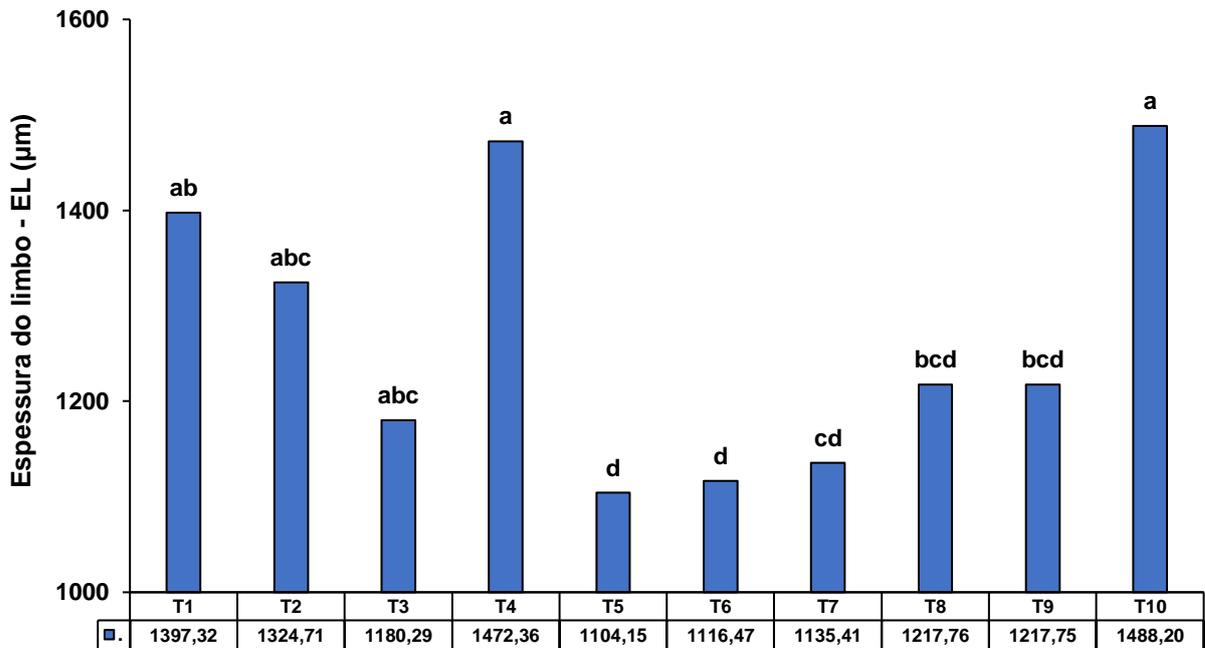
Tabela 7 – Espessura do limbo, espessura da epiderme e cutícula abaxial, espessura da epiderme e cutícula adaxial, espessura do feixe xilemático e espessura do feixe floemático, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Causa de variação	Parâmetros morfoestruturais									
	EL		EECAB		EECAD		EFX		EFF	
µm.....									
Tratamento										
T1	1397,32	ab	121,88	abc	43,33	a	6285,35	a	5031,38	a
T2	1324,71	abc	94,16	bc	44,81	a	5928,72	ab	4916,06	a
T3	1180,29	cd	109,46	abc	48,13	a	4900,48	bc	4383,95	a
T4	1472,36	ab	118,05	abc	48,30	a	5274,75	abc	3835,03	a
T5	1104,15	d	115,20	abc	35,39	a	4986,65	bc	3538,10	a
T6	1116,47	d	113,80	abc	46,08	a	4516,40	c	4024,54	a
T7	1135,41	cd	90,82	c	37,59	a	4826,10	bc	4060,51	a
T8	1217,76	bcd	127,55	ab	46,80	a	4810,55	bc	3946,08	a
T9	1217,75	bcd	127,55	ab	50,44	a	4814,85	bc	3946,08	a
T10	1488,20	a	135,54	a	50,58	a	5826,03	ab	4334,17	a
d.m.s.	191,90		35,78		17,28		1144,75		2083,42	
Teste F	13,03**		3,63**		1,99^{NS}		6,05**		1,17^{NS}	
C.V.	7,12%		14,55%		17,97%		10,30%		23,27%	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

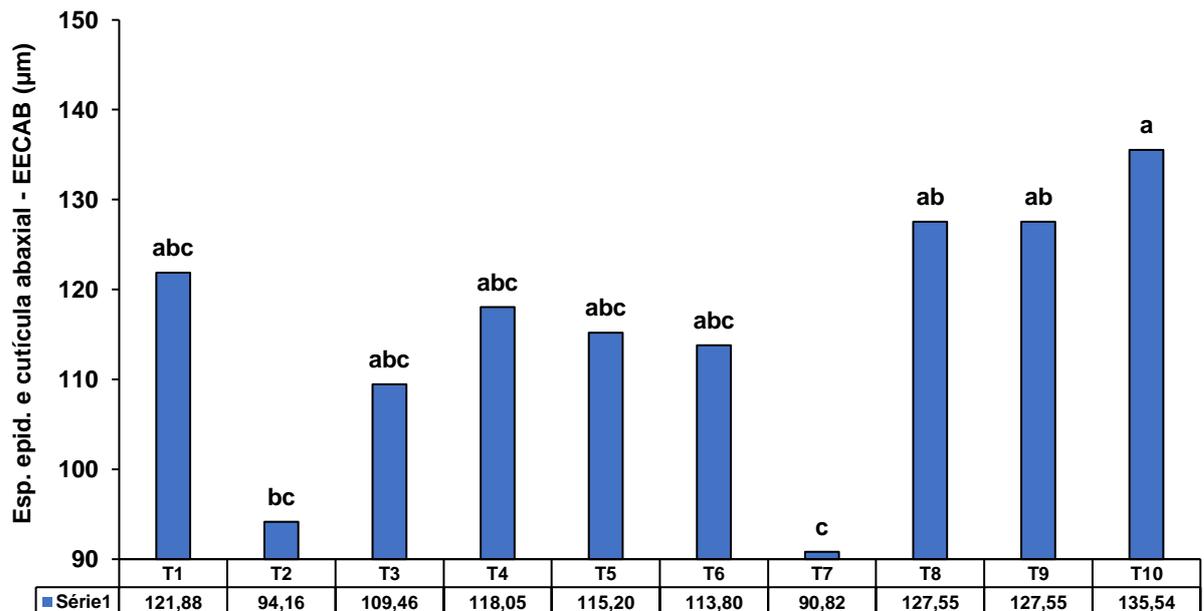
Com base na Tabela 8, houve diferenças significativas para os parâmetros: Espessura do limbo, espessura da epiderme e cutícula abaxial, e espessura do feixe floemático. Porém, ao compararmos os efeitos da testemunha (T1) com os dos tratamentos que visaram a aplicação de bioestimulante, os efeitos demonstram-se semelhantes.

Figura 38 – Espessura do limbo referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



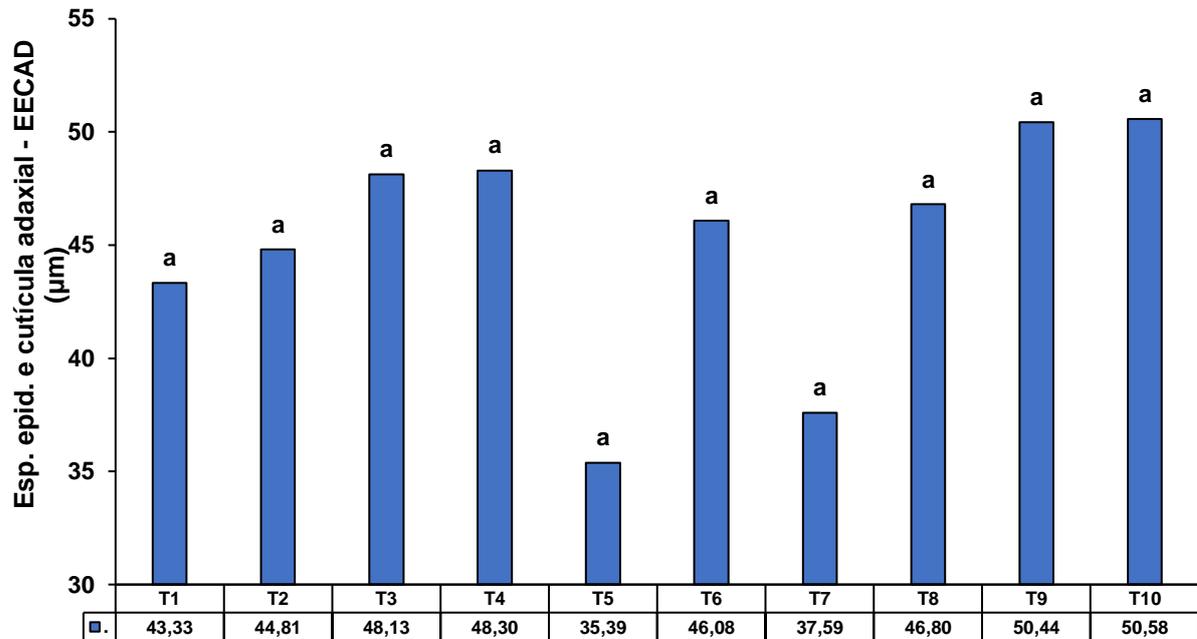
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 39 – Espessura da epiderme junto com a cutícula abaxial das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



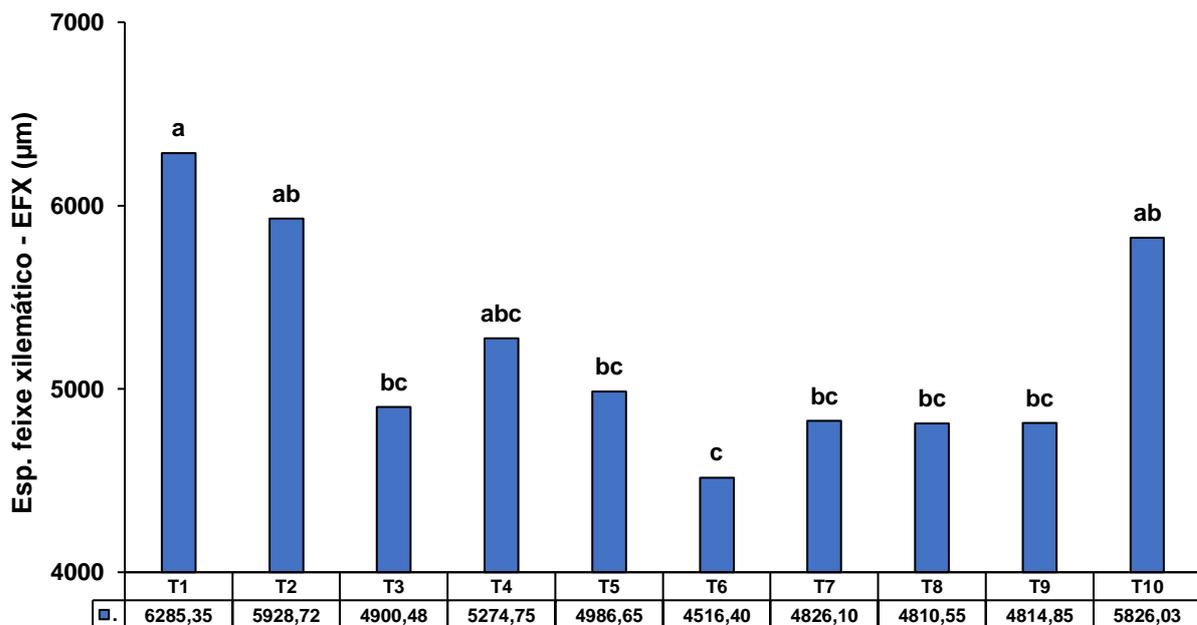
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 40 – Espessura da epiderme junto com a cutícula adaxial das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar em função da aplicação dos tratamentos.



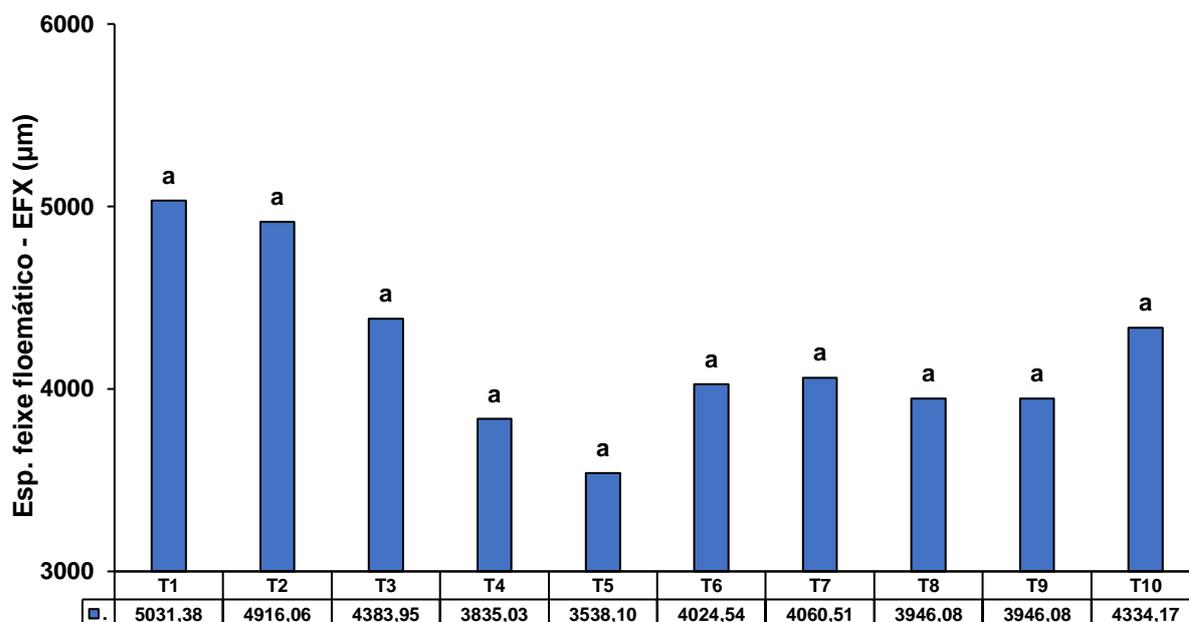
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 41 – Espessura do feixe xilemático das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 42 – Espessura do feixe floemático das folhas, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na comparação entre os tratamentos, no que diz respeito aos parâmetros EL e EECAB, o melhor efeito aponta para T10, no entanto, este também é semelhante a outros estatisticamente, como os tratamentos T1, T3, T4, T5, T6, T8 e T9 para EL, e os tratamentos T1, T2 e T4 para EECAB. Já, com relação ao parâmetro EFX, os efeitos apresentados pela testemunha (T1), foram superiores aos dos demais tratamentos.

A epiderme apresenta diferentes funções para o vegetal, dentre elas, impede o ataque de pragas, devido a sua propriedade de acúmulo de sílica na superfície. Assume papel também na regulação de trocas gasosas e funciona como barreira de proteção para o mesofilo, região foliar onde estão inseridos os vasos condutores (CASTRO et al., 2009).

O xilema é responsável pelo transporte ascendente de nutrientes e água, sendo este movimento regulado pela transpiração. Desta maneira, a alteração em seu diâmetro pode propiciar melhor abastecimento de diversas partes da planta. O floema transporta além da água, carboidratos, aminoácidos, ácidos orgânicos, proteínas e nutrientes em várias direções. Assim, o incremento em suas dimensões anatômicas é fundamental para otimizar o seu funcionamento, contribuindo para um maior transporte de assimilados aos locais definitivos (TAIZ & ZEIGER, 2008).

Desta forma, aponta-se a necessidade da realização de mais estudos, tendo em vista o crescimento e o desenvolvimento das plantas em campo, com o intuito de verificar se a aplicação de bioestimulante pode promover incrementos na produtividade em relação aos parâmetros aqui destacados.

5.5 Índice de Murcha das Plantas

Em avaliação realizada nas unidades experimentais foram encontrados sintomas de murcha ocasionada pelo estresse hídrico induzido no período de 97 a 101 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), conforme demonstrado na Tabela 9. Lembrando-se que as notas aplicadas como parâmetros quantitativos para a avaliação do Índice de Murcha, oscilaram de 1 a 3. Sendo a nota 1 atribuída ao vaso sem constatação visual de murcha; 2 para nível mediano de murcha; e 3 para níveis críticos de murcha.

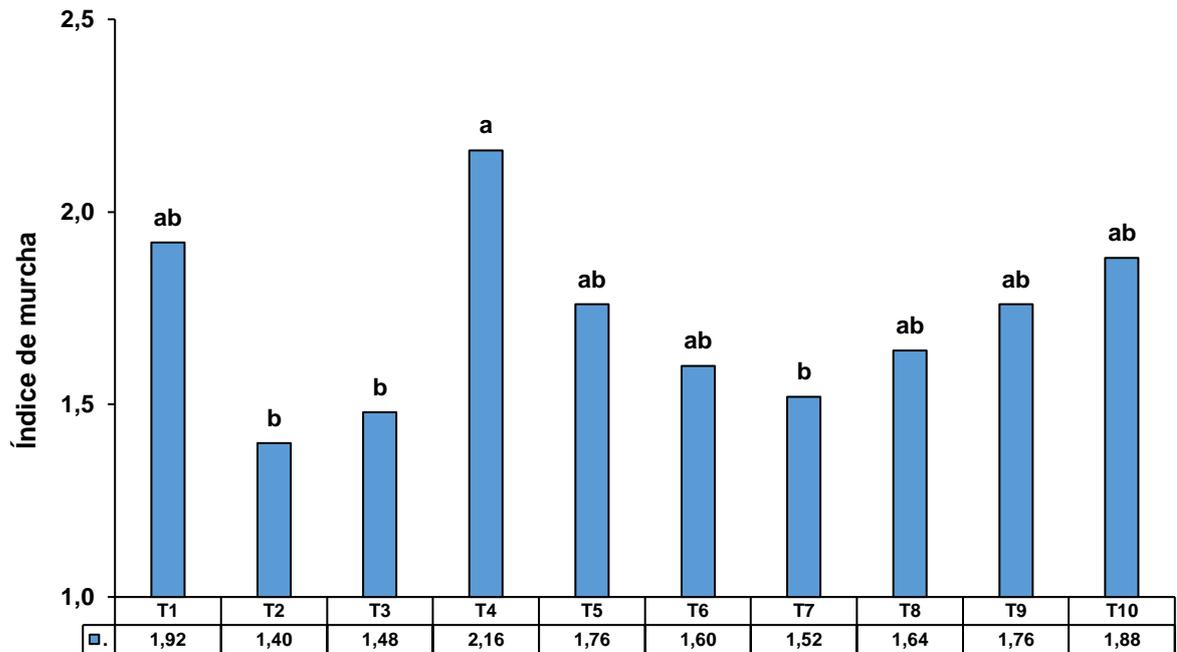
Tabela 8 – Índice de Murcha obtido por meio de estresse hídrico induzido, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Causa de variação	Parâmetros fisiológico	
	Índice de Murcha	Pontuação
Tratamento (A)		
T1	1,92	ab
T2	1,40	b
T3	1,48	b
T4	2,16	a
T5	1,76	ab
T6	1,60	ab
T7	1,52	b
T8	1,64	ab
T9	1,76	ab
T10	1,88	ab
d.m.s.	0,56	
Teste F (A)	3,49**	
Época (B)		
97 DAA	1,40	c
98 DAA	1,40	c
99 DAA	1,56	c
100 DAA	1,92	b
101 DAA	2,28	a
d.m.s.	0,34	
Teste F (B)	19,00**	
Interação		
A x B	0,38^{NS}	
C.V.	36,19%	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

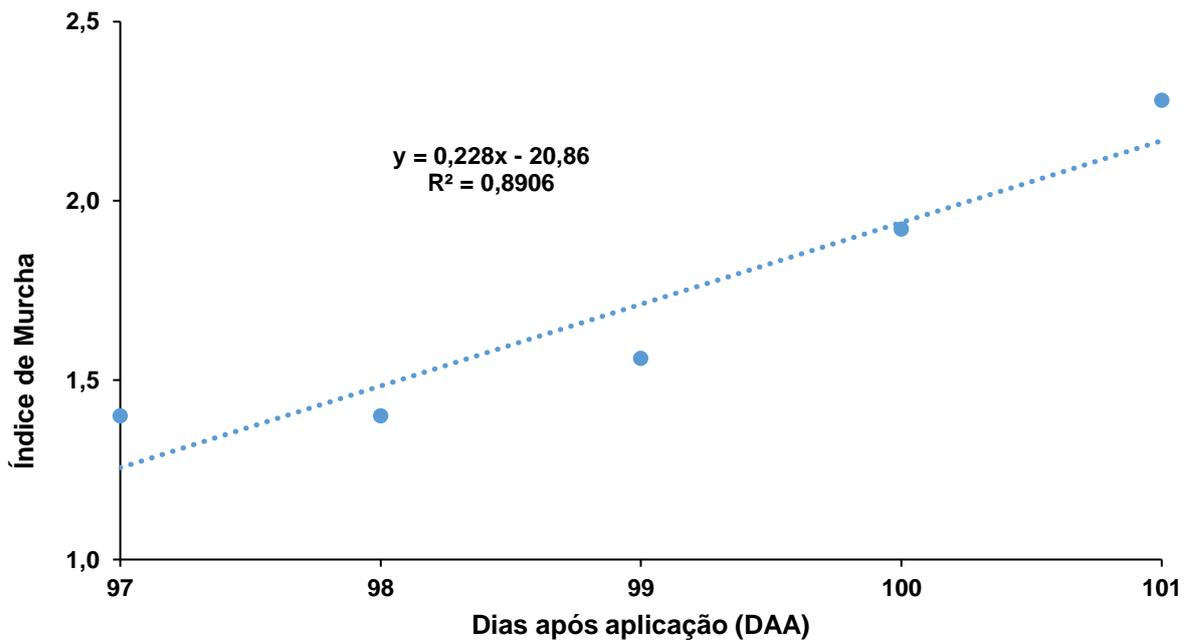
Com base na Tabela 9, é possível destacar diferenças significativas para os efeitos dos tratamentos em relação ao Índice de Murcha. Sendo que os tratamentos T2, T3 e T7 apresentaram os melhores efeitos, diferindo de T4, porém, sendo semelhantes aos efeitos dos tratamentos T1, T5, T6, T9 e T10. Não houve significância para a interação entre os tratamentos e a época (períodos avaliados).

Figura 43 – Índice de Murcha referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



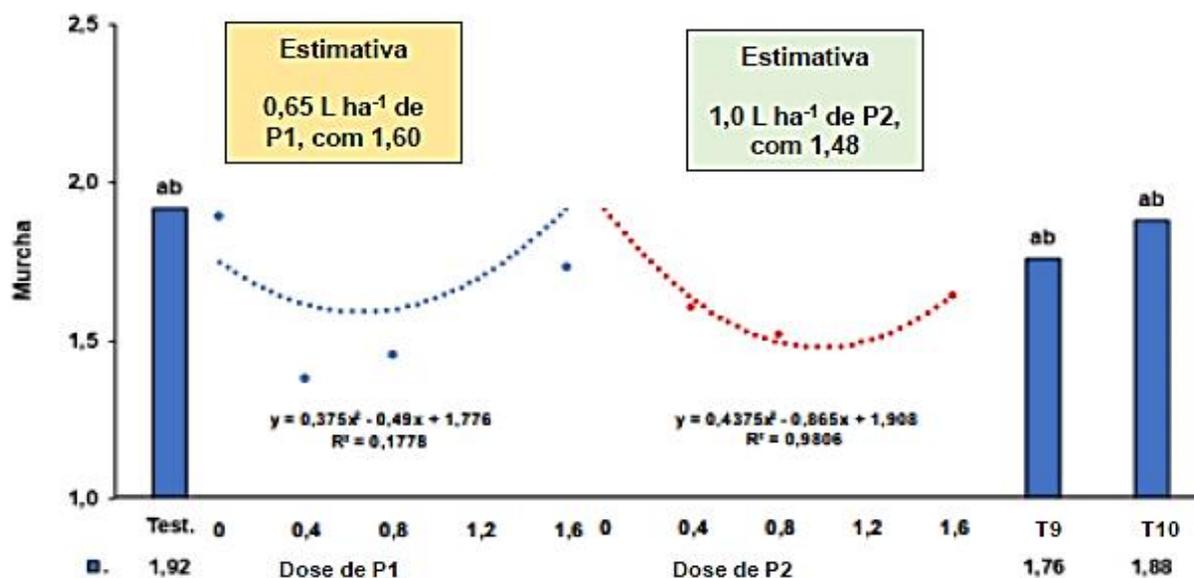
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 44 – Índice de Murcha referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função do período de avaliações.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 45 – Comparação entre doses de bioestimulantes aplicados na cultura da cana-de-açúcar, tendo em vista o Índice de Murcha.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A partir do gráfico de regressão compreende-se a melhor dosagem para P1 de 0,65 L ha⁻¹, propiciando um Índice de murcha estimado de 1,60, sendo que para P2, destaca-se a dosagem de 1,0 L ha⁻¹, considerando a estimativa de 1,48, comparados às estimativas de murcha de 1,92 da Testemunha (T1), 1,76 de T9 e 1,88 de T10.

A disponibilidade hídrica figura como um dos mais importantes fatores envolvendo a produção vegetal, a importância ecológica da água associa-se ao fato de que a maior parte dos processos fisiológicos das plantas são, direta ou indiretamente, afetados pelo regime hídrico (KRAMER & BOYER, 1995). Em condição de deficiência hídrica, as reações bioquímicas da fotossíntese podem ser afetadas, o que pode levar a limitações de origem estomática, em condição de déficit máximo (CORNIC et al., 1992).

No que diz respeito à minimização dos efeitos adversos de estresses abióticos às plantas, estuda-se a aplicação exógena de ácido salicílico (AS) em espécies vegetais com o intuito de avaliar a atuação deste composto como atenuador de tais efeitos. O ácido salicílico (AS) define-se como um composto fenólico considerado componente de uma nova classe de substâncias atuante no crescimento em plantas, além dos hormônios vegetais, que assume papel importante como regulador de diversos processos fisiológicos na planta, incluindo a fotossíntese. Esse composto também é definido como um potencial agente antioxidante enzimático, relacionando-

se à ativação de respostas em defesa no vegetal em condições de estresse (NOREEN et al., 2009). Nesse sentido, com a indução de déficit hídrico durante o experimento, evidenciou-se as possíveis respostas da planta, sob a aplicação dos tratamentos aqui descritos, considerando a presença de AS nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 (Tabela 2).

Zilliani (2015) observou que em condições de estresse hídrico a aplicação de bioestimulante pulverizado em fundo de sulco na cana-de-açúcar propiciou melhores resultados em todos os parâmetros biométricos avaliados. Alguns dados aqui descritos possivelmente não obtiveram significância para o uso do biostimulantes devido as condições hídricas favoráveis, já que a restrição hídrica se deu apenas aos 97 dias, reafirmando-se a necessidade da realização de novos estudos, considerando a resposta da planta sob condição de déficit hídrico em um período maior.

5.6 Parâmetros produtivos

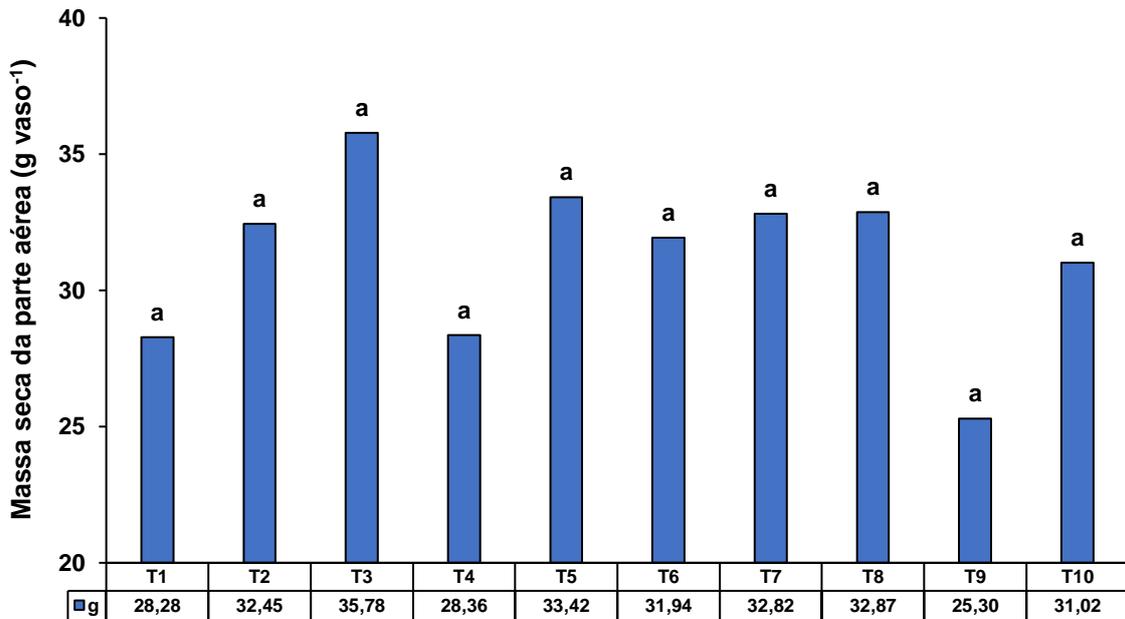
Por ocasião da colheita, foi determinada a massa da matéria seca da parte aérea e das raízes, sendo possível estimar a massa da matéria seca total das plantas, em função da aplicação dos tratamentos, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 9 – Massa de matéria seca da parte aérea, das raízes e total, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Causa de variação	Parâmetros produtivos					
	MS Parte aérea		MS Raízes		MS Total	
g vaso ⁻¹					
Tratamento						
T1	28,28	a	25,32	b	53,60	a
T2	32,45	a	42,48	a	74,93	a
T3	35,78	a	26,03	b	61,81	a
T4	28,36	a	30,56	ab	58,92	a
T5	33,42	a	35,00	ab	68,42	a
T6	31,94	a	42,25	a	74,19	a
T7	32,82	a	28,79	ab	61,60	a
T8	32,87	a	29,37	ab	62,23	a
T9	25,30	a	26,21	b	51,51	a
T10	31,02	a	27,30	ab	51,67	a
d.m.s.	14,09		15,94		25,25	
Teste F	1,08^{NS}		3,72^{**}		2,59[*]	
C.V.	21,17%		23,87%		19,15%	

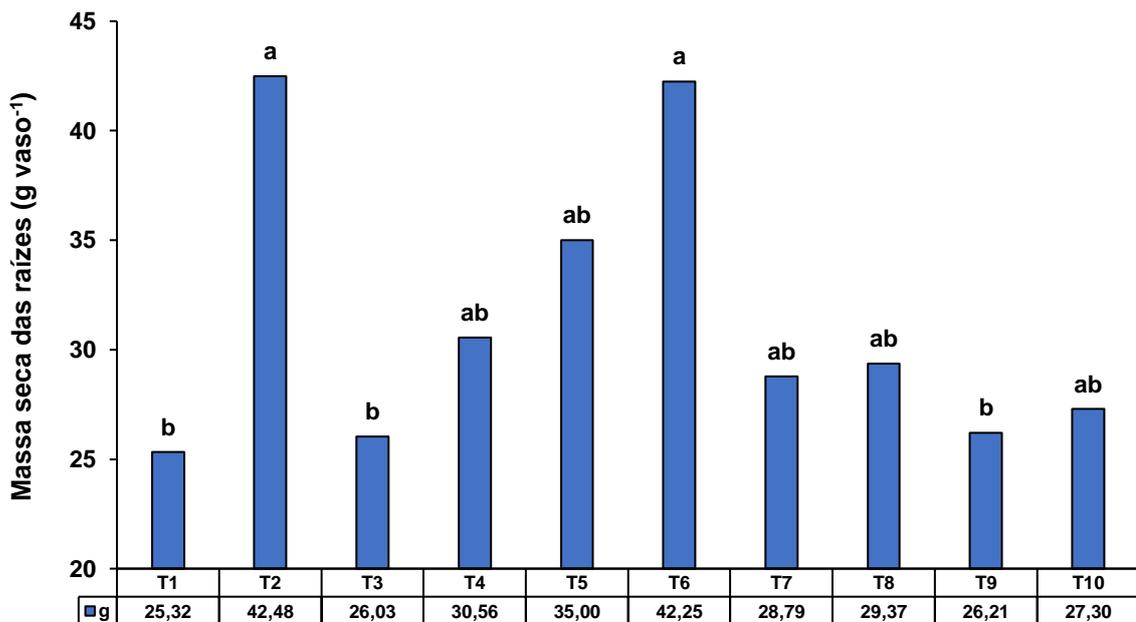
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 46 – Massa seca da parte aérea, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



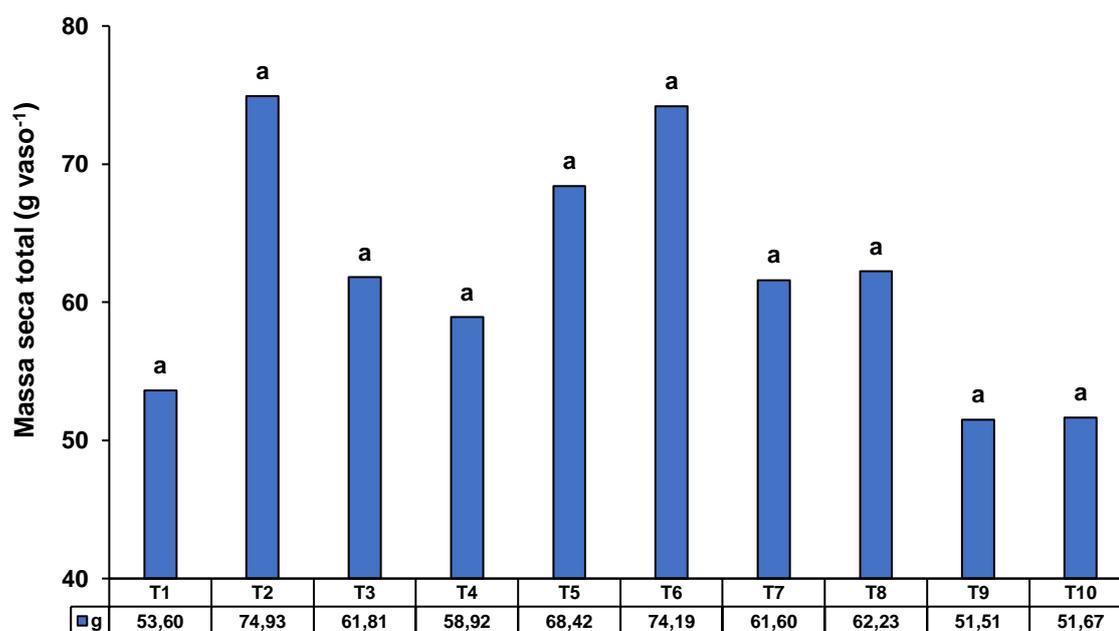
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 47 – Massa seca da parte aérea, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 48 – Massa seca das raízes, referente ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar, em função da aplicação dos tratamentos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Não houve significância estatística para os efeitos dos tratamentos relacionados à massa seca da parte aérea. Em relação à massa seca total, os tratamentos não diferiram entre si no Teste de Tukey, porém houve significância no Teste F. Já em relação à massa seca das raízes, os efeitos dos tratamentos diferiram significativamente entre si, sendo que os tratamentos 2 e 6, semelhantes aos tratamentos 4,5, 7, 8 e 10, sobressaíram em relação aos tratamentos 1, 3 e 9.

Os bioestimulantes, além de agirem nos processos de divisão e de alongamento celular, podem promover o aumento em absorção e na utilização dos nutrientes, atuando em diversos momentos no metabolismo das plantas, sendo muito eficientes nesse sentido (SCALON et al., 2009).

A superfície radicular figura como parâmetro que melhor destaca capacidade da planta em obter água e nutrientes disponíveis para o seu desenvolvimento (SIQUEIRA et al., 2002).

No que diz respeito ao parâmetro de massa seca das raízes, Castro & Vieira (2001) observaram resultados em seus estudos, nos quais hormônios vegetais atuaram como mediadores de processos fisiológicos. Os mesmos autores verificaram que plantas com sistemas radiculares mais desenvolvidos, com raízes mais vigorosas e valores de massa seca, crescimento e comprimento total superiores diferem dos

encontrados nas plantas não tratadas. Esse maior desenvolvimento radicular é atribuído ao estímulo da divisão, diferenciação e alongamento celular citados acima.

As plantas que apresentam sistemas radiculares extensos, de elevada área superficial e comprimento, promovem uma exploração mais efetiva do solo, facilitando a adaptação em ambientes de baixa fertilidade e com restrição de água, influenciando por consequência na produtividade da cultura (MACHADO et al., 2004).

6 ANÁLISES DE CORRELAÇÕES

Ao final da condução do experimento e da realização das análises estatísticas, realizou-se um estudo de correlações entre as variáveis utilizadas no trabalho, com base na correlação de Pearson, sendo apresentado na Tabela 11.

Tabela 10 – Análises de correlações entre as variáveis, referentes ao experimento envolvendo o uso de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

Variáveis	Variáveis		
	MS Total	MS PA	MS Raízes
MS Total		0,347523*	0,336118*
MS PA			0,340792*
Murcha aos 97 DAA	0,04293NS	-0,31307*	-0,0204NS
Murcha aos 98 DAA	0,04293NS	-0,31307*	-0,0204NS
Murcha aos 99 DAA	0,00782NS	-0,32150*	0,02468NS
Murcha aos 100 DAA	-0,1382NS	-0,5207**	-0,0273NS
Murcha aos 101 DAA	-0,0888NS	-0,6234**	-0,0895NS
Temperatura foliar	0,11810NS	0,01089NS	0,40139**
CO2 interno	0,02031NS	0,36435**	0,09352NS
Transpiração	0,08254NS	0,27494NS	0,23305NS
Condutância Estomática	-0,1452NS	-0,0629NS	-0,1922NS
Taxa fotossintética	0,00855NS	0,07781NS	0,00426NS
Eficiência do uso da água	-0,0731NS	-0,30395*	-0,2516NS
Espessura limbo	-0,2501NS	0,00025NS	-0,0489NS
EECAB	-0,2607NS	-0,0664NS	0,07757NS
EECAD	-0,1528NS	0,09558NS	-0,0769NS
EFX	-0,1414NS	-0,0385NS	0,03841NS
EFF	0,11065NS	0,12513NS	0,17126NS
Nº de folhas aos 90DAA	0,18469NS	0,15978NS	0,19983NS
Largura de Folhas aos 90DAA	0,11108NS	0,44804**	0,11735NS
Altura de Plantas aos 90DAA	0,14034NS	0,47189**	0,286749*
Diâmetro de colmos ao 90DAA	0,05145NS	0,301641*	0,26460NS
Nº de colmos aos 90DAA	-0,0189NS	0,13168NS	0,16721NS
Legenda Tabela 11:			
Maior que 0,9			
0,7 a 0,9			
0,5 a 0,7			
0,3 a 0,5			
Menor que 0,3			

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com base na Análise de Correlações de Pearson (Tabela 11), podemos evidenciar e correlacionar dados e valores evidentes, como por exemplo, quanto maior a Largura das folhas aos 90 DAA, maior a obtenção de massa seca da parte aérea. O mesmo comportamento se repetiu para Altura das plantas e Diâmetro dos colmos aos 90 DAA, demonstrando uma correlação de 0,3 a 0,5 conforme a legenda.

Para os dados ligados ao parâmetro Temperatura Foliar, foi possível compreender que quanto maior a temperatura, maior se deu a obtenção de massa seca das raízes na correlação.

Para a Murcha aos 100 DAA destacou-se que, quanto menor o Índice de murcha, maior a obtenção da massa seca da parte aérea na correlação de 0,5 a 0,7.

7 CONCLUSÕES

A partir do presente estudo foi possível compreender que o uso de bioestimulante composto por complexo hormonal, aminoácidos, ácido 5-sulfosalicílico, etilenodiaminotetracético e sal do ácido salicílico, proporcionou maior altura de planta, diâmetro de colmos e massa seca de raiz, além de se evidenciar menor índice de murcha e menor taxa de transpiração com relação ao crescimento e desenvolvimento nas fases iniciais da cana-de-açúcar.

Em relação às características já citadas acima, o bioestimulante composto de 0,009% de cinetina (citocinina), 0,005% de ácido giberélico - GA3 (giberelina) e 0,005% de ácido indolbutírico (análogo à auxina) na dose recomendada 0,5 L ha⁻¹, também demonstrou menor taxa de transpiração, assim como o bioestimulante composto por complexo hormonal e aminoácidos na dosagem de 0,4 L ha⁻¹, também proporcionou a obtenção de maior massa seca de raiz.

A composição de 0,1% a 5% sulfato ferroso; 0,5% a 1,5% sulfato de manganês e 0,1% a 7% solução de nitrato de zinco na dosagem recomendada de 0,5 L ha⁻¹ demonstrou melhor desenvolvimento de características fisiológicas, quando nas fases iniciais de cana-de-açúcar.

Tendo sido constatados resultados relevantes ligados também ao Índice de Murcha por ocasião da aplicação de bioestimulantes neste trabalho, reafirma-se a necessidade da realização de novos estudos nesse sentido, analisando a resposta da planta sob a condição de déficit hídrico desde o início da instalação do experimento.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**: Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300p. (FAO Irrigation and drainage paper, 56).
- AGOSTINI, E. A. T.; MACHADO-NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Induction of water deficit tolerance by cold shock and salicylic acid during germination in the common bean. **Acta Scientiarum**, Palmira, v.35, n.2, p. 209-219, 2013.
- Altvorst, A.C. van; Bovy, A.G. The role ethylene in the senescence of carnation flowers, a review. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.16, p.43-53, 1995.
- AUDE, M. I. da S. Estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, maio/ago. 1993.
- BARROS, Timóteo Herculino da Silva. **Eficiência do uso da água em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com base em medições de trocas gasosas IRGA: fotossíntese e transpiração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2015. Doi:10.11606/D.11.2015.tde-17092015-163001. Acesso em: 2023-02-15.
- BASTOS, C. N. Resultados preliminares sobre a eficácia de *Trichoderma viride* no controle da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis pernicioso*) do cacauzeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.13, p.340-342, 1988.
- CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259p.
- CARVALHO JÚNIOR, G. S. **Aplicações isoladas e conjuntas de ácido giberélico e ácido salicílico na mamoneira, Cultivar BRS energia**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.
- CASILLAS, V. J. C. et al. Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes en el cultivo del rabano (*Raphanus sativus* L.). **Acta Agronomica**, Palmira, v. 36, n. 2, p. 185-195, 1986.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132 p.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234p.
- CASTRO, P. R. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Fisiologia da cana-de-açúcar. *In*: MENDONÇA, A. F. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico**. Maceió: 60 Insecta, 2005. p. 3-48.

CHAPOLA, R.G.; OGASAWARA, G.A.; JANS, B; MASSOLA JUNIOR, N.S. Controle da podridão abacaxi da cana-de-açúcar por meio da pulverização de fungicidas em rebolos no sulco de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.2, p.197-202, 2014.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, Prague, v.27, p.295-309, 1992.

CRUZ, C.D. **Programa GENES versão Windows**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648p.

DILLEWIJN, C.Van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro **Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006, 412p.

Epstein, E., & Bloom, A. J. (2006). **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Andrei. 403 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 4, p. 185-202, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 59, p. 13-26, 2008.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press, 1995. 495 p.

KRAUS, J.E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997. 221p.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 4th ed. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 564 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LEUZINGER, S.; VOGT, R.; KÖRNER, C. Tree surface temperature in an urban environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.150, p.56-62, 2010.

LI, Y. R.; SOLOMON, S. Ethephon: a versatile growth regulator for sugar cane industry. **Sugar Technology**, Dordrecht, v. 5, n. 4, p. 213-223, 2003.

MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; FURLANI, A. M. C. Variação intrapopulacional em milho para características relacionadas com a eficiência de absorção e utilização de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 77-91, 2004.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. de O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015.

MARTINS, M.B.G.; CASTRO, P.R.C. Efeitos de giberelina e ethephon na anatomia de plantas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n.10, p.1855-1863, 1999.

Mauch, F.; Mauch-Mani, B.; Gaille, C.; Kull, B.; Haas, D.;Reimann, C. 2001. Manipulation of salicylate content in *Arabidopsis thaliana* by the expression of an engineered bacterial salicylate synthase. **Plant Journal**, Oxford, n. 25, v.1, p. 67-77.

NOREEN, S.; ASHRAF, M.; HUSSAIN M.; JAMIL, A. Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 41, n.1, p. 473-479, 2009.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, 2008.

PEREIRA, F. J.; MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; ALVES, J. A. 300 Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 450-456, 2010.

RAIJ, B. van e CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A. e FURLANI, A.M.C. (coord..) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. p.233-236.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. 2007. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 728p.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100 p.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.; RAMPELOTTO, M.V.; NICOLOSO, F.T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 34, p. 1597-1601, 2004.

SIMÕES NETO, D. E. **Efeito da quantidade de reserva energética do tolete e da compactação do solo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1986. 94 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares: origem e características dos fungos Glomaleanos. **Biociência**, Uberlândia, v. 25, p. 12-21, 2002.

SILVA, M.A.; GAVA, G.J.; CAPUTO, M.M. et al. Uso de reguladores de crescimento com potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 545-552, 2007.

SILVA, T., G., F. **Análise de crescimento, interação biosfera - atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no submédio do Vale do São Francisco**. 2009. 194f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2009.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Productivity and technological quality of sugarcane ratoon subject to the application of plant growth regulator and liquid fertilizers. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 774-780, 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000057

SONODA, R.M., GUO, Z. Effect of spray applications of *Bacillus subtilis* on postbloom drop of citrus. **Phytopathology**, United States, v. 86, p. 52-60, 1996.

SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; SILVA JÚNIOR, J. M. da; PARENTONI, S. N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, p. 16-24, 2010.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PARENTONI, S. N.; MAGALHÃES, P. C. Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant Soil and Environment**, Prague, v. 55, n. 11, p. 504-510, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: Armando Molina Divan Junior; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TORSIAN, W. S.; KIKUTI, A. L. P.; KIKUTI, H.; PEREIRA, C. E. Bioestimulantes no desenvolvimento da cana-de-açúcar. **MAGISTRA**, [S. l.], v. 31, p. 625-634, 2021. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/963>. Acesso em: 05. fevereiro. 2023.

WANDERLEY FILHO, Humberto Cristiano de Lins. **Uso de bioestimulantes e enraizadores no crescimento inicial e tolerância à seca em cana-de-açúcar**. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

ZILLIANI, R. R. **Influência de biorreguladores sobre a fisiologia e crescimento inicial de cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista - Unoeste, Presidente Prudente, 2015, 2015.