

Efeitos de reguladores vegetais nas características agronômicas de soja cultivada em baixa latitude

Effects of plant regulators on agronomic characteristics of soybean grown at low latitudes

Adriano Silveira Barbosa¹, Joênes Mucci Pelúzio², Rodrigo Ribeiro Fidelis², Osvaldo José Ferreira Júnior¹, Weder Ferreira dos Santos³

RESUMO: Os reguladores vegetais podem resultar em alterações no desenvolvimento das plantas e nos processos fisiológicos, limitando altura de planta, proporcionando maior número de nós reprodutivos e, por fim, incremento na produtividade. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes reguladores vegetais na cultura da soja, em diferentes concentrações, visando identificar a melhor combinação regulador/concentração. O experimento foi realizado no ano 2018/19, com semeadura no mês de dezembro, conduzido em Gurupi (TO). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5x4+1, sendo o primeiro fator constituído por cinco reguladores vegetais (GA₃; ethephon; Cinetina+GA₃+AIB; lactofen; e 2,4-D), o segundo fator por quatro concentrações para cada produto (dose recomendada, 50% abaixo, 50% acima e 100% acima), além da testemunha adicional onde não houve aplicação dos produtos. Foram avaliadas as seguintes características agronômicas: altura das plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de mil grãos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos a análise de variância, sendo as concentrações submetidas à análise de regressão e as médias dos reguladores, em relação à testemunha, ao teste de média de Dunnett. Houve efeito dos reguladores vegetais para as características estudadas. As concentrações dos produtos, acima das recomendadas, podem resultar em inibição do crescimento das plantas, mas também causar efeitos prejudiciais às plantas de soja. O produto Cinetina+GA₃+AIB, na concentração 0,0675+0,0375+0,0375 g ha⁻¹, proporcionou inibição no desenvolvimento da altura de plantas e incremento com maior número de vagens por planta e maior número de grãos por planta, refletindo maior produtividade de grãos.

Palavras-chave: Bioestimulantes. Dosagem. *Glycine max*. Hormônios vegetais.

ABSTRACT: Plant regulators may result in changes in plant development and physiological processes, limiting plant height, providing a greater number of reproductive nodes and an increase in productivity. Current research evaluates the effect of different plant regulators on soybean crop at different concentrations to identify the best regulator-concentration combination. The experiment was carried out in 2018-2019, sowing in December, in Gurupi (TO). Experimental design of randomized blocks with four replications and treatments were arranged in a 5x4+1 factorial scheme: first factor comprised five plant regulators (GA₃; ethephon; Kinetin+GA₃+AIB; lactofen; 2,4-D); the second factor comprised four concentrations for each product (recommended dose, minus 50% minus; plus 50%; plus 100%), and an additional control (no application). Agronomic characteristics evaluated comprised plant height, number of pods per plant, number of grains per plant, weight of 1000 grains and grain yield. Data were submitted to variance analysis; concentrations underwent regression analysis and the means of the regulators, in relation to the control, to Dunnett's mean test. Plant regulators affected characteristics. Product concentrations may inhibit plant growth but may also cause harmful effects on soybean plants. Kinetin+GA₃+AIB at concentration 0.0675+0.0375+0.0375 g ha⁻¹ inhibited plant height and provided a greater number of pods per plant and greater number of grains per plant, or rather, higher grain yield.

Keywords: Bio-stimulants. Dosage. *Glycine max*. Plant hormones.

Autor correspondente:
Adriano Silveira Barbosa: adriano.sb27@gmail.com

Recebido em: 24/02/2021
Aceito em: 15/09/2021

¹ Mestre. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PG-PV) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi (TO), Brasil.

² Doutor. Docente no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PG-PV) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi (TO), Brasil.

³ Doutor/Docente da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi (TO), Brasil.



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) vem apresentando significativos incrementos em produtividade, relacionados principalmente à adesão de tecnologias adequadas por parte dos produtores, o fomento da pesquisa e a obtenção de novas cultivares com alto potencial produtivo e menos susceptíveis às condições adversas (FERRÃO *et al.*, 2016). Dentre as tecnologias utilizadas, cita-se o uso de reguladores de crescimento vegetal (BUZZELLO *et al.*, 2017).

Os reguladores vegetais promovem alterações no desenvolvimento das plantas e nos processos fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2017), inibindo altura de planta, em virtude da cessação no crescimento da parte aérea das plantas (BUZZELLO *et al.*, 2017; TAIZ; ZEIGER, 2017), induzindo as ramificações laterais, proporcionando maior número de nós reprodutivos, levando à maior formação quantitativa de flores e vagens por planta (FOLONI *et al.*, 2016), proporcionando maior desenvolvimento de raízes (CARVALHO *et al.*, 2013), refletindo em última instância no incremento da produtividade (SOUZA *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2013), que pode variar de 10 a 30% (ALBRECHT *et al.*, 2012).

Os reguladores vegetais compostos por auxinas, giberelinas, etileno, inibidores da protoporfirinogênio oxidase (Protox) e bioestimulante (citocinina + giberelina + auxina) são exemplos de reguladores que podem afetar o desenvolvimento da parte aérea de forma que os outros componentes de produção possam ser afetados paralelamente, de forma simultânea.

As auxinas (2,4 D) desempenham papel importante no alongamento e expansão celular, promovendo o crescimento de raízes e caules. Quando utilizada em altas concentrações, as auxinas podem inibir o desenvolvimento da parte aérea das plantas (MAGALHÃES, 2021).

As giberelinas (GA₃) regulam vários processos de desenvolvimento, incluindo alongamento de caule, divisão celular das plantas, germinação, dormência, floração, desenvolvimento de flores e senescência de folhas e/ou frutos (TAIZ *et al.*, 2017).

O etileno (ethephon) tem por característica primordial a tríplice resposta: redução no alongamento do caule, aumento do crescimento lateral (intumescimento) e crescimento horizontal anormal. Tem função reguladora sobre a dormência em sementes; induz a formação de flores e auxilia na formação de raízes adventícias (MACEDO; CASTRO, CAMARGO, 2015).

Os inibidores da Protox (lactofen) podem causar danos nas plantas no local onde é aplicado por produzir espécies reativas de oxigênio (ERO), como o oxigênio “singlet”, que por consequência da sua ação leva à peroxidação lipídica da membrana plasmática das células, causando injúria por toxidez, promovendo dano no ápice da planta que cessa o crescimento vertical temporariamente (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

O bioestimulante composto por citocinina, giberelina e auxina (Cinetina+GA₃+AIB) conferem à planta maior divisão, alongação e diferenciação celular, são produtos que influenciam diretamente no crescimento vegetal. Desempenham funções importantes, podendo uniformizar a germinação, controlar o desenvolvimento vegetativo, aumentar a fixação de flores e/ou frutos, enraizamento mais vigoroso e incrementos na produção de grãos (BUZZELLO *et al.*, 2017).

Diante do exposto, a recomendação da concentração dos reguladores vegetais torna-se um fator importante, visto que podem variar conforme o momento de aplicação, pois ainda não existe uma recomendação oficial e segura para o manejo de aplicação foliar para a cultura da soja na região de baixas latitudes, podendo resultar em quando utilizar uma concentração muito baixa não ser observada nenhuma diferença na planta ou uma concentração muito alta podendo causar toxidez (SANTOS *et al.*, 2013).

É importante ressaltar que além da dosagem recomendada, deve-se ter como base de comparação de uma testemunha para aumentar a precisão experimental e implementar um controle local dentro de cada repetição, de modo que a avaliação de determinado produto possa ter desempenho benéfico ou maléfico para as plantas analisando as características avaliadas (FERREIRA, 2016).

Apesar dos benefícios que os reguladores de crescimento podem trazer à agricultura, é importante ter cautela ao utilizar esses redutores, pois utilizados de maneira errônea, podem somar prejuízos à produção (PACENTCHUK *et al.*, 2018). Segundo Buzzello *et al.* (2017), os fitorreguladores também podem provocar injúria ou fitotoxicidade às plantas, variando de acordo com a concentração utilizada ou grau de tolerância da espécie e da cultivar ao produto.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo determinar a melhor concentração dos reguladores vegetais, influenciando na inibição do crescimento das plantas e induzindo o desenvolvimento das ramificações laterais, proporcionando maior número de nós reprodutivos, levando à maior quantidade de flores e de vagens por planta e conseqüentemente elevando a produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 2018/19, com semeadura no dia 08/12/2018 e conduzido na fazenda localizada no município de Gurupi (TO) (11°43' de latitude Sul, 49°04' de longitude Oeste e altitude de 280 metros). O clima da região é tropical, com moderada deficiência hídrica, a temperatura média anual é de 32 °C no período de seca e de 26 °C no período de chuvas, com precipitação anual média de 1804 mm, sendo um verão chuvoso e um inverno seco (PACIEVITCH, 2018).

Os dados pluviométricos (mm) e as temperaturas médias (°C) diárias durante o período de condução do ensaio são apresentados na Figura 1.

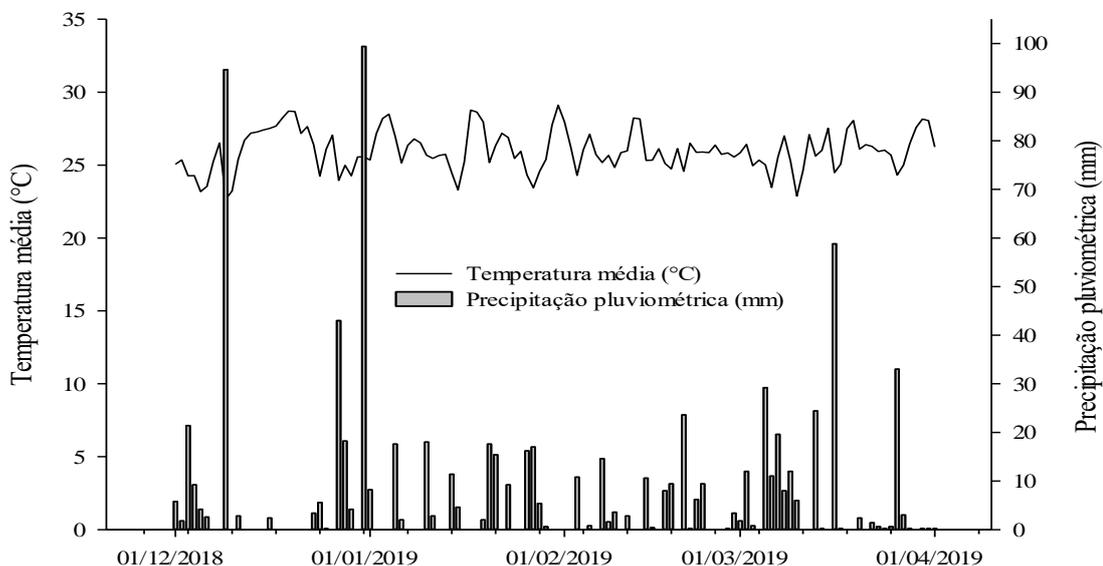


Figura 1. Dados pluviométricos (mm) e as temperaturas médias (°C) diárias, no ano agrícola 2018/2019. Fonte: Adaptado de INMET (2020).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em um esquema fatorial $5 \times 4 + 1$, sendo o primeiro fator constituído por cinco reguladores vegetais (GA_3 ; ethephon; Cinetina+ GA_3 +AIB; lactofen; e 2,4-D), o segundo fator por quatro concentrações para cada produto (dose 50% abaixo da recomendada para cada produto (1), dose recomendada do produto (2), 50% acima (3) e 100% acima da dose recomendada (4), além de uma testemunha adicional onde não houve aplicação dos produtos). Para aplicação do produto foi utilizado um pulverizador costal acoplado com cilindro de CO_2 , na fase V_7 da cultura, com a vazão de $150 L ha^{-1}$.

A aplicação dos reguladores vegetais no estágio V_7 da cultura deve-se pelo fato de a cultivar já ter apresentado bom desenvolvimento vegetativo, e por apresentar tipo de crescimento determinado, a aplicação deve ser realizada antes do período reprodutivo, visto que a planta tende a crescer verticalmente até esse período.

As concentrações para cada produto foram para GA_3 : 1) $1,24 g ha^{-1}$; 2) $2,52 g ha^{-1}$; 3) $3,76 g ha^{-1}$; e 4) $5 g ha^{-1}$. Para ethephon: 1) $54 g ha^{-1}$; 2) $108 g ha^{-1}$; 3) $162 g ha^{-1}$ e $216 g ha^{-1}$. Para Cinetina+ GA_3 +AIB: 1) $0,0225+0,0125+0,0125 g ha^{-1}$; 2) $0,045+0,025+0,025 g ha^{-1}$; 3) $0,0675+0,0375+0,0375 g ha^{-1}$; e 4) $0,09+0,05+0,05 g ha^{-1}$. Para lactofen: 1) $72 g ha^{-1}$; 2) $144 g ha^{-1}$; 3) $216 g ha^{-1}$; e 4) $288 g ha^{-1}$. Para 2,4-D: 1) $403 g ha^{-1}$; 2) $806 g ha^{-1}$; 3) $1209 g ha^{-1}$; e 4) $1612 g ha^{-1}$.

A parcela experimental foi composta por seis fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas por 0,5 m, área total da parcela 15 m², sendo utilizada como área útil as quatro fileiras centrais e excluindo 0,5 m das extremidades de cada linha, totalizando 8 m² de área útil por parcela.

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2018), com as seguintes características químicas: Ca 3,5 cmol dm⁻³; Mg 1,5 cmol dm⁻³; Al 0,0 cmol dm⁻³; H+Al³ 1,5 cmol dm⁻³; K 19,0 mg dm⁻³; CTC (T) 7,51 cmol dm⁻³; SB 3,3 cmol dm⁻³; P (Mel) 5,7 mg dm⁻³ (PP); V 69%; Mat. Org. 29,5 g dm⁻³; pH H₂O 5,8. As características granulométricas encontradas foram: 68,1; 7,2; e 24,7% de areia, silte e argila, respectivamente.

Na área foi implantado o sistema plantio direto (SPD), não houve necessidade da aplicação de calcário. Foi realizada a distribuição de 20 sementes de *Brachiaria decumbens* por m² com 90 dias para formar as coberturas vegetais, que foram dessecadas para formação de palhada com aplicação do herbicida Glifosato e a semeadura realizada após 14 dias. Com base nos resultados da análise de solo, a recomendação de adubação para a cultura da soja foi realizada de acordo com o manual de Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação (RIBEIRO *et al.*, 1999), sendo 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no fundo do sulco de semeadura e, em cobertura, com 50 kg ha⁻¹ de K₂O no estágio V₃ da escala de Ritchie *et al.* (1982), utilizando como fonte cloreto de potássio (KCl).

A cultivar utilizada foi a M 8349 IPRO, alto potencial produtivo, ciclo médio de 111-115 dias, tipo de crescimento determinado, população recomendada de 300 000 ha⁻¹ plantas (BAYER, 2021).

No momento da semeadura, com densidade de 15 plantas m⁻¹ linear, foi realizado o tratamento das sementes com fungicida e inseticida (princípio ativo Piraclostrobina, Tiofanato Metílico e Fipronil), seguido de inoculação das sementes com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, sendo utilizado o produto líquido na dosagem de 50 mL 50 kg⁻¹ de sementes de soja. A densidade de semeadura foi realizada com o intuito de se obter 12 e 10 plantas por metro para a cultivar 8579 RSF IPRO (Bônus) e M 8644 IPRO, respectivamente, sendo efetuado o desbaste, quando necessário, aos 10 dias após a emergência.

Para o controle de pragas como a lagarta da soja (*Anticarsia Gemmatalis*), falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) e *Helicoverpa armigera* ao longo de todo o ciclo da cultura utilizou-se os inseticidas: Metomil (1,0 L ha⁻¹), Lambda-Cialotrina + Clorantraniliprole (75 mL ha⁻¹) e Teflubenzurom (0,050 L ha⁻¹). Para controle de percevejo verde (*Nezara viridula*), verde pequeno (*Piezodorus guildinii*) e mosca branca (*Bemisia argentifolii*) ao longo do ciclo da cultura utilizou-se: Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (180 mL ha⁻¹), Imidacloprido + Bifentrina (400 mL ha⁻¹) e Acetamiprido + Alfa-Cipermetrina (250 mL ha⁻¹).

O manejo preventivo das doenças mancha alvo (*Corynespora cassiicola*), ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e antracnose (*Colletotrichum truncatum*) foi realizado com três aplicações de fungicidas: Piraclostrobina + Fluxapirroxade (0,3 L ha⁻¹ e 0,5 L ha⁻¹ de óleo mineral recomendado pelo fabricante) no estágio vegetativo V₈, Trifloxistrobina + Protioconazol (0,4 L ha⁻¹ e 0,3 L ha⁻¹ de éster metílico de óleo de soja) no estágio reprodutivo R₂ e Azoxistrobina + Benzovindiflupir (0,2 kg ha⁻¹ e 0,6 L ha⁻¹ de óleo mineral) no estágio reprodutivo R₄.

As plantas daninhas identificadas durante a execução do experimento foram capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e tiririca (*Cyperus flavus*), que foram controladas com Glifosato (1,5 L ha⁻¹ e 0,5 L ha⁻¹ de óleo mineral recomendado pelo fabricante).

As plantas foram colhidas manualmente no estágio R₈ da escala de Ritchie *et al.* (1982), após apresentarem maturação para colheita. Foram retiradas dez plantas aleatoriamente representativas de cada parcela para determinação da altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e peso de mil grãos (PMG).

Com base na área útil da parcela, foi determinada a produtividade de grãos (PG) em gramas parcela⁻¹, que posteriormente foi convertida em kg ha⁻¹, após a correção da umidade para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, para cada regulador vegetal, foi realizada análise de regressão, por meio do uso de polinômios ortogonais, e uma vez estabelecida a relação funcional entre as concentrações e cada uma das variáveis dependentes, foi obtida a equação de regressão. Foi utilizado o teste de Dunnett, para comparar as médias provenientes da concentração de cada um dos reguladores vegetais com a testemunha, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico GENES (CRUZ, 2019) e SIGMAPLOT *software* 12.5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Na análise de variância (Tabela 1), foi observado efeito significativo da interação reguladores vegetais (RV) x concentrações (C) para todas as características. Para a interação Testemunha (T) x RV x C, foram observadas diferenças significativas para: altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e produtividade de grãos (PG).

Tabela 1. Resumo da análise de variância das características agronômicas: AP, NVP, NGP, NGV, PMG, PG na cultura da soja submetidas aos reguladores vegetais com diferentes concentrações de cada produto aplicado em V₇, em Gurupi (TO), no ano agrícola 2018/2019

FV	GL	Quadrado Médio				
		AP (cm)	NVP	NGP	PMG (g)	PG (kg ha ⁻¹)
Bloco	3	34 ^{ns}	1 ^{ns}	9 ^{ns}	86 ^{ns}	20460 ^{ns}
Tratamentos	20	585*	201*	1068*	185*	1050825*
Reguladores Vegetais (RV)	4	2401*	833*	4483*	584*	4132048*
Concentrações (C)	3	75,9*	14,5*	34,8*	76,9*	130113*
RV x C	12	587*	208*	1108*	189*	331128*
T x RV x C	1	549*	69*	313*	95 ^{ns}	124431*
Resíduo	60	12	1	6	35	7760
MÉDIA		3297	81	108	190	3297
CV % (a)		2,68	4,21	2,29	3,09	2,68

ns = Não significativo; * = Significativo a 5%; FV = Fonte de Variação; GL = Grau de Liberdade; CV = Coeficiente de Variação.

A significância de RV x C indica a ocorrência de comportamento diferencial dos reguladores vegetais em função das diferentes concentrações. Já a significância T x RV x C indica diferenças dos reguladores vegetais, nas diferentes concentrações, em relação à testemunha. Nesse caso, foi realizada a comparação da testemunha com a interação dupla RV x C.

Os coeficientes de variação (CV) obtidos variaram entre 2,68 a 4,21%, sendo considerados como baixos, demonstrando uma boa precisão na execução do experimento (Tabela 1). Segundo Gomes (2009), o CV apresenta uma ideia de precisão experimental sendo considerados baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando variam de 10% a 20%; altos, quando variam de 20% a 30%; e muito altos, quando se tornam superiores a 30%.

3.2 COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

Os resultados obtidos mostram que o produto composto pela composição de Cinetina+GA₃+AIB tiveram melhores médias, quando comparadas com as médias da testemunha e aos demais reguladores vegetais. Na Tabela 2 são apresentadas as comparações entre os valores médios da testemunha (T), para cada característica agrônômica avaliada, em relação às diferentes Concentrações (C) de cada regulador vegetal (RV). Para o produto composto por GA₃, não foram detectadas diferenças significativas quando comparadas com a testemunha, na composição formada por Cinetina+GA₃+AIB foram os que apresentaram as melhores médias com redução da estatura de plantas e maior formação de vagens e grãos aumentado a produtividade com o aumento das concentrações, Ethephon apresentou leve redução da estatura das plantas e teve menor formação de vagens e grãos com o aumento das concentrações, Lactofen apresentou alta redução da estatura das plantas e menor formação de vagens e grãos com o aumento das concentrações, 2,4-D teve alta redução significativa da estatura das plantas, maior peso de mil grãos e menor formação de vagens e grãos com o aumento das concentrações.

Tabela 2. Resultado dos valores médios da interação Reguladores Vegetais (RV) x Concentrações (C) comparados com a Testemunha (T) das características agrônômicas altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG), em Gurupi (TO), no ano agrícola 2018/19

	T	GA ₃				Cinetina+GA ₃ +AIB				Ethephon				Lactofen				2,4-D			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
AP	93	91	91	96	97	90	85*	80*	79*	80*	87	87	82*	85*	80*	80*	84*	72*	62*	57*	51*
NVP	59	60	59	60	60	59	64*	68*	67*	56*	56*	52*	49*	54*	46*	45*	43*	51*	49*	49*	49*
NGP	117	119	116	120	121	116	128*	137*	137*	112	115	103*	97*	106*	90*	88*	85*	93*	91*	91*	90*
PMG	186	192	196	185	188	188	193	198*	192	186	189	184	174	189	191	182	186	202*	195	199*	201*
PG	3469	3649	3632	3605	3575	3504	3966*	4303*	4184*	3469	3474	3015*	2700*	3195*	2754*	2565*	2538*	2994*	2838*	2908*	2897*

* = difere significativamente a 5% pelo teste de Dunnett em relação à testemunha. T = testemunha sem aplicação, 1 = 50% abaixo da concentração recomendada, 2 = concentração recomendada, 3 = 50% acima da concentração recomendada e 4 = 100% acima da concentração recomendada.

Para o produto composto por GA₃, não foram observadas diferenças significativas, para todas as características em todas as concentrações, em relação à testemunha. Possivelmente, as concentrações utilizadas no presente estudo não foram eficazes em promover mudanças significativas nas características, ou a aplicação no estágio V₇ não foi suficiente para promover alguma alteração no desenvolvimento das plantas (ZANUZO *et al.*, 2012).

Com relação ao produto composto por Cinetina+GA₃+AIB, para as concentrações 2, 3 e 4, houve cessação do desenvolvimento da altura de plantas (AP) e incremento para as demais características (NVP, NGP, PMG e PG), apenas a concentração 1 que apresentou médias similares à testemunha.

As maiores concentrações do composto Cinetina+GA₃+AIB resultaram em combinação dos hormônios citocininas, giberelina e auxina resultando em cessação do crescimento da planta, visto que são responsáveis pela divisão e alongação celular (TAIZ; ZEIGER, 2017). Os hormônios ainda estimularam o desenvolvimento de ramos laterais, proporcionando maior número de nós reprodutivos, levando à maior quantidade de flores e, por conseguinte, maior quantidade de vagens por planta e incrementos na produtividade (BERTOLIN *et al.*, 2010; OHYAMA *et al.*, 2013).

Segundo Pereira (2020) o produto Cinetina+GA₃+AIB é um bioestimulante composto por hormônios vegetais que, quando aplicados nas plantas, podem ocasionar aumento de qualidade e incremento na produção. Bertolin *et al.* (2010), utilizando o mesmo bioestimulante com aplicações no tratamento de semente, período vegetativo e reprodutivo da soja, observaram incremento de 37% na produtividade de grãos em relação à testemunha.

As maiores concentrações de ethephon (3 e 4) resultaram em queda no número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e produtividade de grãos (PG) em relação à testemunha. Tal fato pode ter ocorrido em virtude de o ethephon, por ser um fitorregulador a base de etileno e que está envolvido em diversos processos morfofisiológicos das plantas, ter acelerado o processo de maturação das plantas, conforme preconizado por Taiz e Zeiger (2017).

Com relação ao lactofen, foi observado que, em todas as concentrações, houve cessação no desenvolvimento da AP, mas também decréscimo nas médias de NVP, NGP e PG, em relação à testemunha. O herbicida lactofen é um produto pertencente ao grupo dos difenil éteres, seu mecanismo de ação é a inibição da protoporfirinogênio-IX oxidase (Protox), que atua na biossíntese de clorofilas, produzindo um pigmento fotodinâmico que, em acúmulo no cloroplasto na presença de luz e oxigênio molecular, produz oxigênio “singlet” (O⁻), pode resultar em efeitos fitotóxicos às plantas (FERREIRA *et al.*, 2011).

Foloni *et al.* (2016), avaliando cultivares de soja submetidas à aplicação de lactofen e ethephon na fase vegetativa, observaram que os produtos reduzem o porte da lavoura e minimizam o acamamento, mas promove queda na produtividade de grãos.

Com relação ao produto composto por 2,4-D, observa-se que com o aumento das concentrações, houve redução significativa para todas as características em relação à testemunha, com exceção do peso de mil grãos (PMG), em que foi observado incremento. Ressalta-se que o 2,4-D é uma auxina sintética derivada do ácido fenoxiacético, apresentando capacidade de translocação na planta. O produto composto por 2,4-D estimula a síntese do etileno, uma vez que aumentam a conversão do SAM (S-adenosil metionina) em ACC (ácido 1-carboxílico-1-amino ciclopropano). Esse conjunto de alterações metabólicas provoca a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), moléculas envolvidas no estímulo à senescência e, conseqüentemente, em efeitos prejudiciais às plantas (MATTE *et al.*, 2021).

3.3 REGRESSÃO POLINOMIAL

3.3.1 Altura de plantas

Para todos os reguladores vegetais, as concentrações utilizadas em cada um dos produtos influenciaram significativamente a altura das plantas (AP), seguindo um modelo quadrático de resposta (cm) (Figura 2).

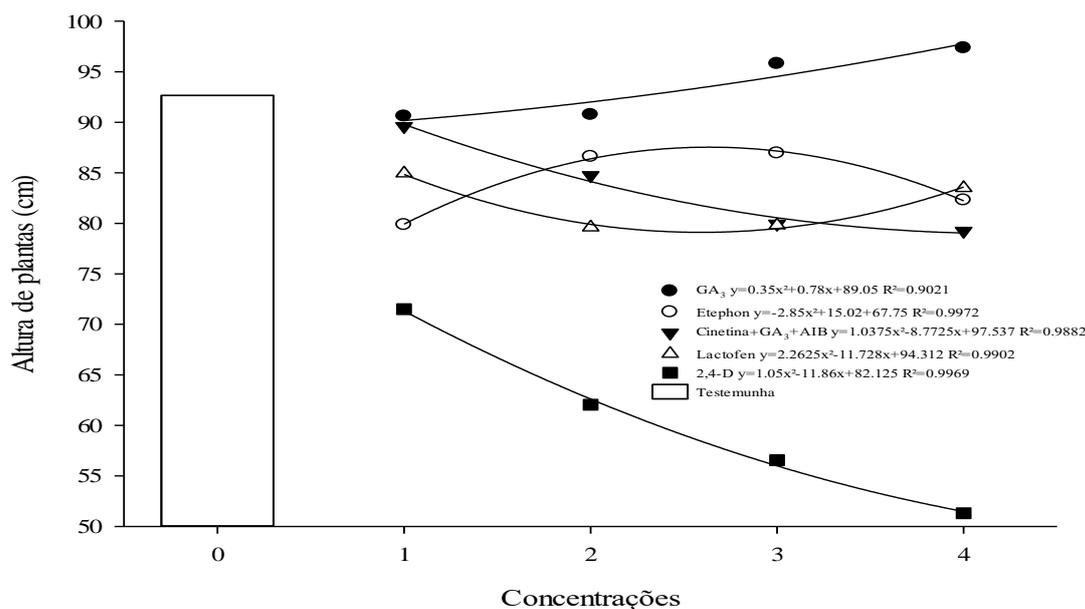


Figura 2. Altura de plantas da soja com uso de reguladores vegetais submetidas a diferentes concentrações de cada produto aplicado em V₇, em Gurupi (TO), ano agrícola 2018/19.

No produto composto apenas por GA₃ observou-se que, com o aumento das concentrações, houve aumento da AP. De acordo com Taiz e Zeiger (2017), a aplicação de giberelina promove o alongamento dos entrenós e altura da planta. Scherb *et al.* (2017) observaram que a AP de soja, com tipo de crescimento indeterminado, foi maior no tratamento com giberelina aplicado em R₁/R₂ e R₄/R₅ com incremento de 9% em relação à testemunha.

Com relação ao bioestimulante composto por Cinetina+GA₃+AIB, foi observada queda contínua em AP com o incremento das concentrações. Em trabalho realizado por Bertolin *et al.* (2010), utilizando bioestimulante composto por Cinetina+GA₃+AIB, observaram redução na estatura das plantas quando aplicado no estágio V₅, pois o composto acelera o desenvolvimento entrenós das plantas, diminuindo a distância e conseqüentemente a altura.

O produto 2,4-D, assim como o ocorrido com o composto por Cinetina+GA₃+AIB, apresentou queda contínua em AP com o incremento das concentrações, sendo essa queda ainda mais acentuada. O produto 2,4-D, quando usado em altas concentrações, resulta fitotoxicidade às plantas, inibindo assim o crescimento das mesmas. São considerados retardadores do desenvolvimento vegetal que diminuem a divisão e a alongação celular em tecidos meristemáticos e regulam fisiologicamente a estatura de planta (ROMAN *et al.*, 2005).

O produto lactofen promoveu redução significativa de AP com o incremento das concentrações. Esse produto é frequentemente utilizado nas lavouras visando suprimir o crescimento vegetativo da soja, evitando perdas por acamamento em situações da alta densidade de plantas (FÁVERO *et al.*, 2018).

Com relação ao ethephon, inicialmente houve aumento em AP nas concentrações iniciais, ocorrendo queda nas maiores concentrações. Provavelmente, nas maiores concentrações ocorreu maior produção de etileno, que pode ter acelerado o processo de maturação das plantas, conforme preconizado por Taiz e Zeiger (2017), resultando plantas mais baixas.

3.3.2 Peso de Mil Grãos

Para todos os reguladores vegetais, as concentrações utilizadas em cada produto influenciaram significativamente o peso de mil grãos (PMG), seguindo um modelo quadrático de resposta (g) (Figura 3).

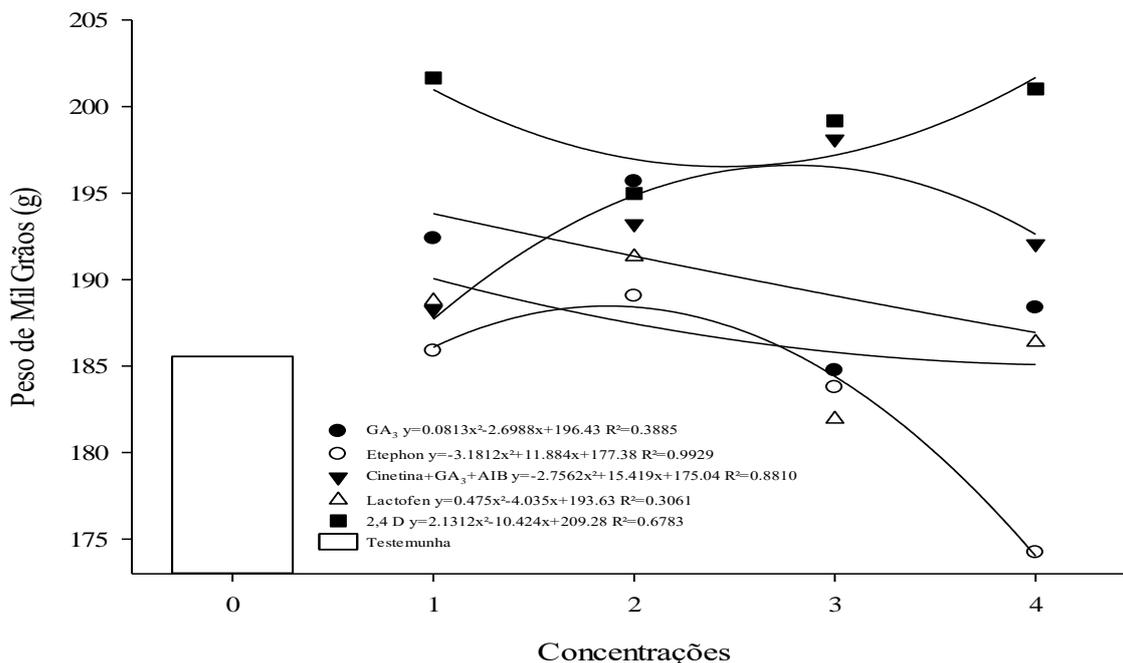


Figura 3. Peso de mil grãos da soja com uso de reguladores vegetais submetidas a diferentes concentrações de cada produto aplicado em V₇, em Gurupi (TO), ano agrícola 2018/19.

Com exceção do composto Cinetina+GA₃+AIB e 2,4-D, que apresentaram incremento no PMG nas concentrações iniciais utilizadas, os demais produtos apresentaram queda contínua com o incremento da concentração. Oliveira (2017), avaliando doses de Cinetina+GA₃+AIB, observou que as cultivares responderam de forma diferente, sendo possível destacar em ambas o aumento do PMG. Esses dados também estão em concordância com aqueles obtidos por Carvalho *et al.* (2013) utilizando o mesmo produto na soja, via tratamento de sementes e via foliar em diferentes estádios de desenvolvimento (BERTOLIN *et al.*, 2010).

O produto 2,4-D foi aquele que resultou maior PMG, sendo a mesma obtida na menor concentração (concentração 1) (0,5 L ha⁻¹), dose essa 50% abaixo da recomendada comercialmente. Tal fato pode ter ocorrido face ao 2,4 D ser uma auxina sintética que, em baixas concentrações, pode ter promovido alterações no desenvolvimento das plantas e nos processos fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2017; PROCEDI, 2019), tais como o desenvolvimento de gemas florais e filotaxia, a formação de raízes laterais e adventícias, a diferenciação vascular e o desenvolvimento do fruto (STOUT *et al.*, 2013).

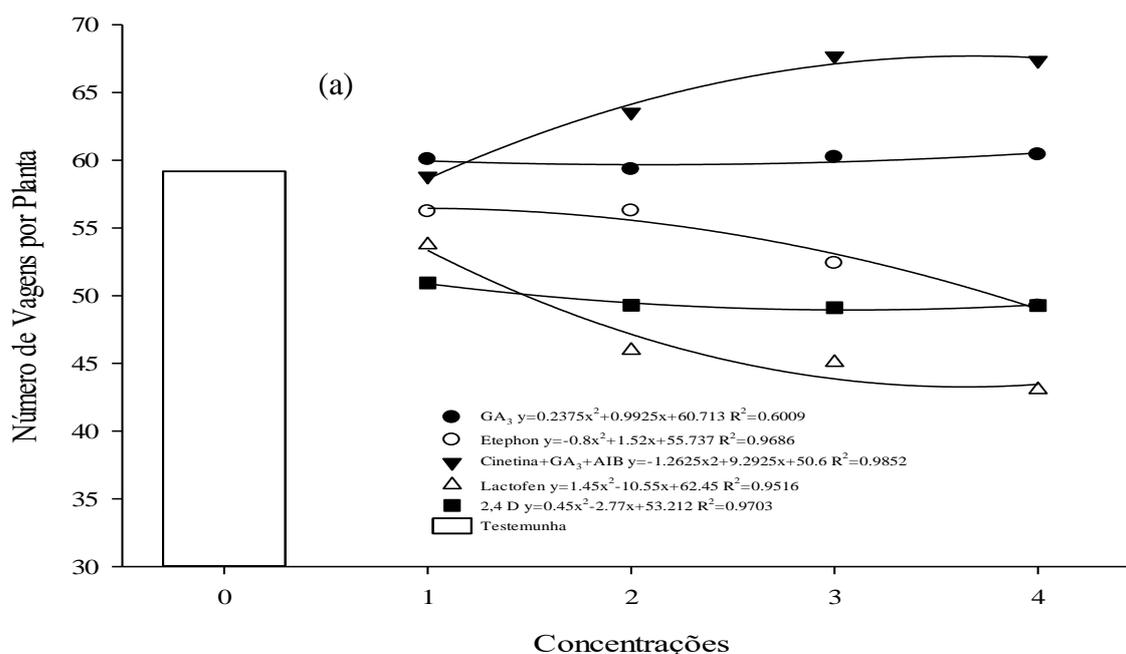
Foloni *et al.* (2016) também verificaram efeito de baixa magnitude do bioregulador lactofen e ethephon no PMG em soja. Almeida Júnior *et al.* (2019), avaliando os dois mesmos produtos na soja, observaram que com o aumento das concentrações, ocorre redução do PMG, acarretando perdas na produtividade.

Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), Carvalho *et al.* (2013) e Oliveira (2017), o PMG varia de acordo com o genótipo, mas também é influenciado pelas condições ambientais e práticas de manejo, como a nutrição das plantas e o balanço hormonal.

3.3.3 Número de vagens por planta, número de grãos por planta e produtividade de grãos

13

Para todos os reguladores vegetais, as concentrações utilizadas em cada um dos produtos influenciaram significativamente o número de vagens por planta (NVP), o número de grãos por planta (NGP) e a produtividade de grãos (PG), seguindo um modelo quadrático de resposta com tendência similar para ambas as características (Figura 4a, 4b e 4c).



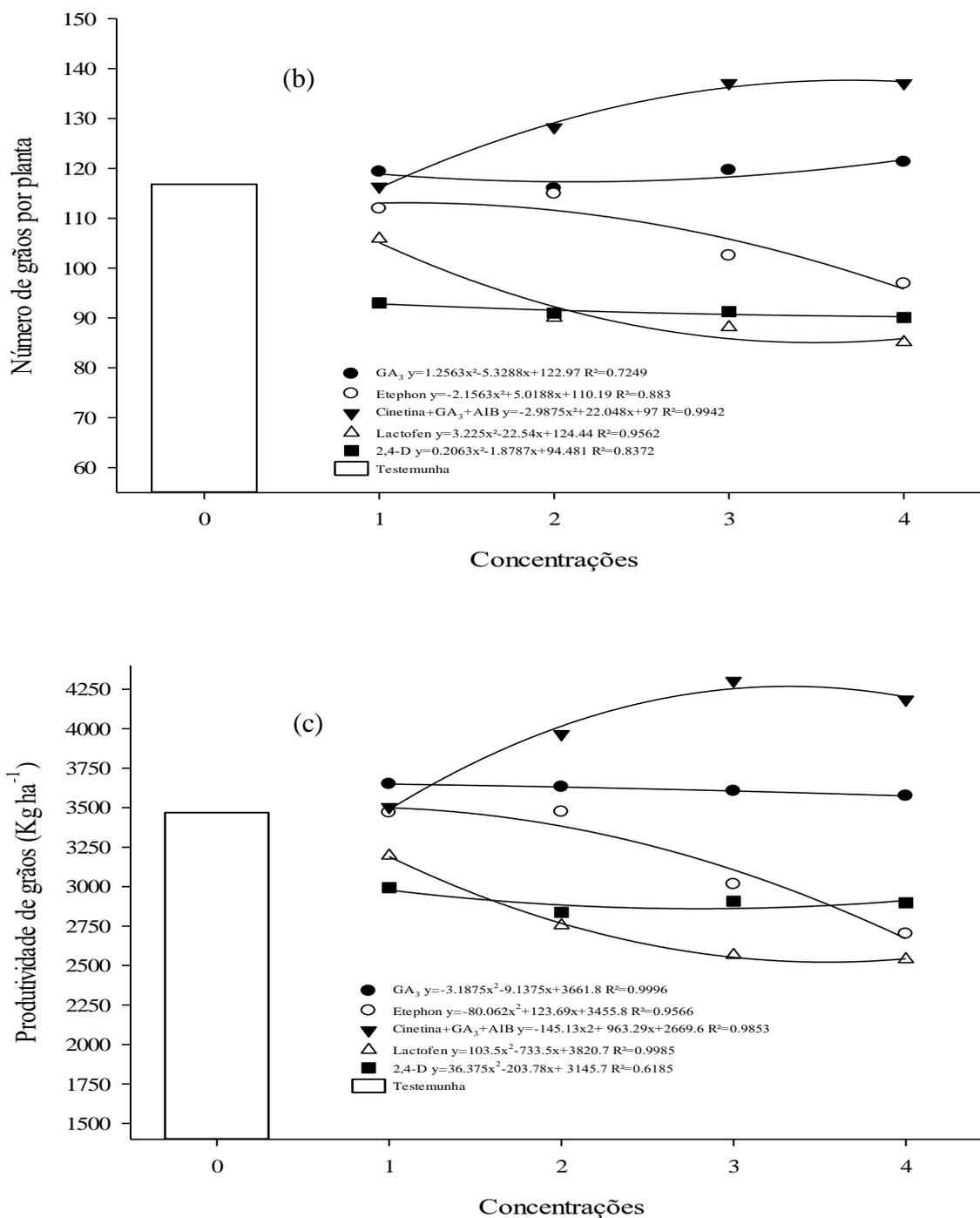


Figura 4. Número de vagens por planta (a), número de grãos por planta (b) e produtividade de grãos de soja (c) ($kg\ ha^{-1}$) com uso de reguladores vegetais submetidas a diferentes concentrações de cada produto aplicado em V_7 , em Gurupi (TO), ano agrícola 2018/19.

O produto composto por Cinetina+ GA_3 +AIB apresentou incremento no NVP, NGP e PG com o aumento das concentrações, sendo aquele que resultou maior NVP, NGP e PG em relação aos demais produtos. Ressalta-se que a concentração 3 foi a que resultou maior PG

(4303 kg ha⁻¹) (Figura 6), com acréscimo de 24,05% quando comparada com a testemunha (3469 kg ha⁻¹).

Esses efeitos podem ser explicados pela interação entre os reguladores auxina, citocinina e giberelina que atuam no metabolismo vegetal, modulando e regulando o crescimento de diversos órgãos da planta (SANTOS, 2004).

Segundo Mason *et al.* (2014), a taxa de formação de flores e vagens ocorre nas axilas presentes nos ramos laterais, em que são coordenadas pelo balanço entre os hormônios auxina e citocinina. A citocinina se apresenta como fator principal na indução de formação de flores, pois está envolvida no processo de divisão, expansão, alongamento e diferenciação celular, além do crescimento da gema axilar e formação dos primórdios foliares.

Carvalho *et al.* (2013) e Buzzello (2017), ao utilizarem Cinetina+GA₃+AIB na cultura da soja, verificaram incremento de 34,9% e 15,44%, respectivamente, em relação à testemunha. Buzello (2010) verificou ainda que, além de maior rendimento de grãos, as plantas tiveram menor estatura e, assim, menor nível de acamamento. Bertolin *et al.* (2010) verificaram que o bioestimulante proporciona incremento no número de vagens por planta tanto em aplicação via sementes, quanto via foliar. Ribeiro (2019) avaliando diferentes cultivares de soja com o uso do mesmo produto teve incremento de 4,7 % no NGP quando comparado com a testemunha.

Para o produto composto por GA₃, as concentrações utilizadas promoveram mudanças de pequena magnitude no NVP e NGP, muito provavelmente pelo fato de que no presente estudo as concentrações utilizadas de giberelina não surtiram efeito no alongamento e a divisão celular das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Zanuzo *et al.* (2012), utilizando a aplicação de ácido giberélico nos estádios fenológicos V₃ e V₈, apontaram que não mostrou efeito significativo sobre a variável analisada como rendimento de grãos.

Os produtos ethephon, lactofen e 2,4-D apresentaram queda no NVP, NGP e PG com o incremento das concentrações. A queda acentuada e contínua do NVP, NGP e PG para o ethephon pode ter sido oriunda de maior produção de etileno nas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017; ROMAN *et al.*, 2005) e para o lactofen pelo fato de que esse produto pode resultar efeitos fitotóxicos às plantas (FERREIRA *et al.*, 2011). Por outro lado, para o 2,4-D, a queda de NVP, NGP e PG pode ter ocorrido em função do produto resultar maior produção de etileno (MATTE *et al.*, 2021) aliada aos efeitos fitotóxicos às plantas (ROMAN *et al.*, 2005) como epinastia, interrupção do crescimento, cloroses e necroses, quem levam à senescência e morte da planta, em virtude de maior translocação de ácido diclorofenoxiacético na planta (HORVATICH; SHAVARSKI, 2018). A maior produção de etileno, associada ou não à fitotoxicidade do produto, pode resultar menor duração da fase reprodutiva, menor acúmulo de matéria seca das plantas e, por fim, menor NVP, NGP e PG.

Ngatia *et al.* (2003) e Buzello (2010), ao utilizarem ethephon em diferentes concentrações, verificaram queda no NGP e no rendimento de grãos, respectivamente, com o aumento da concentração do produto, decorrente do alto grau de injúria sofrida pelas plantas nas maiores concentrações. Campos (2010), trabalhando com baixas concentrações de ethephon em soja cultivar BRS 184, também constatou redução de rendimento de grãos em relação à testemunha.

Com relação ao lactofen, Foloni *et al.* (2016) verificaram queda acentuada na produtividade em todas as cultivares estudadas quando submetidas ao lactofen, em relação à testemunha.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve efeito dos reguladores vegetais para as características estudadas, apenas as médias do produto composto por GA₃ não apresentaram diferença significativa.

As concentrações dos produtos, acima das recomendadas, podem resultar em inibição do crescimento das plantas, mas também causar efeitos prejudiciais às plantas de soja.

O produto Cinetina+GA₃+AIB, na concentração 0,0675+0,0375+0,0375 g ha⁻¹, proporcionou inibição no desenvolvimento da altura de plantas e incremento com maior número de vagens por planta e maior número de grãos por planta, refletindo maior produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, A. J. P. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 774-782, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000400020>.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SOUSA, J. A. P.; SMILJANIC, K. B. A.; RIBEIRO, D. O.; PEREIRA, R. M.; PEROZINI, A. C.; MIRANDA, B. C. Uso de reguladores de crescimento em dois estádios, no controle do dossel na cultura da soja RR, no sudoeste goiano. **Nucleus**, v. 16, n. 2, 2019. DOI: 10.3738 / 1982.2278.3526.

BAYER. Agro Bayer Brasil - M 8349 IPRO. 2021. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/monsoy/m-8349-ipro>. Acesso em: 06 jun. 2021.

BERTOLIN, D. C.; DE SÁ, M. E.; ORIVALDO, A. R. F.; FURLANI JUNIOR, E.; COLOMBO, A. S.; DE CARVALHO, F. L. B. M. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000200011>.

BULEGON, L. G. **Azospirillum brasilense e reguladores vegetais na mitigação dos efeitos da intoxicação por mesotriona no milho e do déficit hídrico na soja**. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

BUZZELLO, G. L.; TREZZI, M. M.; BITTENCOURT, H. V. H.; PATEL, F.; MIOTTO JUNIOR, E. Desenvolvimento e rendimento de soja em função da aplicação de ácido indolbutírico, ácido giberélico e cinetina. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 37, p. 225-233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i37.3584>.

17

CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Arquitetura de plantas de soja e a aplicação de reguladores vegetais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 1, 2010.

CARVALHO, J. C.; VIECELLI, C. A.; ALMEIDA, D. K. Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 1, p. 50-60, 2013.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. FUNEP: Jaboticabal, 2012. 590p.

CRUZ, C. D. **GENES: Programa para análise e processamento de dados baseado em modelos de genética e estatística experimental**. Viçosa, 2019.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, 2018. 356p.

FÁVERO, F.; MADALOSSO, T.; ROY, J. M. T. Produtividade da soja em função do uso de lactofen para supressão. 2018. **Mais soja**. Disponível em: <https://maissoja.com.br/produtividade-da-soja-em-funcao-do-uso-de-lactofen-para-supressao/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C.; REMAEH, L. M. R.; BÚFALO, J.; SCAVRONI, J.; ANDRÉO-SOUZA, Y.; CECHIN, I.; SOARES, B. J. A. Morphological and physiological alterations induced by lactofen in soybean leaves are reduced with nitric oxide. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 837-847, 2011.

FERREIRA, P. S. H. **Seletividade dos herbicidas amicarbazone e sulfentrazone para cana soca seca, utilizando-se testemunhas pareadas, e ação na microbiota do solo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016. 72p.

FERRÃO, R. G.; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA, E. M.; ARANTES, L. O.; COSTA, A. F. S.; CARVALHO, P. L. P. T.; GALVÊAS, P. A. O. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incapar em Revista**, Vitória, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, jan. 2015/dez. 2016. DOI: <http://biblioteca.incapar.es.gov.br/digital/bitstream/item/2538/1/BRT-incaparemrevista-2016.pdf>.

FOLONI, J. S. S.; HENNING, F. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; PIPOLO, A. E.; MELO, C. L. P. de. Lactofem e Etefom como reguladores de crescimento de cultivares de soja. *In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA*, 35, 2016. **Resumos** [...]. Londrina, 2016.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451p.

HORVATICH, P.; SHAVARSKI, G. T. Aplicação do herbicida 2,4-D em pós-emergência na cultura de soja e seu reflexo na produtividade de grãos. *In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA*, 36., 2018. Anais [...]. Londrina, 2018.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2019. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTAxOQ==. Acesso em: 12 jun. 2020.

MASON, M. G.; ROSS, J. J.; BABST, B. A.; WIENCLAW, B. N.; BEVERIDGE, C. A. Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 111, n. 16, p. 6092-6097, 2014.

MATTE, W. D.; SILVA, V. F. V.; MACHADO, F. G.; OLIVEIRA JR, R. S. 2,4-D: Polêmico desde sempre, imprescindível como nunca. **Revista cultivar**. 2021. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/2-4-d-polemico-desde-sempre-imprescindivel-como-nunca>. Acesso em: 08 fev. 2021.

NGATIA, T. M.; SHIBAIRO, S. I.; EMONGOR, V. E.; KIMENJU, J. W. Effects of ethephon on growth, yield and yield components of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Agric. Sci. Technol.**, África, v. 5, n. 1, p. 22-28, 2003.

OHYAMA, T.; MINAGAWA, R.; ISHIKAWA, S.; YAMAMOTO, M.; HUAN, N. V. P.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; SATO, T.; NAGUMO, Y.; TAKAHASHI, Y. Soybean seed production and nitrogen nutrition. *In: BOARD, J. E. A comprehensive survey of international soybean research: genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships*. Rijeka: InTech, p.115-157, 2013.

OLIVEIRA, S. **Uso de biorregulador nas culturas da soja e do trigo**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Pelotas, 2017. 154p.

PACENTCHUK, F.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Produtos à base de triazol como redutores de crescimento da cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 2, 2018.

PACIEVITCH, T. **Geografia do Tocantins**. 2018. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geo-grafia/geografia-do-tocantins/>. Acesso em: 28 jan. 2021.

PEREIRA, I. S. **Respostas fisiológicas em plantas de soja a atenuadores de estresse**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2020. 142p. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2020.tde-19112020-185553>.

PETRI, J. L.; HAVERROTH, F. J.; LEITE, G. B.; SEZERINO, A. A.; COUTO, M.

Reguladores de crescimento para frutíferas de clima temperado. Florianópolis: Epagri, 2016. 141p.

PROCEDI, A. **Herbicidas: mimetizadores da auxina. Mais soja.** 2019. Disponível em: <https://maissoja.com.br/herbicidas-mimetizadores-da-auxina/>. Acesso em: 25 ago. 2020.

RIBEIRO, C. S. **Semeadura antecipada e utilização de bioestimulante na cultura da soja no planalto catarinense.** Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, SC.

RIOS, F. A. **Efeitos do lactofen no crescimento e produtividade da soja RR em diferentes condições edafoclimáticas.** 2016. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2016.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a Soybean Plant Develops.** Ames, Iowa State University of Science and Technology, Coop. Ext. Serv., 1982. 20p.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação.** [s.l.]: Berthier, 2005. 152p.

SANTOS, V. M. S.; MELO, A. V.; CARDOSO, D. P.; GONÇALVES, A. H.; VARANDA, M. A. F.; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.

SCHERB, C. T.; ALVARENGA, W. B.; BISNETA, M. V.; MENDES, R. R.; RAIMONDI, R. T. Desempenho e produtividade da cultura da soja mediante a aplicação de biorreguladores. **Anais da XXXVI Reunião de Pesquisa de Soja.** Londrina, 2017.

SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; SEDIYAMA, H. A. A soja. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Produtividade da Soja.** Londrina: Mecenias, 2016. p. 11-18.

STOUT, R. G.; BERNASCONI, P.; MURPHY, A. Auxina: o primeiro hormônio do crescimento vegetal descoberto. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 541-580.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROW, P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. **Frontiers of Plant Science**, v. 7, p. 32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.

ZANUZO, M. R.; LERMENNB, F.; BEZERRA, E. L. Influência do uso de ácido giberélico (AG₃) no desenvolvimento e rendimento de milho safrinha. **Uniciências**, v. 16, n. 1, p. 25-31, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2012v16n1p%25p>.