

Desempenho produtivo de soja submetida a aplicação de fitorreguladores em diferentes estádios fenológicos

Daicon Godeski Moreira¹, Clovis Arruda Souza^{1*}, Alex Fernando Basilio¹, Deivid Luis Vieira Stefen¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), CEP 88.520-000 Lages, SC, BR.

*Autor correspondente: souza_clovis@yahoo.com.br
Artigo enviado em 31/03/2020, aceito em 12/09/2020

Resumo: O uso de fitorregulador pode reduzir o crescimento vegetativo, tornar a planta de soja mais compacta, reduzindo o índice de acamamento. Objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos de dose e estádios de aplicação de fitorreguladores sobre os atributos morfométricos e desempenho produtivo da soja em ambiente controlado e em campo. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e em campo, no município de Lages-SC, Brasil, na safra 2016/17. Ambos experimentos sob delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando a cultivar TMG 7062 IPRO. Em casa de vegetação o arranjo fatorial foi 3x5 (três estádios fenológicos e cinco doses de fitorregulador cloreto de chlormequat. No campo, foram avaliados quatro ingredientes ativos: cloreto de chlormequat; etefon; benziladenina e prohexadiona cálcica. Todos os tratamentos foram aplicados quando as plantas estavam em estágio V9. No experimento em casa de vegetação o cloreto de chlormequat não reduziu a altura da planta e não afetou o rendimento de grãos, independente da dose utilizada e dos estádios fenológicos de aplicação. Em condições de campo todos os tratamentos reduziram altura de plantas. A massa de mil grãos (menor) e umidade (maior) foram afetadas negativamente pela aplicação de prohexadiona cálcica, etefon e benziladenina. O emprego do fitorregulador cloreto de chlormequat nas doses de 100, 200 ou 400 g i.a. ha⁻¹ resulta em maior diâmetro, menor altura de plantas e maior rendimento de grãos (24, 34 e 19% maior que a testemunha), sem afetar o índice de acamamento de plantas.

Palavras-chave: *Glycine max* Merril L., reguladores de crescimento, estratégias de manejo.

Productive performance of soybean submitted to application of phyto regulators in different phenological stages

Abstract: The use of phyto regulator can reduce vegetative growth, make the soybean plant more compact, reducing the lodging index. The aim of this study was to evaluate the effects of dose and growth regulator application on the morphometric attributes and the productive performance of soybean at greenhouse environment and field conditions. The experiments were conducted in the greenhouse and field, in the municipality of Lages - SC, Brazil, in the 2016/17 growing season. Both experiments were performed at experimental design in randomized blocks, with four replications with cultivar TMG 7062 IPRO. At greenhouse the factorial arrangement it was 3x5, as three phenological stages (V5, V9 and R1) and five doses of the chlormequat chloride growth regulator applications. In the field, four active ingredients were applied: chlormequat chloride; etephon; benzyladenine and calcium prohexadione. All applications were performed when the plants were in the V9 stage. At greenhouse experiment, chlormequat chloride did not

reduce plant height and did not affect grain yield, regardless of the dose used and the phenological stages of application. Under field conditions, all regulators leading to lowest plant height. The thousand grain weight (smaller) and grain moisture (higher) were negatively affected by the calcium prohexadione, etefon and benzyladenine. The use of chlormequat chloride in all doses resulted a larger grain sieve and higher grain yield (>19% than control) of soybean cv TMG 7062 IPRO, but plant lodging was not influenced.

Keywords: *Glycine max* Merrill L. growth regulators. management strategies.

Introdução

A soja (*Glycine max* Merrill L.) é cultivada praticamente em todo território brasileiro, desde as altas latitudes ao sul do país até as baixas latitudes equatoriais tropicais, apresentando em muitas regiões rendimento de grãos superiores à média obtida pela soja norte-americana (Zanon et al., 2018). Estas diferentes condições de cultivo expõe as plantas durante seu desenvolvimento a ajustes em resposta ao fotoperíodo, temperatura, condições hídricas e edáficas, acarretando em ativo mecanismo de regulação hormonal (Taiz e Zeiger, 2004). Neste contexto a busca por auxílio no manejo do desenvolvimento das plantas via aplicação exógena de fitoreguladores consiste em estratégia exequível para a sustentabilidade produtiva da soja em função de alterações no ambiente de cultivo associado ao emprego de diferentes genótipos.

Fatores adversos podem refletir em diminuição do rendimento de grãos, uma das consequências que gera perdas qualitativas e quantitativas é o acamamento das plantas. O acamamento pode ocorrer devido a fatores como a alta densidade de plantas por área, excesso de pluviosidade e adubação nitrogenada, ventos fortes, emprego de cultivares de porte alto, entre outros (Souza et al., 2013). O acamamento compromete diretamente a colheita dos grãos, devido a prostração das plantas e prejudica sua qualidade; indiretamente o acamamento aumenta o autosombreamento que

prejudica a eficiência fotossintética da planta, propicia a formação de microclima favorável à ocorrência de doenças acarretando menor rendimento de grãos.

A aplicação exógena de fitorregulador pode melhorar o desempenho da cultura da soja e minimizar a ocorrência do acamamento de plantas (Souza et al., 2013). Os fitorreguladores atuam como sinalizadores químicos na regulação do crescimento e desenvolvimento de plantas (Souza et al., 2013). Normalmente ligam-se a receptores na planta e desencadeiam uma série de mudanças celulares, as quais podem afetar a iniciação ou modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos (Taiz e Zeiger, 2004).

Ren et al. (2019) observaram incremento no rendimento de grãos de milho, quando as plantas foram tratadas com benziladenina, sob condição de estresse por alagamento. Fhram et al. (2018) em seu trabalho com *Thinopyrum intermedium*, uma gramínea, obtiveram redução de até 20% na altura de plantas devido a inibição do alongamento dos entrenós pelo trinexapac-ethyl, encontrando significativa correlação entre redução de altura com o menor acamamento e maior rendimento de grãos em ambientes com alto risco de acamamento. Redução significativa na altura de plantas de girassol, foi observada pela aplicação dos reguladores etefon, cloreto de chlormequat e prohexadiona cálcica, sem afetar o desempenho produtivo (Spitzer

et al., 2018). Na cultura da soja os fitorreguladores cloreto de chlormequat e cloreto de mepiquat, apresentaram redução significativa de altura de planta, possibilitando maior resistência ao acamamento (Souza et al., 2013). No entanto Bossolani et al. (2019) não observaram influência do trinexapac-ethyl nas características agrônomicas e rendimento de grãos por cultivares de soja, corroborando com Souza et al. (2013) que também não verificaram redução significativa de altura para soja, com este fitorregulador.

Segundo Marianno (2016) cultivares de soja respondem diferentemente de acordo com sua base genética as aplicações de fitorreguladores e aos estádios de aplicação, de forma que as aplicações quando as plantas estão no início da floração tem seus efeitos mais acentuados que as aplicações posteriores, principalmente no que se refere a capacidade de fixação de estruturas reprodutivas.

Diante do exposto, fica evidente uma lacuna de informações técnico-científicas sobre a aplicação foliar, em diferentes estádios fenológicos da soja, de produtos fitorreguladores e suas doses. A hipótese é que na transição entre a fase vegetativa para reprodutiva, de cultivares de soja com hábito de crescimento indeterminado, a aplicação foliar de fitoreguladores é eficiente no manejo da altura de plantas e na fixação de estruturas reprodutivas, mitigando a ocorrência de acamamento de plantas e proporcionando maior rendimento de grãos. Objetivou-se neste trabalho avaliar o comportamento de plantas de soja transgênicas sob aplicação de diferentes fitorreguladores aplicados no final da fase vegetativa desta cultura no desenvolvimento da parte aérea e no rendimento de grãos em condições contrastantes de ambiente.

Material e métodos

Local e delineamento experimental

Foram realizados dois experimentos, um em casa de vegetação e outro em condições de campo, ambos realizados no Centro de Ciências Agroveterinárias na Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC) em Lages/SC, Brasil (27 ° 47 ' S e 50 ° 18 ' W), altitude de 940 m, cuja sementeira foi realizada no dia 10/12/2016 (campo) e 12/12/2016 (casa de vegetação). Em casa de vegetação foram semeadas cinco sementes por vaso, da cultivar TMG 7062 IPRO de grupo de maturação 6.2, ciclo semi-tardio e hábito semi-indeterminado. Cada vaso com volume de 6 dm³, preenchido com substrato composto de uma mistura de três partes de um cambissolo para uma parte de areia. Previamente a sementeira uma amostra do solo foi coletada e procedeu-se a análise físico-química, caracterizado como Cambissolo Húmico Alumínico cujos, resultados foram: teor de argila: 44%; pH (H₂O): 6,07; índice SMP: 6,12; matéria orgânica: 2,45%; P: 17,15 mg.dm⁻³; K: 47 mg.dm⁻³; Al_{troc}: 0 cmolc.dm⁻³; Ca_{troc}: 10,6 cmolc.dm⁻³; Mg_{troc}: 4,45 cmolc.dm⁻³; Al+H: 3,92 cmolc.dm⁻³; CTC: 19,3 cmolc.dm⁻³; saturação da CTC por bases: 79%; Sat da CTC por Al: 0%; S: 12,05 mg.dm⁻³; Zn: 1,02 mg.dm⁻³; Cu: 1,82 mg.dm⁻³; B: 0,76 mg.dm⁻³; Mn: 11,7 mg.dm⁻³. Após a emergência foi realizado o desbaste das plantas, quando estas estavam no estádio V2 (Fehr et al., 1971), mantendo-se apenas uma planta por vaso.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições, sendo cada uma composta por um vaso, as condições de casa de vegetação foram de temperatura média em 25±10°C e umidade relativa do ar de 65±15%. Foi utilizado o esquema fatorial 3x5, sendo a combinação dos seguintes fatores: a) três estádios fenológicos

distintos de aplicação de reguladores de crescimento, V5, V9 e R1; e b) cinco doses cloreto de chlormequat (Tuval®) 0 - 12,5 - 25 - 50 e 75 g i.a ha⁻¹. Durante a condução do experimento o suprimento de água às plantas foi realizado buscando manter a umidade do solo próxima a 80% da umidade gravimétrica no solo, pelo método de pesagem de cada vaso, por reposição da água evapotranspirada pelo menos uma vez ao dia, conforme trabalho prévio (Marianno, 2016). O fitorregulador foi aplicado via pulverizador pressurizado por CO₂, com barra com dois bicos tipo leque, espaçados a 0,5 m cada e regulada para um volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Em condições de campo, a semeadura foi realizada no dia 10/12/2016, foram utilizadas sementes de soja da cultivar TMG 7062 IPRO tratadas com inseticidas imidacloprido+tiodicarbe (Cropstar®); fungicidas carboxina+tiram (Derosal Plus®) e inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5080) e *B. elkanii* (SEMIA 5079). Conforme a análise química do solo, foi realizada a correção e adubação deste objetivando o potencial produtivo de 6000 kg ha⁻¹, seguindo as recomendações do manual de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para esta cultura (CQFS-RS/SC, 2016). As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de cinco metros lineares, com espaçamento de 0,5m entrelinhas, considerando as três linhas centrais como área útil (7,5 m²). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso. Os tratamentos resultaram da aplicação dos produtos cloreto de chlormequat (Tuval®) nas doses 100, 200 e 400 g i.a. ha⁻¹; etefon (Etherel® 240) nas doses de 110, 220 e 331 g i.a. ha⁻¹; benziladenina (Maxcel®) na dose de 8 g i.a. ha⁻¹; e prohexadiona cálcica (Viviful®) nas doses 68,8 e 110 g

i.a. ha⁻¹, mais a testemunha (apenas água); com quatro repetições totalizando 40 parcelas.

Os produtos foram aplicados quando as plantas se encontravam no estágio V9 via pulverizador pressurizado por CO₂, com barra com quatro bicos tipo leque espaçados a 0,5 m cada regulada para um volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas às 17h00, com velocidade do vento menor que 10 km h⁻¹ e temperatura do ar menor que 30 °C.

Avaliações e coleta de dados

Em casa de vegetação a área foliar (AF) foi determinada durante o estágio R5 (enchimento de grãos), medindo-se o comprimento e largura do folíolo central e multiplicando-se pelo fator de correção 2,1, foram amostradas dez folhas do terço médio da planta, somando-se as respectivas áreas e multiplicando-se pelo número total de folhas presentes em cada planta. A altura de plantas (AP) foi obtida pela medida da distância entre o nível do solo até o ápice da haste principal de cada planta. O diâmetro de haste principal (DHP) foi avaliado na parte média do entrenó, entre a cicatriz do nó cotiledonar ao nó de inserção das folhas simples, com auxílio de paquímetro digital, também foi determinado o número de nós na haste principal (NN) por contagem direta dos mesmos. Durante o estágio R8 (maturação fisiológica) foram determinados: peso de grãos por planta (PG), número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (MCG) utilizando-se balança com precisão de 0,001 g. O índice de colheita (IC) foi avaliado por meio da razão entre PG e a massa seca total da parte aérea da planta (rendimento biológico), através da equação: $IC = (PG/MStotal) * 100$. A produção de grãos por planta foi corrigida para todas as parcelas experimentais na umidade padrão de

13%, conforme a seguinte equação: $PG = \text{Peso Úmido} \cdot (100 - \text{Umidade Real} / 100 - 13)$.

Em condições de campo, além de altura de plantas (AP) e número de nós da haste principal (NN), foram determinadas a altura de inserção da primeira vagem (IPV) através da medição da distância do primeiro nó cotiledonar até a inserção da primeira vagem; número de ramos por planta (NRP); e número de vagens por planta (NVP). No estádio R8 foi determinado a massa de mil grãos (MMG). O rendimento de grãos por planta (RG) através do peso de grãos obtido na área útil e corrigindo-se na umidade padrão de 13% e extrapolando o valor para equivalente a 1 hectare. Todas as avaliações dos componentes de rendimento foram realizadas em dez plantas obtidas aleatoriamente dentro da linha central de cada parcela experimental.

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo

teste F a 10%, 5% e 1% de significância e quando detectadas variações significativas as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro para os efeitos de estádios de aplicação ou produtos. Para dose do produto foi realizada a análise de regressão. Além disso, foi realizada a correlação de Spearman entre as variáveis estudadas ($p < 0,05$, via teste T). A análise estatística foi realizada com auxílio do software R (R Core Team, 2017).

Resultados e discussão

Em ambiente protegido

Nas condições de casa de vegetação, observaram-se efeitos significativos para número de grãos por planta e massa de 100 grãos (Tabela 1), mas não houveram efeitos significativos de tratamento para as variáveis, área foliar, altura de planta, diâmetro da haste principal, peso dos grãos, número de nós e índice de colheita (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância, quadrado médio e significância para as variáveis: área foliar por planta (AF), altura de planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), peso de grãos por planta (PG), número de grãos por planta (NGP), número de nós por planta (NNP), índice de colheita (IC) e massa de cem grãos (MCG) obtidos de plantas de soja em função de doses de cloreto de chlormequat e estádios de aplicação cloreto de chlormequat em casa de vegetação. Lages, SC, 2016/2017

Fonte de variação	Quadrado médio							
	AF (cm ²)	AP (cm)	DHP (mm)	PG (g)	NGP (n°)	NNP (n°)	IC (%)	MCG (g)
Bloco	124734 ^{ns}	258,7 ^{ns}	1,6 ^{ns}	71,8 ^{ns}	2025 ^{ns}	0,1 ^{ns}	5,6 ^{ns}	442 ^{ns}
Estádio (E)	340 ^{ns}	42,3 ^{ns}	0,2 ^{ns}	8,3 ^{ns}	83 ^{ns}	1,1 ^{ns}	5,8 ^{ns}	114 ^{ns}
Dose (D)	21874 ^{ns}	34,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	3,6 ^{ns}	251 ^{***}	2,3 ^{ns}	3,8 ^{ns}	777 ^{ns}
E x D	26417 ^{ns}	24,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}	6,9 ^{ns}	218 ^{**}	1,0 ^{ns}	4,1 ^{ns}	1018 ^{***}
Resíduo	25866	23,6	0,22	11	102	2,8	6,5	537,3
CV (%)	12,2	6,9	5,6	9,6	7,1	9,7	7,1	9,5

ns - não significativo; *, ** e *** - tratamentos diferem entre si significativamente em 10%, 5% e 1% pelo teste F.

O cloreto de chlormequat (doses) e a época de aplicação (estádios) não afetaram significativamente o peso de

grãos por planta (Tabela 1). O mesmo ocorreu para o índice de colheita e número de nós na haste principal. Houve

interação significativa ($P \leq 0,05$) entre as doses de cloreto de chlormequat e estádios de aplicação deste fitorregulador sobre número de grãos por planta e massa de 100 grãos (Tabela 1). As doses 12,5 g i.a ha⁻¹ do cloreto de chlormequat no estádio V5 e 50 g i.a ha⁻¹ em V9 e R1 proporcionaram maior número de grãos por planta (NGP); no entanto, não diferiram da testemunha (Tabela 2). Enquanto a dose e 25 g i.a ha⁻¹ aplicada no estádio V5 apresentou NGP 10% menor em relação a mesma dose aplicada no estádio V9. Assim, o NGP é pouco afetado pela aplicação de cloreto de chlormequat, desde que este produto seja aplicado em plantas no estádio R1, ou seja, em decorrência de aplicação em estádios tardios de aplicação.

As equações de regressão (Tabela 2) mostraram redução do NGP em resposta ao aumento da dose de cloreto de chlormequat quando aplicado no estádio V5 das plantas. Mas as aplicações

em estádios mais tardios, V9 e R1, apresentaram comportamento quadrático com ponto máxima entre as doses 25 e 50 g i.a ha⁻¹. O aumento da dose do fitorregulador, aplicado no estádio V5, provocou aumento linear da MCG, relacionando a redução do NGP no mesmo estádio, pois quando o número de grãos é menor ocorre a priorização do enchimento de grãos, acarretando em grãos mais pesados, tal efeito pode ser atribuído a compensação. No estádio R1 houve comportamento quadrático com ponto de mínima, entre as doses 25 e 50 g i.a. ha⁻¹, enquanto no estádio R3 o aumento da dose reduziu a MCG de modo linear. Nos estádios V5 e R1 foi observado efeito das doses de cloreto de chlormequat sobre a massa de cem grãos (Tabela 2). No estádio V9 as doses 12,5, e 75 g i.a ha⁻¹ apresentaram maiores valores de MCG que na dose 50 g i.a ha⁻¹. No entanto, estas não diferiram da testemunha (sem fitorregulador).

Tabela 2. Número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (MCG) de soja em função da aplicação de doses de cloreto de chlormequat em diferentes estádios fenológicos das plantas em casa de vegetação, Lages – SC.

Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Estádio		
	V5	V9	R1
Número de grãos por planta NGP			
0	141 aAB	139 aAB	140 aAB
12,5	149 aA	142 aAB	136 aB
25	134 bB	150 aA	145 abAB
50	141 aAB	153 aA	153 aA
75	137 aAB	134 aB	144 aAB
Massa de cem grãos (MCG) (g)			
0	22,7 bA	26,3 aA	25,1 abA
12,5	23,9 aA	25,1 aA	26,4 aA
25	25,1 aA	24,0 aAB	24,4 aA
50	25,0 aA	21,6 bB	23,4 abA
75	24,9 aA	25,4 aA	24,5 aA
Característica	Equação por estádio		
NGP	$Y_{V5} = -0,071x + 142,51$ com $R^2 = 0,65$		
NGP	$Y_{V9} = -0,0117x^2 + 0,8537x + 136,61$ com $R^2 = 0,89$; ponto de máxima 36,48 g		
NGP	$Y_{R1} = -0,005x^2 + 0,5029x + 136,21$ com $R^2 = 0,58$; ponto de máxima 50,30 g		
MCG	$Y_{V5} = 0,0074x + 24,48$ com $R^2 = 0,65$		
MCG	$Y_{V9} = 0,0017x^2 - 0,1367x + 25,569$ com $R^2 = 0,71$; ponto de mínima 40,21 g		
MCG	$Y_{R1} = -0,0174x + 25,245$ com $R^2 = 0,78$		

Valores seguidos da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, e valores seguidos da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

A análise de correlação de Spearman (Figura 1) indicou que o peso dos grãos por planta tem alta correlação positiva com índice de colheita (82%) e a massa de mil grãos (63%). E índice de colheita também apresentou alta correlação positiva com o peso de mil sementes (69%). Isto evidencia uma provável melhoria na eficiência fonte/dreno, ou seja, melhorou a conversão da biomassa da parte aérea a grãos.

Tal possibilidade advém dos resultados obtidos por Tarun et al.

(2016) que verificaram redução no índice de área foliar da cultura da soja, sob aplicação de cloreto de chlormequat 30 dias após a semeadura e obtiveram incremento da variável em aplicações mais tardias, porém verificaram que a aplicação resultou em plantas com menor altura sendo estas mais eficientes na conversão de fotossintatos a grãos. Souza et al. (2013) também obtiveram redução na altura de plantas de soja mediante a aplicação do cloreto de chlormequat em condições de campo sendo estas também mais produtivas.

	Altura	Peso da haste	DHP	NN	Número de grãos	Peso vagem grão	Peso grão	IC	PCG	Área foliar planta	Escala
Altura	1	0.15	-0.34	0.17	0.01	-0.25	-0.04	0.06	-0.05	0.38	1
Peso da haste		1	0.12	0.20	0.06	0.35	0.08	-0.24	0.03	-0.01	0.8
DHP			1	-0.03	0.16	0.16	0.04	-0.07	-0.11	-0.26	0.6
NN				1	0.18	0.01	0.06	0.02	-0.10	0.10	0.4
Número de grãos					1	0.45	0.36	-0.70	-0.49	-0.02	0.2
Peso vagem grão						1	0.39	-0.19	0.01	-0.09	0
Peso grão							1	0.82	0.63	0.01	-0.2
IC								1	0.69	0.04	-0.4
PCG									1	0.02	-0.6
Área foliar planta										1	-0.8
											-1

Figura 1. Correlação de Spearman entre as variáveis altura de plantas, peso da haste, diâmetro da haste principal, número de nós, número de grãos por planta, peso de vagens e grãos, índice de colheita (IC), peso de 100 grãos (PCG) e área foliar por planta de soja em função da aplicação de doses de cloreto de chlormequat em diferentes estádios das plantas, Lages – SC.

Condições ideais de umidade do solo para desenvolvimento das plantas, em casa de vegetação, podem explicar a ausência de efeito significativo dos tratamentos na altura de plantas e no diâmetro da haste de plantas de soja. Marianno (2016), em condições de casa de vegetação, verificou que o cloreto de

chlormequat reduziu o diâmetro da haste de soja apenas sob condições de restrição hídrica, mas com boa umidade (acima de 80% de máxima umidade gravimétrica do solo) a aplicação deste regulador não alterou essa característica. Nesta mesma pesquisa (Marianno, 2016) a aplicação de cloreto de chlormequat nos estádios

R1, R3 e R5 não influenciaram o NGP de soja. Souza et al. (2013) não encontraram diferenças significativas, em soja, no número de nós por planta. Buzzello (2010) não observou efeito de fitoreguladores sobre índice de colheita também nesta cultura. Entretanto, deve-se salientar que nestas pesquisas citadas as condições experimentais e as cultivares avaliadas foram diferentes.

A aplicação de cloreto de chlormequat em plantas de algodão promoveu aumento significativo da MCG em relação a testemunha (Garcia et al., 2010). Tarun et al. (2016) observaram incremento na MCG de soja com aplicação do cloreto de chlormequat. No entanto, Souza et al. (2013) não verificaram efeito de reguladores sobre a MCG de soja. Esse comportamento pode ser devido à MCG ser uma característica que tem grande dependência do genótipo (Coelho et al., 2007) considerando a interação genótipo por ambiente.

Souza et al. (2010a) encontraram relação positiva entre o rendimento de grãos e MCG, resultado este consistente em duas safras de avaliação de duas cultivares de soja. Embora tenha aumentado a MCG e havido correlação com o rendimento de grãos, não foi observado aumento no rendimento de grãos com a aplicação de cloreto de chlormequat.

Em condições de campo

Em condição de cultivo a campo foi constatado que os fitoreguladores provocaram efeito significativo sobre altura de plantas, número de nós, número de vagens, umidade, massa de mil grãos, retenção de grãos sobre peneiras e rendimento de grãos (Tabela 3; $P < 0,05$). Nas variáveis inserção da

primeira vagem e número de ramos não foi observado efeito dos tratamentos ($P > 0,05$).

Todos os tratamentos resultaram em plantas de menor altura em relação a testemunha (Tabela 4) que apresentou altura média de 64,9 cm, enquanto os demais tratamentos apresentaram altura entre 52,7 cm e 57,8 cm, exceto o tratamento Etefon-1 (60,1 cm) que não apresentou redução significativa. Plantas de menor altura final, em decorrência das aplicações dos produtos nos estádios de alongamentos acelerado dos internódios, durante a fase vegetativa, momento em que as plantas se desenvolvem em altura.

Embora tenha ocorrido redução na altura das plantas não foi possível detectar se plantas de menor altura em decorrência do fitoregulador seriam menos suscetíveis ao acamamento, visto que não ocorreram condições climáticas para ocorrência do fenômeno. Assim sendo, não foi possível confrontar as plantas mais compactas quanto sua eficiência em mitigar os efeitos negativos do acamamento.

Souza et al. (2013) mostraram que a aplicação do cloreto de chlormequat reduziu a altura de plantas de soja com aplicação efetuada sobre plantas no estádio R1. Kaur et al. (2015), aplicaram cloreto de chlormequat, etefon e ácido salicílico, em plantas de soja também verificaram plantas de menor altura final em decorrência da aplicação de cloreto de chlormequat na comparação com os demais tratamentos. Campos et al. (2009) constataram que o tratamento etefon na concentração de 120 g ha⁻¹ promoveu redução de altura em plantas de soja (cultivar BRS 184) em relação à testemunha, produto este aplicado 90 dias após a semeadura.

Tabela 3. Resumo da análise de variância, quadrado médio, resíduo e significância, referentes a aplicação de distintos fitorreguladores sobre características morfológicas e produtivas de plantas de soja, Lages – SC.

Fonte de variação	Bloco	Tratamentos	Resíduo
Altura de plantas (cm)	64,2 ns	54,0 **	21,0
Inserção da primeira vagem (cm)	3,4 ns	10,3 ns	4,1
Número de ramos (n°)	0,3 ns	0,5 ns	0,4
Número nós (n°)	2,3 ns	5,3**	1,3
Número vagens (n°)	17,5 ns	138,7*	36,5
Umidade (%)	11,7 ns	5,0**	2,1
Massa de mil grãos (g)	425,4 ns	563,3*	84,6
Peneira 7,5 (mm)	4,1 ns	17,6*	3,29
Peneira 7,0 (mm)	60,9 ns	232,7*	30,2
Peneira 6,5 (mm)	208,4 ns	52,7**	15,9
Peneira 6,0 (mm)	3,2 ns	66,1*	15,5
Peneira 5,5 (mm)	92,6 ns	95,5*	8,4
Peneira 5,0 (mm)	26,7 ns	17,4*	3,5
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	639793 ns	480188**	142223

ns - não significativo; *, ** e *** - tratamentos diferem entre si significativamente em 10%, 5% e 1% pelo teste F.

Efeitos de fitorreguladores sobre altura das plantas podem ser distintos para soja de hábito determinado, semi-indeterminado ou indeterminado, nas de hábito determinado as plantas cessam ou tem pouco crescimento após o florescimento, enquanto soja com hábito indeterminado poderá acrescentar mais de 40% em sua altura final após o início do florescimento (R1) (Zanon et al., 2018). Diante de tais fatos, época (estádio) de aplicação do fitorregulador deve ser distinta, ou seja, antecipada nas plantas de hábito determinado e mais tardia nas plantas de hábito indeterminado.

Em relação a umidade dos grãos (Tabela 4) os tratamentos com etefon, benziladenina e prohexadiona cálcica apresentaram grãos com maior umidade e resultaram em menor MMG. O fitorregulador cloreto de chlormequat nas três doses utilizadas proporcionou MMG com valores intermediários, mas inferior ao T10 - testemunha. Buzzello (2010) verificou que os tratamentos com etefon (5000, 10000 e 15000 g ha⁻¹)

resultaram em menor MMG em soja. Isso provavelmente ocorreu em virtude do alto grau de injúria sofrida pelas plantas nestes tratamentos devido à alta concentração do produto. Souza et al. (2013) verificaram que o fitorregulador trinexapac-ethyl teve efeito negativo na MMG de soja, no entanto outros fitorreguladores testados não afetaram a MMG. Campos et al. (2009) também não verificaram efeito de fitorreguladores sobre a MMG em soja.

Essa diferença entre os resultados das diferentes pesquisas pode estar ligada à influência de fatores, tais como ambientes, épocas de semeadura, hábitos de crescimento da cultivar, grupo de maturação da cultivar e estádios fenológicos de aplicação dos produtos. Tais particularidades pode proporcionar resultados distintos.

Para o tamanho de grãos, avaliados pela retenção em peneiras de diferentes tamanhos de crivos circulares (Tabela 4), todos os tratamentos apresentaram redução significativa no percentual de grãos graúdos, os retidos

na peneira de diâmetro 7,5 mm, e relação a testemunhas, onde o percentual foi de 8%, e nos demais tratamentos entre 0%, 5% (T1 Chlorm-1) e 2,5 % (T6 Etefon -3). A mesma tendência foi observada na peneira de diâmetro 7,0 mm, também considerado grão graúdo. Na peneira de diâmetro 6,5 mm a testemunha e todos os tratamentos com cloreto de chlormequat, apresentaram maior percentual de retenção que os demais

tratamentos. Nas peneiras de menor diâmetro, 5,5 mm e 5,0 mm houve maior percentual de retenção dos tratamentos com etefon, benziladenina (Benz) e prohexadiona cálcica (Pro. Ca), e redução significativa nos demais tratamentos, onde o percentual de grãos retidos foi maior. Esses resultados possibilitam inferir que o cloreto de chlormequat não afetou o diâmetro dos grãos de soja.

Tabela 4. Altura de plantas, umidade (U), massa de mil grãos (MMG), percentual de retenção de grãos nas peneiras com diâmetro de 7,5, 7,0, 6,5, 6,0, 5,5 e 5,0 mm (P7,0, P6,5, P6,0, P5,5 e P5,0 respectivamente), número de vagens (NV), número de nós por planta (NN) e rendimento de grãos (RG) de soja em função da aplicação de distintos fitorreguladores de crescimento, Lages – SC.

Tratamentos	Altura	U	MMG	P 7.5	P 7.0	P 6.5	P 6.0	P 5.5	P 5.0	NV	NN	RG
	cm	%	g	%	%	%	%	%	%			kg ha ⁻¹
T1 Chlorm - 1	53,5 b	16,3 b	161,1 b	0,5 b	22,7 c	30,8 a	30,0 a	11,2 b	3,1 b	28,0 b	13,3 b	2922 a
T2 Chlorm - 2	57,8 b	15,9 b	158,7 b	1,2 b	25,1 b	28,9 a	27,9 a	11,4 b	3,8 b	31,5 b	14,1 b	3141 a
T3 Chlorm - 3	55,6 b	16,2 b	162,6 b	1,2 b	28,2 b	29,8 a	26,5 a	9,0 b	3,1 b	30,4 b	13,3 b	2805 a
T4 Etefon - 1	60,1 a	18,5 a	139,5 c	1,6 b	17,0 c	21,2 b	29,2 a	19,0 a	6,3 a	27,6 b	14,0 b	2054 b
T5 Etefon - 2	53,3 b	19,2 a	142,4 c	1,2 b	19,2 c	21,8 b	29,5 a	17,4 a	6,3 a	22,7 b	13,1 b	2178 b
T6 Etefon - 3	56,2 b	18,5 a	146,8 c	2,5 b	20,6 c	22,7 b	28,2 a	15,7 a	5,4 a	28,9 b	13,9 b	2182 b
T7 Benz	56,5 b	17,1 a	146,0 c	2,3 b	15,7 c	22,7 b	31,8 a	17,2 a	5,5 a	30,4 b	14,4 b	2429 b
T8 Pro.Ca 1	55,1 b	17,8 a	141,7 c	0,9 b	14,7 c	21,9 b	31,8 a	19,5 a	6,8 a	27,3 b	13,4 b	2360 b
T9 Pro.Ca 2	52,7 b	17,7 a	143,0 c	0,8 b	13,3 c	21,6 b	34,7 a	19,5 a	6,6 a	32,3 b	13,6 b	2298 b
T10 Testemunha	64,9 a	16,3 b	174,9 a	8,0 a	38,5 a	26,1 a	18,7 b	5,8 c	1,4 b	45,4 a	17,2 a	2339 b

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Cloreto de chlormequat (Chlorm), etefon (Etefon), benziladenina (Benz), prohexadiona de cálcio (Pro.Ca): T1 Chlorm 1, T2 Chlorm 2 e T3 Chlorm 3, de 100, 200 e 400 g i.a. ha⁻¹ de cloreto de chlormequat; T4 Etefon 1, T5 Etefon 2 e T6 Etefon 3, 110, 220 e 331 g i.a. ha⁻¹ de Etefon; T7 Benz, 8 g i.a. ha⁻¹ de benziladenina; T8 Pro.Ca 1 e T9 Pro.Ca 2, 68,8 e 110 g i.a. ha⁻¹ de prohexadiona de cálcio.

Para o número de nós e número de vagens por planta (Tabela 4) todos os tratamentos tiveram redução em relação a testemunha. Esse resultado pode ser em função da redução na altura de plantas nos tratamentos com fitorreguladores. Souza et al. (2013) não verificaram efeito sobre o número de vagens em plantas de soja. Por outro lado, Marianno (2016) afirmou que o estágio de aplicação influencia o número de vagens por planta de soja e aplicações em R1 são mais efetivas no aumento do

número de vagens. O número de nós da haste principal de feijão da cultivar Pérola foi reduzido pela aplicação de fitorreguladores, no entanto, para cultivar IAPAR-81 o número de nós aumentou com a aplicação de cloreto de mepiquat e trinexapac-ethyl (Souza et al., 2010b). Os parâmetros altura de planta, número de ramos e número de trifólios por planta de soja diminuiu com a aplicação de cloreto de chlormequat e cloreto de mepiquat (Ramesh e Ramprasad, 2015). Indicando que tais

características são afetadas pela aplicação dos fitorreguladores, porém dependem do produto (tipo e dose) e do genótipo (cultivar).

O rendimento de grãos (Tabela 4) foi afetado pela aplicação dos fitorreguladores. A aplicação do produto cloreto de chlormequat, teve efeito positivo em todas as doses, levando a incremento significativo do rendimento de grãos. Os tratamentos T2 (Chlorm-2), T1 (Chlorm-1) e T3 (Chlorm-3), tiveram RG 34%, 24% e 19%, superior a testemunha, respectivamente, ou seja, a dose de 200 g i.a. ha⁻¹ (T2) se mostrou a melhor. Souza et al. (2013) observaram que os fitorreguladores, de maneira geral não alteram o RG da soja, exceto o trinexapac-ethyl que reduziu o RG da soja. No entanto, Marianno (2016) observou que a cv. NS 5959 IPRO apresentou redução de 12,1% no RG em decorrência da aplicação de cloreto de mepiquat, enquanto a aplicação de cloreto de chlormequat incrementou o RG em 11,7% para esta cultivar, e 9% para a cv. NS 5106 IPRO, dados corroborados pelo presente estudo.

A exposição da soja a benziladenina introduzida no fluxo do xilema através de uma mecha de algodão por 2 semanas durante a antese, gerou incremento de 79% no RG, em casa de vegetação, porém em situação de campo os resultados não diferiram das respectivas testemunhas (Nagel, 2001), indicando respostas distintas conforme o ambiente de cultivo, para este fitorregulador. A aplicação do cloreto de

mepiquat em mistura com ciclanilide resultou maior RG em soja, esse resultado pode estar associado maior número de ramos por planta decorrente da aplicação da mistura destes dois ingredientes ativos (Paikra et al., 2018).

A análise de correlação de Spearman (Figura 2) indicou que grãos com diâmetro de peneira 5,0 mm e 5,5 mm tem correlação positiva com umidade destes grãos no momento da colheita e correlação negativa com peneiras de 6,5 mm e 7,0 mm, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Já grãos com maior diâmetro de peneiras, 6,5 ou 7,0 mm tem correlação positiva com a massa de mil grãos e rendimento de grãos, enquanto a massa de mil grãos tem relação positiva com o rendimento de grãos. O número de nós, número de ramos por planta e grãos com diâmetro de 7,5 mm tem relação positiva com o número de vagens. A umidade dos grãos apresentou correlação negativa com a massa de mil grãos, peneira de 6,5 mm e rendimento de grãos. A correlação existente entre grãos com diâmetro de 7,0 mm, 6,0 mm, massa de mil grãos e umidade com o rendimento de grãos pode explicar em partes porque a aplicação de cloreto de chlormequat independente da dose utilizada, apresentou maior rendimento de grãos em soja, a associação da maior umidade dos grãos com sua menor massa pode ser forte indicativo do seu incompleto desenvolvimento por limitação de fonte (folhas) para este dreno.

	Altura	IPV	NRP	NN	NV	U%	MMG	RG	P7.5	P7.0	P6.5	P6.0	P5.5	P5.0	
Altura	1	0.32	0.39	0.58	0.43	-0.21	0.24	-0.06	0.23	0.32	0.08	-0.37	-0.24	-0.19	
IPV		1	0.01	0.30	0.02	-0.11	0.23	0.08	0.22	0.27	0.13	-0.25	-0.25	-0.24	1
NRP			1	0.56	0.82	0.02	0.37	0.04	0.52	0.49	-0.01	-0.51	-0.33	-0.29	0.8
NN				1	0.71	0.33	0.49	0.13	0.60	0.55	0.14	-0.47	-0.49	-0.49	0.6
NV					1	-0.24	0.48	0.04	0.69	0.52	-0.04	-0.52	-0.36	0.34	0.4
U%						1	-0.79	-0.78	0.04	0.52	-0.8	0.18	0.70	0.71	0.2
MMG							1	0.59	0.42	0.89	0.69	-0.6	-0.9	-0.88	0
RG								1	-0.28	0.38	0.8	-0.06	-0.6	-0.61	-0.2
P7.5									1	0.59	-0.24	-0.7	-0.34	-0.28	-0.4
P7.0										1	0.51	-0.9	-0.9	-0.81	-0.6
P6.5											1	-0.22	-0.8	-0.81	-0.8
P6.0												1	0.65	0.51	-1
P5.5													1	0.91	
P5.0														1	

Figura 2. Correlação de Spearman entre as variáveis estudadas altura de plantas, inserção da primeira vagem (IV), número de ramos, número nós, número vagens, umidade, massa de mil grãos, peneira 7,5 (mm), peneira 7,0 (mm), peneira 6,5 (mm), peneira 6,0 (mm), peneira 5,5 (mm), peneira 5,0 (mm) e rendimento de grãos de soja em função da aplicação de distintos fitorreguladores de crescimento, Lages – SC.

Conclusões

Em condições de casa de vegetação a aplicação do cloreto chlormequat é ineficaz na redução da altura da planta e na produção de grãos da soja, cultivar TMG 7062 IPRO, independente da dose utilizada (de 12,5 a 75 g i.a. ha⁻¹) e do estágio fenológico de sua aplicação (V5, V9 ou R1). Embora apresente pequeno efeito positivo sobre número de grãos por planta e na massa de 100 grãos.

No experimento conduzido em campo, os tratamentos com cloreto de chlormequat, benziladenina, prohexadiona cálcica e etefon, aplicados sobre plantas no estágio V9, são efetivos em reduzir a altura das plantas.

A massa de mil grãos (menor) e umidade (maior) foram afetadas negativamente pela aplicação dos fitorreguladores prohexadiona de cálcio, etefon e benziladenina. Mas, o cloreto de chlormequat em todas as doses utilizadas (100, 200 ou 400 g i.a. ha⁻¹)

resultaram em plantas mais compactas, com maior diâmetro de sua haste e maior rendimento de grãos (>19%) na soja cv TMG 7062 IPRO.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento Fapesc, Uniedu/Fumdes, CNPq e Capes pelo apoio financeiro a pesquisa realizada.

Referências

BOSSOLANI, J.W.; LAZARINI, E.; PARENTE, T.L.; CAIONI, S.; SOUZA, L.G.M.; ALCALDE, A.M. Doses e épocas de aplicação de etil-trinexapac no desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja. *Acta Iguazu*, v.8, n.1, p.68-75, 2019.

BUZZELLO, G.L. **Uso de reguladores no controle do crescimento e no desempenho agrônômico da cultura**

- da soja cultivar CD 214 RR. 2010. 157p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2010.
- CAMPOS, M.F.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.R. Desenvolvimento da parte aérea de plantas de soja em função de reguladores vegetais. **Revista Ceres**, v.56, p.74-79, 2009.
- COELHO, C.M.M.; COIMBRA, J.L.M.; SOUZA, C.A.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A.F. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v.37, n.5, p.1241-1247, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (CQFS-RS/SC) **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11^a ed.** Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 400 p.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BUR-MOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v.11, n.6, p.929-931, 1971.
- FRAHM, C.S.; TAUTGES, N.E.; JUNGERS, J.M.; EHLKE, N.J.; WYSE, D.L.; SHEAFFER, C.C. Responses of intermediate wheatgrass to plant growth regulators and nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, v.110, p.1028-1035, 2018.
- GARCIA, R.A.; TOLEDO, M.Z.; ROSOLEM, C.A. Growth regulator losses from cotton plants due to rainfall. **Scientia Agrícola**, v.67, n.2, p.158-163, 2010.
- KAUR, J.; RAM, H.; GILL, B.S.; KAUR J. Agronomic performance and economic analysis of soybean (*Glycine max*) in relation to growth regulating substances in Punjab, India. **Legume Research**, v.38, n.5, p.603-608, 2015.
- MARIANNO, F.H.F. **Desempenho produtivo da soja submetida a aplicação de fitorreguladores na fase reprodutiva e a dois regimes hídricos no enchimento de grãos.** 2016, 100p, Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.
- NAGEL, L.; BREWSTER, R.; RIEDELL, W.E.; REESE, R.N. Cytokinin regulation of flower and pod set in soybeans (*Glycine max* (L.). **Annals of Botany**, v. 88, n. 1, p. 27-31, jul. 2001.
- PAIKRA, V.; PAIKRA, I.S.; LAKPALE. R.; SINGH, P. Effect of cyclanilide + mepiquat chloride on growth and productivity of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 1, p.2167-2170, 2018.
- R Core Team. 2017. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- RAMESH, R.; RAMPRASAD, E. Effect of plant growth regulators on morphological, physiological and biochemical parameters of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Biotechnology and Bioforensics**. Singapura: Springer, 2015. p. 61-71.
- REN, B.; HU, J.; ZHANG, J.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B. Spraying exogenous synthetic cytokinin 6-benzyladenine following the waterlogging improves grain growth of waterlogged maize in the field. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.205, n.6, p.616-624, 2019.
- SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M.; CASA, R.T.; SANGOI. L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v.29, n.3, p.634-643, 2013.

SOUZA, C.A.; COELHO, C.M.M.; STEFEN, D.L.V.; SACHS, C.; FIGUEIREDO, B.P. Atributos morfométricos e componentes da produção do feijoeiro sob efeito de redutores de crescimento. **Científica**, v.38, n.2, p.30-38, 2010b.

SOUZA, C.A.; GAVA, F.; CASA, R.T.; KUHNEN JUNIOR, P.R.; BOLZAN, J.M. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja Roundup Ready TM. **Planta Daninha**, v.28, n.4, p.887-896, 2010a.

SPITZER, T.; BÍLOVSKI, J.; KAZDA, J. Effect of using selected growth regulators to reduce sunflower stand height. **Plant Soil and Environment**, v.64, n.7, p.324-329, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.720 p.

TARUN, K.; SAMAIYA, R.K.; YOGENDRA, S.; DWIVEDI, S.K.; MEENA K.C. Effect of foliar application of plant growth retardants on growth, yield and yield attributing parameters of soybean (*Glycine max* L.) Merrill. **International Journal of Agriculture Sciences**, v.8, n.50, p.2158-2162, 2016.

ZANON, A.J.; SILVA, M.R.; TAGLIAPIETRA, E.L.; PERA, J.C.; BAXAIRA, K.P.; RICHTER, G.L.; DAURTE JUNIOR, A.J.; ROCHA, T.S.M.; WEBER, P.S.; STRECK, N.A. **Ecofisiologia da soja visando altas produtividades**. 1a. ed. Santa Maria/RS: Pallotti, 2018. 277 p.