

**Toxicidade de Cádmio em diferentes cultivares de Soja****Cadmium toxicity in different soybean cultivars**

DOI:10.34117/bjdv6n7-303

Recebimento dos originais: 10/06/2020

Aceitação para publicação: 14/07/2020

**Rafaella Oliveira Willinghoefer**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônoma, Mestranda em Produção Vegetal

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: rafaellaoliveiraw@hotmail.com

**Emanuela Maria Carmo Arantes**

Formação acadêmica mais alta: Estudante de iniciação científica da Faculdade de Agronomia

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: emanuelamariaca@gmail.com

**Lawren Kristine Oliveira Morais**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônoma, Mestranda em Produção Vegetal

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: lawrenmorais@hotmail.com

**Jonathan Mendonça dos Santos**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: jonathanmsantos98@gmail.com

**Marco Tulio Moura Leite**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: mrcotml@gmail.com

**Gabriel Elias Soares Araújo**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: batham\_elias@hotmail.com

**Ederson Serpa Braga**

Formação acadêmica mais alta: Eng. Agrônomo

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: edersoncrf2014@gmail.com

**Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão**

Formação acadêmica mais alta: Dra. Ciência do Solo

Instituição: Universidade de Rio Verde

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, caixa postal 104. CEP: 75901-970

E-mail: veridiana@unirv.edu.br

**RESUMO**

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) se destaca no mundo, como uma das culturas de maior importância econômica. Os elementos traço (ETs) como o cádmio (Cd) podem ser absorvidos pelas plantas e incorporados nas cadeias tróficas, trazendo riscos aos organismos expostos. Objetivou-se avaliar a toxicidade do Cd em cultivares de soja com diferentes ciclos de maturação (precoce, médio e tardio). O experimento foi conduzido em casa de vegetação onde as diferentes cultivares foram submetidas a toxidez de Cd. Foram adicionadas doses do ET nas sementes de soja, onde foram avaliados a germinação, altura de plantas (AP), comprimento de raiz (CR), massa fresca de parte aérea e de raiz (MFPA e MFR) e massa seca de parte aérea e de raiz (MSPA e MSR). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x11 (3 doses de Cd, 0, 2,5 e 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  e 11 cultivares) com 3 repetições. Os resultados foram submetidos a ANAVA e testados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, se observada diferença significativa. Além da análise estatística clássica, foi realizada a análise de componentes principais (PCA). A presença do elemento traço Cd afetou a germinação das cultivares de soja. As cultivares de ciclo de maturação tardio sofreram efeito na dose maior 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, enquanto as de ciclo precoce e médio foram afetadas na dose 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  do elemento. A cultivar SYN 13671 apresentou os maiores prejuízos no desenvolvimento devido a exposição ao Cd. As cultivares sem exposição ao Cd apresentaram comportamentos semelhantes agrupando-se nas partes positivas dos componentes principais 1 e 2, variando de 0 a 5 positivo. Na dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , não houve agrupamento e para a dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , as cultivares apresentaram médio agrupamento. Conclui-se que a presença do cádmio afeta a maioria das cultivares de soja comercializadas, podendo trazer prejuízos para a cultura.

**Palavra-chave:** Elemento-traço, germinação, fitotoxidez.**ABSTRACT**

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) stands out in the world, as one of the most economically important crops. Trace elements (TEs) such as cadmium (Cd) can be absorbed by plants and incorporated into food chains, bringing risks to exposed organisms. The objective was to evaluate the toxicity of Cd in soybean cultivars with different maturation cycles (early, medium and late). The experiment was carried out in a greenhouse where the different cultivars were submitted to Cd toxicity. TE doses were added to the soybean seeds, where germination, plant height (PH), root length (RL), mass fresh aerial and root (MFA and MFR) and dry aerial and root mass (DA and DR) The design used was completely randomized, in a 3x11 factorial scheme (3 doses of Cd, 0, 2.5 and 5.0  $\mu\text{g L}^{-1}$  and 11 cultivars) with 3 replicates. The results were submitted to ANAVA and tested by the Scott-Knott test at 5% probability, if a significant difference was observed. In addition to classical statistical analysis, principal component analysis (PCA) was performed. The presence of the trace element Cd affected the germination of soybean cultivars. The cultivars of late maturation cycle suffered an effect in the higher dose 5.0  $\mu\text{g L}^{-1}$  of Cd, while those of early and medium cycle were affected in the dose 2.5  $\mu\text{g L}^{-1}$  of the element. The cultivar SYN 13671 showed the greatest losses in development due to exposure to Cd. The cultivars without exposure to Cd showed similar behaviors, grouping in the positive parts of main components 1 and 2, ranging from 0 to 5 positive. At the dose of 2.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , there was no clustering and for the dose of 5.0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , the cultivars showed medium clustering. It is concluded that the presence of cadmium affects the majority of soybean cultivars marketed, and may cause damage to the crop.

**Key word:** Trace element, germination, phytotoxicity.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) se destaca no mundo, como uma das culturas de maior importância econômica. Os seus grãos são utilizados pela agroindústria, em especial para produção de óleo vegetal e rações animal, além do uso como alimento. Nos últimos anos a utilização da soja cresceu bastante como fonte de biocombustível (EMBRAPA-SOJA, 2015).

Altas produtividades de soja dependem do manejo dado a todo o sistema, destaca-se o manejo da fertilidade do solo (FAGERIA et al., 1995). Os insumos utilizados na calagem e adubação que visam a construção da fertilidade do solo podem apresentar na sua composição elementos-traço (ETs), como cádmio (Cd) em variadas concentrações (CAMPOS et al., 2005). As intoxicações por elementos-traço que ocorrem com mais frequência são pelos elementos chumbo e cádmio que são tóxicos, podendo assim alterar as estruturas celulares, enzimas e podendo substituir ao metabolismo dos organismos vivos, micronutrientes como o cobre e o zinco (VIRGA et al., 2007).

Normalmente, a raiz é o órgão prioritário de entrada e acumulação dos ETs. A toxidez de um elemento deve ser acompanhada e por isso medida pelas seguintes variáveis: massa fresca e seca de parte aérea e de raiz, germinação, altura de plantas e comprimento de raiz (PAVAN, 1996). Um efeito claro da toxidez ocasionado pelo Cd pode ser observado na germinação. Quando sementes são postas para germinar em ambiente com altos níveis de cádmio, a atividade das  $\alpha$  e  $\beta$  amilases é reduzida, comprometendo a respiração (CHUGH & SAWHNEY, 1996).

A presença de Cd causa efeitos na atividade enzimática. Segundo Kurdziel et al. (2004), o alto potencial da ação do metal Cd, são devido as enzimas e proteínas, que contêm grupos sulfidril (SH). Vários exemplos deste efeito foram descritos para enzimas do Ciclo de Krebs na mitocôndria (SHAW et al., 2004).

Baseado no exposto, verifica-se que o Cd pode causar sérios danos às plantas o que se faz necessário responder: Materiais de soja sofrem negativamente na presença de Cd? Para responder esta pergunta, objetivou-se avaliar a toxicidade do Cd em cultivares de soja com diferentes ciclos de maturação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade de Rio Verde (UniRV), coordenadas 17°47'18"S 50°57'31"W, segundo Koppen, altitude 739 m, onde foram cultivadas 11 cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação (precoce: 95-100 dias, médio: 110-115 dias e tardio: 120-130 dias), no delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições em esquema

fatorial 3x11. , sendo o primeiro fator as doses utilizadas( 0, 2,5 e 5  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e o segundo fator as cultivares analisadas (TMG7063, M7110, NS7007, CD2700, Guaiá7487, M7198, ANTA82, NS7505, SYN13671, M7739 e NS7901).

As cultivares de ciclo precoce avaliadas foram: TMG7063, M7110, NS7007, CD2700. As de ciclo médio foram compostas por: Guaiá7487, M7198, ANTA82, NS7505, SYN13671 e as de ciclo tardio foram: M7739, NS7901.

Foi realizado a semeadura de 10 sementes por tratamento, em bandejas com areia lavada e peneirada, na proporção de 1:1 (areia fina e grossa), para que não ocorresse interferência de outros contaminantes. Cada bandeja possuía 1,4 kg de areia onde foram aplicadas a doses Cd. As doses utilizadas foram de 0 (testemunha), 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  e 5  $\mu\text{g L}^{-1}$  para cada cultivar. Para determinação das doses, foi levado em consideração o teor máximo dos ETs na solução do solo (CONAMA, 2012), sendo esta a menor dose utilizada.

A avaliação da germinação foi realizada após os 15 dias da semeadura, quantificando-se as plântulas normais, anormais, infeccionadas e mortas, conforme as regras para análises de sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem (%).

Após as avaliações de germinação, foram realizadas medições dos parâmetros: altura de plantas (AP), comprimento de raiz (CR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANAVA) pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014). Quando houve significância, as médias foram submetidas ao teste Scott-Knott para diminuição de ambiguidades com 5% de probabilidade.

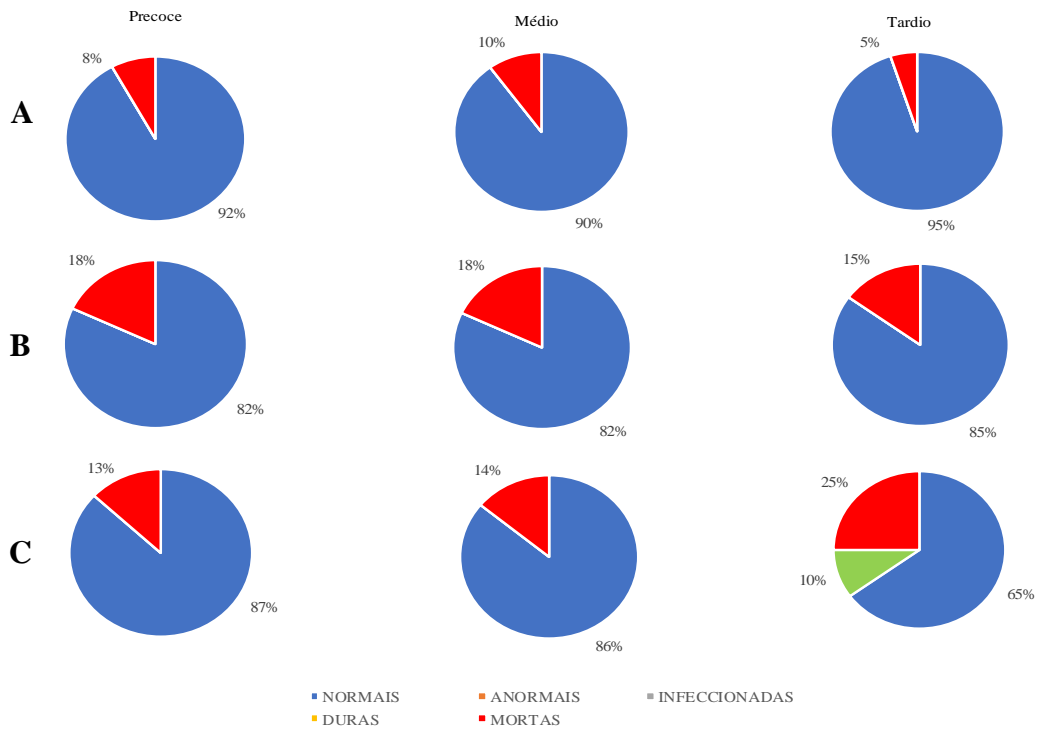
Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), com utilização do programa Past3 (HAMMER, 2017). Foram realizadas duas formas de análise dos dados, onde na primeira foram utilizados os resultados de cada cultivar nas três doses de Cd avaliadas (0,0, 2,5 e 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). No segundo formato, foram utilizados as 11 cultivares agrupadas por doses de Cd.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

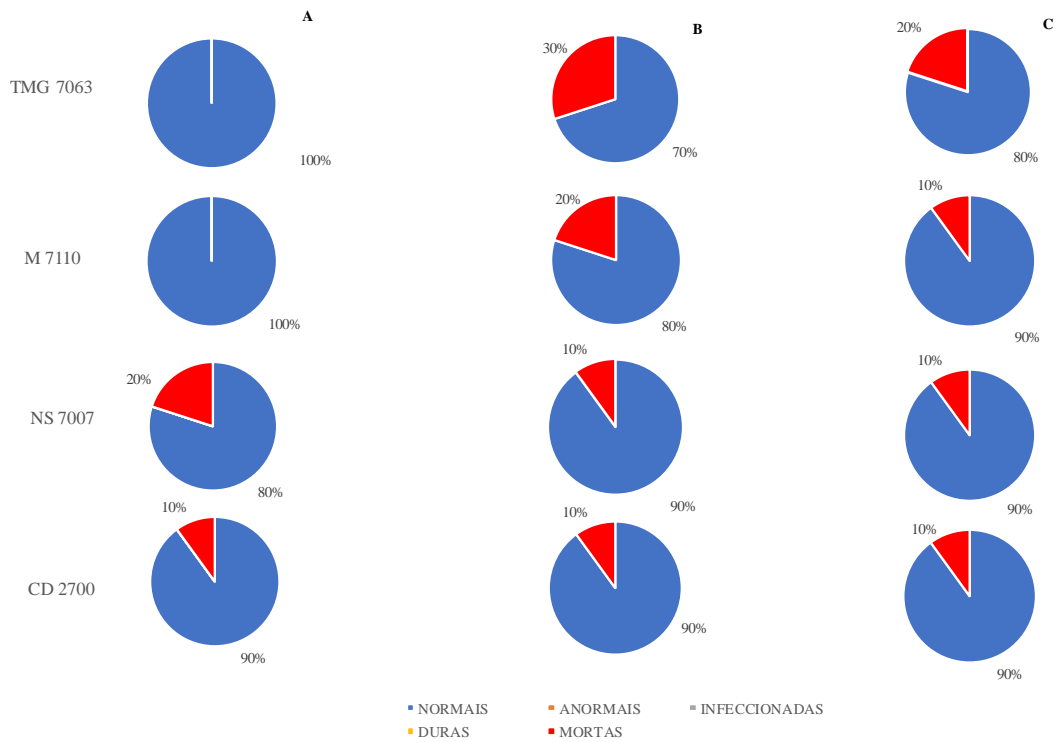
Os resultados obtidos para toxicidade de Cd na média das cultivares de ciclo precoce (TMG7063, M7110, NS7007, CD2700) permitem observar que na dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  houve maior toxicidade, apresentando 18% de morte das sementes na dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ . O mesmo resultado foi encontrado em cultivares do ciclo médio (GUAÍÁ7487, M7198, ANTA82, NS7505, SYN13671). Em cultivares de ciclo tardio (M7739, NS7901), a maior toxicidade do elemento Cd apresentou-se na dose 5 $\mu\text{g L}^{-1}$  com 25% de mortalidade e 10% com anormalidades nas sementes (Figura 1).

A dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd provocou a maior redução da porcentagem de germinação. Quando comparado os ciclos, os resultados mostram que cultivares de ciclo tardio sofrem efeito na dose maior  $5\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, enquanto as de ciclo precoce e médio sofrem efeito na dose  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$  do elemento (Figura 1).

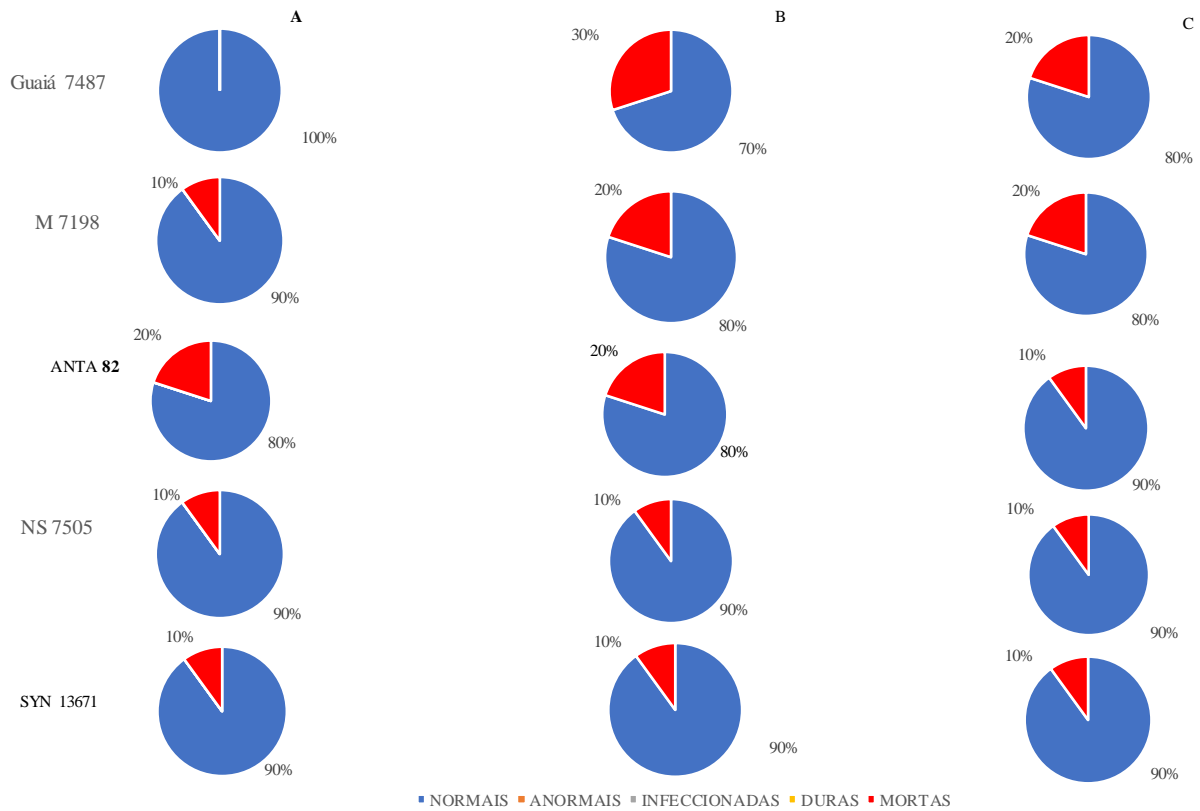
Figura 1 - Toxicidade média de doses de Cd em cultivares de ciclos precoce, médio e tardio. A: Testemunha, B:  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  e C:  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ .



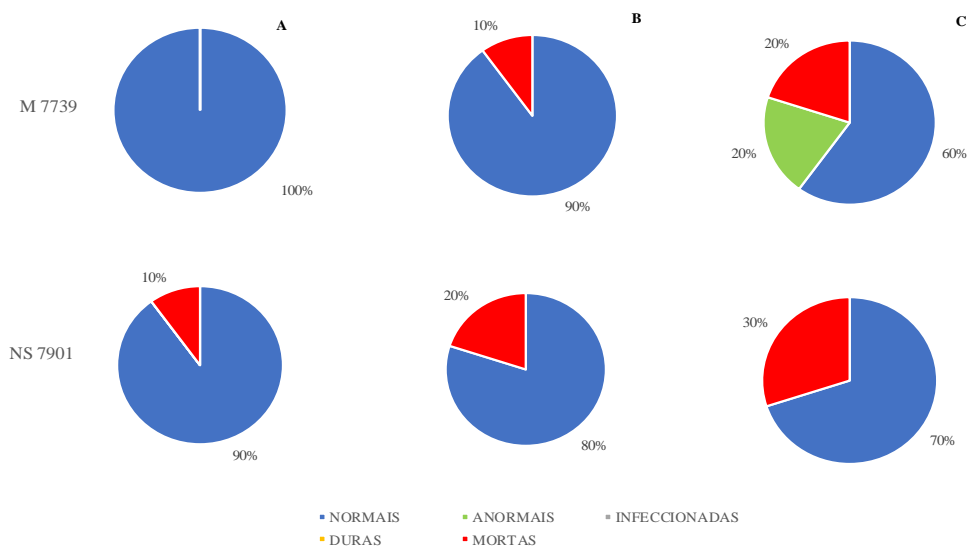
Quando se compara as cultivares de ciclo precoce, observa-se que as mais sensíveis na dose  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$ , foram a TMG7063 e M7110, pois apresentaram respectivamente 30 e 20% de plântulas mortas. Entretanto, a cultivar TMG7063 foi mais sensível na maior dose de Cd,  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , apresentando 20% de mortalidade (Figura 2).

Figura 2 - Toxicidade de Cd em cultivares de ciclo de maturação precoce. A: Testemunha, B: 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  e C: 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Em cultivares do ciclo médio, na dose 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , foram mais sensíveis as cultivares GUAIÁ7487 com 30% de mortalidade, ANTA82 e M7198 ambas com 20% de plântulas mortas. Entretanto, na maior dose, 5  $\mu\text{g L}^{-1}$  a cultivar GUAIÁ7487 apresentou 20% de plântulas mortas (Figura 3).

Figura 3 - Toxicidade Cd em cultivares de ciclo de maturação médio. A: Testemunha, B: 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  e C: 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Em cultivares do ciclo tardio, a cultivar M7739 apresentou 20% de anormalidade e 20% das plântulas mortas, porém a cultivar NS7901 apresentou 30% de mortalidade, ambas na dose 5  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd (Figura 4).

Figura 4 - Toxicidade Cd em cultivares de ciclo de maturação tardio. A: Testemunha, B: 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  e C: 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

O potencial de germinação varia conforme a espécie e o valor de pH do solo. Em maiores valores de pH do solo, a germinação foi maior quando comparados ao pH mais baixo, o que sugere haver menor translocação de Cd para a parte aérea, promovendo então maior toxicidade na raiz. Estes resultados sugerem que a calagem atenua significativamente os efeitos tóxicos do Cd (ROVEDA et al., 2014).

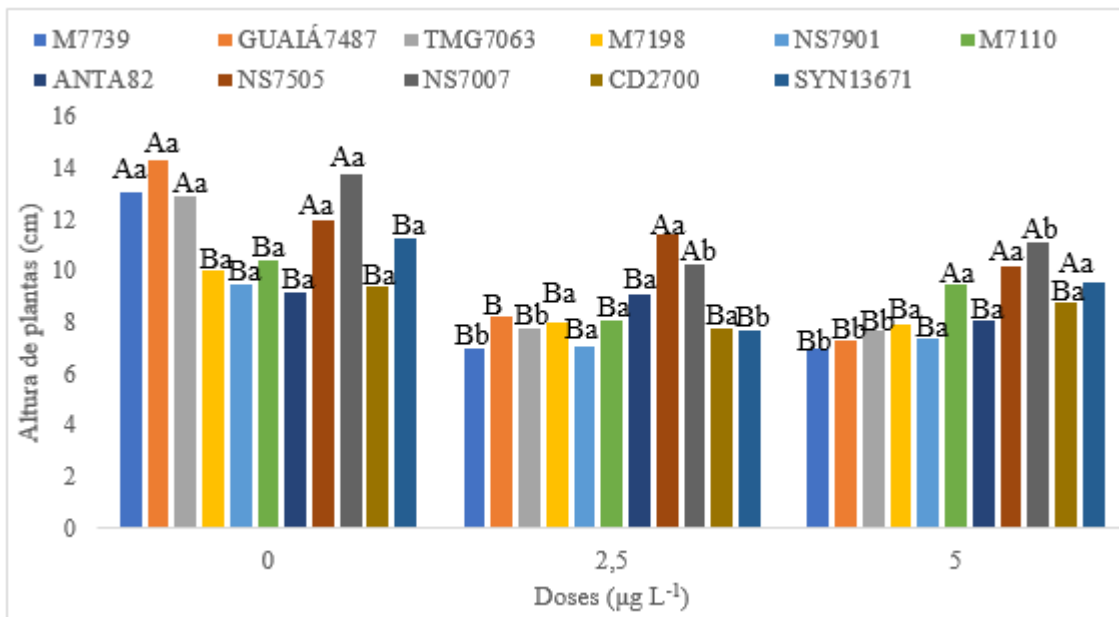
Resultados sugerem que a germinação é menos sensível à toxicidade de Cd do que o crescimento. Isto ocorre porque no estágio inicial do desenvolvimento (logo após a germinação), as plântulas são muito sensíveis ao estresse hídrico e é provável que o efeito mais acentuado neste parâmetro seja resultante da interferência no equilíbrio interno de água, uma vez que o Cd afeta a permeabilidade da membrana celular (BENAVIDES et al., 2005).

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por AN (2004), que considerou a germinação de sementes de milho, trigo e sorgo como um parâmetro de baixa sensibilidade na avaliação da toxicidade de Cd, comparado aos parâmetros crescimento da parte aérea e de raiz. É sabido que quando sementes são postas a germinar em ambientes com altos níveis de cádmio, a atividade das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$  amilase é significativamente reduzida, comprometendo a respiração (CHUNG & SAWHNEY, 1996).

Os resultados da ANAVA mostram que ocorreram diferentes respostas nos parâmetros biométricos das cultivares de soja testadas em função da presença de cádmio no sistema. As cultivares apresentaram diferenças significativas quanto a altura de plantas (AP) nas doses de Cd avaliadas. Quando as sementes de soja não foram submetidas a presença do elemento traço (ET), foi observado que as cultivares M7739, Guaiá, TMG7063, NS7505, NS7007 e SYN13671 apresentaram as maiores AP, diferindo das outras cinco cultivares testadas. A mesma interpretação pode ser realizada quando há exposição das sementes ao Cd. Na dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  observa-se que as maiores AP ocorreram nas cultivares NS7005 e NS7007 e na dose de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , isto aconteceu na M7110, NS7505, NS7007 e SYN13671 (Figura 5).



Figura 5 - Médias de alturas de plantas (cm) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.



Verifica-se que as doses de Cd influenciaram na AP de algumas cultivares, dentre as cultivares com maior AP, observa-se que a M7739, Guaiá e TMG7063 reduziram a AP independente da dose de Cd a que as sementes foram expostas. Por outro lado, a cultivar NS7505, não sofreu alterações na sua AP ao nível de diferir significativamente a 5% de probabilidade. As cultivares consideradas inferiores, com relação a AP (verificadas pela dose zero de Cd) mostraram crescimento da parte aérea estáveis, pois não houve diferença indicada pela ANAVA, exceto na cultivar SYN13671, pois reduziu sua AP quando da exposição a dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd (Figura 5).

Katheeb et al., (2014) avaliaram o efeito do  $\text{Cd}^{+2}$  no crescimento e outros processos em chicória anã (*Cichorium pumilum*), utilizando doses de 50 a  $1600 \mu\text{M}$  ( $5,62$  a  $180 \text{mg kg}^{-1}$ ) de Cd e observaram que ele afetou severamente os processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares dessa espécie.

Os resultados obtidos permitem afirmar que, para a variável altura de plantas (AP) em relação as doses de Cd 0; 2,5 e  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , quando comparando-se as 11 cultivares dentro da mesma dose, foi apresentado diferença significativa em todas as doses estudadas, de acordo com a ANAVA. Na dose de  $0 \mu\text{g L}^{-1}$ , 5 das 11 cultivares apresentaram os melhores resultados de AP, diferente das outras 6, que apresentaram os menores AP. Onde obteve-se médias que variaram de  $14,26 \text{cm}$  (GUAIÁ7487 dose  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) a  $6,91 \text{cm}$  (M7739 dose  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Figura 5).

Houve redução nas alturas de plantas, e é possível destacar que a cultivar GUAIÁ 7487 foi a que apresentou os maiores prejuízos, e a cultivar NS 7505 a que apresentou os menores prejuízos,

não sendo afetada, independente da dose aplicada. Lembra-se que para a dose de  $0 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, em todas as variáveis que foram estudadas, os resultados obtidos são resultados fisiológicos de cada cultivar.

Para a dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, apenas duas das 11 cultivares apresentaram os maiores valores de AP, sendo as cultivares NS7505 e NS7007 (11,40 e 10,32 cm). Diferente das demais que de acordo com a estatística apresentaram diferença significativa. Já para a dose de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, o mesmo comportamento se apresenta para as cultivares, M7110, NS7505, NS7007 e SYN13671, com os maiores resultados (9,52; 9,62; 10,28 e 11,18 cm), diferente das demais estatisticamente.

Foi possível observar que o desenvolvimento da parte aérea foi prejudicado na dose 2,5 e 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd. A literatura mostra, que esta redução no desenvolvimento pode ser resultado da redução da fotossíntese e pela deficiência de alguns elementos (SOUZA, 2003).

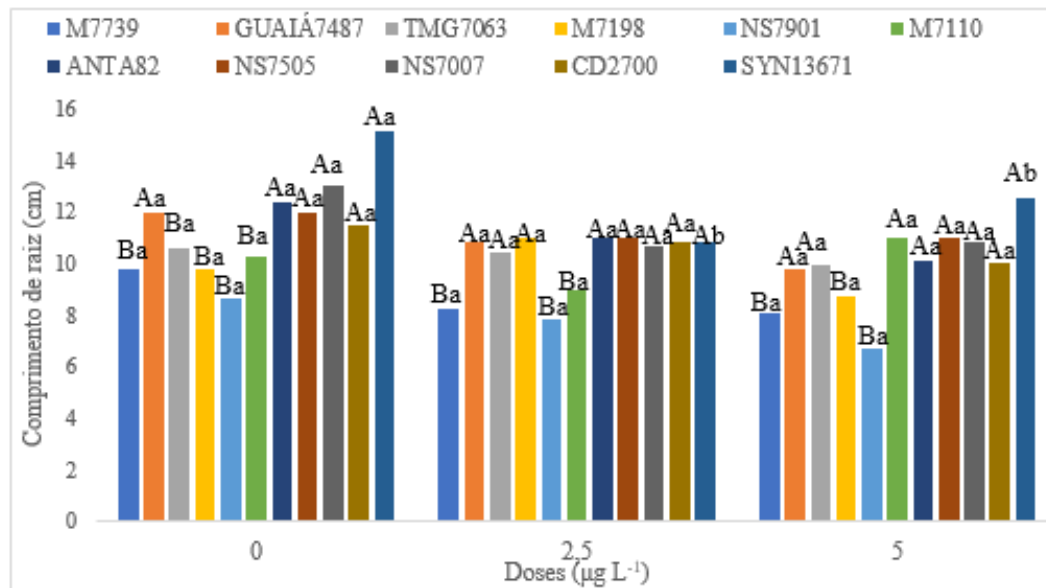
Resultados semelhantes foram observados em estudos com girassol que mostram que o Cd afeta negativamente o crescimento das plantas (CHAVES et al., 2011). A redução de crescimento do caule e da planta como um todo pode ser atribuída a redução da área foliar, aumento da clorose e necrose nas folhas e pela redução do sistema radicular das plantas. Tais sintomas são reflexos da concentração e distribuição de cádmio na planta e das interações desse elemento junto ao complexo de troca nas raízes do girassol.

Quando comparando cada cultivar em todas as doses de Cd na variável altura de plantas (AP), (representado pelas letras minúsculas), das 11 cultivares que foram estudadas, 5 apresentaram diferença significativa, M7739, GUAIÁ7487, TMG7063, NS7007 e SYN13671, apresentando prejuízos independente da dose aplicada.

Para a variável comprimento de raiz (CR), quando comparando as 11 cultivares na mesma dose, representado pelas letras maiúsculas, para a dose  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , 6 cultivares apresentaram os maiores resultados de CR, diferente das demais que diferiram significativamente. Obteve-se médias que variaram de 15,10 cm (SYN13671 dose  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) até 6,71 cm (NS7901 dose  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Figura 6).

A dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd resultou em três das 11 cultivares com os menores CR M7739 (8,26 cm), NS7901 (7,85 cm) e M7110 (8,92 cm). Diferentemente das demais que não diferiram. Para a dose de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, houve a mesma tendência da dose  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Apenas três das 11 cultivares apresentaram os menores CR (M7739 (8,26 cm), M7198 (8,77 cm) e NS7901 (7,85 cm)). As demais não apresentaram diferença significativa. É possível afirmar que a cultivar M7739 foi a cultivar que apresentou os maiores prejuízos na presença do Cd, pois seu CR foi inferior as demais em todas as doses estudadas.

Figura 6 - Médias de comprimento de raiz (cm) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.



Estes resultados indicam uma possível tolerância por parte de 6 das cultivares. De acordo com a literatura, é comum inferir que esta tolerância da planta ao cádmio pode ser atribuída a mecanismos de defesa, visto que estudos têm mostrado que plantas submetidas ao metal em questão aumentam a produção de fitoquelatinas (BARCELÓ POSCHENRIEDER, 1992). Souza (2003) atribui a redução no crescimento das raízes em milho híbrido tratado com cádmio, a fatores como menor respiração radicular, danos na permeabilidade das células e interferência nas membranas das células radiculares, além de danos sobre ATP-ases e outros transportadores.

O efeito inibitório do Cd no crescimento de raízes também é atribuído à redução da mitose, danos no aparelho de Golgi, a síntese reduzida de componentes de parede celular e alterações no metabolismo de polissacarídeo. Em espécies como o milho (PÁL et al., 2006), a presença do Cd não parou a divisão celular mas inibiu o alongamento das células (LUX et al., 2010).

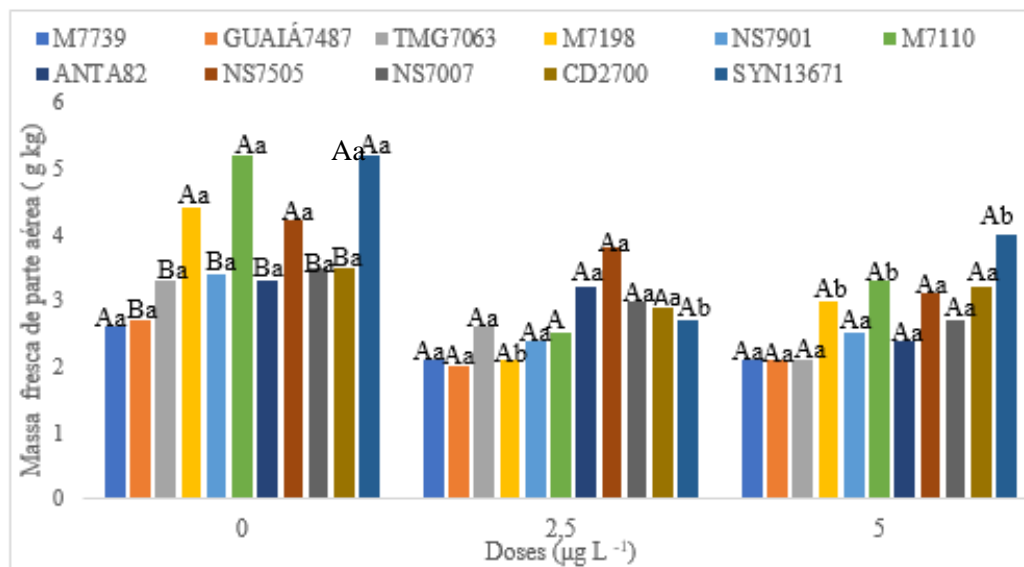
Quando comparando cada cultivar em todas as doses de Cd para CR (representado pelas letras minúsculas), das 11 cultivares que foram estudadas, apenas uma delas apresentou diferença significativa, a SYN13671. A cultivar apresentou prejuízos independente da dose aplicada, sendo este maior conforme o aumento da dose.

Para a variável massa fresca de parte aérea (MFPA) as médias das cultivares variaram de 5,24 g (SYN13671 dose  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) a 2,04 g (GUAIÁ7487 dose  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Comparando-se as cultivares na mesma dose, verifica-se na dose de  $0 \mu\text{g L}^{-1}$  de Cd que apenas quatro das 11 cultivares apresentaram os maiores resultados a M7198 (4,48 cm), M7110 (5,20 cm), NS7505 (4,26 cm) e

SYN13671 (5,24 cm) diferindo-se das demais. Na dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd assim como na dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , não foi demonstrado diferença significativa entre as cultivares para a dose (Figura 7).

Quando comparando cada cultivar em todas as doses de Cd (representado pelas letras minúsculas), das 11 cultivares que foram estudadas, três delas diferiam das demais (M7198, M7110 e SYN13671), apresentando prejuízos na MFPA independente da dose aplicada, mas este sendo maior na dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 7). Resultados obtidos por Lagriffoul (1998), que trataram plantas de milho em solução nutritiva com Cd, apresentaram diminuição da parte aérea e redução de biomassa. Wojcik e Tukendorf (1999) trabalhando com milho, trigo e centeio verificaram que a presença de Cd causou inibição do crescimento radicular, diminuição da massa fresca e do conteúdo de água nas raízes e na parte aérea.

Figura 7 - Médias de massa fresca de parte aérea (MFPA) (g kg) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.



A figura 8 mostra os resultados de massa fresca de raiz (MFR). Observa-se que as médias que variaram de 4,15 g na cultivar CD2700 sem aplicação de Cd a 1,41 g na cultivar ANTA82 na dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

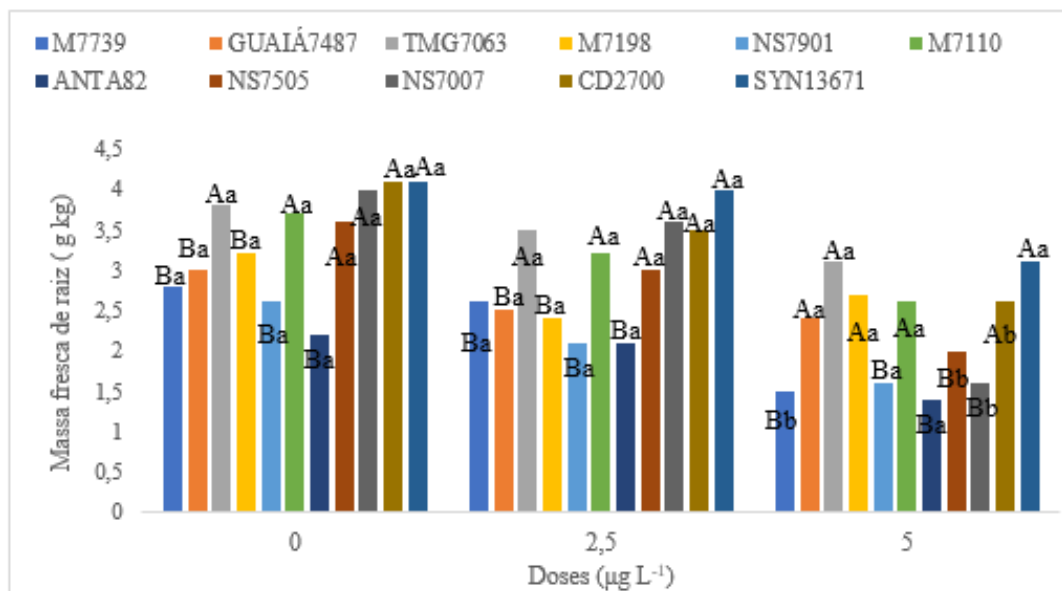
Comparando-se as cultivares dentro da mesma dose, verifica-se que na ausência de Cd as cultivares diferiram, tendo as cultivares TMG7063, M7110, NS7505, NS7007, CD2700 e SYN13671 as respectivas MFR:3,83; 3,77; 3,66; 4,01; 4,15 e 4,14 cm, sendo estas as maiores. Entretanto, as mesmas apresentaram-se superiores as demais doses.

Assim como na dose 0,0, na dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, as mesmas 6 cultivares destacaram-se, diferindo estatisticamente das demais. Já para a dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  de cd, das 11 cultivares, 5 se

mostraram melhores, com maiores resistências a toxicidade do Cd (M7739, NS7901, ANTA82, NS7505 e NS7007).

Quando comparado cada cultivar em todas as doses de Cd (representado pelas letras minúsculas), das 11 cultivares que foram estudadas, apenas 4 delas apresentaram diferença significativa, M7739, NS7505, NS7007 e CD2700 apresentando redução da MFR, independente da dose aplicada, mas foram agravados com o aumento da dose. Resultados semelhantes foram observados em estudos com o milho, que quando tratado com Cd, constatou-se diminuição da massa fresca de raízes (GALLI et al., 1996).

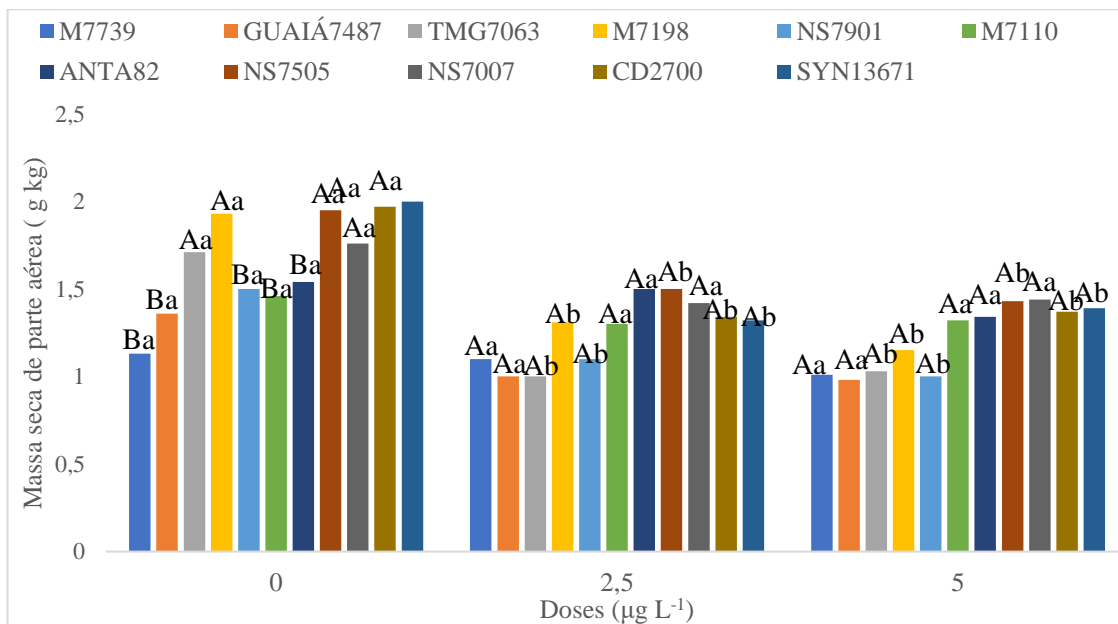
Figura 8 - Médias de massa fresca de raiz (MFR) (g kg) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.



Para a variável massa seca de parte aérea (MSPA), comparando todas as cultivares dentro da mesma dose de Cd, na dose de  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , 6 das 11 cultivares que foram estudadas se apresentaram superiores as demais. As médias obtidas variaram de  $1,99 \text{ g}$  (SYN13671 dose  $0,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) a  $0,98 \text{ g}$  (GUAIÁ7487 dose  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Para as doses de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$  e de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$  ambas não apresentaram diferença significativa (Figura 9).

Quando comparado cada cultivar em todas as doses de Cd, observa-se que das 11 cultivares que foram estudadas, 6 apresentaram diferença significativa, sendo elas as cultivares TMG7063, M7198, NS7901, NS7505, CD2700 e SYN13671. Os resultados obtidos mostram que a redução na MSPA ocorreu independente da dose aplicada e conforme o aumento da dose, maior foi o prejuízo na MFPA.

Figura 9 - Médias de massa seca de parte aérea (MSPA) (g kg) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.

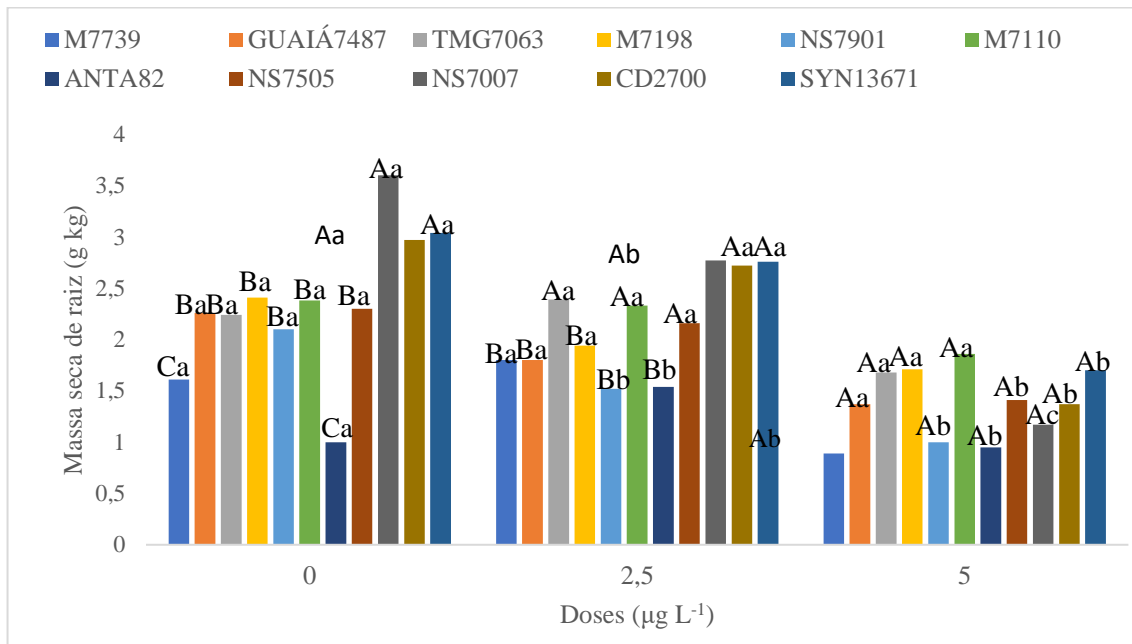


A matéria seca das plantas reduziu conforme adição de Cd. Em concentrações mais elevadas de Cd em solução, a abertura estomática, transpiração, fotossíntese e os mecanismos de absorção passam a ser afetados pela toxicidade do elemento acarretando menores taxas de absorção e consequentemente menor acúmulo de matéria seca (BENAVIDES et al., 2005).

Para a característica avaliada massa seca de raiz (MSR), quando se comparam as 11 cultivares em cada dose, a ausência de Cd proporcionou diferença significativa, sendo os melhores resultados obtidos nas cultivares NS7007, CD2700 e SYN13671. Seis cultivares apresentaram-se como resultados medianos (GUAIÁ7487, TMG7063, M7198, NS7901, M7110 e NS7505), e como piores resultados estão as cultivares M7739 e ANTA82. A MSP variou entre 3,60 g na cultivar NS7007 com ausência de Cd à 0,89 g na cultivar M7739 com adição de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Para a dose de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, 6 das 11 cultivares apresentaram os melhores resultados de acordo com a estatística. E para a dose de 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, não houve diferença significativa entre as cultivares na dose (Figura 10).

Comparando-se cada cultivar em todas as doses de Cd, das 11 cultivares que foram estudadas, seis delas apresentaram diferença significativa, M7739, NS7901, NS7505, NS7007, CD2700 e SYN13671 apresentando redução na MSR independente da dose aplicada. Conforme houve o aumento da dose maior foi o prejuízo. Destaca-se a cultivar NS7007 que apresentou os resultados mais evidentes de toxicidade pelo Cd, para esta variável.

Figura 10 - Médias de massa seca de raiz (MSR) (g kg) de onze cultivares de soja, de diferentes ciclos de maturação, em relação a doses de Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Letras maiúsculas comparam todas as cultivares dentro da mesma dose e letras minúsculas comparam cada cultivar isolada nas três doses. Letras iguais, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.



A diminuição da produção de massa de matéria seca já foi observada por Shah e Dubey (1995), ao estudarem o efeito do Cd em arroz observaram que este elemento provocou diminuição no crescimento das raízes e parte aérea pelas alterações na atividade do RNA, afetando assim a divisão celular.

Outros autores ressaltam que a redução no crescimento e desenvolvimento vegetal causada pelo Cd deve-se à inibição de processos fisiológicos importantes, tais como a fotossíntese e a respiração (BENAVIDES et al., 2005).

Baseado nos parâmetros biométricos iniciais das 11 cultivares testadas é importante ressaltar as cultivares GUAIÁ7487, M7110 e ANTA82 (com grupos de maturação médio, precoce e médio respectivamente), como sendo as cultivares com melhores desempenhos, independente da dose de Cd aplicada. Já a cultivar SYN13671 (ciclo médio) foi a cultivar que apresentou o pior desempenho nos parâmetros avaliados, dentre os 6 parâmetros métricos, apresentou os piores resultados em 5 deles. Observa-se que o efeito do Cd foi mais evidente, principalmente na dose de  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$ , pois em todos os parâmetros avaliados houve diferença significativa.

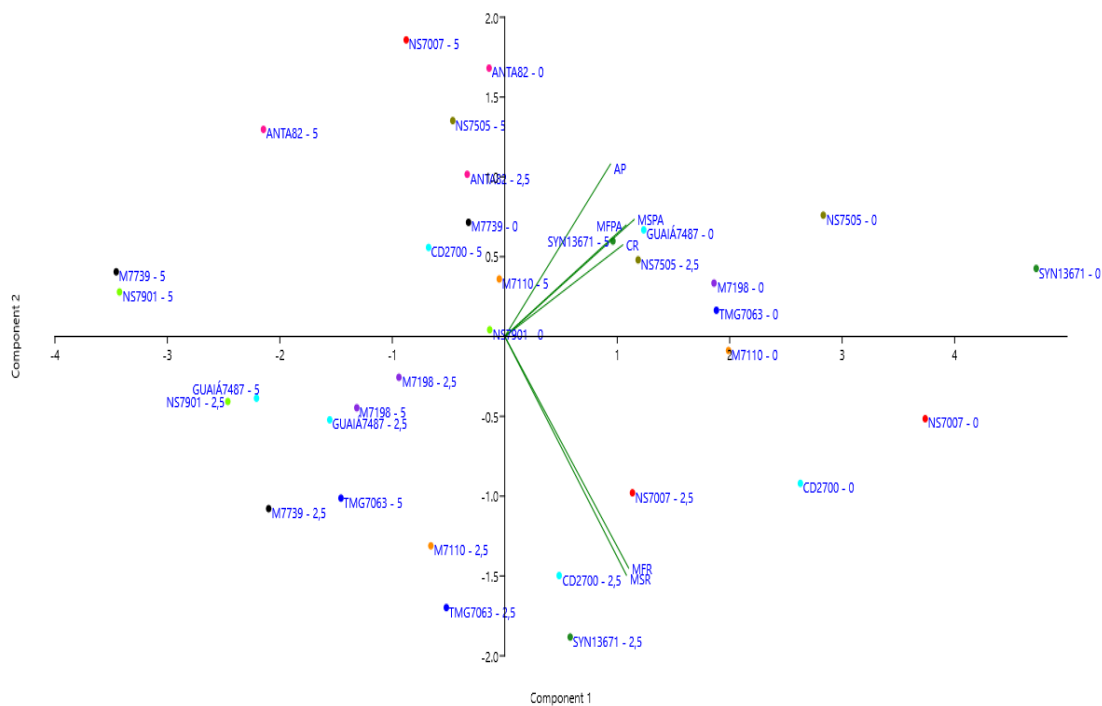
Para a análise de componentes principais (PCA), foram realizadas duas formas de análise dos dados, onde na primeira foram utilizados os resultados de cada cultivar nas três doses de Cd, 0,0 2,5 e  $5,0\mu\text{g L}^{-1}$  (Figuras 11 e 12). Porém em ambos os formatos, os parâmetros que foram avaliados



permaneceram agrupados nos componentes em graus positivos, o que representa que os parâmetros estão seguindo os padrões de coerência dos dados, apresentando significância.

O primeiro formato empregado (Figura 11), não foi possível obter resultados visíveis, pois houveram muitas diferenças significativas entre as doses de Cd. Cada cultivar avaliada apresentou padrões próprios em relação a presença de Cd, desta maneira, dificultando o agrupamento das variáveis avaliadas.

Figura 11 - Análise de componentes principais (PCA), de onze cultivares de soja, com diferentes ciclos de maturação, expostas a doses de Cd (0,0 2,5 e 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ).



Para o segundo formato de análise de componentes principais (PCA), foram utilizadas as 11 cultivares agrupadas por cada doses de Cd (Figura 12). Foi possível realizar o agrupamento nos componentes, podendo assim se definir os melhores e os piores grupos de cultivares nas determinadas doses. As cores pretas correspondem ao grupo de cultivares de doses 0,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , as cultivares com cores rosa, correspondem as de doses 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , e por fim as cultivares de cor verde, correspondem ao grupo de cultivares de dose 5,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

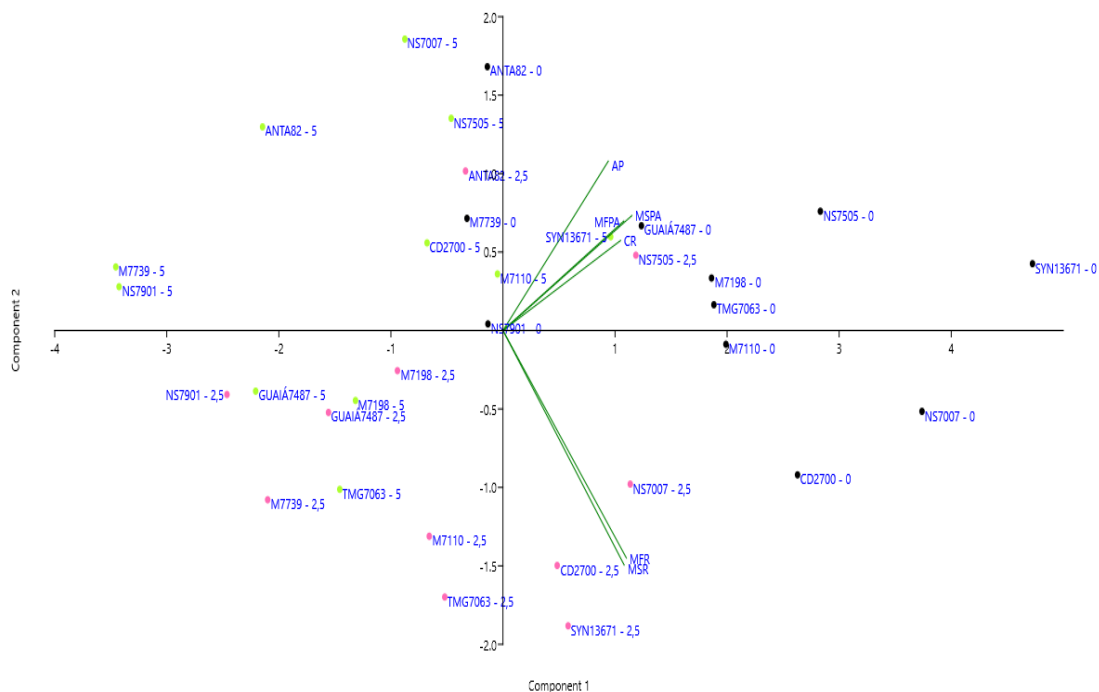
É possível visualizar que as cultivares de dose 0,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , apresentaram comportamentos semelhantes, agrupando-se, em sua maioria, nas partes positivas dos componentes 1 e 2 que variam de 0 a 5 positivo. Conforme a PCA é possível visualizar a tendência das cultivares em relação aos parâmetros principais.



Na dose de  $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ , não é possível visualizar agrupamento, pois houve efeito deletério da presença do Cd. Os prejuízos fizeram com que as cultivares se fixassem tanto nos componentes 1 quanto 2, porém variando em graus positivos e negativos.

E para a dose de  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , as cultivares também sofreram prejuízos conforme a dose aplicada, variando entre os componentes 1 e 2 e permanecendo em sua maioria no componente 2 na área negativa, com variações, e quando observa-se o componente 1, em área positiva. Houve médio agrupamento das cultivares.

Figura 12 – Análise de componentes principais (PCA), das 11 cultivares agrupadas por doses, 0,0 2,5 e  $5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ .



Todos os aspectos podem variar de acordo com a concentração de cádmio fornecido, a espécie envolvida e também o tempo com que este permanece exposto (BERNAVIDES, FALLEGO & TOMARO, 2005). Contudo, fica visível a importância de se estudar o elemento cádmio, pois em todos os parâmetros que foram avaliados, foram verificados prejuízos às cultivares, desde a germinação até os parâmetros métricos. São necessários outros estudos para fechamento das ideias que foram levantadas neste trabalho, pois as comparações dos dados foram feitas com base em trabalhos realizados em outras plantas, devido à falta de informações na cultura da soja.

#### 4 CONCLUSÕES

A presença do elemento traço Cd afetou a germinação das cultivares de soja, sendo a dose  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$  a que apresentou as maiores influências.

Cultivares de ciclo de maturação tardio sofrem efeito na dose maior  $5\mu\text{g L}^{-1}$  de Cd, enquanto as de ciclo precoce e médio foram afetadas na dose  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$  do elemento.

A cultivar SYN13671 foi a cultivar que apresentou os maiores prejuízos no desenvolvimento devido a exposição ao Cd.

As cultivares sem exposição ao Cd apresentaram comportamentos semelhantes agrupando-se nas partes positivas dos componentes 1 e 2, variando de 0 a 5 positivo.

Na dose de  $2,5\mu\text{g L}^{-1}$ , não houve agrupamento e para a dose de  $5,0\mu\text{g L}^{-1}$ , as cultivares apresentaram médio agrupamento.

#### REFERÊNCIAS

AN, Y. J. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. **Environmental Pollution**, v.127, p. 21–26. 2004.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, Madrid, v.2, p.345-361, 1992.

BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants. **Brazilian Journal Plants Physiology**, v. 7, n. 1, p.21-34, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

CAMPOS, M.L. et al. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília (DF), v.40, p.361-367, 2005.

CHAVES, L.H.G; ESTRELA, M.A AND SOUZA, R.S DE. 2011. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. **Journal Phytol.**, 3(12): 04-09.

CHUGH, L.K.; SAWHNEY, S.K. Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating pea seeds. **Environmental Pollution**, London, v.92, p.1-5, 1996.

CONAMA. Resolução no 420, de 28/12/2009. In: **Resoluções do CONAMA**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. p. 899–915.

EMBRAPA SOJA, Centro Nacional de Pesquisa Soja. A Soja no Brasil. Disponível em: [www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm](http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm). Acesso em: 12 mai. 2015.

FADIGAS, F. S.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 151-159, 2002.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.I.P. & LOPES, A.M. Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósforo, zinco e calcário. **R. Bras. Ci. Solo**, 1:72-76, 1977.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.

GALLEGRO, S. M.; Pena, L. B.; Barcia, R. A.; Azpilicueta, C. E.; Iannone, M. F.; Rosales, E. P. e Benavides, M. P. (2012) - Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. **Environmental and Experimental Botany**, vol. 83, p. 33-46.

GALLI, U.; SCHUEPP, H.; BRUNOLD, C. Thiols in cádmium and copper-treated maize (*Zea mays L.*). **Planta**, v. 198, n.1, p. 139-143, 1996.

HAMMER, Ø. PAleontological STatistics Version 3.15. Reference manual. Natural History Museum. **University of Oslo**; 253 p. 2017.

KATHEEB, W. Cadmium-Induced Changes in Germination, Seedlings Growth, and DNA Finger printing of in vitro Grown Cichorium pumilum Jacq. **International Journal of Biology**, v. 6; p.65-73, 2014.

KURDZIEL, B.M.; PRASAD, M.N.V.; STRZALKA, K. Photosynthesis in heavy metal stressed plants. In: PRASAD, M.N.V. Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems. 2nd ed. Springer, printed in India, 2004. p.146-181.

LAGRIFFOUL, A.; MOCQUOT, B.; VANGRONSVELD, J.; MENCH, M. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in Young maize plants (*Zea mays L.*) **Plant and Soil**, v.200 p. 241-250, 1998.

LUX, A; MARTINKA, M; VACULI'K, M AND WHITE, P.J. 2010. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. **Journal Exp. Bot.**, 1-17.

PAIVA, H.N.; Carvalho, J.G.; Siqueira, J. O.; Miranda, J.R.P. e Fernandes, A.R. (2004) -Nutrients absorption by seedlings of ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) in nutrient solution contaminated by cadmium. **Revista Árvore**, vol. 28, n. 2, p. 189-197.

PAL, M., E. HORVATH, T. JANDA, E. PALDI AND SZALAI, G 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 169: 239-246.

PAVAN, M. A.; Miyazawa, M.; Análises Químicas de Solo: Parâmetros para Interpretação; (Circular Técnica, 91); IAPAR; Londrina, 1996.

ROVEDA, L. F.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Composto orgânico com altos teores de níquel e sua biodisponibilidade no sistema solo planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 819-825, 2014.

SHAH, K.; DUBEY, R. S. Effect of cadmium on RNA level as well as activity and molecular forms of ribonuclease in growing rice seedling. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 33, n.5, p.577-584, 1995.

SHAW, B. P.; SAHU, S. K.; MISHRA, R. K. Heavy metal induced oxidative damage in terrestrial plants. In: PRASAD, M. N.V. (Ed). Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. New Delhi: Springer, 2004.

SOUZA, J. F. **Efeito de metais pesados no desenvolvimento de plântulas de milho (*Zea mays L.*) e rabanete (*Raphanus sativus L.*)**. 2003. 138p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostra de siris azuis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 779-785, 2007.

WOJCIK, M.; TUKENDORF, A. Cd-tolerance of maise, rye and wheat seedlings. **Acta Physiologia Plantarum**, v.21 p. 99-107, 1999.