

# EFEITO DO CÉRIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO E NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DAS PLANTAS

## *EFFECT CERIUM ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY MAIZE SEED AND AGRONOMIC PERFORMANCE OF PLANTS*

**Maria Carolina Grigoletto ESPINDOLA<sup>1</sup>; Nilson Lemos de MENEZES<sup>2</sup>; Ana Paula Piccinin BARBIERI<sup>3</sup>**

1. Doutora em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil; 2. Professor Temporário, Departamento de Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil; 3. Doutoranda em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

**RESUMO:** Os elementos químicos terras raras, tais como Cério (Ce), podem ser utilizados como fertilizantes no manejo químico das culturas, visando a otimização no fornecimento de nutrientes às plantas, quando se buscam incrementos na produtividade agrícola. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica e o desempenho agronômico da cultura do milho, após tratamento das sementes com Ce. As sementes da cultivar Pioneer 30F53, foram imersas em solução aquosa, nas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg de Ce L<sup>-1</sup>, por uma hora. Após a imersão, foram realizados os testes de germinação, primeira contagem da germinação, classificação do vigor, comprimento e massa seca de plântulas, em laboratório. Em campo, sementes tratadas com a concentração de 12 mg de Ce L<sup>-1</sup>, escolhida após a primeira etapa de testes de laboratório, foram semeadas e durante o ciclo da cultura foram avaliados além do rendimento, número de dias até emergência de 50 % das plantas, número de folhas, diâmetro do colmo, estatura de plantas e número de dias até 50 % do florescimento. Concluiu-se que a aplicação de Ce em sementes de milho aumenta a germinação e o vigor das sementes, mas não influencia o crescimento vegetativo e reprodutivo. O tratamento com Ce pode induzir ao aumento do rendimento da cultura do milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Zea mays* L. Terras raras. Germinação. Vigor. Rendimento.

## INTRODUÇÃO

O aumento da produção e da produtividade das lavouras, buscado ao longo dos anos, tem sido uma das melhores formas para manter a viabilidade econômica da atividade agrícola, particularmente nos sistemas de produção de grãos, como o milho. Logo, encontrar alternativas para aumentar a produtividade das culturas é uma preocupação constante entre todos os envolvidos nas cadeias de produção.

O tratamento de sementes é uma prática crescente entre os produtores para aumentar o desempenho das mesmas, especialmente de espécies de alto valor, como híbridos de milho, pois protege a cultura durante as fases iniciais do ciclo, visando benefícios na produção final. Vários produtos podem ser aplicados nas sementes, tais como fungicidas, inseticidas, biorreguladores e micronutrientes, como o zinco, o molibdênio, o cobalto, entre outros. Uma alternativa no tratamento de sementes é a aplicação dos elementos terras raras nas sementes. Estes, quando fornecidos em pequenas quantidades (traços), podem agir de maneira semelhante aos micronutrientes, trazendo benefícios às plantas (MARSCHNER, 1995).

Os terras raras são formados por 15 elementos químicos metálicos, pertencentes ao

grupo 3B da tabela periódica, com números atômicos sucessivos do 57 ao 71. Apesar da denominação, pesquisas geológicas têm mostrado que esses elementos são abundantes na crosta terrestre, sendo o cério um elemento bastante comum (FRAY, 2000). São encontrados em uma variedade de minerais, tais como fosfatos, carbonatos, fluoretos e silicatos e, especialmente, em granitos, pegmatitos e rochas ígneas metamórficas (TYLER, 2004)

O tratamento de sementes com terras raras é uma prática de rotina na produção de grãos na China, eficaz para aumentar desde o potencial germinativo das sementes, o crescimento e o desenvolvimento inicial das plântulas até o rendimento final de diversas culturas (HU et al., 2004; TYLER, 2004; DIATLOFF et al., 2008). Segundo Xiong et al. (2000), o tratamento das sementes com os elementos terras raras é um método vantajoso para estimular a germinação de sementes, com acréscimos em torno de 4,4 a 9,6%. Entretanto, as razões para os incrementos ainda não foram suficientemente compreendidas.

Embora os fertilizantes de terras raras não estejam disponíveis para utilização na agricultura brasileira, é possível obter-se o Ce isolado, e utilizá-lo para o tratamento de sementes. Assim, como as pesquisas envolvendo os elementos terras

raras aplicados em sementes são escassas, e concentradas na agricultura chinesa, sua utilização constitui-se numa alternativa a ser introduzida na agricultura brasileira, como forma de melhorar o desempenho agrônômico de várias culturas de importância econômica.

Os objetivos do trabalho foram avaliar o efeito do Ce sobre a qualidade fisiológica das sementes de milho e o desempenho agrônômico das plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes, em área experimental do Departamento de Fitotecnia e no Laboratório de Química Industrial e Ambiental, do Departamento de Química, ambos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

Foram realizados experimentos com a aplicação do elemento terra rara cério (Ce) em sementes de milho (*Zea mays* L.), cultivar Pioneer 30F53. Aproximadamente, 300 sementes por tratamento, foram colocadas em caixas plásticas contendo 300 mL de água deionizada (zero) ou solução, nas concentrações de 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> de Ce ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>).

Após o período de imersão de uma hora, as sementes foram retiradas da solução, lavadas com água destilada e secadas superficialmente com papel toalha. Parte da amostra de sementes tratadas foi utilizada para realização de avaliações da qualidade fisiológica e parte foi utilizada para determinar a concentração de Ce absorvida pelas sementes.

Após os tratamentos, foram realizados os testes para avaliação da qualidade fisiológica das sementes. O de germinação (G) foi realizado utilizando-se quatro repetições de 50 sementes, semeadas em rolos de papel, umedecidos previamente com água destilada ou solução aquosa com Ce nas concentrações mencionadas, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, sendo que tais repetições, permaneceram em germinador a 25 °C. A contagem foi efetuada aos quatro e aos sete dias após a semeadura, segundo as Regras para Análises de Sementes-RAS (BRASIL, 2009). Foram consideradas as plântulas normais, sendo os dados expressos em porcentagem de germinação.

O teste de primeira contagem de germinação (PC) foi realizado conjuntamente com o teste de germinação, computando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas aos quatro dias após a instalação do teste. Também durante a primeira contagem da germinação foi

realizada a classificação do vigor de plântulas, através da porcentagem de plântulas normais fortes (FO). Foram consideradas fortes as plântulas normais com comprimento da parte aérea maior do que 3 cm e comprimento total maior do que 6 cm, sem qualquer tipo de dano.

O teste de comprimento de plântulas (CP) foi realizado a partir da semeadura de quatro repetições de 15 sementes. Os rolos, contendo as sementes, permaneceram à temperatura constante de 25 °C por cinco dias, quando então, foi mensurado o comprimento de dez plântulas normais (parte aérea e raízes), tomadas ao acaso, com o auxílio de régua graduada em milímetros. O comprimento médio das plântulas normais foi obtido somando-se as medidas de dez plântulas normais por repetição e dividindo-se pelo número de plântulas. Os resultados foram expressos em cm, divididos em comprimento total (TO), da parte aérea (PA) e das raízes (RA).

A massa seca de plântulas (MS) foi determinada a partir de quatro repetições de dez plântulas, oriundas do teste de comprimento de plântulas, mantidas em sacos de papel, em estufa a 70 °C, por 48 horas. Em seguida, as repetições foram pesadas em balança de precisão 0,001 g e o valor obtido da soma de cada repetição dividido pelo número de plântulas utilizadas. O resultado foi expresso em g plântula<sup>-1</sup>.

Foram feitas análises químicas com a porção restante das sementes tratadas e não destinadas a avaliação da qualidade fisiológica. Após o tratamento com Ce, as sementes foram colocadas em sacos de papel e permaneceram em estufa a 70 °C, por 48 horas, sendo posteriormente encaminhadas para determinação do teor de Ce nas sementes. Ao final do teste de primeira contagem de germinação, 24 plântulas por tratamento, foram colocadas também em sacos de papel a 70 °C por 48 horas. As plântulas foram separadas em parte aérea e raiz e, posteriormente, encaminhadas para determinação do teor do elemento.

As determinações da concentração de Ce nas sementes, na parte aérea e nas raízes das plântulas, foram feitas por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), usando o equipamento ELAN DRC-II<sup>®</sup>, PerkinElmer - Sciex, Canadá, empregando as condições recomendadas pelo fabricante.

Determinaram-se as concentrações de Ce nas sementes após a embebição das sementes nos tratamentos com as concentrações de 0, 5, 10, 15 e 25 mg L<sup>-1</sup>. Na parte aérea e nas raízes das plântulas determinaram-se as concentrações de Ce apenas nos tratamentos com as concentrações de 0, 15 e

25 mg L<sup>-1</sup>. Foram estabelecidos seis tratamentos compostos pelas concentrações de Ce (0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup>). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise da variância e a regressão polinomial ( $P < 0,05$ ) para avaliar a influência de diferentes concentrações de Ce na qualidade fisiológica das sementes. As variáveis em percentagem foram transformadas para arco seno.

Para condução de experimento em campo, sementes de milho, cultivar Pioneer 30F53, foram embebidas em solução de Ce na concentração de 12 mg de Ce L<sup>-1</sup> e com água (zero) por uma hora. A concentração foi escolhida a partir dos resultados da primeira etapa.

A semeadura foi realizada, em linhas com 4,0 m de comprimento, espaçadas 0,5 m. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos (com e sem o elemento) e quatro repetições. Cada tratamento ocupou uma área de 6 m<sup>2</sup>, com espaçamento de 1 m entre os blocos. As avaliações foram feitas nas duas linhas centrais de cada parcela, totalizando uma área útil de 4,5 m<sup>2</sup>. Os tratamentos culturais e a irrigação foram empregados conforme as necessidades e as recomendações para a cultura do milho, visando minimizar situações de estresse. Utilizou-se na adubação de base, 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 5-20-20. A semeadura foi realizada manualmente na densidade de 12 sementes por metro linear e, após a emergência, procedeu-se o desbaste das plantas de milho, mantendo-se seis plantas por metro linear.

A adubação de cobertura, em milho, foi dividida em duas vezes, aos 40 e 53 dias após a semeadura (quatro e seis folhas, respectivamente), na dose de 85 e 170 Kg ha<sup>-1</sup> de uréia (46% de N), respectivamente.

No ensaio de campo foi avaliado o número de dias até emergência de 50 % das plantas, em dias após a semeadura (DAS). No florescimento foram avaliadas as seguintes características: Número de folhas - contagem das folhas emitidas completamente expandidas (com colar visível). Diâmetro do colmo (mm) - obtido medindo-se o diâmetro do colmo logo abaixo da última folha completamente expandida, com auxílio de paquímetro manual. Estatura das plantas (cm) - a estatura das plantas foi considerada do solo até a extremidade da última folha completamente expandida. Número de dias até o florescimento de 50% das plantas (DAS) - foram consideradas em florescimento as plantas quando visível o estilo-

estigma fora das brácteas da espiga. A produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) foi estimada a partir da produção obtida pela colheita das duas linhas centrais de cada parcela. Para esse cálculo, foi determinado o teor de água pelo método de estufa a 105 ± 3 ° C por 24 horas (BRASIL, 2009), sendo o rendimento ajustado para 13% de umidade.

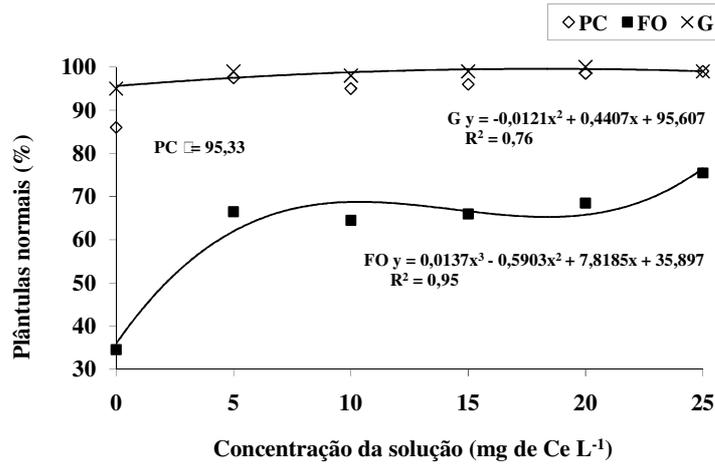
A colheita foi realizada aos 127 dias após a semeadura. Os dados obtidos durante o crescimento e desenvolvimento da cultura e após a colheita foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

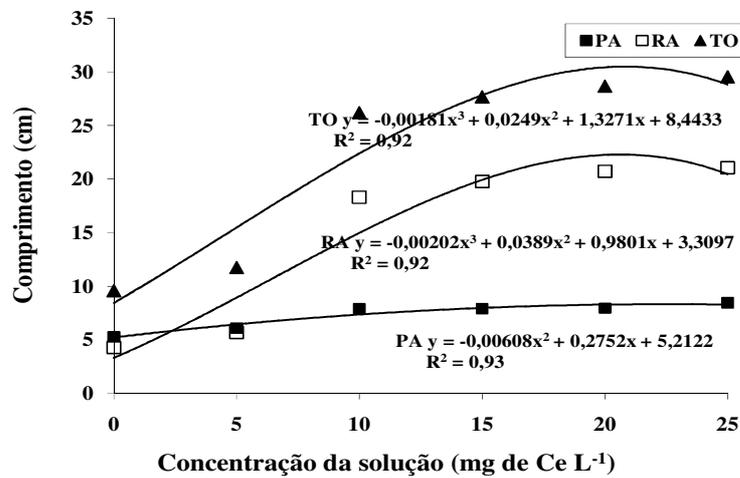
A percentagem de plântulas normais no teste de germinação aumentou, aproximadamente, 5% quando foi utilizado o Ce no tratamento das sementes de milho com Ce em relação à testemunha (Figura 1), chegando a 100% com 20 mg de Ce L<sup>-1</sup>. Na primeira contagem da germinação não houve diferença entre os tratamentos. A percentagem de plântulas normais vigorosas aumentou com o uso do Ce, em torno de 35%, em relação ao tratamento sem o Ce (Figura 1).

Aumento da germinação e do vigor, associados ao aumento da taxa respiratória e da atividade de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase e peroxidase), foram, também, observados em sementes de arroz envelhecidas, tratadas com solução de Ce (FASHUI et al., 2002). Os elementos terras raras, como o Ce, podem contribuir para a atividade das enzimas envolvidas no processo germinativo, como a  $\alpha$ -amilase, responsável pela digestão do amido em sementes endospermáticas como o milho, o arroz e o trigo. Após tratamento com terras raras, Liu e Liu (1985) observaram formação acelerada de  $\alpha$ -amilase, induzida pelo hormônio giberelina, na camada de aleurona de sementes de trigo, o que leva ao aumento da germinação e do vigor das sementes.

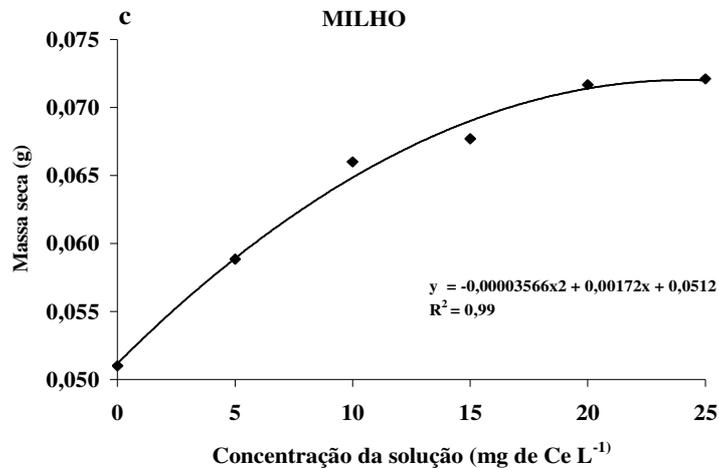
O comprimento da parte aérea, das raízes e total das plântulas de milho (Figura 2) aumentou com a elevação das concentrações de Ce, sendo que as raízes apresentaram um crescimento maior do que a parte aérea. A massa seca das plântulas de milho aumentou até a concentração de 20 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Figura 3). Em estudo similar Diatloff et al. (1995) observaram que a aplicação de apenas 0,09 mg de Ce L<sup>-1</sup>, via solução de cultura em sementes de milho, foi capaz de aumentar em 50% a elongação radicular.



**Figura 1.** Primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e plantas normais fortes (FO) de sementes de milho em função da aplicação de Ce em diferentes concentrações. Santa Maria – RS, 2011.



**Figura 2.** Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e das plântulas de milho (TO) em função da aplicação de Ce em diferentes concentrações. Santa Maria – RS, 2011.



**Figura 3.** Massa seca (g) de plântulas de milho em função da aplicação de Ce em diferentes concentrações. Santa Maria – RS, 2011.

O efeito benéfico da utilização do Ce, nas sementes de milho, sobre o crescimento das plântulas, nas concentrações de 5 a 25 mg L<sup>-1</sup>, difere dos resultados encontrados por Diatloff et al. (2008), nos quais o efeito positivo do Ce no crescimento do milho ocorreu somente com concentrações abaixo de 0,03 mg L<sup>-1</sup> fornecidas às raízes por fluxo contínuo de solução.

As sementes de milho absorveram o Ce, após a embebição em solução. Nas doses de 5, 10, 15, 20 e 25 mg de Ce L<sup>-1</sup>, a concentração de Ce encontrada nas sementes foi de 0,35; 2,62; 7,14; 9,90 e 12,86 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente. Com relação à translocação para as plântulas, na dose de 15 mg de Ce L<sup>-1</sup> em solução, a concentração nas plântulas foi de 0,18 µg g<sup>-1</sup> na parte aérea e 1,48 µg g<sup>-1</sup> nas raízes, enquanto na dose de 25 mg de Ce L<sup>-1</sup> foi de 0,28 e 2,43 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente. Em função disso, inferiu-se que as quantidades absorvidas pelas sementes e encontradas na parte aérea e nas raízes das plântulas de milho aumentaram à medida que houve incremento da concentração da solução, de zero a 25 mg L<sup>-1</sup>.

Em plântulas de trigo, Hu et al. (2002) também observaram um acúmulo de Ce na parte aérea e nas raízes, o qual esteve relacionado com a concentração destes no meio e com o tempo de exposição. Quando as concentrações no meio aumentaram de 0,5 para 25 mg L<sup>-1</sup> as quantidades na parte aérea e nas raízes das plântulas de trigo aumentaram acentuadamente.

Quando analisadas as quantidades na parte aérea e nas raízes das plântulas de milho, também foi possível constatar que a concentração de Ce foi maior nas raízes do que na parte aérea. Resultado similar foi encontrado por Diatloff et al. (2008), cuja concentração de Ce nas raízes de plantas de milho, após fornecimento de solução por fluxo contínuo, foi superior a da parte aérea e aumentou de forma acentuada com a elevação da concentração dos elementos na solução.

Os elementos terras raras no solo podem ser absorvidos pelas raízes das plantas na forma iônica. Depois da absorção, podem ir para células epidérmicas, corticais ou endodérmicas e mover-se através do contínuo citoplasmático para o tecido vascular das raízes (NAGAHASHI et al., 1974). Posteriormente, podem ser translocados para a parte aérea através do fluxo de água da transpiração.

A maior concentração do elemento terras raras observada, normalmente, nas raízes ocorre porque o transporte das raízes para a parte aérea seria lento (YUAN et al., 2001; HU et al., 2002), pois as raízes representariam uma barreira ao

transporte de metais pesados para a parte aérea (ZHANG et al., 1999).

Em experimento conduzido com a cultura do milho, Diatloff (1995), observou uma duplicação da elongação radicular a uma concentração de 0,088 mg L<sup>-1</sup> de Ce. Embora não conste nos resultados que, provavelmente o aumento da massa seca da planta inteira esteja diretamente relacionado a uma maior massa seca das raízes.

A contribuição dos elementos terras raras, como o Ce, para um bom crescimento inicial das raízes das plântulas pode resultar em melhor estabelecimento do sistema radicular no solo. Esse fato reforça a importância do Ce, por ser a raiz um órgão essencial, não somente para absorção de água e minerais, mas também para sintetizar substâncias orgânicas, sendo a base para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Raízes bem desenvolvidas têm alta absorvidade, podendo levar a planta a atingir altas produtividades (YUAN et al., 2001).

No experimento conduzido em campo não se observou efeito (positivo ou negativo) do tratamento de sementes de milho sobre os parâmetros avaliados: emergência, número de folhas, estatura de plantas, diâmetro do colmo, dias para florescimento. Da mesma maneira He e Loh (2000), em estudo com *Arabidopsis thaliana*, não encontraram efeito do Ce sobre o crescimento vegetativo das plantas, ao avaliarem a estatura, o peso seco e o número de folhas.

Embora o tratamento das sementes com Ce tenha proporcionado um aumento do vigor das sementes nos testes conduzidos em laboratório, este efeito não se estendeu durante todo o ciclo da cultura. Talvez as concentrações utilizadas não sejam adequadas, para promover o efeito positivo esperado, sobre o crescimento da cultura, como o observado na agricultura chinesa.

O rendimento final no tratamento com Ce obteve um aumento de 1.866 kg ha<sup>-1</sup>, ou 24%, comparado à concentração zero (Tabela 1). Os resultados concordam com aqueles encontrados por Jie e Yu (1985) que, trabalhando com concentração de 0,0005 mg kg<sup>-1</sup> de elementos terras raras aplicados em sementes de trigo, na forma de nitrato, obtiveram 6,3 a 12,6 % de aumentos no rendimento comparados com sementes não tratadas.

Outros trabalhos já haviam mostrado a eficácia dos elementos terras raras em aumentar o rendimento das culturas (JIE; YU, 1985; XIONG et al., 2000). Os efeitos da aplicação dos elementos terras raras na taxa e na intensidade fotossintética,

conteúdo de clorofila e atividade de enzimas fotossintéticas (HU et al., 2004) podem ser possíveis razões para os incrementos na produtividade na cultura do milho.

**Tabela 1.** Emergência, florescimento, número de folhas, diâmetro do colmo e estatura de plantas de milho e produtividade de grãos, após tratamento das sementes com água pura (zero) e Ce (12 mgL<sup>-1</sup>). Santa Maria – RS, 2011.

Avaliações	Tratamentos	Dias após a semeadura (DAS)					
Emergência (DAS)	Zero	6a*					
	Ce	6a					
Florescimento (DAS)	Zero	70a					
	Ce	70a					
Número de folhas		17	23	30	37	44	51
	Zero	3,00a*	5,00a	6,00a	8,00a	10,00a	12,00a
	Ce	3,00a	5,00a	6,00a	8,00a	9,00a	12,00a
Diâmetro (cm)	Média	3,00	5,00	6,00	8,00	9,50	12,00
	Zero	-	6,49a*	9,03a	12,05a	15,31a	17,99a
	Ce	-	6,52a	9,13a	12,55a	15,28a	18,02a
Estatura (cm)	Média	-	6,51	9,08	12,30	15,30	18,01
	Zero	18,92a*	32,09a	52,48a	80,14a	118,99a	177,32a
	Ce	19,98a	33,84a	55,90a	80,52a	119,64a	172,58a
Produtividade (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Média	19,45	32,97	54,19	80,33	119,32	174,95
	Zero	7.667 b					
	Ce	9.533a					

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

## CONCLUSÕES

O uso do Ce no tratamento de sementes melhorou sua qualidade fisiológica.

O efeito do Ce foi mais pronunciado no crescimento das raízes das plântulas de milho.

A concentração de 12 mg de Ce L<sup>-1</sup>, não influencia o número de folhas, a estatura, o diâmetro do colmo e o florescimento, porém pode induzir aumento do rendimento final da cultura do milho.

**ABSTRACT:** The search for alternatives that provide increases in crop yields in agricultural systems is still present today. Chemical elements rare earths such as cerium (Ce) represent alternatives in the search for increases in agricultural productivity and has been used in several countries and many cultures. The objective of this study was to evaluate the physiological quality and agronomic performance of corn after seed treatment with Ce. Corn seeds Pioneer 30F53, since they were immersed in aqueous solution at concentrations of 0, 5, 10, 15, 20 and 25 mg L<sup>-1</sup> Ce, for one hour. After the immersion, were performed tests of germination, first count germination, vigor classification, length and seedling dry weight in the laboratory. In the field, the seeds treated with a concentration of 12 mg L<sup>-1</sup> Ce, previously chosen by laboratory tests were sown and during the course of the culture were measured as well as yield, number of days until emergence of the plants 50%, number leaf, stem diameter, plant height and number of days until 50% flowering. It was concluded that the application of Ce increases in corn seed germination and seed vigor, but no effect on the vegetative and reproductive growth. The treatment with Ce can induce an increase of the yield of corn.

**KEYWORDS:** *Zea mays* L. Rare earths. Germination. Vigor. Yield.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395 p.
- DIATLOFF, E.; SMITH, F. W.; ASHER, C. J. Rare-earth elements and plant growth: III. Responses of corn and mungbean to low concentrations of cerium in dilute, continuously flowing nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, United Kingdom, v. 18, n. 10, p. 1991–2003, 1995.
- DIATLOFF, E.; SMITH, F.W.; ASHER, C.J. Effects of lanthanum and cerium on the growth and nutrition of corn and mungbean. **Annals of Botany**, Oxford, v. 101, n. 7, p. 971-982, 2008. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/cgi/content/full/101/7/971>>. Acesso em: 05 jul. 2011.
- FASHUI, H. S. Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. **Biological trace elements research**, Springer, v. 87, n. 1-3, p. 191–200, 2002.
- FRAY, D. Chemical engineering: separating rare earth elements. **Science**, Washington, v. 289, n. 5488, p. 2295 – 2296, 2000.
- JIE, H.G.; YU, Z.H. Effects of REEs on increasing yield and physiology of wheat. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 1, p. 25–29, 1985.
- HE, Y.; LOH, C. Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Science**, v.159, n.1, p.117-124, 2000. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob](http://www.sciencedirect.com/science?_ob)>. Acesso em: 06 jul. 2011.
- HU, X.; DING, Z., CHEN, Y., WANG, X., DAI, L. Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Chemosphere**, v. 48, n. 6, p. 621-629, 2002. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob](http://www.sciencedirect.com/science?_ob)>. Acesso em: 06 jul. 2011.
- HU, Z.; RICHTER, H., SPAROVEK, G., SCHNUG, E. Physiological and Biochemical Effects of Rare Earth Elements on Plants and Their Agricultural Significance: A Review. **Journal of Plant Nutrition**, United Kingdom, v. 27, n. 1, p. 183-220, 2004.
- LIU, H. Y.; LIU, J. L. Effect of REEs on  $\alpha$ -amylase induced by GA3 in the aleurone layer of wheat seed and their interaction. **Rare Metals**, Springer, v. 5, p. 61 – 66, 1985.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 674 p.
- NAGAHASHI, G.; THOMSON, W.W.; LEONARD, R.T. The Casparian strip as a barrier to the movement of lanthanum in corn roots. **Science**, Washington, v. 183, p. 670 – 671, 1974.
- TYLER, G. Rare earth elements in soil and plant systems - A review. **Plant and soil**, v. 267, n. 1-2, p. 191-206, 2004. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/x803v081755j2556/>>. Acesso em: 08 jul. 2011.
- XIONG, B. K.; CHEN, P.; GUO, B.S.; ZHENG, W. Rare earth element research and applications in chinese agriculture and forest. **Metallurgical Industry Press**, Beijing, China, 2000.
- YUAN, D.; SHAN, X.; HUAI, Q.; WEN, B.; ZHU, X. Uptake and distribution of rare earth elements in rice seeds cultured in fertilizer solution of rare earth elements. **Chemosphere**, v. 43, n. 3, p. 327-337, 2001. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob](http://www.sciencedirect.com/science?_ob)>. Acesso em: 04 jul. 2011.
- ZHANG, Y. X. CHAI, T. Y.; BURKARD, G. Research advances on the mechanisms of heavy metal tolerance in plants. **Acta Botanica Sinica**, Beijing, China, v. 5, n. 1, p. 453-457, 1999.