

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**TRATAMENTO DE SEMENTES DE ALFACE, MILHO,  
SOJA E FEIJÃO COM OS ELEMENTOS TERRAS  
RARAS CÉRIO E LANTÂNIO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Maria Carolina Grigoletto Espindola**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

**TRATAMENTO DE SEMENTES DE ALFACE, MILHO, SOJA  
E FEIJÃO COM OS ELEMENTOS TERRAS RARAS CÉRIO E  
LANTÂNIO**

**por**

**Maria Carolina Grigoletto Espindola**

Tese apresentada ao curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em agronomia**

Orientador: Prof. Dr. Nilson Lemos de Menezes

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-graduação em Agronomia**

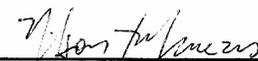
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese de  
Doutorado

**TRATAMENTO DE SEMENTES DE ALFACE, MILHO, SOJA E FEIJÃO  
COM OS ELEMENTOS TERRAS RARAS CÉRIO E LANTÂNIO**

Elaborada por  
**Maria Carolina Grigoletto Espindola**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
Doutor em Agronomia

**Comissão Examinadora**



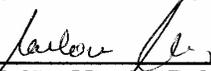
---

**Nilson Lemos de Menezes, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



---

**Lindolfo Storck, Dr. (UFSM)**  
(Co-orientador)



---

**Marlove Brião Muniz, Drª. (UFSM)**



---

**Francisco Amaral Villela, Dr. (UFPEL)**



---

**Simone Medianeira Franzin, Drª. (IFF-SVS)**

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2009.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, e a Cristo, pela vida, pela luz que iluminou meus caminhos e pensamentos, pela proteção em todos os momentos.

A minha família pelo amor, carinho, compreensão e apoio.

Ao meu esposo, Alex, pelo amor, apoio, incentivo e compreensão.

Ao professor Dr. Nilson Lemos de Menezes, pela orientação, confiança, incentivo e amizade.

A todos os colegas e amigos pela amizade e companheirismo diários.

Aos colegas de laboratório que me ajudaram na execução dos trabalhos: Ana, Dani, Leo, Mattioni, Fernando, Vinícius, Daiane, Maquiel e extensivamente a todos que ajudaram de uma forma ou outra na condução dos experimentos; ao colega Diogo que realizou as análises químicas; a querida amiga Terezinha que sempre foi uma 'mãe' para todos que trabalharam no laboratório de sementes.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia e, em especial do LAS, pela colaboração.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à Universidade Federal de Santa Maria, por tornar possível a realização deste trabalho.

Ao povo brasileiro e à Capes pela bolsa de estudos.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria – RS, Brasil

### **TRATAMENTO DE SEMENTES DE ALFACE, MILHO, SOJA E FEIJÃO COM OS ELEMENTOS TERRAS RARAS CÉRIO E LANTÂNIO**

AUTORA: MARIA CAROLINA GRIGOLETTO ESPINDOLA

ORIENTADOR: NILSON LEMOS DE MENEZES

Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2009.

Os elementos terras raras, ou lantanídeos, são comumente fornecidos às plantas na agricultura chinesa, na forma de fertilizantes. No Brasil não há qualquer registro de sua utilização na agricultura. Conduziram-se experimentos com o objetivo de avaliar os efeitos dos elementos terras raras, cério (Ce) e lantânio (La), sobre a qualidade fisiológica de sementes de alface, milho, feijão e soja e; crescimento e desenvolvimento de plantas de milho e soja após tratamento das sementes com os elementos. Para tal, as sementes das diferentes espécies, em experimentos separados, foram tratadas por meio de imersão em soluções aquosas de Ce ou de La, em diferentes concentrações, por uma a duas horas. Em seguida, foram aplicados, em laboratório, os testes de germinação, primeira contagem de germinação, classificação do vigor de plântulas, comprimento, massa seca de plântulas e estresse térmico. Os tratamentos foram compostos por diferentes concentrações de Ce ou La e quatro repetições. Em milho e soja foram instalados experimentos em campo. Após o tratamento das sementes foram avaliados: emergência (em milho e soja), número de folhas, estatura, diâmetro do colmo, florescimento e rendimento (em milho). Os resultados mostraram que a aplicação de Ce e La nas sementes influenciou, na maioria dos casos, a germinação e o vigor. O comprimento e a massa seca das plântulas também responderam a aplicação dos elementos. Para todas as espécies, tanto o Ce quanto o La foram absorvidos pelas sementes em solução aquosa e ocorreu translocação para as plântulas. Em campo não foram observados efeitos do Ce e do La sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de milho e sobre a emergência da soja, mas, o tratamento com Ce foi capaz de aumentar o rendimento final da cultura do milho.

**Palavras-chave:** lantanídios; germinação; vigor; crescimento; desenvolvimento, nutrição de plantas, micronutrientes.

## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria – RS, Brazil

### **LETUCE, CORN, SOYBEAN AND BEAN SEEDS TREATMENT WITH RARE EARTH ELEMENTS CERIUM AND LANTHANUM**

AUTHOR: MARIA CAROLINA GRIGOLETTO ESPINDOLA  
ADVISER: NILSON LEMOS DE MENEZES

Location and date of presentation: Santa Maria, February 11<sup>th</sup>, 2009.

Rare earth elements, or lanthanides, are commonly applied to plants at Chinese agriculture, as fertilizers. Brazil doesn't have any appointment of it utilization in agriculture. Experiments were conducted to evaluate effects of rare earth elements, cerium (Ce) and lanthanum (La), on seeds physiological quality of lettuce, corn, bean and soybean, growth and development of corn and soybean plants then seed treatment with this elements. For this, seeds of different species, on separated experiments, were treated for immersion in watery solutions of Ce or La, in different concentrations, for one or two hours. Were applied, at laboratory, tests of germination, first counting of germination, vigor classification of seedlings, seedlings length, dry mass and thermal stress. The experimental design was completely randomized with treatments composed of Ce or La concentrations and four replications. For corn and soybean were installed experiments at field. Were evaluated: emergency (corn and soybean), leaf number, height, diameter of colm, bloom and yield (in maize). Treatments were composed of different Ce or La concentrations and four replications. Results shows that Ce and La application at seeds influenced, in the majority of the cases, germination and vigor of seedlings. Seedlings length and dry mass were influenced by elements. Ce and La were absorbed by seeds and translocated to seedlings. At field didn't observe effects of Ce and La at corn growth and development, and at soybean emergency, but Ce treatment increased corn yield.

**Key-words:** lanthanides; germination; vigor; growth; development; plant nutrition, micronutrients.

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Concentração de Ce e La nas sementes e nas plântulas de alface. Santa Maria – RS, 2008.....37
- TABELA 2 – Concentração de Ce e La nas sementes e nas plântulas (onde PA=parte aérea e RA=raízes) de milho. Santa Maria – RS, 2008.....53
- TABELA 3 – Emergência e florescimento, em dias após a semeadura (DAS), e rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (corrigido para 13% de umidade) de plantas de milho cultivadas em campo, a partir do tratamento das sementes com água pura (zero), Ce ( $12 \text{ mg L}^{-1}$ ) e La ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ). Santa Maria – RS, 2008.....55
- TABELA 4 – Número de folhas, diâmetro do colmo (cm) e estatura (cm) de plantas de milho cultivadas em campo após tratamento das sementes com água pura (zero), Ce ( $12 \text{ mg L}^{-1}$ ) e La ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ). Santa Maria – RS, 2008.....56
- TABELA 5 – Concentração de Ce e La nas sementes e nas plântulas (onde PA=parte aérea e RA=raízes) de soja e feijão. Santa Maria – RS, 2008.....76

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de alface (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....33
- FIGURA 2 – Plântulas normais (%) após tratamento das sementes de alface com lantânio (La) e estresse térmico a 30 °C. Santa Maria – RS, 2008.....34
- FIGURA 3 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de alface após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....35
- FIGURA 4 – Massa seca (mg) de plântulas alface após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....36
- FIGURA 5 – Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de milho (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....47
- FIGURA 6 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de milho após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....50
- FIGURA 7 – Massa seca (g) de plântulas de milho após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....51
- FIGURA 8 – Primeira contagem (PC), germinação (G), germinação a 41 °C (G41) e plântulas normais fortes (FO) de soja (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....68
- FIGURA 9 – Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de feijão (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....69
- FIGURA 10 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) e massa seca (g) de plântulas de soja após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....72

FIGURA 11 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) e massa seca (g) de plântulas de feijão após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....	73
FIGURA 12 – Massa seca (g) de plântulas de soja após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....	74
FIGURA 13 – Massa seca (g) de plântulas de feijão após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.....	75
FIGURA 14 – Número de plântulas emergidas após tratamento de sementes de soja com cério (Ce) e lantânio (La), onde DAS = dias após a semeadura. Santa Maria – RS, 2008.....	77

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
 <b>CAPÍTULO 1 – QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALFACE TRATADAS COM SOLUÇÕES DE CÉRIO E LANTÂNIO</b>	
Resumo.....	24
Abstract.....	25
Introdução.....	25
Material e Métodos.....	28
Resultados e Discussão.....	31
Conclusões.....	37
 <b>CAPÍTULO 2 – TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO COM CÉRIO E LANTÂNIO</b>	
Resumo.....	38
Abstract.....	39
Introdução.....	39
Material e Métodos.....	42
Resultados e Discussão.....	46
Conclusões.....	57
 <b>CAPÍTULO 3 – QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS APÓS TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA E FEIJÃO COM CÉRIO E LANTÂNIO</b>	
Resumo.....	58
Abstract.....	59
Introdução.....	59
Material e Métodos.....	62
Resultados e Discussão.....	66
Conclusões.....	78
 <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	 <b>79</b>
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	 <b>81</b>

## INTRODUÇÃO

Os elementos terras raras, também chamados de lantanídeos, pertencem ao grupo III B da tabela periódica e vem despertando interesse há muitos anos devido aos benefícios advindos da sua utilização em diversos segmentos da indústria e da agricultura.

Suas aplicações são diversas na indústria mundial e se estendem desde a metalurgia ou eletrônica até a área da saúde. São largamente utilizados como aditivos em cerâmica e vidro, para polimento de vidro, ou como catalisadores no refino do petróleo, sendo, mais recentemente, utilizados em diagnóstico de imagem no campo da medicina nuclear.

Na agricultura, foram utilizados por vários países, experimental ou comercialmente, aplicados no solo, na parte aérea das plantas ou nas sementes, na forma de soluções aquosas com elementos em mistura ou individualmente. Na grande maioria dos casos foram observados efeitos benéficos dos elementos às plantas, num momento ou outro de seu ciclo. Aumentos significativos no rendimento, na germinação, na massa seca e no comprimento de plântulas, no conteúdo de clorofila, na intensidade e na taxa fotossintética foram alguns dos efeitos encontrados em diversas plantas e em diferentes condições de cultivo.

Entretanto, a maior parte das pesquisas científicas desenvolvidas com a aplicação dos elementos na agricultura é originária da China, e encontrada em sua língua oficial. Poucos trabalhos foram escritos originalmente ou traduzidos para a língua inglesa, o que dificulta aos pesquisadores ocidentais, a compreensão plena e o acesso às informações geradas até o presente momento. No Brasil, embora existam cerca de 47 grupos de pesquisa com linhas de trabalho utilizando os elementos terras raras na física, química e metalurgia, não se tem conhecimento de qualquer registro de pesquisa tratando da utilização de qualquer elemento terra rara na agricultura.

Frente às vantagens da utilização dos elementos terras raras, como uma alternativa para aumentar o rendimento das culturas agrícolas, a possibilidade da obtenção desses benefícios com tratamentos em quantidades traço e, devido à falta de pesquisas em diferentes regiões do mundo, especialmente no Brasil, estudos

mais abrangentes são necessários para uma comprovação e melhor compreensão da participação dos elementos terras raras nos processos fisiológicos em culturas agrícolas.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do tratamento de sementes com cério (Ce) e lantânio (La) sobre a qualidade fisiológica das sementes e sobre o desempenho de plântulas e plantas de alface, milho, soja e feijão levando em consideração suas concentrações nas sementes e nas plântulas, tendo como objetivos específicos:

- Avaliar a germinação e o vigor de sementes de alface, milho, soja e feijão após tratamento das sementes com diferentes concentrações de cério e lantânio;
- Determinar a concentração de cério e lantânio em sementes e plântulas (parte aérea e raízes) após os tratamentos;
- Acompanhar o crescimento e o desenvolvimento de milho e soja, em campo, a partir da definição, em laboratório, da melhor concentração a ser utilizada no tratamento das sementes.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1. OS ELEMENTOS TERRAS RARAS**

Os terras raras são 17 elementos químicos metálicos muito parecidos em sua química elementar, cuja denominação decorre do aspecto terroso de seus óxidos e da suposição de que seriam elementos pouco presentes na natureza. Pertencem ao grupo III B da tabela periódica, com números atômicos sucessivos, do 57 ao 71, sendo: lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu). O ítrio (Y,  $z=39$ ) e o escândio (Sc,

$z=21$ ), normalmente, são incluídos aos terras raras por possuírem características físico-químicas bastante semelhantes. São divididos em elementos terras raras leves, do La ao Eu, com massa atômica menor, e pesados, do Gd ao Lu, com massa atômica maior. O estado de oxidação característico destes elementos é +3, embora o estado de oxidação divalente ou tetravalente seja conhecido para muitos deles em compostos químicos.

Pesquisas geológicas têm mostrado que esses elementos são abundantes na crosta terrestre. O cério, por exemplo, é mais comum do que o cobalto, o ítrio é mais abundante do que o chumbo e o lutécio é tão comum quanto o mercúrio e a prata (FRAY, 2000). Em meados do século passado, o termo “lantanídios” foi proposto para evitar a noção de escassez que o nome terras raras poderia induzir. Este termo é empregado para designar os elementos do Ce ao Lu, devido a sua semelhança química com o lantânio.

Os elementos terras raras 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). Mais de 250 tipos de minerais contendo terras raras são conhecidos (HU et al., 2004). Em poucos desses minerais, no entanto, esses elementos ocorrem em concentrações que os qualificam como minerais de minério. A monazita (Ce), a bastinasita (Ce) e o xenotímio (Y) são, de longe, as fontes mais importantes destes elementos, já que 95% das reservas mundiais conhecidas (China, Estados Unidos, Austrália, Índia, Brasil e países africanos) são formadas por estes minerais (MELLO et al., 1994).

## **2. UTILIZAÇÃO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS**

A importância econômica dos elementos terras raras decorre da especificidade de suas aplicações, seja por suas características químicas, relativamente comuns a todo grupo de elementos, seja por suas propriedades físicas, caso em que se torna necessário individualizá-los (MELLO et al., 1994).

A industrialização dos elementos terras raras teve início com a fabricação de camisas de lampiões. Com o passar do tempo, suas propriedades foram tornando-se mais conhecidas e o seu uso constante é estimulado nos países desenvolvidos,

principalmente, nas indústrias metalúrgica (aço, ligas metálicas), química (catalisadores, petróleo), cerâmica (supercondutores, pigmentos, vidros especiais) e eletrônica (raios X, tubos catódicos, fibras óticas, super-ímãs) (MELLO et al., 1994).

O interesse em aplicar elementos terras raras na investigação das propriedades e funções de sistemas bioquímicos e na determinação de substâncias biologicamente ativas tem aumentado. Esses elementos têm sido usados na forma de sondas espectroscópicas no estudo de biomoléculas e suas funções, como nos traçadores biológicos, especialmente para acompanhar o percurso de medicamentos no homem e em animais; como marcadores em imunologia (fluoroimunoensaios) e, também, como agentes de contraste em diagnóstico não invasivo de patologias em tecidos por imagem de ressonância magnética nuclear, devido às suas propriedades magnéticas (BUNZLI e CHOPPIN, 1989).

Na agricultura, embora não sejam considerados essenciais, os elementos terras raras já foram utilizados e estudados em vários países, como antiga União Soviética, Romênia, Bulgária, Egito, Estados Unidos, Japão, Reino Unido, Filipinas, Austrália, Índia e China. Experimentos foram realizados com trigo, soja, arroz, milho, beterraba, cana-de-açúcar, repolho, batata, algodão, cevada, entre outras culturas. Promovendo seu crescimento e aumentando o rendimento, porém sem total compreensão das razões para tal promoção.

Os elementos terras raras podem ser aplicados na forma de nitrato, cloreto, carbonato, em grupo ou isolados, em mistura com aminoácidos, na forma sólida ou dissolvidos em água, diretamente nas sementes, na parte aérea ou nas raízes das plantas ou plântulas. Segundo Pang et al. (2002), aplicações diretamente no solo, embora também sejam utilizadas, podem não ter efeito ou ter efeitos limitados e não são recomendadas.

O primeiro país a usar os elementos terras raras como fertilizante, para a produção agrícola foi a China, em 1980 (HU et al., 2004). Inicialmente, os chineses utilizaram um cloreto solúvel, contendo terras raras. Posteriormente, foi registrado o primeiro fertilizante comercial composto por uma mistura de elementos terras raras leves na forma de nitrato, recomendado na concentração de 400-700 g ha<sup>-1</sup> dissolvidos em água. Os principais elementos, que aparecem em maiores quantidades neste fertilizante, são o cério (50,2%), o lantânio (25,3%), o neodímio (17,6%) e o praseodímio (5,5%) (YUAN et al., 2001) e talvez por isso sejam os mais pesquisados.

Nos anos subseqüentes, outros fertilizantes contendo elementos terras raras foram usados na forma de compostos de bicarbonato de amônio (WANG et al., 1996) e um complexo dos elementos La, Ce, Pr e Nd, com 17 aminoácidos. Também foram desenvolvidos e aplicados fertilizantes compostos de NPK e diferentes fertilizantes líquidos com adição de elementos terras raras e outros elementos traços ou inseticidas e fungicidas. Em 1998, 2,67 milhões de hectares foram cultivados na China, com espécies tratadas com elementos terras raras (XIONG et al., 2000) e, em 1999, foram aproximadamente 4 milhões de hectares.

Os efeitos positivos dos elementos no rendimento de culturas, num grande número de experimentos conduzidos na China não foram completamente confirmados por um pequeno número de tentativas realizadas por grupos de pesquisadores australianos. Uma das razões seria o fato de que a resposta das culturas aos elementos depende de uma complexa combinação de vários fatores, incluindo: propriedades do solo, tais como, pH, matéria orgânica, conteúdo mineral e material de origem; taxa e modo de aplicação; condições da cultura, tais como, espécie, cultivar e estágio de crescimento, pH e pureza da água, na qual os elementos são dissolvidos (HU et al., 2004).

Certos tópicos de pesquisa relacionados aos efeitos fisiológicos dos elementos terras raras, e seus impactos no crescimento de plantas precisam ser investigados detalhadamente para que a aplicação desses elementos seja viável e sustentável: relação entre concentração de elementos aplicados individualmente com o crescimento e o rendimento das culturas; definição precisa da concentração para ação positiva dos elementos no crescimento e na qualidade das plantas; identificação das razões para seu efeito no rendimento; respostas das culturas; investigação de seu conteúdo nos solos e o impacto dos elementos em seres vivos e no meio ambiente.

No Brasil não foram encontrados registros de uso dos elementos terras na agricultura. Os estudos dos efeitos desses elementos no desempenho das culturas têm sido conduzidos, de forma mais expressiva, em poucos países, como na China, na Austrália e na Rússia.

## 2.1 UTILIZAÇÃO EM PESQUISAS

Efeitos positivos, negativos ou nulos foram encontrados durante o crescimento e desenvolvimento de plantas e no rendimento final de culturas, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa. As respostas normalmente diferem quanto ao método, à taxa de aplicação, às concentrações utilizadas, ao tempo de exposição, além do produto utilizado, se fertilizantes de terras raras ou elementos isolados. Por exemplo, em baixas concentrações, é provável que os elementos ajam de maneira similar aos micronutrientes, trazendo algum tipo de benefício às plantas, observando-se efeitos negativos e reações tóxicas em altas concentrações (GUO et al., 1988), sendo a tolerância variável entre as espécies. Em milho, baixas concentrações de lantânio, menores que  $1 \mu\text{M}$  ( $\approx 0,14 \text{ mg L}^{-1}$ ), promoveram crescimento enquanto que altas concentrações, maiores que  $100 \mu\text{M}$  ( $\approx 14 \text{ mg L}^{-1}$ ), inibiram o crescimento radicular (LIU e HASENSTEIN, 2005).

Em sementes de girassol, a aplicação de soluções de elementos terras raras, em concentrações menores que  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , estimulou a germinação de sementes, enquanto concentrações maiores que  $500 \text{ mg L}^{-1}$  a restringiram (LIU, 1996 apud TYLER, 2004).

### 2.1.1 AÇÃO DOS ELEMENTOS

Elementos minerais têm funções específicas e essenciais ao metabolismo das plantas. Dependendo da quantidade requerida para o crescimento são classificados como macro ou micronutrientes. Devido aos avanços nas técnicas analíticas, a lista de elementos essenciais ou benéficos às plantas pode ser aumentada para incluir outros elementos minerais que também exerçam papel essencial no metabolismo, ou tem efeitos benéficos, somente em concentrações muito pequenas nas plantas, ou seja, que agem como micronutrientes (MARSCHNER, 1995). A maioria dos experimentos tem demonstrado estímulos ao crescimento de plantas na presença dos elementos terras raras, fundamentalmente, em quantidades muito pequenas.

### **a) Absorção e translocação**

A absorção e a translocação dos elementos terras raras em plantas tem atraído muita atenção durante as últimas décadas, considerando sua importância para o entendimento dos seus efeitos biológicos. A partir do momento em que esses elementos são absorvidos pelas plantas, sua distribuição entre os diferentes órgãos difere consideravelmente. Pesquisas têm mostrado que nas raízes as concentrações são maiores que nos outros órgãos. Raízes de milho e de feijão mungo, crescendo em solução nutritiva, acumularam 20-150 vezes mais La do que a parte aérea (DIATLOFF et al., 1995b).

Vários estudos (LI et al., 1998; CAO et al., 2000; WEN et al., 2001; XU et al., 2002) mostraram decréscimos na concentração de elementos terras raras no sentido raízes>folhas>caules>flores> frutos ou grãos, em várias culturas, tais como, milho, trigo, arroz e páprica.

Em arbóreas, como Citrus, as maiores concentrações também são usualmente observadas nas raízes. Em sete espécies de arbóreas tropicais, os elementos terras raras também se acumularam nas raízes, embora o Ce tenha se concentrado na casca (NAKANISHI et al., 1997). Este padrão de acumulação pode variar de acordo com a espécie e com o elemento, individualmente aplicado à cultura (FASHUI et al., 1999).

Resultados experimentais com cultivo de colza em solo e em solução, com a aplicação de neodímio (Nd), indicaram uma distribuição nos tecidos na ordem raiz>caule>folha (WEI et al., 1999; WEI et al., 2001). Quando elementos terras raras foram fornecidos as raízes de trigo, a distribuição do Nd nas plantas foi, na ordem, raiz>folha>caule>glumas>grão.

A concentração do Nd nas folhas foi maior do que nas raízes quando os elementos foram aplicados na folhagem. Com o fornecimento dos elementos via radicular, mais de 90% foram distribuídos nas raízes, quando absorvidos da solução, mas, somente 51,4% de Ce e 32,5% de Nd foram distribuídos nas raízes, quando os elementos foram absorvidos do solo. Por outro lado, a absoluta maioria dos elementos terras raras pulverizados nas folhas de trigo ficou distribuída nas folhas. A quantidade distribuída em outros órgãos foi de 2%, e somente 0,2% foi para órgãos de reprodução de trigo (ZHU e CHEN, 1984; 1989 apud HU et al., 2004).

Dúvidas persistem com relação à ação dos elementos terras raras nas plantas. Para entender a função fisiológica do Ce e do La nas plantas, seus efeitos nas células precisam ser estudados.

Utilizando a técnica do ICP-MS, Wei et al. (2005) e, posteriormente, Wang et al. (2006) observaram que depósitos de terras raras poderiam ser distribuídos ao longo da parede celular, no vacúolo e nos cloroplastos. Para Ye et al. (2008), o Ce distribuído na parede celular de plantas de raiz forte (*Armoracia rusticana*) entrou no citoplasma da célula via canais de apoplasto e simplasto ou plasmodesmas, depositando-se de forma tanto intra quanto extracelular.

O avanço da técnica de ICP-MS, bem mais sensível que outras técnicas anteriormente utilizadas, e a possibilidade de seu uso mais comumente em pesquisas ambientais e biológicas, desde a década de 90, têm colaborado com o estudo das características de bioacumulação dos elementos terras raras em plantas (TYLER, 2004).

## **b) Aumentos no rendimento**

Aumentos consideráveis no rendimento foram encontrados em várias culturas com a aplicação de diferentes elementos terras raras em mistura ou isolados. Na China, mais de 100 espécies estudadas mostraram respostas aos elementos com aumentos de 5 a 15% no rendimento (XIONG et al., 2000). Pulverizações de uma solução contendo  $5 \mu\text{g L}^{-1}$  de terras raras na forma de nitrato, no estágio de quatro folhas em plantas de trigo, aumentaram o rendimento em 4,3 a 15,3% (JIE e YU, 1985). Em estudo com arroz, na China, a aplicação de  $0,05\text{-}0,6 \text{ mg L}^{-1}$  aumentou o número de grãos produzidos (XIE et al., 2002).

Em locais de alta fertilidade, os elementos aplicados aumentaram o rendimento da soja em 6,4%, enquanto que um aumento de 18,3% foi observado em locais de baixa fertilidade (WEN, 1988), indicando que a resposta da cultura aos elementos terras raras deve estar diretamente relacionada à fertilidade do solo. Resultados de 40 experimentos em campo, na China, mostraram que a aplicação de elementos terras raras aumentou o rendimento de grãos de soja em até 8,9% (QIAO e ZHANG, 1989; XIONG et al., 2000).

### **c) Interação com outros elementos**

Sabe-se que os terras raras têm características similares ao Ca e localizam-se nos mesmos sítios de ação nos organismos, mostrando efeitos similares (WANG et al., 1998 apud HU, 2002). Especialmente o La é considerado análogo ao Ca sendo chamado de 'super-cálcio' (BROWN et al., 1990), mostrando uma função similar ao Ca, com relação à absorção e translocação em plantas (SQUIER et al., 1990).

Além de interagir com o Ca, os terras raras podem interagir com outros íons nas células, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) levando a um aumento na absorção desses elementos após o uso de fertilizantes contendo elementos terras raras (NING e XIAO, 1989), ou restringir de alguma forma sua absorção e, conseqüentemente, diminuir sua concentração nos tecidos e/ou interferir no seu mecanismo de ação.

Em estudo com *Tagetes patula* L., Suzuki et al. (2001) concluíram que o La afetou a absorção de Sc, Mn, Se e Rb. Como o comportamento do Rb<sup>+</sup> e do K<sup>+</sup>, em termos de absorção pelas plantas, é praticamente o mesmo, segundo os autores, a diminuição na absorção de Rb<sup>+</sup> causada pela aplicação de La poderia ser observada da mesma forma na absorção do K<sup>+</sup>.

O conteúdo de Ca, Mg, Mn e Zn na parte aérea e de Ca e Mg nas raízes de plântulas de trigo cultivadas em potes, com fornecimento de solução nutritiva em casa-de-vegetação, foi menor nos tratamentos com fornecimento de La e Ce do que no tratamento controle, indicando que esses elementos podem interferir na ação dos nutrientes. Seus conteúdos decresceram na medida em que aumentaram as concentrações de La e Ce no meio de cultura (HU et al., 2002).

### **d) Sob condições de estresse**

Os elementos terras raras podem aumentar o crescimento das culturas sob condições de estresse, tais como estresse hídrico e salino, chuva ácida, poluição por chumbo (Pb), aumento do nível da radiação ultravioleta-B (UV-B), doenças em

plantas, etc.

Estudos têm demonstrado que íons terras raras podem regular o balanço metabólico de radicais livres, pois afetam as atividades de enzimas protetoras e, conseqüentemente, a tolerância ao estresse (YE et al., 2008).

O Ce pode diminuir os efeitos deletérios do aumento do nível de radiação UV-B, causado pela destruição da camada de ozônio, na fotossíntese e na produção das culturas. Sob radiação UV-B e tratamento com Ce, plântulas de mostarda apresentaram recuperação mais rápida na permeabilidade das membranas e na clorofila, após dano causado pela luz. O Ce foi capaz de aumentar efetivamente a habilidade de enzimas protetoras (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) em capturar radicais livres, diminuindo assim o dano dos radicais ao sistema de membranas (LIANG et al., 2006). Logo, a aplicação de Ce para regulação das atividades de enzimas de defesa e manutenção da estabilidade das membranas pode fornecer às culturas resistência à radiação UV-B.

Em experimentos com aplicação de La em vasos e no campo com diversas culturas e pastagens, Buckingham et al. (1999) observaram que sob certas condições, especialmente deficiência de água, o La tem efeito positivo no crescimento das plantas.

#### **e) Tratamento de sementes**

A aplicação de elementos terras raras nas sementes mostrou ser uma técnica eficaz para melhorar seu potencial germinativo, além do crescimento e o desenvolvimento das plântulas e, posteriormente, o rendimento das culturas.

Em trigo de inverno, a mistura de 60-120 mg kg<sup>-1</sup> de elementos terras raras na forma de nitrato nas sementes aumentou o rendimento em 8,7-16,5% comparado com o tratamento controle (WU et al., 1984 apud HU et al., 2004). Com concentrações relativamente baixas, 0,0005 mg kg<sup>-1</sup> de elementos terras raras aplicados em sementes de trigo, na forma de nitrato, Jie e Yu (1985) obtiveram 6,3 a 12,6 % de aumentos no rendimento comparados com sementes não tratadas. A aplicação de sulfato de cério, até 100 mg kg<sup>-1</sup> de sementes, aumentou o crescimento

da parte aérea e das raízes de *Phaseolus radiatus* e *Brassica pekinensis* (VELASCO et al., 1979).

A aplicação de elementos terras raras nas sementes é uma técnica comum e de rotina na produção de soja chinesa. O uso da imersão das sementes em solução contendo 0,01 a 0,1% de elementos terras raras elevou a germinação de 74 para 94% (ZHU e WU, 1982). Em experimento conduzido por Xiong et al. (2000), o tratamento das sementes mostrou ser o método mais vantajoso, aumentando a germinação em torno de 4,4 a 9,6%.

A mistura de 1,0 a 2,3 g de terras raras com 1,0 kg de sementes de soja aumentou a quantidade de raízes em 10,9 a 34,6% em relação ao tratamento controle, a nodulação das raízes até o estágio de florescimento foi superior em 14,3 a 59,8%, além de aumentar o peso dos nódulos das raízes por planta em 24,1 a 50% (CHEN, 1991 apud HU et al., 2004).

A maioria dos trabalhos a respeito do tratamento de sementes disponíveis até o momento relaciona o tratamento com terras raras de uma maneira geral, e não com o efeito particular do Ce e/ou La. Sendo assim, também não há uma metodologia específica para a aplicação dos elementos as sementes, tanto com relação a , forma de aplicação (produto sólido ou em solução), quanto com o tempo de exposição.

#### **f) Efeitos negativos**

Efeitos negativos da aplicação de elementos terras raras em organismos vegetais foram encontrados em diferentes culturas e situações.

Aplicações foliares ou radiculares de soluções de La e Ce na forma de nitrato ou de um fertilizante comercial, contendo esses elementos (12,4% Ce e 8,7% La), em milho e feijão mungo, em experimentos conduzidos em casa-de-vegetação, não tiveram efeito positivo na produção de biomassa da parte aérea nas taxas recomendadas (0,06 a 2,5%) pela agricultura chinesa (DIATLOFF et al., 1999).

Altas taxas causaram danos nas folhas e reduziram a massa seca da parte aérea, tanto quando pulverizados com a solução de La ou Ce, quanto com fertilizante comercial contendo esses elementos (soluções de 0,5 a 1,0%). Logo, a

causa principal dos efeitos adversos da aplicação de fertilizantes comerciais contendo terras raras, segundo Diatloff et al. (1999), seria o conteúdo de La e Ce.

Quando fornecidos em solução às raízes, em meio de cultura, concentrações de La ou Ce relativamente baixas, próximas a  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ , foram tóxicas a feijão mungo. O milho foi mais resistente, sendo que os efeitos tóxicos ocorreram nas concentrações maiores que  $0,7 \text{ mg L}^{-1}$  de La ou Ce.

Concentrações de  $0,5$  a  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{La}^{3+}$  ou  $\text{Ce}^{3+}$ , em meio de cultura, inibiram a elongação radicular primária em plântulas de trigo, levaram a um decréscimo na massa seca de raízes e da parte aérea e, também, nos conteúdos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), cobre (Cu) e zinco (Zn). O grau de dano aumentou com as concentrações de La e Ce no meio e com o tempo de exposição (HU et al., 2002).

## CAPÍTULO 1

### QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALFACE TRATADAS COM SOLUÇÕES DE CÉRIO E LANTÂNIO

### PHYSIOLOGICAL QUALITY OF LETTUCE SEEDS TREATED WITH CERIUM AND LANTHANUM SOLUTIONS

#### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes e o crescimento inicial de plântulas de alface após tratamento das sementes com cério (Ce) ou lantânio (La). Para tal, sementes de alface, cultivar Regina, foram imersas em solução aquosa de Ce ou La, em experimentos distintos, nas concentrações de 0; 5; 10; 15; 20; 25 mg de Ce L<sup>-1</sup> ou 0; 2; 6; 12; 20; 30 mg de La L<sup>-1</sup>, por uma hora. Em seguida, foram realizados os testes de germinação e primeira contagem de germinação, classificação do vigor de plântulas (experimento com Ce), comprimento e massa seca de plântulas, estresse térmico (experimento com La). Foi determinada a quantidade de Ce e La absorvida pelas sementes e plântulas. Foram utilizados seis tratamentos (concentrações de Ce e La) e quatro repetições. Os resultados mostraram que a aplicação de Ce nas sementes de alface não influenciou a percentagem de plântulas normais na primeira e na última contagem. Houve aumento do comprimento e da massa seca das plântulas em determinadas concentrações. No caso do La a germinação das sementes de alface não diferiu entre os tratamentos; houve aumento do vigor, expresso pelo teste de primeira contagem. O comprimento das plântulas não diferiu entre os tratamentos, enquanto a massa seca diminuiu. A 30°C e com La a germinação e o vigor aumentaram. Concluiu-se que a aplicação de Ce em sementes de alface estimula a formação de plântulas vigorosas, aumentando o comprimento e a massa seca das plântulas. O La aumenta a germinação e o vigor de sementes de alface, especialmente a 30°C.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., terras raras, germinação, vigor.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate physiological quality of seeds and initial growth of lettuce seedlings after seed treatment with cerium (Ce) or lanthanum (La). For this, lettuce seeds, cultivar Regina, were immersed in solutions, at cerium or lanthanum, at different experiments, in concentrations of 0; 5; 10; 15; 20; 25 mg L<sup>-1</sup>, or lanthanum, 0; 2; 6; 12; 20; 30 mg L<sup>-1</sup>, for one hour. Then were applied tests of germination and first counting of germination, vigor classification of seedlings (for Ce), shoot and root length and seedlings dry mass, thermal stress (for La). Were utilized six treatments (Ce concentrations) and four replications. Results shows that lettuce seeds treatment with Ce did not enhance percentage of normal seedlings, at first counting of germination and germination. The length and dry mass of lettuce seedlings increased at some concentrations. For La, seed germination of lettuce not differ on the treatments, at first counting of germination, vigor enhanced. The total length was not significantly different at the treatments, but dry mass was reduced. At 30°C and with La germination and vigor enhanced. We concluded that treatment of lettuce seeds with Ce stimulated formation of vigorous seedlings and increased seedlings length and dry mass. La increase germination and vigor of lettuce seeds, especially at 30°C.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L., rare earths, germination, vigor.

## INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, anual, com caule diminuto, onde se prendem folhas que crescem em roseta, na volta do mesmo, sendo lisas ou crespas, formando ou não uma cabeça (FILGUEIRA, 2000). Seu cultivo pode ser feito em campo, mas os cultivos intensivos vêm obtendo cada vez mais ênfase, como é o caso do cultivo protegido, no solo, em substratos ou em sistemas hidropônicos.

A utilização de sementes de alta qualidade é de fundamental importância para se obter uma boa implantação da cultura, bem como, para otimizar a ação dos

demais fatores de produção. No entanto, estas apresentam alta sensibilidade às condições do ambiente, podendo ocorrer problemas na germinação e emergência (EIRA, 1988).

A germinação de sementes de alface é bastante influenciada pela temperatura e é otimizada a 20 °C, sendo que temperaturas em torno ou acima de 30 °C, para a maioria das cultivares, podem acarretar prejuízos à germinação, reduzindo a velocidade ou a percentagem de germinação, o que poderá posteriormente reduzir a produtividade da cultura (GOTO,1998).

Os processos fisiológicos e bioquímicos que controlam a dormência de sementes e o possível mecanismo da germinação das sementes de alface, principalmente, sob condições de altas temperaturas, ainda esperam completo esclarecimento. Nas últimas décadas, dezenas de publicações têm sido dedicadas à explicação das razões por que as sementes de alface não germinam em determinadas condições e quais tratamentos permitem a germinação (CANTLIFFE et al., 2000).

Tecnologias que propiciem melhor desempenho em condições normais de cultivo ou em condições desfavoráveis constantemente são desenvolvidas. O tratamento de sementes é uma realidade para aumentar o desempenho das sementes, principalmente daquelas espécies e variedades ou híbridos de alto valor. Este processo envolve diversos produtos, formulações, combinações e equipamentos. O uso de sementes tratadas, segundo Machado (1988), é um dos métodos mais simples, de custo relativamente baixo e de reflexos altamente positivos para o aumento da produtividade.

O tratamento de sementes de alface pode ser empregado para proteger as sementes contra o ataque de insetos e doenças, ou fornecer nutrientes à cultura, ficando estes disponibilizados desde o início do crescimento e do desenvolvimento da plântula, proporcionando assim maiores condições de competição inicial. Uma das formas de disponibilização é a imersão das sementes em soluções que contenham os elementos desejados.

O emprego de elementos terras raras, também chamados de lantanídeos, vem despertando interesse há muitos anos devido aos benefícios advindos da sua utilização em diversos segmentos da indústria e da agricultura. O uso destes elementos na agricultura é mais comum na China, onde são aplicados na forma de fertilizantes, nas plantas adultas, via foliar ou no solo, nas plântulas ou nas sementes

(HU et al., 2004). Os elementos que aparecem em maiores quantidades nestes fertilizantes são o cério (Ce) e o lantânio (La) (YUAN et al., 2001), justamente os mais estudados isoladamente, a fim de explicar melhor a ação dos fertilizantes.

Alguns benefícios do uso de terras raras vêm sendo observados, tais como, aumentos no rendimento e no conteúdo de clorofila, estímulo à germinação das sementes e ao crescimento de plantas (HU et al., 2004). Experimentos com plântulas de beterraba mostraram que a aplicação de terras raras em concentrações de 0,01 a 0,1% aumentou o comprimento radicular em 48%, a altura das plantas em 32%, a massa seca em 10 a 55% em todos os casos, além de aumentar a germinação e a rizogênese (FENG, 1987 apud HU et al., 2004).

Sob condições de estresse os elementos terras raras podem proteger as plantas, diminuindo os efeitos negativos e, conseqüentemente, os prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das mesmas. Altas ou baixas temperaturas, elevada intensidade de radiação ultravioleta, entre outros fatores, podem induzir a uma superprodução de radicais livres pelas plantas, resultando em oxidação de lipídios nos tecidos (COSTA et al., 2002). Enzimas antioxidantes capturam os radicais livres nas células e diminuem os danos causados por eles ao sistema de membranas. Dessa forma, os elementos terras raras podem aumentar a atividade destas enzimas (LIANG et al., 2006).

Em sementes envelhecidas de espinafre, Chao et al. (2004) observaram que após o tratamento com La e, especialmente, com Ce, a germinação e o vigor de sementes aumentaram. Além disso, as atividades das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e peroxidase aumentaram, enquanto o conteúdo de O<sub>2</sub> e a permeabilidade das membranas diminuíram.

Com relação aos efeitos dos elementos terras raras no crescimento e desenvolvimento das culturas, não há consenso, e poucos são os trabalhos estudando o comportamento desses elementos aplicados às sementes (ZANG et al., 1999; XIONG et al., 2000; FASHUI, 2000, 2002, 2003), sendo inexpressivos em hortaliças. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes e o crescimento inicial de plântulas de alface tratadas com Ce e La.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes, 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, no período de 2007 e 2008.

Para realização dos experimentos foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar Regina. Em experimentos distintos, as sementes foram imersas em água e em soluções aquosas contendo cério (Ce),  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  e lantânio (La),  $(\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ . Para preparação das soluções foi utilizada água de alta pureza (resistividade 18,2 M $\Omega$ cm).

Cerca de 2000 sementes de alface foram colocadas em caixas plásticas do tipo “gerbox” com 40 mL de solução por tratamento, nas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg de Ce L<sup>-1</sup> e, de 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg de La L<sup>-1</sup>, com temperatura na faixa de 20 °C. As concentrações foram escolhidas mediante experimentos realizados previamente em laboratório. As sementes ficaram imersas nas soluções com diferentes concentrações por uma hora. Após este período, as sementes foram retiradas da solução, lavadas, com água destilada e secadas, superficialmente com papel toalha.

Parte das sementes tratadas foi utilizada para realização de avaliações fisiológicas e parte foi utilizada para determinar a concentração de Ce e La absorvida pelas sementes. Após os tratamentos, na porção destinada à avaliação da qualidade fisiológica, foram aplicados os seguintes testes:

### **Teste de germinação (G)**

Quatro repetições de 100 sementes foram semeadas sobre papel umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato, em caixas plásticas do tipo “gerbox”, e mantidas em germinador a 20 °C. As contagens foram efetuadas aos quatro e sete dias após o início do teste. Foram consideradas as plântulas normais de cada repetição, obtendo-se a média das repetições, sendo os dados expressos em percentagem de germinação. Conduzido nos experimentos com Ce e La.

### **Teste de primeira contagem da germinação (PC)**

Realizada conjuntamente com o teste de germinação, computando-se a percentagem de plântulas normais obtidas no quarto dia após a instalação do teste. Foi considerado como resultado do teste a média das repetições, expressa em percentagem de plântulas normais.

### **Classificação do vigor de plântulas**

No experimento com Ce, juntamente com o teste de primeira contagem da germinação foi determinada a percentagem de plântulas normais fortes (FO). Foram consideradas fortes as plântulas normais com comprimento do hipocótilo maior que 1,3 cm.

### **Comprimento de plântulas (CP)**

O comprimento das plântulas foi determinado, tanto no experimento com Ce quanto com La, a partir da semeadura de quatro repetições de 15 sementes, as quais foram dispostas sobre uma linha reta, traçada no sentido longitudinal e localizada no terço superior de substrato rolo de papel. Os rolos, contendo as sementes, permaneceram à temperatura constante de 20 °C por cinco dias, quando então, foi mensurado o comprimento das plântulas normais, tomadas aleatoriamente, com o auxílio de régua graduada em milímetros. O comprimento médio, da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO), das plântulas normais foi obtido somando-se as medidas de dez plântulas normais por repetição e dividindo-se por esse número de plântulas, com resultados expressos em cm.

### **Massa seca de plântulas (MS)**

Conduzido a partir de quatro repetições de 10 plântulas, originadas 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 0,001g e o valor obtido da soma de cada repetição dividida pelo número de plântulas utilizadas. O resultado foi expresso em mg/plântula.

### **Estresse térmico**

Conduzido no experimento com La, de forma semelhante aos testes de germinação e primeira contagem, porém foi utilizada a temperatura de 30 °C. As contagens foram realizadas aos quatro e sete dias após o início do teste. Foram consideradas as plântulas normais de cada repetição, obtendo-se a média das repetições, sendo os dados expressos em percentagem de germinação.

### **Concentração de Ce e La nas sementes e plântulas**

A porção restante das sementes, após o tratamento com Ce e La, foi colocada em sacos de papel e permaneceu em estufa a 70 °C por 48 horas, sendo posteriormente encaminhada para determinação do teor de Ce e La nas sementes. Após o teste de primeira contagem da germinação, 24 plântulas por tratamento, foram colocadas também em sacos de papel a 70 °C por 48 horas, para a mesma determinação nas plântulas.

As determinações de concentração de Ce e La nas sementes e nas 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.

A concentração de Ce nas sementes de alface foi determinada após os tratamentos com as concentrações de 0, 5, 10, 20 e 50 mg de Ce L<sup>-1</sup>, e na massa seca das plântulas, após os tratamentos com as concentrações de 0; 20 e 50 mg de Ce L<sup>-1</sup>. A concentração de 50 mg de Ce L<sup>-1</sup> foi utilizada apenas na análise química das sementes e plântulas. Em La foi determinada a quantidade na massa seca das plântulas, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg de La L<sup>-1</sup>.

### **Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os tratamentos foram compostos de concentrações de Ce (0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup>) e La (0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando seis tratamentos por elemento. Os dados foram submetidos à análise da variância e à regressão polinomial (P<0,05) para avaliar a influência de diferentes concentrações de Ce e La,

sendo analisados separadamente. As variáveis de percentagem foram transformadas previamente para arcoseno.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de Ce nas sementes de alface não aumentou a percentagem de plântulas normais na primeira e na última contagem (Figura 1a). A percentagem de plântulas normais fortes aumentou a partir da concentração de 15 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Figura 1a). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Fashui (2002) em sementes de arroz. O vigor destas sementes aumentou após serem tratadas com Ce, em consequência, segundo o autor, do aumento da taxa respiratória e da atividade enzimática. O aumento da taxa respiratória torna-se mais importante, especialmente em sementes envelhecidas, onde o processo de respiração está prejudicado.

A germinação das sementes de alface tratadas com La não diferiu entre os tratamentos, alcançando um valor médio de 89% (Figura 1b). Houve aumento do vigor, expresso pelo teste de primeira contagem da germinação, até a concentração de 12 mg de La L<sup>-1</sup>. Posteriormente, a percentagem de plântulas normais diminuiu, na dose de 20 mg de La L<sup>-1</sup>, voltando a subir na dose de 30 mg de La L<sup>-1</sup>.

Quando os testes com La foram conduzidos a temperatura de 30°C (Figura 2), simulando um estresse térmico, a percentagem de plântulas normais aumentou de zero até a concentração de 6 mg de La L<sup>-1</sup>. A partir da concentração de 12 mg de La L<sup>-1</sup>, diminuiu a percentagem de plântulas normais, sendo mínima com 30 mg de La L<sup>-1</sup>. Este comportamento foi observado tanto na primeira quanto na última contagem a 30 °C.

Observou-se que, tanto para o teste de germinação quanto para o de primeira contagem, a 30°C e com La, a concentração zero apresentou valores inferiores, 75 e 72% respectivamente, e, quando se aplicou o La, a percentagem de plântulas normais aumentou, atingindo valores superiores a 80% (Figura 2).

Quando as sementes foram submetidas ao estresse a 30°C o tratamento com La contribuiu para uma recuperação e incremento da germinação e do vigor das sementes. Segundo Fashui (2000), o La aumenta a atividade das enzimas

envolvidas na defesa da planta em condições de estresse, sendo responsáveis pela captura de radicais livres, e por isso chamadas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Um excesso de radicais livres pode causar danos ao sistema de membranas. Tanto o La quanto o Ce poderiam aumentar a capacidade de captura de radicais pelo sistema de enzimas, levando a estabilidade das membranas (LIANG et al., 2006).

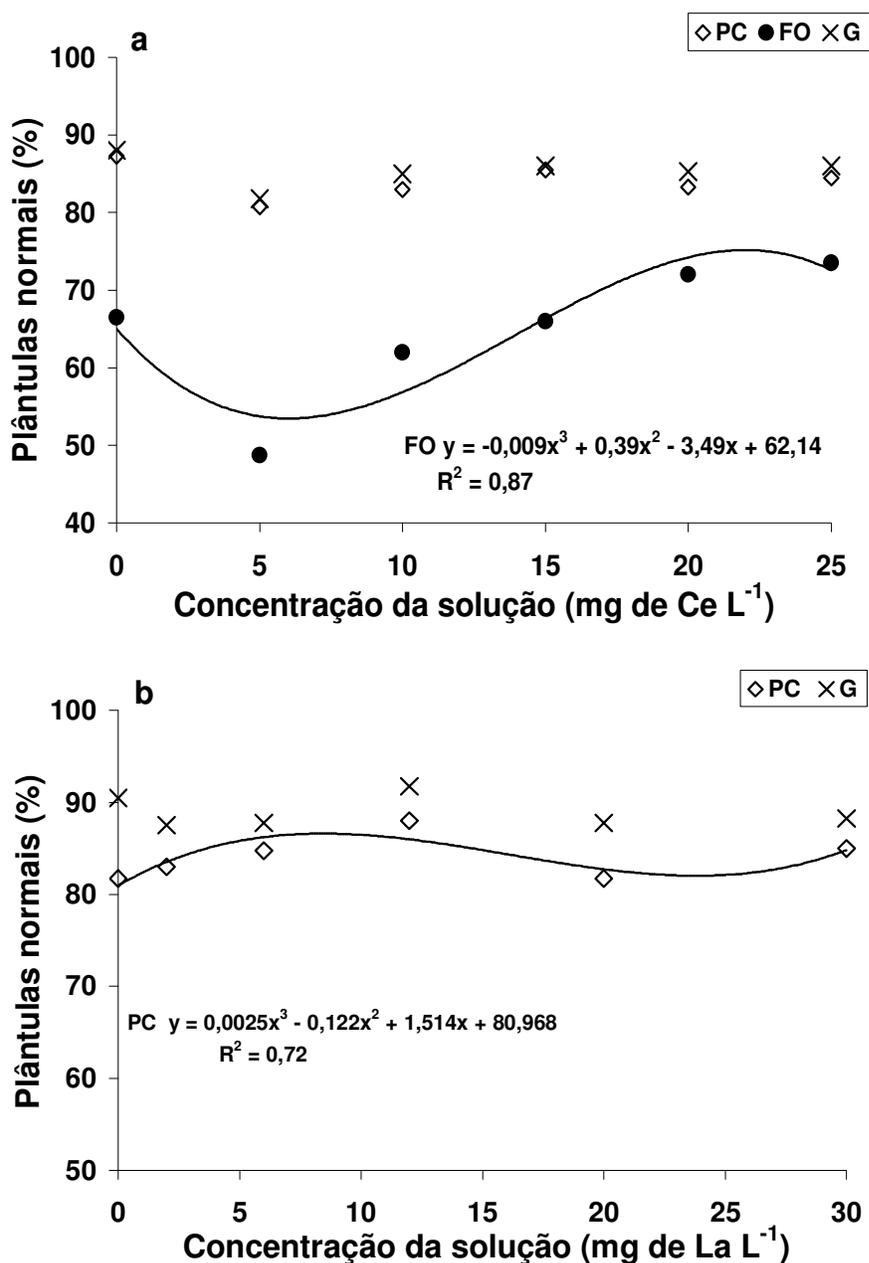
O comprimento da parte aérea e das raízes das plântulas de alface apresentou aumento até a concentração de 20 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Figura 3a). Comportamento similar foi observado para o comprimento total das plântulas de alface, sendo maior na concentração de 15 mg de Ce L<sup>-1</sup>. A massa seca das plântulas de alface (Figura 4a) aumentou a partir da concentração de 5 mg de Ce L<sup>-1</sup>, alcançando o maior valor (0,60 mg por plântula) em 15 de Ce mg L<sup>-1</sup>.

Esse aumento no crescimento das plântulas observado nos experimentos com Ce, seria porque, assim como os demais elementos terras raras, o Ce pode desenvolver importante função afetando os ácidos nucléicos e as proteínas dentro das células e do núcleo, estimulando a alongação radicular e a divisão celular, além de outras funções biológicas, como sugeriram Yuan et al. (2001).

No experimento com La, os tratamentos não influenciaram de forma positiva no crescimento da cultura. O comprimento das plântulas não diferiu entre os tratamentos (Figura 3b), enquanto a massa seca diminuiu, a 20 °C (Figura 4b). A ausência de efeitos positivos do La ou dos outros elementos terras raras, no crescimento das culturas, resultaria da bioacumulação excessiva destes elementos nas plantas, podendo mudar alguma função metabólica quando são absorvidos (HU et al., 2002). Com o aumento no acúmulo de La e Ce nas plantas as massas secas da parte aérea e das raízes podem decrescer. Resultado similar também foi observado por Diatloff et al. (2008), pois, tanto o La quanto o Ce prejudicaram o crescimento, o adequado funcionamento das raízes e a condição nutricional de milho em concentrações maiores que 0,03 mg L<sup>-1</sup>.

Quanto ao acúmulo do Ce e La (Tabela 1) nas sementes, observou-se que o Ce foi absorvido pelas sementes alface. As quantidades absorvidas foram crescentes à medida que aumentaram as concentrações nas soluções. O mesmo comportamento foi encontrado com relação à absorção pelas plântulas, de Ce e La. Da mesma forma, em experimento com plântulas de trigo, o acúmulo de Ce e La nas plântulas aumentou a medida que aumentaram as concentrações no meio de

cultura, de 0,5 até 25,0 mg L<sup>-1</sup>, além do tempo de exposição (HU et al., 2002). Logo, tanto o Ce quanto o La são capazes de entrar via solução aquosa nas sementes de alface e posteriormente ser translocados para a parte aérea e raízes das plântulas, embora em quantidade pequenas.



**Figura 1 - Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de alface (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.**

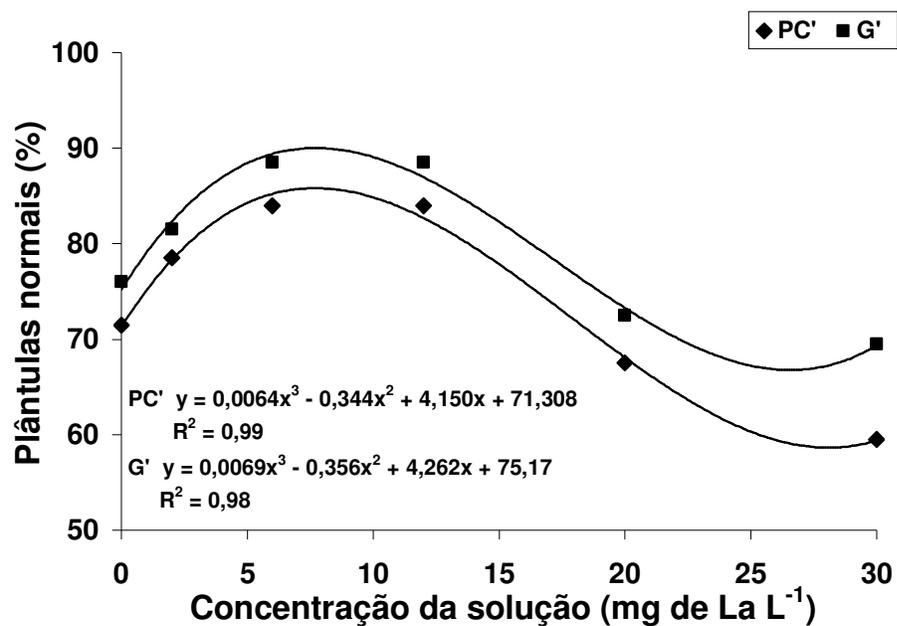


Figura 2 – Plântulas normais (%) após tratamento das sementes de alface com lantânio (La) e estresse térmico a 30 °C. Santa Maria – RS, 2008.

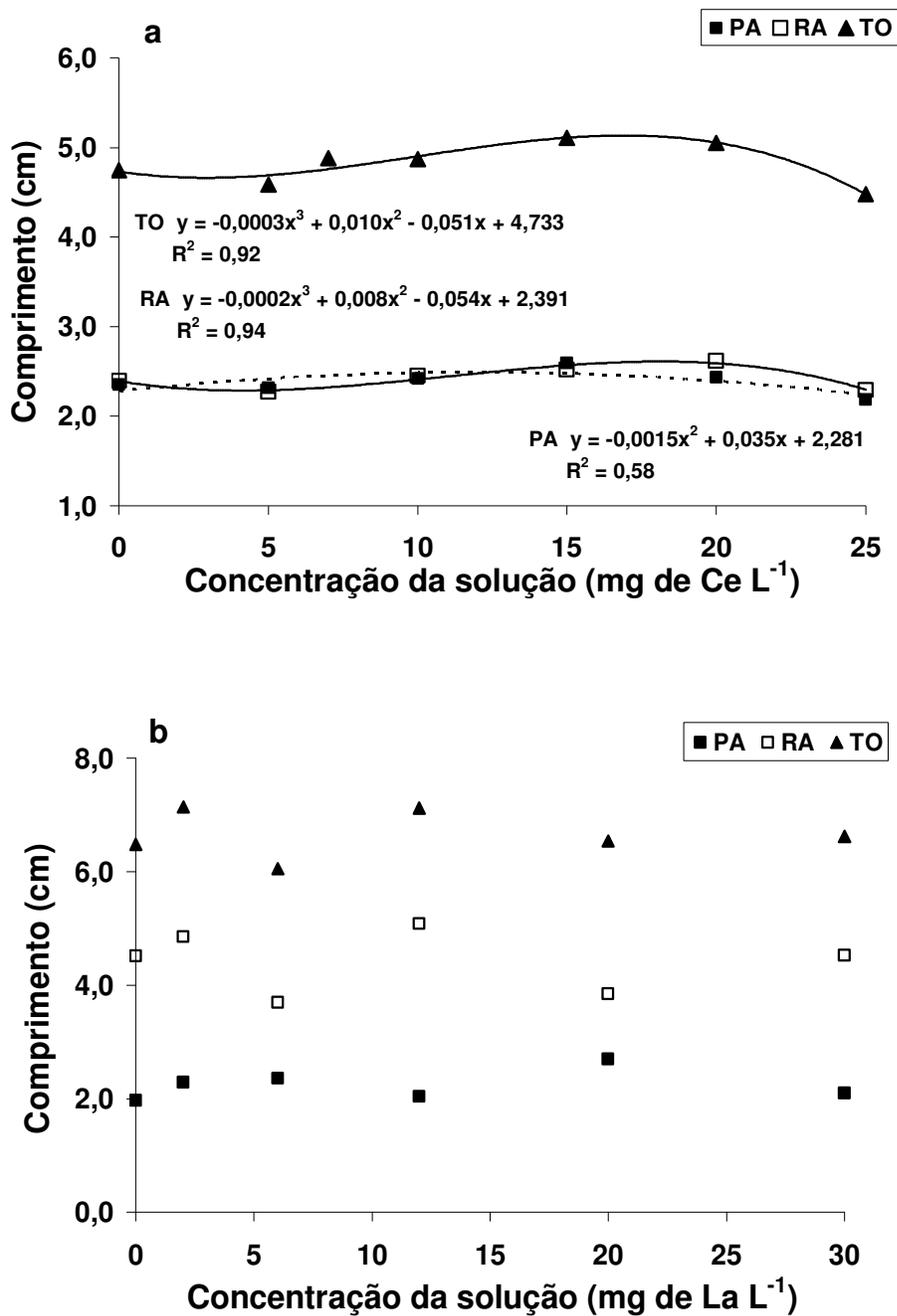


Figura 3 - Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de alface após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

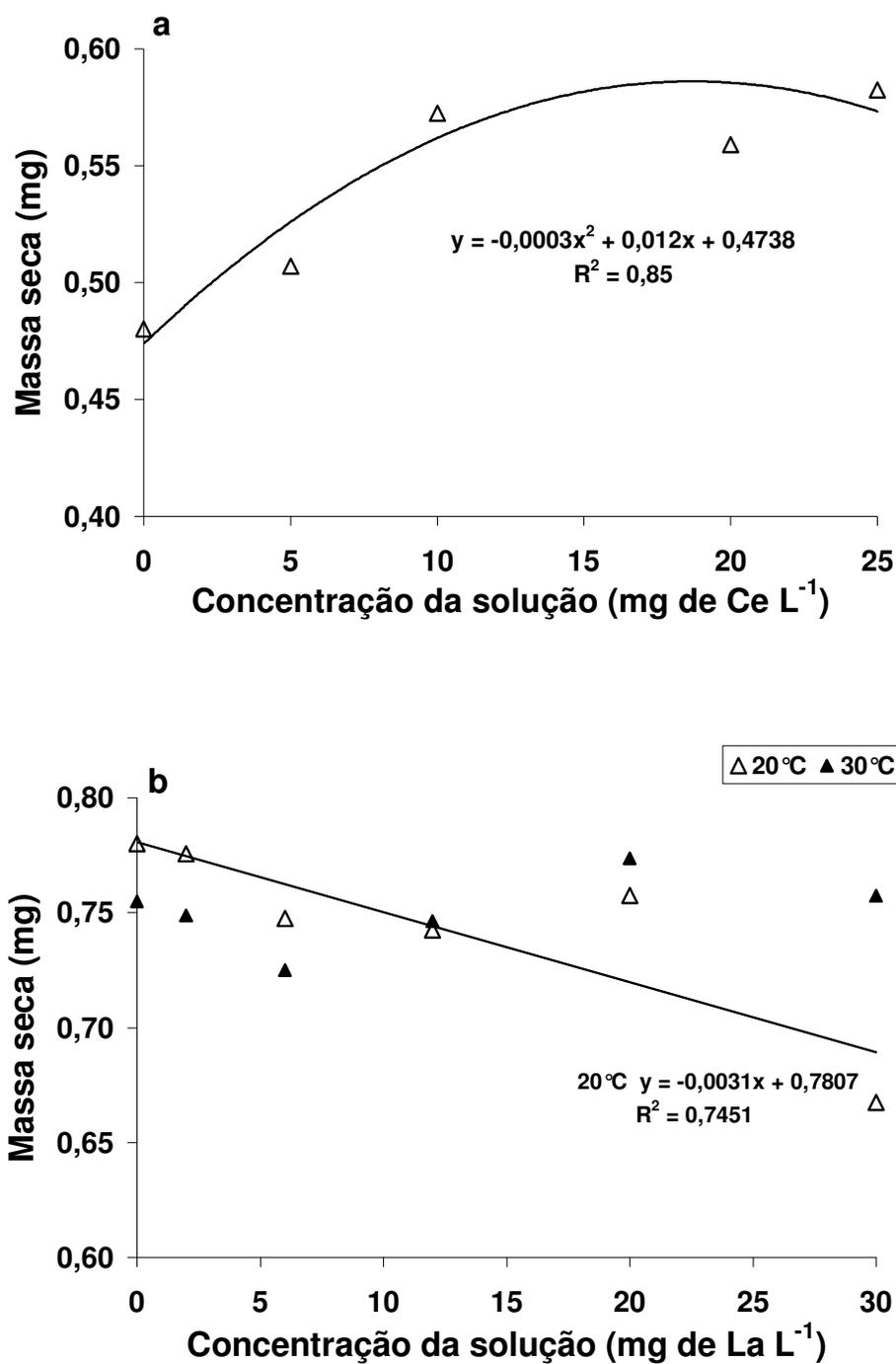


Figura 4 – Massa seca (mg) de plântulas de alface após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

**Tabela 1 – Concentração de Ce e La na solução, nas sementes e nas plântulas de alface. Santa Maria – RS, 2008.**

Concentração na solução (mg L <sup>-1</sup> )		Concentração nas sementes (µg g <sup>-1</sup> )	Concentração nas plântulas (µg g <sup>-1</sup> )	
La	Ce	Ce	La	Ce
0	0	0,00	0,00	0,00
2	5	3,27	1,24	
6	10	9,64	2,44	
12	20	80,82	5,90	3,1
20	50	140,65	7,10	1,76
30			14,29	

## CONCLUSÕES

Sementes de alface tratadas com solução de cério são capazes de absorvê-lo; tanto o cério quanto o lantânio são translocados as plântulas de alface;

A concentração de cério e de lantânio nas sementes e na massa seca das plântulas foi crescente à medida que aumentaram as concentrações na solução aquosa;

O cério aplicado na forma de solução aquosa melhora o vigor de sementes de alface, estimulando o crescimento das plântulas;

O lantânio na forma de solução aquosa favorece a qualidade fisiológica de sementes de alface, especialmente em condição de estresse térmico, a 30 °C.

## CAPÍTULO 2

### TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO COM CÉRIO E LANTÂNIO

#### CORN SEED TREATMENT WITH CERIUM AND LANTHANUM

##### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a germinação e o vigor das sementes em laboratório; o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento em campo da cultura do milho, após tratamento das sementes com os elementos terras raras cério (Ce) e lantânio (La). Para tal, sementes de milho, cultivar Pioneer 30F53, foram imersas em solução aquosa, por uma hora. No experimento com Ce, as concentrações utilizadas foram 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> e, no experimento com La, utilizaram-se 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>. Então foram aplicados os testes de germinação, primeira contagem, classificação do vigor, comprimento e massa seca de plântulas. Para cada elemento foram empregados seis tratamentos e quatro repetições. Os resultados mostraram que a aplicação de Ce nas sementes de milho aumentou a germinação e o vigor. No experimento com La não houve efeito sobre a germinação. O comprimento da parte aérea, das raízes e total das plântulas de milho aumentou tanto no experimento com Ce quanto com La, sendo que as raízes apresentaram crescimento maior do que a parte aérea. A massa seca das plântulas de milho aumentou tanto com Ce quanto com La. Em campo foram desenvolvidos experimentos de tratamento das sementes de milho com Ce ou La. As sementes foram tratadas com água e soluções de Ce ou La, totalizando dois tratamentos e quatro repetições por elemento. Não houve efeito do Ce e do La sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas em campo. Concluiu-se que a aplicação de Ce e de La em sementes de milho aumentou a germinação, o vigor das sementes, mas não teve influência no crescimento vegetativo e no florescimento em campo. O tratamento com Ce é capaz de aumentar o rendimento final da cultura do milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., terras raras, germinação, vigor, crescimento, desenvolvimento, rendimento.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate seeds germination and vigor at laboratory; growth, development and yield at field of corn, after seed treatment with rare earth elements cerium (Ce) and lanthanum (La). For this, corn seeds, cultivar Pioneer 30F53, were immersed in watery solutions, for one hour. In cerium experiment the concentrations utilized were 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup>, and in lanthanum experiment, 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup>. Then were aplicated tests of germination, first counting of germination, vigor classification of seedlings, shoot and root length and seedlings dry mass. Were utilized six treatments and four replications, for Ce and La. Results shows that corn seeds treatment with Ce enhanced percentage of normal seedlings, at germination test, and vigor. For La experiment, didn't have effect on germination. The total, shoot and root length enhanced at Ce and La experiments, and roots growth more than shoots. Dry mass increased with Ce and with La. Didn't have effect of Ce and La on plants growth and development. Was concluded that treatment of corn seeds with Ce enhanced germination, vigor and growth of seedlings in laboratory, but didn't have effect on vegetative growth and flowering at field. Ce treatment increased corn yield.

**Keywords:** *Zea mays* L., rare earths, germination, vigor, growth, development, yield.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal produzido em todo o mundo, sendo que, na safra 2006/07 sua produção chegou a cerca de 700 milhões de toneladas. No Brasil constatou-se um crescimento na produção de 21,5% em relação a 2006, totalizando 51,8 milhões de toneladas em 2007, sendo quase 6 milhões produzidas no Rio Grande do Sul (IBGE, 2008).

O milho produzido na primeira safra apresentou um rendimento médio superior ao de 2006 (IBGE, 2008), sendo que a produção brasileira de 2007 situou-se, segundo a Conab, em 36,6 milhões de toneladas, montante 15% maior que o colhido no mesmo período do ano anterior. O aumento decorreu, além do leve

incremento da área (2,2%), da expressiva melhora da produtividade. Com relação à safrinha, o forte crescimento da área e o comportamento favorável do clima proporcionaram um avanço de 38% em relação aos 10,7 milhões de toneladas colhidas na safrinha anterior (BRUGNAGO NETO, 2007)

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 utilizada pelos produtores para aumentar o desempenho das sementes, especialmente de espécies de alto valor, como os híbridos de milho, pois protege a cultura durante as fases iniciais do ciclo.

Garantindo maiores taxas de germinação e emergência mais uniforme, forma-se um estande final mais uniforme, com um fechamento das entrelinhas mais precoce, aumentando-se a probabilidade de obter um número maior de espigas por unidade de área, um dos componentes mais importantes do rendimento. Estes ganhos podem ser obtidos com a aplicação de vários produtos às sementes, como fungicidas, inseticidas, estimulantes de crescimento e micronutrientes, como o zinco (Zn), o molibdênio (Mo) e o cobalto (Co).

Uma ferramenta alternativa no tratamento de sementes para alcançar um bom estabelecimento da lavoura de milho pode ser a aplicação dos elementos terras raras nas sementes. Estes, quando fornecidos em pequenas quantidades (traços), podem agir de maneira semelhante aos micronutrientes, trazendo algum tipo de benefício às plantas.

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. Entre as respostas para estes ganhos estão aumentos na taxa e na intensidade fotossintética, no conteúdo de clorofila, na atividade de enzimas fotossintéticas, na massa seca e fresca, na taxa de desenvolvimento, no aumento da produção de raízes, entre tantos outros efeitos importantes (HU et al., 2004). Entretanto, as razões para promoção do crescimento e aumento no rendimento ainda não foram suficientemente compreendidas.

O recomendado é que os elementos sejam aplicados nos estádios iniciais de desenvolvimento, dependendo da espécie. Juntamente com o fornecimento diretamente às raízes, outro método comumente utilizado é o tratamento de sementes, na forma de revestimento ou embebição das sementes ou aplicação foliar (TYLER, 2004).

Em mais de 100 espécies cultivadas foram observados aumentos importantes de rendimento a partir da utilização destes elementos. Em milho foram encontrados incremento de 9 até 100% no rendimento, na China (XIONG et al., 2000), o que logo chama a atenção para a utilização destes elementos na agricultura.

Entretanto, em estudos conduzidos especialmente na Austrália (DIATLOFF, 1995a, b, c, 1999, 2008), foram encontrados efeitos nulos, poucos efeitos positivos e muitos efeitos negativos durante o crescimento e desenvolvimento e no rendimento final de plantas de milho, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, especialmente, quando os elementos foram fornecidos à parte aérea ou às raízes na forma de solução.

As respostas normalmente diferem quanto ao método, à taxa de aplicação, às concentrações utilizadas, ao tempo de exposição, além do produto utilizado, se fertilizantes de terras raras ou elementos isolados, e por isso são considerados contraditórios em sua grande maioria.

A maior parte dos trabalhos faz referência ao fornecimento dos elementos em solução, via radicular ou foliar, ou diretamente no solo e poucos referem-se especificamente do tratamento de sementes. De uma maneira geral, o tratamento é conduzido com fertilizantes de terras raras, que tem a maioria dos elementos terras raras em sua constituição. Os resultados mostram melhoras no potencial germinativo das sementes, no crescimento e no desenvolvimento inicial das plântulas (FASHUI, 2000, 2002 e 2003).

Em sementes de milho, somente o trabalho de Cui e Zhao (1994) traz referência à utilização dos terras raras no tratamento de sementes, onde a aplicação de solução contendo nitrato de terras raras aumentou a fotossíntese, pois aumentou o índice de área foliar em 15,4%, o conteúdo de açúcares livres em 25,5% e os aminoácidos totais em 16,2%. Quanto ao tratamento específico com La e Ce não se encontrou qualquer citação.

Devido a indisponibilidade dos fertilizantes de terras raras no Brasil e pela maior facilidade de obtenção de Ce e La individualizados, nas várias formas

disponíveis no mercado, torna-se viável a aplicação dos mesmos no tratamento de sementes.

Assim, abre-se caminho para desenvolvimento de trabalhos nesta área, já que pesquisas envolvendo a ação dos terras raras quando aplicados em sementes são escassas, e concentradas na agricultura chinesa. Desta forma esses elementos constituem uma alternativa a ser introduzida na agricultura brasileira, desde que estudados antes de serem incluídos no meio ambiente.

Os objetivos do trabalho foram: avaliar o efeito do tratamento de sementes de milho, com os elementos terras raras Ce e La, sobre a qualidade fisiológica das sementes; avaliar o crescimento e o desenvolvimento de plântulas em laboratório e plantas em campo; e determinar a absorção dos elementos pelas sementes e plântulas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os trabalhos foram conduzidos no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes, 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, no período de 2007 e 2008.

Foram realizados experimentos com Ce ou La e sementes de milho (*Zea mays* L.), cultivar Pioneer 30F53.

Aproximadamente 300 sementes de milho por tratamento foram colocadas em caixas plásticas contendo 300 mL de água ou solução. Sendo utilizadas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> de cério (Ce) ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) no primeiro experimento e 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup> de lantânio (La) (La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) no segundo experimento. Foi utilizada água desionizada de alta pureza (resistividade 18,2 MΩcm).

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

Após os tratamentos, na porção destinada à avaliação da qualidade fisiológica, foram aplicados os seguintes testes:

#### **Teste de germinação (G)**

Realizado nos experimentos com Ce e com La, utilizando-se quatro repetições de 50 sementes, semeadas em rolos de papel, umedecidos previamente com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, que permaneceram em germinador a 25°C. A contagem foi efetuada aos sete dias após a semeadura. Foram consideradas as plântulas normais de cada repetição, obtendo-se a média das repetições, sendo os dados expressos em percentagem de germinação.

#### **Teste de primeira contagem de germinação (PC)**

Realizado conjuntamente com o teste de germinação, computando-se a percentagem de plântulas normais obtidas aos quatro dias após a instalação do teste. Foi considerado como resultado do teste a média das repetições, expressa em percentagem de plântulas normais.

#### **Classificação do vigor de plântulas**

Juntamente com o teste de primeira contagem de germinação foi determinada a percentagem de plântulas normais fortes (FO). Foram consideradas fortes as plântulas normais com comprimento da parte aérea maior que 3 cm e comprimento total maior que 6 cm, sem qualquer tipo de dano.

#### **Comprimento de plântulas (CP)**

Realizado a partir da semeadura de quatro repetições de 15 sementes, as quais foram dispostas sobre uma linha reta, traçada no sentido longitudinal e localizada no terço superior de substrato rolo de papel. Os rolos, contendo as sementes, permaneceram à temperatura constante de 25 °C por cinco dias, quando então, foi mensurado o comprimento das plântulas normais (parte aérea e raízes) 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).

### **Massa seca de plântulas (MS)**

Determinada a partir de quatro repetições de 10 plântulas, originadas 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 0,001g e o valor obtido da soma de cada repetição dividido pelo número de plântulas utilizadas. O resultado foi expresso em g/plântula.

### **Análises Químicas**

A porção restante das sementes, após o tratamento com Ce ou La, foi colocada em sacos de papel e permaneceu em estufa a 70°C por 48 horas (conforme testes realizados anteriormente), sendo posteriormente encaminhada para determinação do teor de Ce e La nas sementes. Após o 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 dos elementos.

As determinações de concentração 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 DRG-II<sup>®</sup>, PerkinElmer - Sciex, Canadá, empregando as condições recomendadas pelo fabricante.

Foram determinadas as concentrações de Ce após os 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 após os tratamentos com as concentrações de 0, 15 e 25 mg L<sup>-1</sup>. As determinações de concentração de La nas sementes, na parte aérea e nas raízes das plântulas, foram feitas para todos os tratamentos aplicados, ou seja, 0, 2, 6, 12, 20, e 30 mg de La L<sup>-1</sup>.

### **Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado em todos os casos foi o inteiramente casualizado. Os tratamentos foram compostos de seis concentrações de Ce e de La, 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 e La. As variáveis de porcentagem foram transformadas para arco seno.

### **Experimento em campo**

Foi desenvolvidos experimentos em campo com a cultura do milho na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, no período de 2007 e 2008.

No primeiro experimento, sementes de milho, cultivar Pioneer 30F53, foram tratadas com solução de Ce na concentração de 12 mg de Ce L<sup>-1</sup> e com água (zero), ficando em embebição pelo período de uma hora. O segundo experimento, com La, foi conduzido seguindo a mesma metodologia utilizada no experimento com Ce. Porém a concentração utilizada foi de 20 mg de La L<sup>-1</sup>. As concentrações foram escolhidas a partir dos testes conduzidos em laboratório anteriormente.

A semeadura, para ambos os experimentos, foi realizada manualmente em 13/11/2007, em linhas com 4,0 m de comprimento, espaçadas 0,5 m. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com dois tratamentos (com e sem os elementos) e quatro repetições. Cada tratamento ocupou uma área de 6 m<sup>2</sup>, com espaçamento de 1 m entre os blocos. No decorrer do ciclo da cultura, até o florescimento, foram avaliados, além do rendimento final:

- Número de dias até emergência de 50 % das plantas: contado a partir do dia da semeadura até 50% das plantas emergirem. Resultado representado em dias após a semeadura (DAS).

- Número de folhas: foram consideradas na contagem as folhas emitidas completamente expandidas (com colar visível).

- Diâmetro do colmo (mm): o valor foi obtido medindo-se o diâmetro do colmo logo abaixo da última folha completamente expandida, com auxílio de paquímetro manual.

- Altura das plantas (cm): a altura das plantas foi considerada do solo até a extremidade da última folha completamente expandida.

- Número de dias até o florescimento de 50% das plantas: foram consideradas em florescimento as plantas quando visível o estilo-estigma fora das brácteas da espiga. Resultado representado em dias após a semeadura (DAS).

Os tratamentos culturais foram empregados conforme as necessidades e as recomendações para a cultura do milho. A irrigação foi realizada conforme as necessidades da cultura, eventualmente quando ocorreram períodos de estiagem durante o cultivo. A colheita foi realizada no dia 19 de março de 2008, considerando-se uma área útil de 4,5 m<sup>2</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A percentagem de plântulas normais no teste de germinação aumentou com o tratamento das sementes de milho com Ce em relação à testemunha (Figura 5a), 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 fortes aumentou até a concentração 5 mg de Ce L<sup>-1</sup>, ficou estabilizada até a de 20, voltando a aumentar até 25 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Figura 5a).

No experimento com concentrações de La, conforme se observa na Figura 5b, não houve efeito do elemento na primeira contagem da germinação e na germinação final. O vigor das plântulas somente foi maior do que em zero na concentração de 20 mg de La L<sup>-1</sup>, alcançando 60% de plântulas normais fortes (Figura 5b).

Aumentos da germinação e do vigor, como os observados nos resultados em discussão, além do 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 La (FASHUI et al., 2000) e de Ce (FASHUI et al., 2002).

Em sementes endospermáticas, como de milho, a partir da hidratação das células, o eixo embrionário libera giberelinas e, em resposta, enzimas hidrolíticas são secretadas pela camada de aleurona. As giberelinas induzem o gene para  $\alpha$ -amilase, que degrada o endosperma (MARCOS FILHO, 2005).

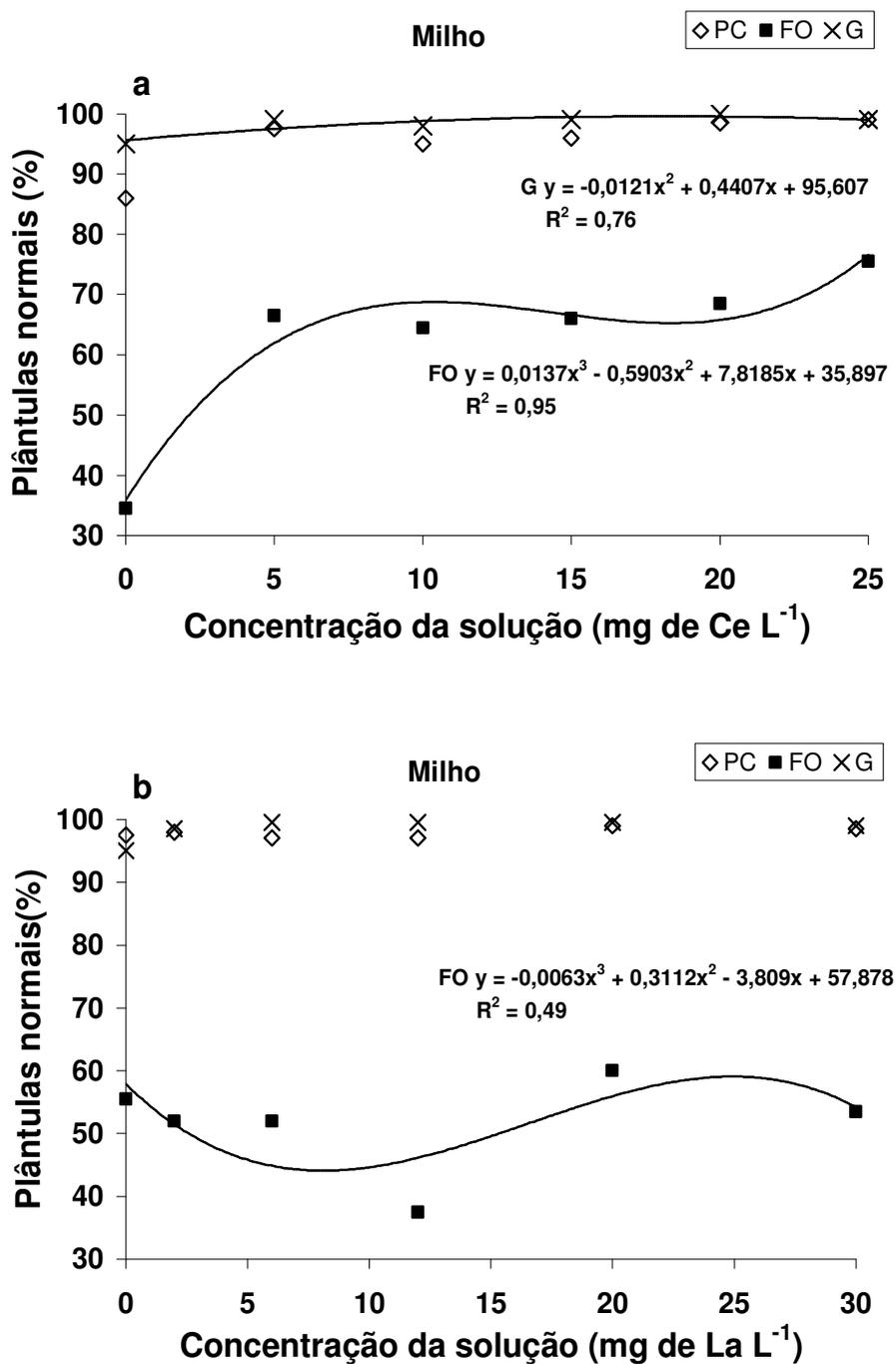


Figura 5 - Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de milho (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

Os elementos terras raras, como o Ce e o La, podem interferir na atividade das enzimas envolvidas no processo germinativo. Após tratamento com terras raras, segundo Liu e Liu (1985) houve formação acelerada de  $\alpha$ -amilase, induzida por giberelina, na camada de aleurona de sementes de trigo. A promoção de indução da enzima  $\alpha$ -amilase por ácido giberélico devido à aplicação de solução contendo neodímio (Nd) também foi observada (AN e CHEN,1994).

O aumento no vigor e aceleração da germinação, após embebição de sementes de arroz em solução com La, segundo Fashui et al. (2003) se dá devido ao aumento da atividade de amilases, proteinases, lipases além de outras enzimas hidrolíticas e, em menor proporção, do conteúdo de hormônios envolvidos no processo de germinação, como ácido indol acético, giberelinas e citoquininas. Embora não se tenha avaliado a atividades destes compostos nas plântulas pode-se considerá-los envolvidos na produção dos efeitos observados, principalmente, com Ce.

A organização das membranas é máxima na maturidade fisiológica e, a partir desse estágio, as organelas perdem sua organização estrutural em níveis variáveis, tornando-se metabolicamente menos ativas em sementes secas (12 a 14% de água) (ABDUL-BAKI, 1980). Em sementes deterioradas ou não viáveis, os mecanismos de reparo estariam ausentes ou seriam ineficientes; ou ainda, as membranas estariam danificadas e o reparo seria impossível (BEWLEY e BLACK, 1985).

O melhor desempenho das sementes tratadas com os terras raras pode ser consequência da diminuição da permeabilidade das membranas. Estudos têm demonstrado que os elementos terras raras contribuem para a estabilidade e integridade das membranas celulares. Durante a embebição, quanto mais eficiente for o reparo no sistema de membranas, menor é o vazamento de eletrólitos. O La pode restaurar o sistema de membranas, especialmente de sementes envelhecidas, reduzindo esse vazamento (FASHUI et al., 2000).

Na composição das paredes celulares, o Ca liga-se de forma trocável a mesma e a superfície externa da membrana plasmática (MARSCHNER, 1995). As principais funções do Ca na planta consistem em sua contribuição na formação do pectato de cálcio, presente na lamela média da parede celular, conferindo maior resistência às paredes, aumentando assim a resistência da planta às doenças e diminuindo sua permeabilidade. Como o Ce e o La possuem raio iônico muito

próximo ao do Ca, podem ligar-se nos mesmos sítios de ação, contribuindo assim para reforçar a estrutura das paredes celulares.

O comprimento da parte aérea, das raízes e total das plântulas de milho (Figura 6a e 6b) aumentou com a elevação das concentrações tanto de Ce quanto de La, 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> e 30 mg de La L<sup>-1</sup> (Figura 7a e 7b). Da mesma forma, a aplicação de 0,09 mg de La L<sup>-1</sup> via solução de cultura aumentou o crescimento das raízes de milho em 36% (DIATLOFF et al., 1995a), enquanto a mesma concentração de Ce aumentou a elongação radicular em, aproximadamente, o dobro (DIATLOFF et al., 1995c). Nota-se que as concentrações utilizadas pelos pesquisadores foram acentuadamente menores do que aquelas utilizadas neste trabalho.

Diferindo dos resultados observados, Diatloff et al. (2008) observaram que tanto o La quanto o Ce prejudicaram o crescimento, o funcionamento das raízes e a condição nutricional de milho em concentrações maiores que 0,03 mg L<sup>-1</sup>. Esses autores concluíram que o efeito positivo do Ce e do La no crescimento do milho pode ocorrer somente com concentrações abaixo de 0,03 mg L<sup>-1</sup> fornecidas às raízes por fluxo contínuo de solução.

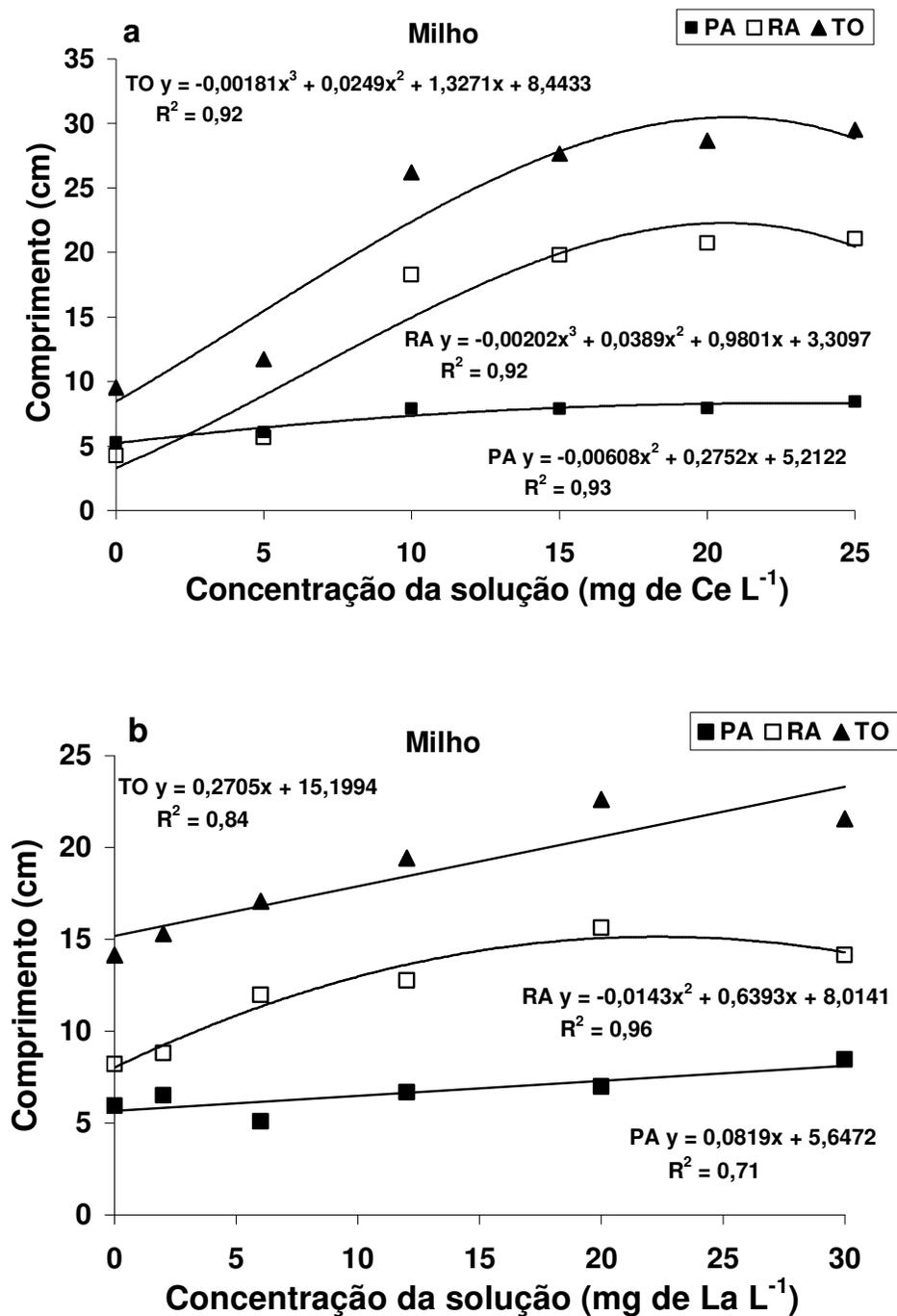
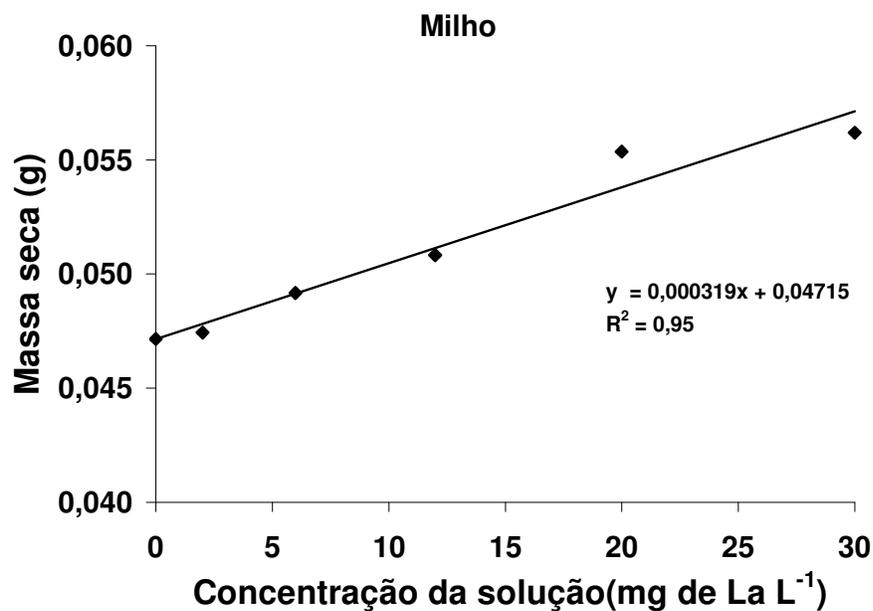
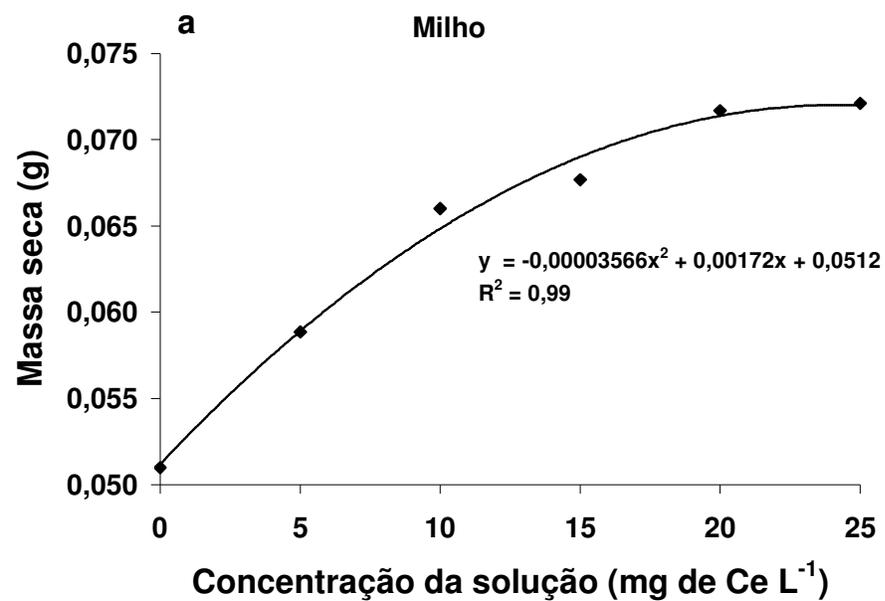


Figura 6 - Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de milho após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.



**Figura 7 - Massa seca (g) de plântulas de milho após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.**

Quando se avaliou o acúmulo de Ce e La nas sementes (Tabela 2) observou-se que as sementes de milho foram capazes de absorver os elementos, após embebição em solução. As quantidades absorvidas pelas sementes e encontradas na parte aérea e nas raízes das plântulas de milho aumentaram na medida em que cresceram as concentrações.

Em plântulas de trigo, Hu et al., (2002) também observaram um acúmulo de La e 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, observou-se que, tanto com o La quanto com o Ce, a concentração foi maior nas raízes do que na parte aérea. Resultado similar foi encontrado por Diatloff et al. (2008), cuja concentração de Ce e La 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. Após fornecimento de La isolado (XU et al., 2003) e em mistura de elementos terras raras (WANG et al., 2001; XU et al., 2003) às plantas de milho cultivadas em potes com solo, a concentração dos elementos, também, foi bem maior nas raízes.

Os elementos terras raras no solo podem entrar nas 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. Dentro do tecido vascular podem também ligar-se reversivelmente a ânions não difusíveis (COOH<sup>-</sup>) (LAUCHLI e BIELESKI, 1983).

A maior concentração de 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). Observando o lantânio com microscópio eletrônico, Nagahashi et al. (1974) verificaram que a faixa de caspari do córtex de raízes de milho, por vezes, tornar-se uma barreira à difusão do La encontrado no apoplasto, em direção ao tecido vascular.

A maior disponibilidade de Ce e de La nas raízes pode ter sido a responsável pelo aumento do comprimento das raízes de milho. Resultado similar foi encontrado quando a concentração de 0,09 mg L<sup>-1</sup> de La aumentou o crescimento radicular de milho em 36% (DIATLOFF, 1995a) e, 0,088 mg L<sup>-1</sup> de Ce duplicou a elongação radicular (DIATLOFF, 1995c). Houve aumento significativo do comprimento das raízes de *Arabidopsis thaliana* com a aplicação de La e Ce isolados ou em combinação no meio de cultura (HE e LOH, 2000). Embora não conste nos resultados provavelmente o aumento da massa seca da planta inteira esteja diretamente relacionado a uma maior massa seca das raízes.

A raiz é o órgão mais importante, 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).

**Tabela 2 – Concentração de Ce e La nas sementes e nas plântulas (onde PA=parte aérea e RA=raízes) de milho. Santa Maria, RS, 2008.**

Concentração na solução (mg L <sup>-1</sup> )		Concentração nas sementes (µg g <sup>-1</sup> )		Concentração nas plântulas (µg g <sup>-1</sup> )			
La	Ce	La	Ce	La		Ce	
				PA	RA	PA	RA
0,0	0,0	0,00	0,00	0,06	0,38	0,00	0,00
2,0	5,0	1,19	0,35	0,06	0,31	-	-
6,0	10,0	3,54	2,62	0,17	0,67	-	-
12,0	15,0	7,54	7,14	0,20	2,81	0,18	1,48
20,0	25,0	17,08	12,86	0,22	3,99	0,28	2,43
30,0	-	29,43	-	0,46	8,89	-	-

Nos experimentos realizados com Ce e La em campo, com a cultura do milho, não houve efeito do tratamento de sementes sobre os parâmetros avaliados: emergência, número de folhas, estatura de plantas, diâmetro do colmo, dias para florescimento, rendimento final com La (Tabelas 3 e 4). Logo, também não foi observado qualquer efeito negativo dos elementos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Xie et al. (2002), em experimento com arroz em campo, onde, também não observaram influência do La sobre o crescimento das plantas. Similarmente, em estudo com *Arabidopsis thaliana*, He e Loh (2000) não encontraram efeito do Ce e do La sobre o crescimento vegetativo das plantas, avaliando altura, peso seco e número de folhas.

Vários fatores podem estar envolvidos influenciando os resultados encontrados, tais como: falta de estabilidade da solução utilizada, concentração inadequada, desuniformidade na absorção da solução pelas sementes, entre tantos outros fatores não controláveis envolvidos na instalação e condução do experimento. Condições de solo bem adubado também podem interferir nos resultados já que uma ótima condição nutricional no solo pode mascarar o efeito dos elementos.

O rendimento final foi maior do que a concentração zero, em 1.866 kg ha<sup>-1</sup>, ou 24%, quando as sementes foram tratadas com 12 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Tabela 3). Esses 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.

A aplicação de La na concentração de 20 mg L<sup>-1</sup> não diferiu das sementes não tratadas, embora o aumento de rendimento tenha sido de 777 kg ha<sup>-1</sup>, representando 10,1% de aumento.

Trabalhos já haviam mostrado a eficácia dos elementos terras raras em aumentar o rendimento das culturas (JIE e YU, 1985; WEN, 1988; QIAO e ZHANG, 1989; 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 podem ser possíveis razões para os incrementos no rendimento.

**Tabela 3 – Emergência e florescimento, em dias após a semeadura (DAS), e rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (corrigido para 13% de umidade) de plantas de milho cultivadas a campo, a partir do tratamento das sementes com água pura (zero), Ce ( $12 \text{ mg L}^{-1}$ ) ou La ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ). Santa Maria – RS, 2008.**

<b>Tratamento de sementes</b>	<b>Emergência (DAS)</b>	<b>Florescimento (DAS)</b>	<b>Rendimento</b>
<b>Zero</b>	6 a*	70 a	7.667 b
<b>Ce</b>	6 a	70 a	9.533 a
<b>Média</b>	<b>6</b>	<b>70</b>	<b>-</b>
<b>Zero</b>	6 a	70 a	7.667 a
<b>La</b>	6 a	68 a	8.444 a
<b>Média</b>	<b>6</b>	<b>65</b>	<b>8.055,5</b>

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

**Tabela 4 – Número de folhas, diâmetro do colmo (mm) e estatura (cm) de plantas de milho cultivadas a campo após tratamento das sementes com Ce (12 mg L<sup>-1</sup>) ou La (20 mg L<sup>-1</sup>). Santa Maria – 2008.**

Avaliações	Tratamentos	Dias após a semeadura					
		17	23	30	37	44	51
<b>Número de folhas</b>	Testemunha	3,00*	5,00	6,00	8,00	10,00	12,00
	Ce	3,00	5,00	6,00	8,00	9,00	12,00
	<b>Média</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>8,00</b>	<b>9,50</b>	<b>12,00</b>
	Testemunha	3,00	5,00	6,00	8,00	9,00	12,00
	La	3,00	5,00	6,00	8,00	10,00	12,00
	<b>Média</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>8,00</b>	<b>9,50</b>	<b>12,00</b>
<b>Diâmetro</b>	Testemunha	-	6,49	9,03	12,05	15,31	17,99
	Ce	-	6,52	9,13	12,55	15,28	18,02
	<b>Média</b>	-	<b>6,51</b>	<b>9,08</b>	<b>12,30</b>	<b>15,30</b>	<b>18,01</b>
	Testemunha	-	6,49	9,03	12,05	15,31	17,99
	La	-	6,57	9,31	12,73	15,60	18,44
	<b>Média</b>	-	<b>6,53</b>	<b>9,17</b>	<b>12,39</b>	<b>15,45</b>	<b>18,21</b>
<b>Estatura</b>	Testemunha	18,92	32,09	52,48	80,14	118,99	177,32
	Ce	19,98	33,84	55,90	80,52	119,64	172,58
	<b>Média</b>	<b>19,45</b>	<b>32,97</b>	<b>54,19</b>	<b>80,33</b>	<b>119,32</b>	<b>174,95</b>
	Testemunha	18,92	32,09	52,48	80,14	118,99	177,32
	La	20,49	34,33	56,90	84,88	122,50	179,41
	<b>Média</b>	<b>19,71</b>	<b>33,21</b>	<b>54,69</b>	<b>82,51</b>	<b>120,74</b>	<b>178,36</b>

\*As médias não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro, em todas as avaliações realizadas comparando o tratamento testemunha com os tratamentos com Ce ou La.

## CONCLUSÕES

Sementes de milho tratadas com solução de cério ou lantânio absorvem de forma crescente os elementos com o aumento das concentrações nas soluções;

Os elementos cério e lantânio são translocados para a parte aérea e raízes das plântulas de milho, com maior concentração nas raízes;

O tratamento de sementes de milho com solução de Ce ou La aumenta a qualidade fisiológica das sementes;

Em campo, tanto nos experimentos com Ce quanto com La, não há influência sobre o número de folhas, a estatura das plantas, o diâmetro do colmo e o florescimento;

O cério é capaz de aumentar o rendimento final utilizando-se uma concentração de 12 mg de Ce L<sup>-1</sup>.

## CAPÍTULO 3

### QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS APÓS TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA E FEIJÃO COM CÉRIO E LANTÂNIO

### SEEDS PHYSIOLOGY QUALITY AND SEEDLINGS GROWTH AFTER SOYBEAN AND BEAN SEEDS TREATMENT WITH CERIUM AND LANTHANUM

#### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja e feijão e o crescimento inicial de plântulas de soja após tratamento das sementes com cério (Ce) ou lantânio (La). Para tal, sementes de soja, cultivar BRS 243, foram imersas em solução aquosa de Ce, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup> ou, de La, 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>, por duas horas. Em feijão, cultivar Uirapuru, utilizou-se concentrações de 0, 1, 2, 3, 4; 5, 6, 7, 8 e 9 mg L<sup>-1</sup> de Ce e 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg L<sup>-1</sup> de La e período de imersão de uma hora. Em seguida, foram aplicados os testes de germinação e primeira contagem, classificação do vigor, comprimento e matéria seca de plântulas, e estresse térmico (41 °C); foi determinada a quantidade de Ce e La nas sementes e plântulas. O experimento foi conduzido com sete tratamentos em soja, dez e seis em feijão, respectivamente para Ce e La, e quatro repetições. Parte das sementes de soja foi utilizada em campo para avaliação da emergência das plântulas, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup> de Ce ou La; com sete tratamentos e quatro repetições. A germinação e o vigor aumentaram após tratamento das sementes de soja tanto com Ce quanto com La. O comprimento das plântulas diminuiu com o aumento das concentrações de Ce. No caso do La houve aumento do comprimento total e da parte aérea. A massa seca das raízes diminuiu com Ce. A massa seca da parte aérea aumentou com a aplicação de La. A 41 °C, as plântulas tiveram melhor desempenho quando as sementes foram tratadas com La. Nos experimentos com feijão o Ce aumentou a porcentagem de plântulas normais fortes; o La aumentou o comprimento total das plântulas. Concluiu-se que a aplicação de Ce em sementes de soja aumenta a germinação e o vigor; o La aumenta a germinação, o comprimento e a massa seca das plântulas.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merr., *Phaseolus vulgaris* L., germinação, vigor, emergência, lantanídeos.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate physiological quality of seeds and initial growth of soybean and bean seedlings after seed treatment with cerium (Ce) and lanthanum (La). For this, soybean seeds, cultivar BRS 243, were immersed in solutions of Ce, at concentrations of 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>, or lanthanum, 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>, for two hours. Bean seeds, cultivar Uirapuru, were immersed in concentrations of 0.0; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 7.0; 8.0; 9.0 mg L<sup>-1</sup> of Ce and 0, 2, 6, 12, 20 e 30.0 mg L<sup>-1</sup> of La, for one hour. Then were applied tests of germination and first counting of germination, vigor classification of seedlings, shoot and root length and seedlings dry mass, thermal stress; was determined the quantity of Ce and La in seeds and seedlings. Were utilized seven treatments in soybean, ten and six treatments in bean, respectively for Ce and La. Soybean seeds were sowing at field experiment to evaluate emergency at concentrations 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>, of Ce and La; with seven treatments and four replications. The results shows that germination and vigor enhanced for soybean seed treatment with Ce and La. The length decreased with increasing of concentrations of Ce. With La, the total and shoot length increased. Dry mass of roots decreased with Ce, and of shoot increased with La application. At 41 °C, seedlings had the best performance when seeds were treated with La. In experiments with bean, Ce enhanced percentage of strong normal seedlings; La enhanced total length of seedlings. Conclusions: treatment of soybean seeds with Ce increase germination and vigor; La increase germination, length and dry mass of seedlings.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merr., *Phaseolus vulgaris* L., germination, vigor, emergency, lanthanides.

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma cultura de grande importância econômica no Brasil e no mundo. Em 2007, a produção brasileira de soja somou 58.038.033 t, superando em 10,6% a do ano anterior, porém a área colhida foi 6,5%

menor do que a de 2006, totalizando 20.614.606 ha, com rendimento de 2.815 kg/ha, 18,3% maior do que os 2.379 kg/ha, registrados em 2006 (IBGE, 2008).

No Rio Grande do Sul, foi a segunda cultura que mais cresceu em produção (31,3%), atingindo 9.929.005 t, sendo 31,3% maior do que a de 2006 e representando 17,1% do total da soja colhida no país (IBGE, 2008).

A produção nacional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em 2007, considerando-se as três safras, totalizou 3.242.290 t, apresentando um decréscimo de 6,2% frente ao ano anterior, seu rendimento ficou em 847 kg ha<sup>-1</sup>. Isso ocorreu principalmente em face dos preços pouco atrativos, que desestimularam a ampliação do cultivo, e às condições climáticas desfavoráveis (IBGE, 2008).

O feijão é cultivado em todo o território nacional, sendo que seis estados (PR, MG, BA, SP, GO e SC) foram responsáveis por cerca de 72,4% do total produzido no país. Os 20 maiores municípios produtores de feijão respondem por 20,1 % da produção nacional (651.993 t), sendo que oito deles estão no Paraná (IBGE, 2008).

O sucesso das lavouras, tanto de soja quanto de feijão, depende da utilização de sementes de alta qualidade, a qual influenciará diretamente no estande inicial das plantas, sendo este por sua vez, pré-requisito para a obtenção de rendimentos agrícola compensadores e de produtos finais de alta qualidade (MARCOS FILHO, 2005).

Vários programas de pesquisa têm desenvolvido tecnologias para superar os problemas que surgem ano após ano nos cultivos agrícolas e, conseqüentemente, contribuem para aumentar a produção e a produtividade das culturas. O tratamento de sementes é uma técnica para melhorar o desempenho das sementes e proporcionar um crescimento inicial das plântulas mais vigoroso. Este pode ser feito com o uso de defensivos agrícolas, hormônios, micronutrientes, entre outros.

O controle de pragas e doenças que atacam a soja e o feijão pode ser realizado desde o início de seu ciclo com uso de defensivos aplicados às sementes, sendo essa uma prática amplamente adotada e que se mostra eficiente. O uso de defensivos agrícolas no tratamento de sementes confere às plantas condições de defesa, possibilitando maior potencial para o desenvolvimento inicial da cultura (MARTINS et al., 1996; CECCON et al., 2004).

O tratamento de sementes também é uma alternativa para a aplicação de micronutrientes, com resultados positivos para certas condições específicas. Representa menores custos para a aplicação, maior uniformidade de distribuição

(PARDUCCI et al., 1989) e bom aproveitamento pela planta (LUCHESE et al., 2004), sendo uma prática fácil e eficaz de adubação (VIDOR e PEREZ, 1988). Além de suprir a deficiência de vários elementos do solo, como os micronutrientes molibdênio (Mo), zinco (Zn), cobalto (Co), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (Bo).

Os micronutrientes podem ser aplicados às sementes juntamente com defensivos e antes da inoculação, via seca ou via úmida (HENNING et al., 1998). Já foram aplicados via sementes, muitas vezes com resultados positivos (RUSCHELL et al., 1979; MORTVEDT, 1985), além do Mo e Co, também B, Cu, Mn e Zn. A aplicação de Mo e o Zn em sementes de soja aumenta o rendimento da cultura, segundo Santos et al. (1982). Uma alternativa no tratamento de sementes, para melhorar o desempenho fisiológico e favorecer o crescimento inicial, é a aplicação de elementos terras raras.

Os terras raras ou lantanídeos são elementos químicos muito utilizados na agricultura chinesa, sendo fornecidos as plantas na forma de fertilizantes. Em pequenas quantidades podem atuar de forma similar aos micronutrientes, trazendo inúmeros efeitos benéficos às plantas. Os mais conhecidos e estudados são o cério (Ce) e o lantânio (La), talvez por estarem presentes em maiores quantidades nos fertilizantes.

No Brasil não se tem registros de pesquisas com estes elementos. Grande parte das informações existentes sobre a utilização dos terras raras na agricultura foi gerada por pesquisas na China (HU et al., 2002). Trabalhos foram conduzidos por pesquisadores australianos (DIATLOFF et al., 1995a, b, c, 1999, 2008) com o intuito de comprovar ou não os benefícios até então observados pelos chineses.

Foram encontrados aumentos na fotossíntese das plantas, no conteúdo de clorofila, na atividade de enzimas, na massa seca e fresca, na taxa de desenvolvimento, influência na atividade de fungos e bactérias patogênicas (MU et al., 2006a e b; LIU et al., 2008), diminuição da severidade de doenças e aumento de resistência das plantas (MU et al., 2004), entre tantos outros efeitos significativos (HU et al., 2004).

Embora vários estudos tenham sido desenvolvidos com relação à utilização desses elementos em plantas, os mecanismos e os processo fisiológicos envolvendo a atividade dos terras raras, e mais especificamente do La e do Ce, ainda não foram completamente esclarecidas. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar a germinação e o vigor de sementes de soja e feijão e a emergência de

plântulas de soja em campo após o tratamento com os elementos terras raras Ce e La.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram desenvolvidos no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes, 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, no período de 2007 e 2008.

Sementes de soja, cultivar BRS 243, foram tratadas cério (Ce), no primeiro experimento e, com lantânio (La) no segundo experimento. Sementes de feijão, cultivar Uirapuru, também foram tratadas num experimento com Ce e noutro com La.

O tratamento das sementes foi feito de forma semelhante para as duas espécies e elementos. Foram preparadas soluções aquosas contendo Ce, na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ , e La ( $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), separadamente, sendo utilizada água de alta pureza (resistividade 18,2 M $\Omega$ cm).

Aproximadamente 300 sementes de soja por tratamento foram imersas em 200 mL de água pura e solução aquosa, em caixas plásticas, no experimento com Ce, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg de Ce L<sup>-1</sup> e no experimento com La, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg de La L<sup>-1</sup>.

No caso do feijão, 300 sementes foram imersas em caixas plásticas contendo 300 mL de solução por tratamento, no primeiro experimento, nas concentrações de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 mg de Ce L<sup>-1</sup> e no segundo experimento 0, 2, 6, 12, 20 e 30 mg de La L<sup>-1</sup>.

O período de imersão das sementes foi de duas horas em soja e uma hora em feijão. Após este período as sementes foram retiradas da solução, lavadas com água destilada e secadas superficialmente com papel toalha. Parte das sementes tratadas foi utilizada para realização das avaliações da qualidade fisiológica e outra parte foi utilizada para determinar a concentração de Ce e La absorvida pelas sementes.

Após os tratamentos, na porção destinada às avaliações da qualidade fisiológica, foram aplicados os seguintes testes, separadamente para Ce e La:

### **Teste de germinação (G)**

Quatro repetições de 50 sementes foram colocadas em rolos de papel umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, onde permaneceram em germinador a 25 °C. A primeira contagem foi efetuada aos quatro dias e a final aos sete dias após a semeadura. Foram consideradas as plântulas normais de cada repetição, obtendo-se a média das repetições, sendo os dados expressos em percentagem de germinação. O teste foi conduzido de modo semelhante para soja e feijão.

### **Teste de primeira contagem de germinação (PC)**

Realizado conjuntamente com o teste de germinação, computando-se a percentagem de plântulas normais obtidas aos quatro dias após a instalação do teste. Foi considerado como resultado do teste a média das repetições, expressa em percentagem de plântulas normais.

### **Classificação do vigor de plântulas**

Juntamente com o teste de primeira contagem de germinação foi determinada a percentagem de plântulas normais fortes (FO). No experimento com Ce, consideraram-se fortes as plântulas de soja sem qualquer lesão e com comprimento total maior que 12 cm e as plântulas de feijão sadias com comprimento do hipocótilo maior que 3 cm. No experimento com La, foi considerada forte a plântula de soja com comprimento da parte aérea maior do que 5 cm e total maior que 13 cm, e em feijão, foram consideradas fortes as plântulas sadias com comprimento do hipocótilo maior que 2 cm.

### **Comprimento de plântulas (CP)**

O comprimento das plântulas foi mensurado colocando-se quatro repetições de dez sementes sobre uma linha, traçada no sentido longitudinal e localizada no terço superior de substrato rolo de papel. Os rolos, contendo as sementes, permaneceram à temperatura constante de 25°C por cinco dias, quando então, foi mensurado o comprimento das plântulas normais 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 por esse número de plântulas, com resultados expressos em cm. O resultado foi expresso pelo comprimento da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) das plântulas de soja e feijão.

### **Massa seca de plântulas (MS)**

O teste foi conduzido a partir de quatro repetições de dez plântulas, originadas do teste de comprimento de plântulas, sendo cada plântula de soja separada em parte aérea e raiz, e as de feijão utilizadas inteiras, mantidas em sacos de papel, em estufa a 70 °C por 48 horas. Em seguida, as repetições foram pesadas em balança de precisão 0,001g e o valor obtido da soma de cada repetição dividida pelo número de plântulas utilizadas. Em soja resultado foi expresso em massa seca da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO); e em soja e feijão expresso em g/plântula.

### **Estresse térmico a 41 °C**

Conduzido com quatro repetições de 50 sementes de soja, colocadas em rolos de papel umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos foram deixados em germinador a 41 °C por 24 horas, em seguida foram colocados a 25 °C por quatro dias, para Ce e La. Foi realizada somente uma contagem da germinação, ao final dos quatro dias. Foram consideradas as plântulas normais de cada repetição, obtendo-se a média das repetições, sendo os dados expressos em percentagem de germinação.

### **Análises Químicas**

A outra porção das sementes, tanto de soja quanto de feijão, após o tratamento com Ce e La, foi colocada em sacos de papel e permaneceu em estufa a 70°C por 48 horas, sendo posteriormente encaminhada para determinação do teor de Ce e La nas sementes. Após o 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, após dessecadas, encaminhadas para determinação do teor de Ce e La.

As determinações de concentração de Ce e La 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 DRG-II<sup>®</sup>, PerkinElmer - Sciex, Canadá, empregando as condições recomendadas pelo fabricante.

Nas plântulas de soja determinaram-se as concentrações de Ce e La após os tratamentos com todas as concentrações utilizadas. Em feijão foi determinada a concentração de Ce apenas nas sementes, nas concentrações de 0,0; 2,0; 5,0; 6,0; 9,0 mg de Ce L<sup>-1</sup>. No caso do La foram analisadas as sementes e as plântulas de feijão em todas as concentrações utilizadas.

### **Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. No experimento em que as sementes de soja foram tratadas com Ce, os tratamentos foram compostos de sete concentrações de Ce (0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>), no experimento com La, utilizaram-se sete concentrações de La (0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>), com quatro repetições. No experimento com feijão tratado com Ce, os tratamentos foram compostos por dez concentrações de Ce (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 mg L<sup>-1</sup>); e no experimento com La, por seis concentrações de La (0, 2, 6, 12, 20 e 30 mgL<sup>-1</sup>), com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise da variância e a regressão polinomial ( $P < 0,05$ ) para avaliar o efeito das diferentes concentrações de Ce e La. As variáveis de percentagem foram transformadas para arco seno.

### **Emergência de plântulas em campo**

Foi conduzido um experimento em campo, com a cultura da soja, na área experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

Sementes de soja, cultivar BRS 243, foram imersas em soluções com Ce e La, separadamente, nas concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup>, em caixas plásticas, por duas horas, no dia 24/01/2008. Em seguida, 100 sementes por linha,

foram semeadas, a uma profundidade de 2,5 a 3,0 cm. A partir da semeadura, as avaliações foram realizadas diariamente até o sétimo dia, além de uma última contagem realizada no 14<sup>o</sup> dia.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições, tanto para Ce quanto La. Foi avaliada a emergência das plântulas em campo. Os dados foram submetidos à análise da variância e a regressão polinomial ( $P < 0,05$ ), separadamente para Ce e La.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 mostra a porcentagem de plântulas normais de soja na primeira e na última contagem da germinação, na germinação a 41°C e no teste de classificação do vigor de plântulas, após imersão das sementes em soluções de Ce e La. No experimento com Ce (Figura 8a), tanto na primeira quanto na última contagem a porcentagem de plântulas normais aumentou linearmente com o aumento das concentrações de Ce, até 50 mg L<sup>-1</sup>.

No caso do La, em soja, houve aumento da porcentagem de plântulas normais no teste de germinação (Figura 8b). Entretanto, na primeira contagem da germinação não houve diferença entre os tratamentos. A porcentagem de plântulas normais fortes aumentou com a aplicação de Ce e La nas sementes de soja. Porém, no caso do Ce, o aumento foi mais pronunciado nas concentrações menores enquanto no caso do La o aumento foi a partir de 30 mg L<sup>-1</sup> (Figura 8a e 8b).

Nos experimentos com feijão e Ce a porcentagem de plântulas normais nas avaliações da germinação (Figura 9a) não diferiu entre os tratamentos, embora a germinação tenha passado de 65, quando as sementes foram tratadas somente com água, para 73%, na concentração de 9 mg de Ce L<sup>-1</sup>. No teste de classificação do vigor de plântulas a porcentagem de plântulas normais fortes aumentou linearmente com o incremento das concentrações (Figura 8a), similarmente ao experimento com soja. O tratamento das sementes de feijão com La não interferiu na germinação e no vigor das plântulas (Figura 9b).

Em sementes de espinafre envelhecidas, Chao et al. (2004) também observaram que após o tratamento com La e, especialmente com Ce, a germinação

e o vigor de sementes aumentaram. Além disso, a atividade dos sistemas enzimáticos (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) aumentou, enquanto o conteúdo de  $O_2$  e a permeabilidade das membranas diminuíram. Provavelmente, devido ao aumento da atividade das enzimas antioxidantes, capturando os radicais livres nas células, representados neste caso pelo oxigênio diminuem os danos causados por eles ao sistema de membranas, havendo assim a redução da permeabilidade das mesmas (FASHUI, 2000; 2002; 2003; CHAO et al., 2004; LIANG et al., 2006), sendo este comportamento mais observado em situações de estresse.

No teste de estresse térmico conduzido a temperatura de 41 °C (Figura 8a e 8b), em soja, a germinação foi menor em relação aquela a 25 °C, mas aumentou a partir da concentração de 30 mg L<sup>-1</sup> tanto de Ce quanto de La. O estresse causado pela temperatura foi amenizado pelo efeito do Ce e do La. Da mesma forma, em experimento conduzido por Qian et al. (2005), o Ce amenizou os efeitos adversos do estresse por frio (10 e 15 °C) sobre sementes de berinjela aumentando o vigor e o crescimento das plântulas.

O Ce também diminuiu o estresse causado pela exposição à radiação ultravioleta-B (UV-B) suplementar, na fotossíntese de plântulas de soja, principalmente regulando a reação de Hill, o rendimento quântico aparente e a eficiência de carboxilação, que haviam sido inibidos pela radiação UV-B, conforme relato de Liang et al. (2006).

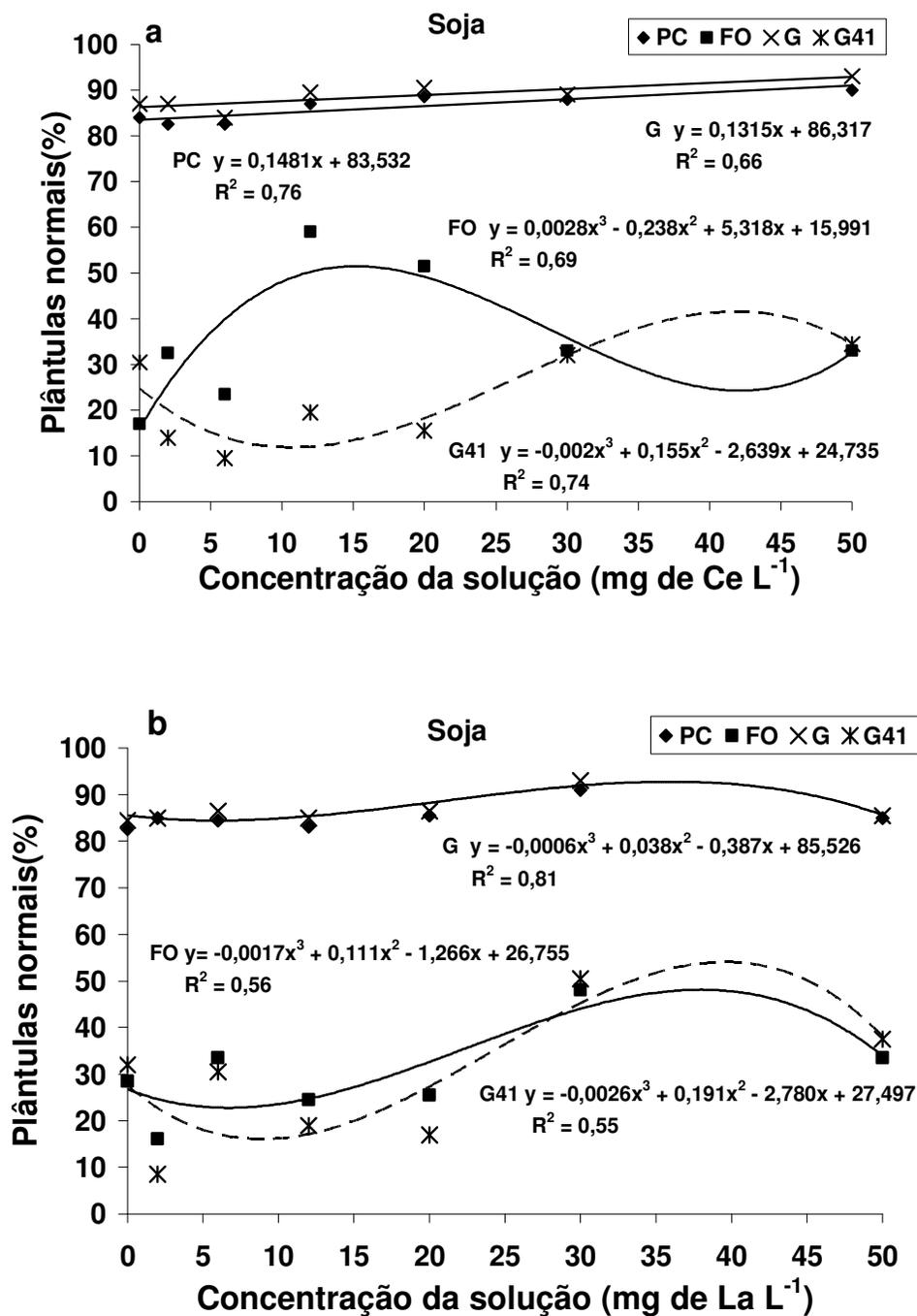


Figura 8 - Primeira contagem (PC), germinação (G), germinação a 41 °C (G41) e plântulas normais fortes (FO) de soja (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

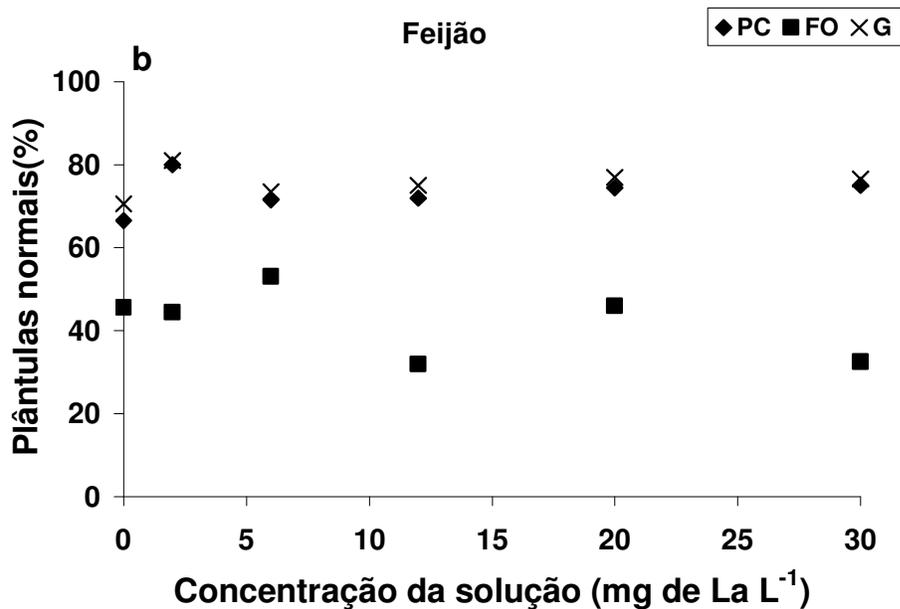
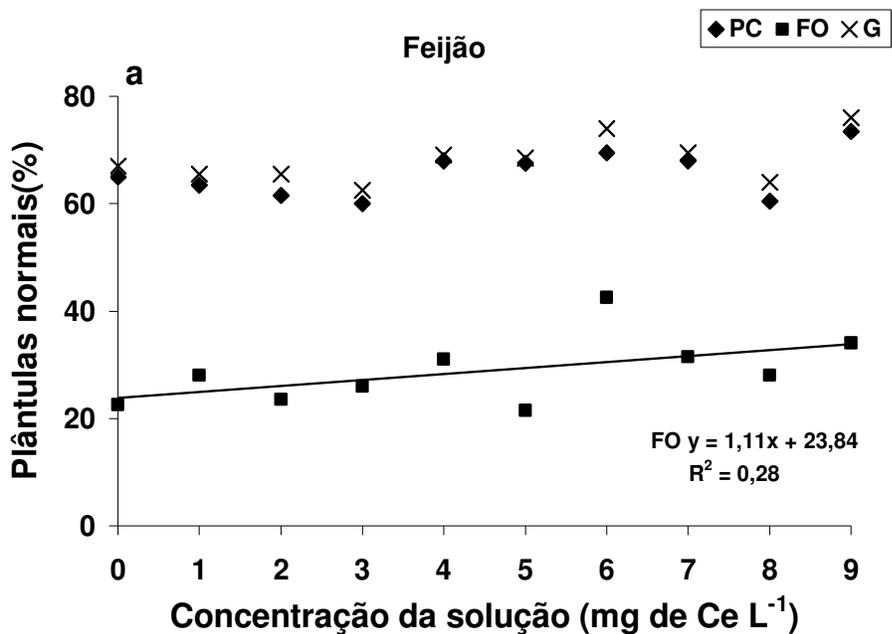


Figura 9 - Primeira contagem (PC), germinação (G) e plântulas normais fortes (FO) de feijão (%) após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

As Figuras 10 a 13 trazem o comprimento e a massa seca da parte aérea, das raízes e total das plântulas de soja e feijão, respectivamente, após tratamento das sementes com diferentes concentrações de Ce e La, em experimentos conduzidos separadamente para cada elemento.

No experimento com Ce, o comprimento total e das raízes das plântulas de soja (Figura 10a) diminuiu com o aumento das concentrações de Ce. No experimento com La houve uma tendência de aumento do comprimento total e da parte aérea nas concentrações mais baixas, sendo maior a 6 mg de La L<sup>-1</sup> e, diminuindo na medida em que as concentrações foram aumentando (Figura 10b).

Em feijão, com a aplicação de Ce o comprimento total, da parte aérea e das raízes sofre variações, diminuindo no início, até a concentração 3, aumentando da concentração 4 a 6 mg de Ce L<sup>-1</sup> (Figura 11a). No experimento com La e feijão, o comportamento foi similar ao encontrado na soja, havendo um aumento do comprimento total até a concentração 20 mg L<sup>-1</sup> e das raízes até 12 mg de La L<sup>-1</sup>, seguido de uma diminuição com o aumento das concentrações (Figura 11b). Similarmente foi observado em experimento conduzido por Diatloff et al. (1995a) que a alongação radicular em feijão-mungo diminuiu, a partir de determinado aumento da concentração de Ce e La em solução.

A massa seca total e da parte aérea de soja não foram afetadas pela aplicação de Ce. A massa seca das raízes diminuiu com a aplicação de Ce nas sementes (Figura 12a). Houve um aumento da massa seca da parte aérea (Figura 12b) das plântulas de soja, até a concentração de 12 mg de La L<sup>-1</sup>. A massa seca das raízes não foi afetada pela ação do elemento, assim como a massa seca total das plântulas.

Em feijão o Ce não influenciou a massa seca das plântulas (Figura 13a). No experimento com feijão e La a massa seca das plântulas não diferiu entre os tratamentos (Figura 13b).

Comportamento similar ao encontrado para as variáveis comprimento e massa seca das plântulas, especialmente de La, foi observado por Diatloff et al. (2008), no qual a massa seca das raízes de feijão-mungo não foi prejudicada por concentrações baixas, como a de 0,03 mg L<sup>-1</sup> de Ce ou La, mas da concentração de 0,13 até 0,70 mg L<sup>-1</sup> de Ce ou La a massa seca das raízes foi reduzida de 64 a 92%. Neste caso, observou-se que a concentração de Ce e La foi maior nas raízes e

aumentou na medida em as soluções ficavam mais concentradas (DIATLOFF et al., 1995b, 1995c, 2008).

O crescimento das raízes de soja foi mais afetado com a aplicação do Ce, mostrando seu efeito inibitório no crescimento radicular de soja. Concordando com tal resultado, foi observado um efeito potente dos elementos em inibir o crescimento das raízes de feijão-mungo, por Diatloff et al. (1995a).

A Tabela 5 mostra a absorção dos elementos pelas sementes e plântulas de soja e feijão, confirmando os resultados anteriormente citados. Nota-se que as raízes de soja absorveram mais Ce e La do que a parte aérea. Comportamento similar foi observado em feijão e La. Diatloff et al. (2008) observaram concentração de Ce e La nas raízes de feijão-mungo 25 a 200 vezes maior do que na parte aérea.

As quantidades absorvidas foram maiores na medida em que aumentaram as concentrações na solução (Tabela 5). Resultado similar foi observado por Diatloff et al. (2008), em feijão-mungo, no qual houve aumento da absorção com o aumento da concentração dos elementos na solução.

Observou-se que as plântulas de soja foram mais sensíveis ao Ce do que ao La (Figuras 10 e 11) e que a soja apresentou maior sensibilidade do que o milho, em experimentos conduzidos também com Ce e La em laboratório (ESPINDOLA et al., 2009). Da mesma forma, em experimento conduzido por Diatloff et al. (1995a), o Ce mostrou-se mais tóxico ao feijão-mungo do que o La. As concentrações de 0,13 mg L<sup>-1</sup> de Ce e 0,43 mg L<sup>-1</sup> de La, bem inferiores às utilizadas no experimento em discussão, representaram uma redução de 50% na elongação radicular. Corroborando com os resultados obtidos, o feijão-mungo foi mais sensível aos elementos do que o milho (DIATLOFF et al., 1995b, 1995c, 2008).

Na Figura 14 está a avaliação da emergência das plântulas de soja em campo aos quatro, cinco, seis, sete e 14 dias após a semeadura (DAS), depois do tratamento das sementes com as concentrações de 0, 2, 6, 12, 20, 30 e 50 mg L<sup>-1</sup> de Ce ou La. Não houve diferença significativa entre os tratamentos com Ce. Este resultado não está de acordo com as várias pesquisas que demonstram o efeito positivo no crescimento das culturas (HU et al., 2004).

No experimento com La, aos seis DAS, os tratamentos diferiram e o número de plântulas emergidas foi diminuindo até a concentração de 30 mg L<sup>-1</sup>. Na de 50 mg de La L<sup>-1</sup> o número de plântulas emergidas foi maior.

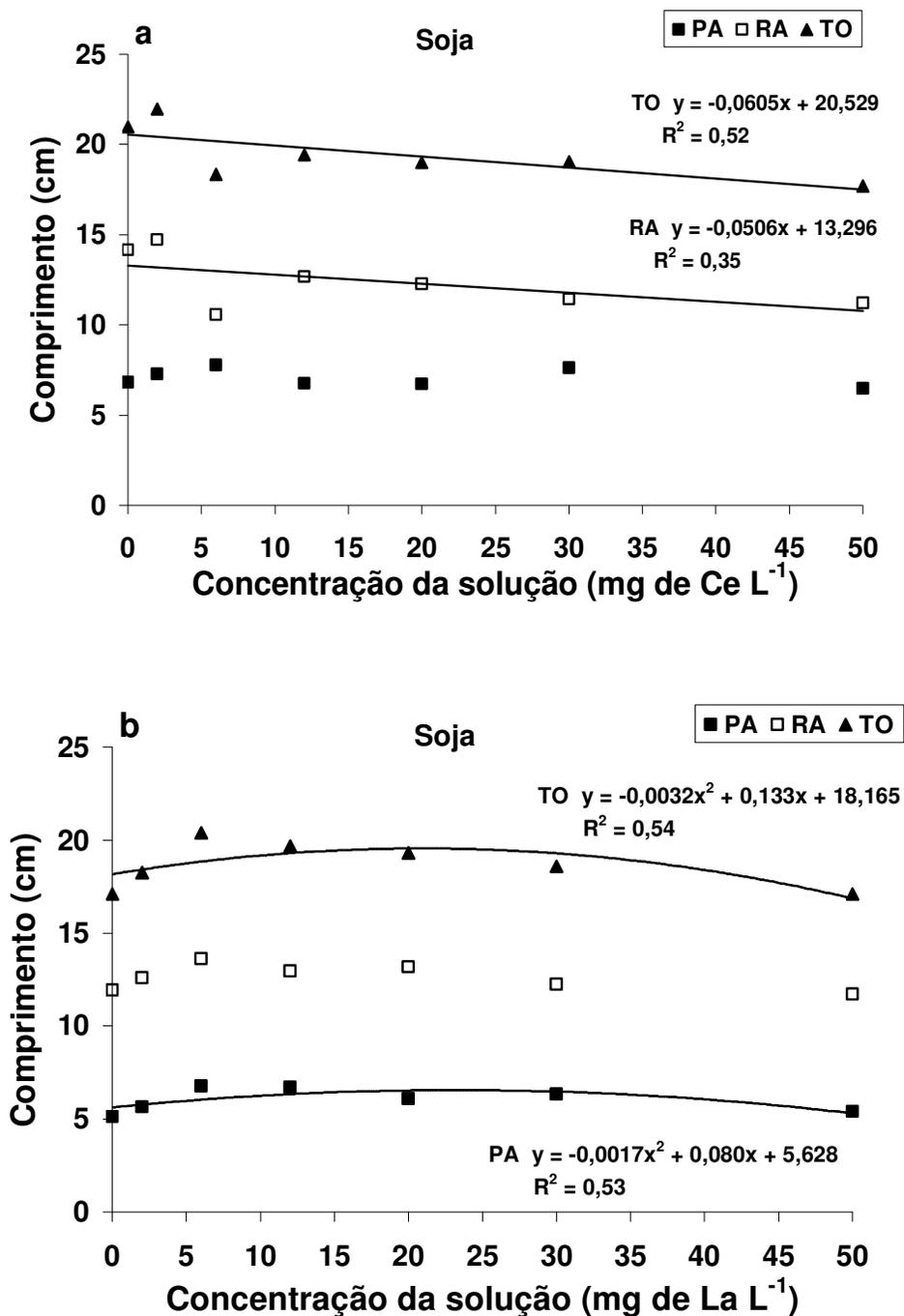
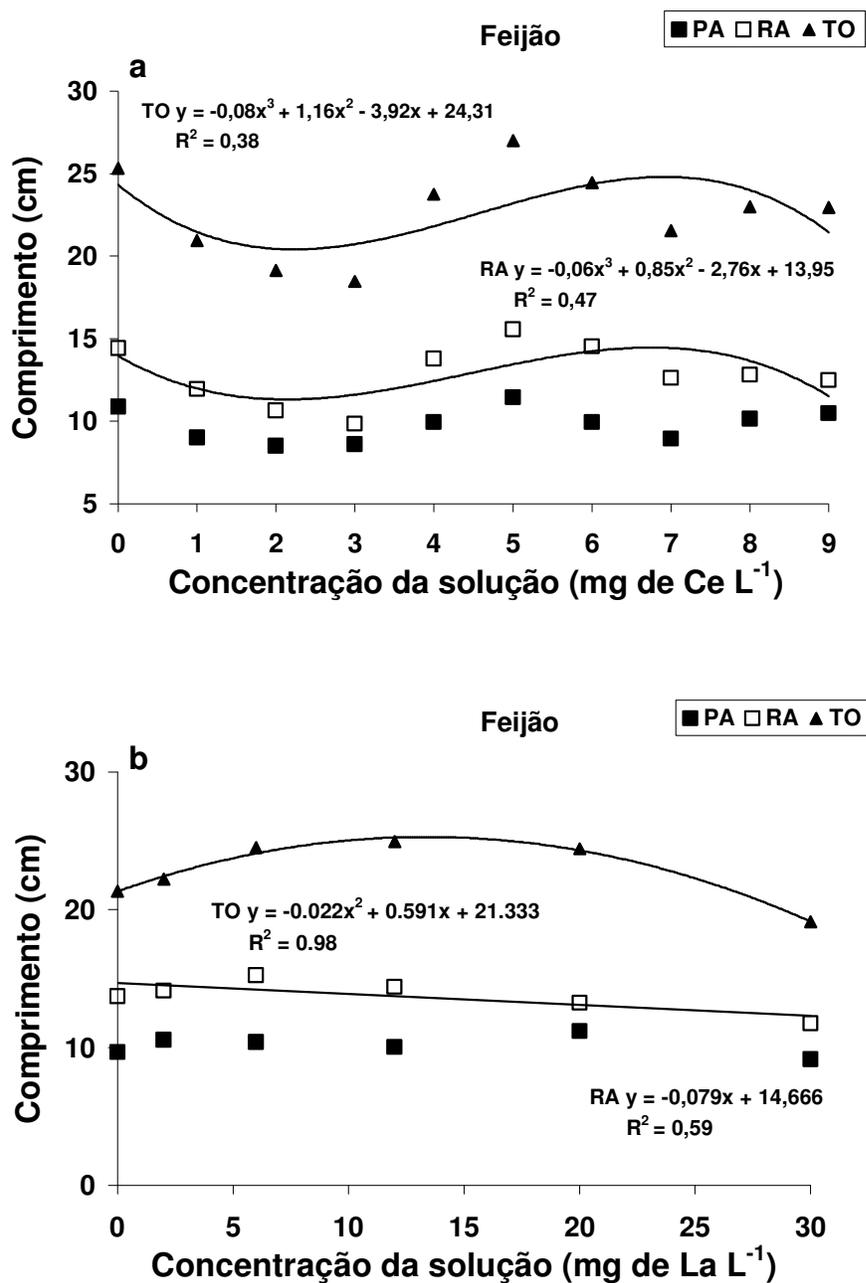


Figura 10 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de soja após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.



**Figura 11 – Comprimento (cm) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de feijão após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.**

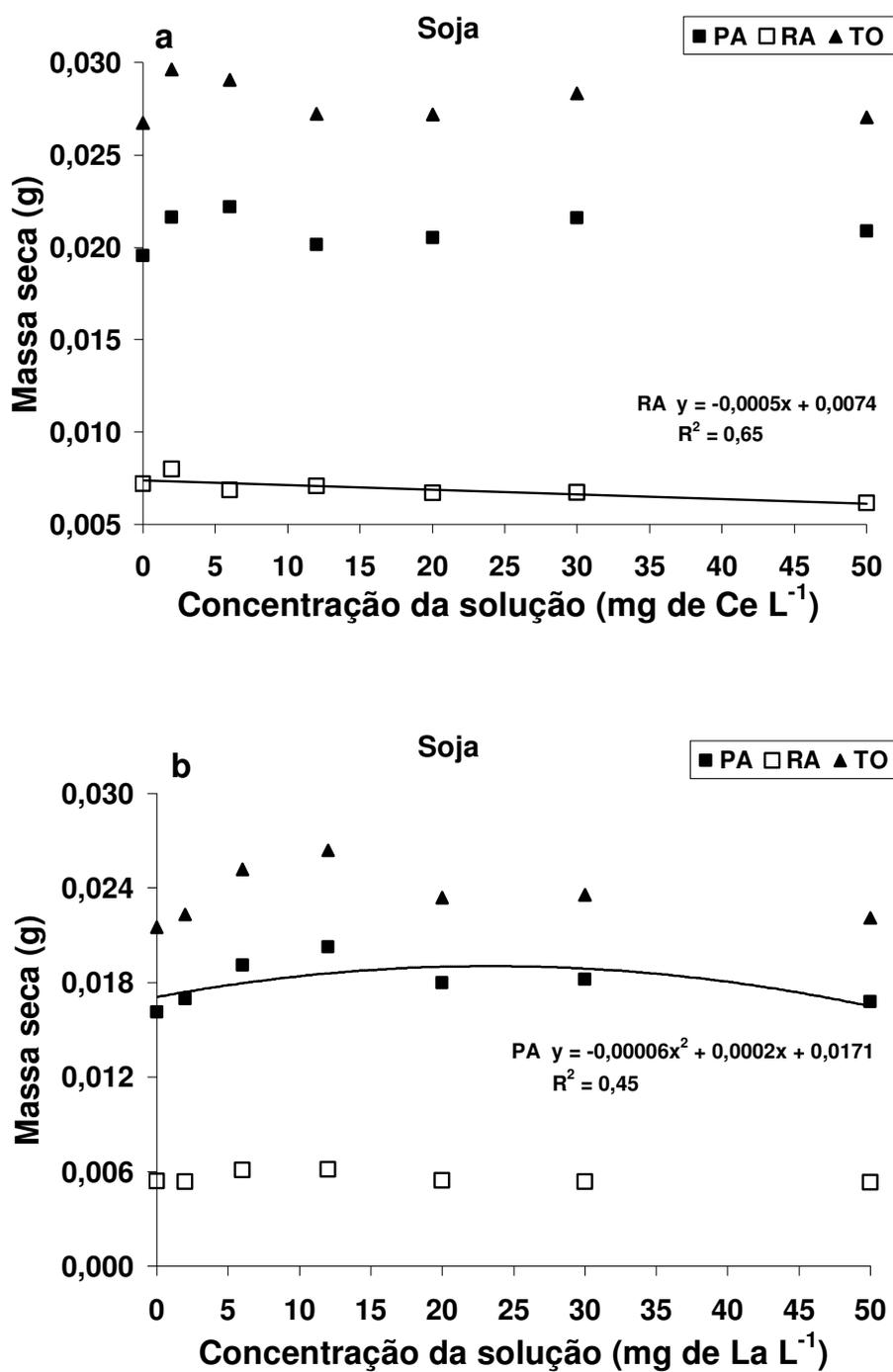


Figura 12 – Massa seca (g) da parte aérea (PA), das raízes (RA) e total (TO) de plântulas de soja após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

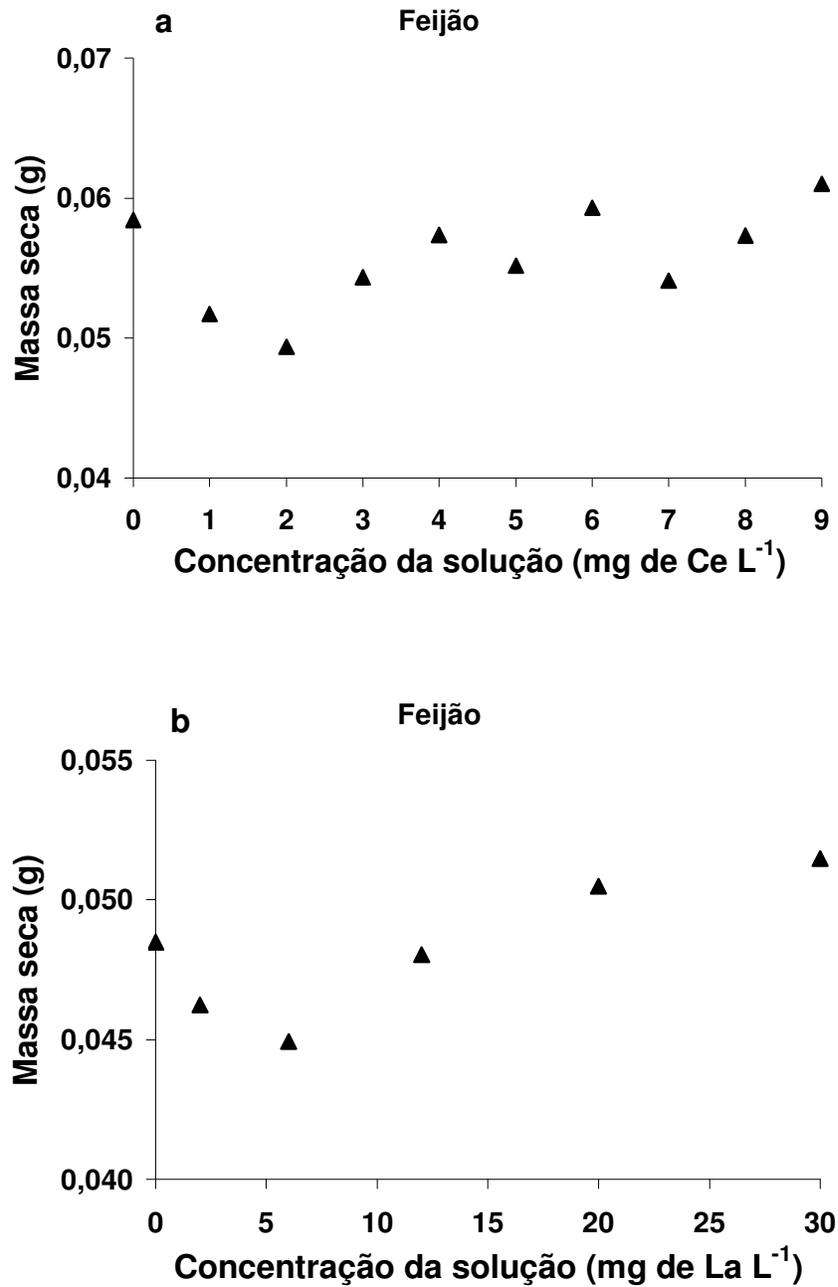


Figura 13 – Massa seca (g) de plântulas de feijão após tratamento das sementes com cério (Ce) e lantânio (La). Santa Maria – RS, 2008.

**Tabela 5 – Concentração de Ce e La nas sementes e nas plântulas (PA=parte aérea e RA=raízes) de soja e feijão. Santa Maria – RS, 2008.**

Concentração na solução (mg L <sup>-1</sup> )		Concentração nas sementes (µg g <sup>-1</sup> )		Concentração nas plântulas (µg g <sup>-1</sup> )			
<b>Soja</b>							
Ce	La			Ce		La	
				PA	RA	PA	RA
0,0	0,0			0,00	0,00	0,00	0,00
2,0	2,0			0,23	0,12	0,03	0,13
6,0	6,0			0,29	1,93	0,06	0,36
12,0	12,0			0,14	0,60	0,10	0,34
20,0	20,0			0,31	0,93	0,10	0,56
30,0	30,0			0,18	0,80	0,17	0,58
50,0	50,0			0,85	2,34	0,24	0,81
<b>Feijão</b>							
Ce	La	Ce	La	Ce	La		
					PA	RA	
0,0	0,0	0,00	0,00		0,004	0,031	
2,0	2,0	2,07	1,21		0,012	0,057	
5,0	6,0	4,82	3,06		0,022	0,201	
6,0	12,0	6,49	4,92		0,037	0,286	
9,0	20,0	10,60	12,41		0,058	0,526	
-	30,0	-	19,16		0,090	0,936	

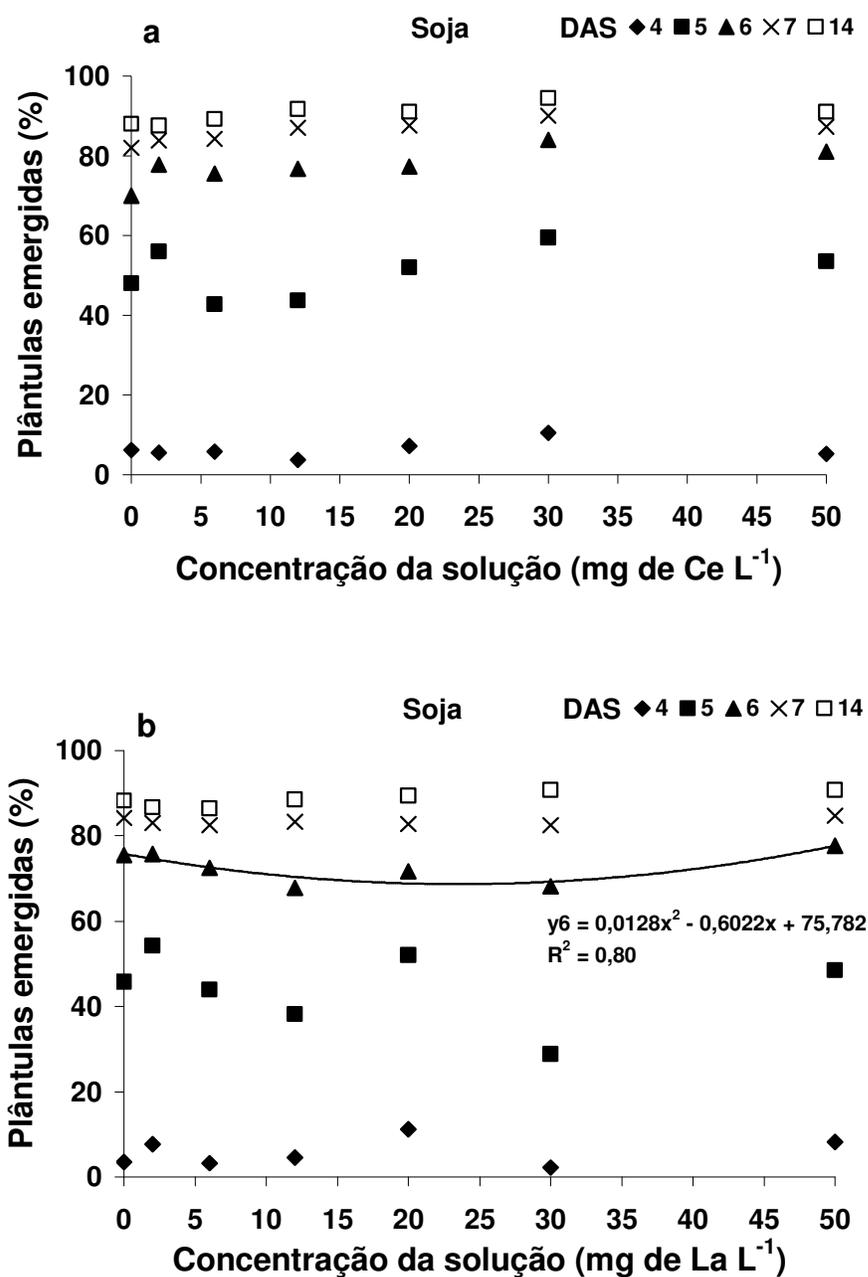


Figura 14 – Emergência de plântulas (%) após tratamento de sementes de soja com cério (Ce) e lantânio (La) (DAS = dias após a semeadura). Santa Maria – RS, 2008.

## CONCLUSÕES

O tratamento de sementes com os elementos terras raras Ce e La aumenta o potencial fisiológico das sementes de soja.

Os benefícios obtidos em soja pelo tratamento com Ce e La se manifestam no maior número de plântulas normais no teste de germinação e na maior velocidade de formação na primeira contagem. Já os benefícios do La se manifestam também no comprimento e massa seca das plântulas.

O Ce e o La são absorvidos pelas sementes de feijão; o La é translocado para a parte aérea e raízes das plântulas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de elementos terras raras na agricultura pode representar uma alternativa interessante para proporcionar aumentos quantitativos e qualitativos na produção, especialmente no Brasil, onde nunca foram utilizados na agricultura. O tratamento de sementes com terras raras conduz a um crescimento inicial mais rápido, podendo interferir na produção final das culturas, como no caso do milho, onde o rendimento aumentou com a aplicação de Ce nas sementes.

Das várias concentrações de Ce e La testadas, para alface, milho, soja e feijão, houve variações nos resultados quanto à germinação e vigor, mas os efeitos positivos encontrados justificam o emprego destes elementos no tratamento de sementes.

Entretanto não foi observado um comportamento único, ou seja, os resultados não se repetiram para a mesma concentração nos diversos testes realizados, por isso não foi recomendada uma concentração única para cada espécie, tanto para o Ce quanto para o La.

Sementes de alface, milho, soja e feijão absorveram cério e lantânio aplicados em solução aquosa e sofreram translocação para a parte aérea e para as raízes das plântulas. O sistema radicular em todas as espécies estudadas apresentou maior acumulação de cério e lantânio aplicados às sementes na forma de solução aquosa.

As concentrações da solução aquosa, tanto de cério quanto de lantânio, aplicadas nas sementes, são acentuadamente superiores às utilizadas em outros trabalhos, como por Diatloff et al. (1995a, b e c; 1999 e 2008), aplicados na forma de solução aquosa nas raízes ou na parte aérea.

Em feijão, na maioria dos testes realizados, após o tratamento das sementes com Ce ou La, não foram observados resultados positivos. A provável causa deste comportamento foi a presença de contaminantes nas sementes, ou seja, à má qualidade sanitária inicial das sementes. Entretanto, dois parâmetros avaliados responderam aos tratamentos: o tratamento das sementes com Ce proporcionou aumento na percentagem de plântulas normais fortes e, o tratamento com La aumentou o comprimento total das plântulas. Assim, a repetição dos testes, os quais foram realizados em um ano apenas, com a eliminação de contaminantes, poderia

aumentar a amplitude dos resultados, levando a uma melhor observação dos efeitos do Ce e do La sobre o tratamento de sementes na cultura do feijão.

Os experimentos conduzidos representam o início das pesquisas na agricultura com terras raras no Brasil. Os resultados positivos encontrados pressupõem que mais estudos devem ser conduzidos a fim de ajustar uma metodologia mais adequada, determinar uma concentração ótima, determinar uma relação entre concentração e efeito, comprovar melhor a eficácia dos elementos e suas funções nos processos fisiológicos das plantas, além do comportamento dos terras raras no ambiente e seu impacto no solo e na água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-BAKI, A. A. Biochemical aspects of seed vigor. **Horticultural Science**, v.5, n.6, p.765, 1980.

AN, J. P.; K. CHEN, S. Effect of  $NdCl_3$  on membrane damage induced by pervasion intimidation and content of ABA. **Journal of Chinese Rare Earth Society**, v. 12, n.4, p.348 – 351, 1994.

BEWLEY, J.P.; BLACK, M. **Seeds - Physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1985. 367 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.

BROWN, P.H. et al. Rare earth elements in biological systems. In: GSCHNEIDNER, K.A., Jr., EYRING, L., (Eds.). **Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths**. New York: Elsevier Sciences Publisher, 1990. v. 13, p. 423–453.

BRUGNAGO NETO, S. Milho - Exportações para a Europa enxugaram a oferta e propiciaram forte elevação aos preços internos. Acessado em <<http://cepa.epagri.sc.gov.br:8080/cepa/Infconj/ultimos/Milho.htm>>. Acesso em: 08 jan.2009.

BUCKINGHAM, S. et al. The role of applications of rare earth elements in enhancement of crop and pasture production. Rare Earths'98, **Mater. Science**, Forum 315, p.339–347, 1999.

BUNZLI, J. C. G.; CHOPPIN, J. R. Lanthanide probes in life, chemical and earth science. Theory and practice. **Elsevier**, Amsterdam, 1989.

CANTLIFFE, D.J.; SUNG, Y.; NASCIMENTO, W.M. Lettuce seed germination. **Horticultural Reviews**, v. 24, p.229-275, 2000.

CAO, X. D. et al. Determination of trace rare earth elements in plant and soil samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v.76, n.4, p.295–309, 2000.

CHAO, L. et al. Effects of rare earth elements on vigor enhancement of aged spinach seeds. **Journal of Rare Earth**, v.22, n.4, p.547-551, 2004.

CECCON, G. et al. Efeito de inseticidas na semeadura sobre pragas iniciais e produtividade de milho safrinha em plantio direto. **Bragantia**, v.63, p.227-237, 2004.

COSTA, H.; GALLEGOS, S.M.; TOMARO, M.L. Effect of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. **Plant Science**, v.162, n.6, p.939-945, 2002.

CUI, W.H.; ZHAO, Y.R. Effect of seed dressing using different rate of REEs on physiological index and yield of corn. **Chinese Rare Earths**, v.15, n.1, p.34 – 37, 1994.

DIATLOFF, E.; SMITH, F. W.; ASHER, C. J. Rare-earth elements and plant growth: I. Effects of lanthanum and cerium on root elongation of corn and mungbean. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.10, p.1963–1976, 1995a.

DIATLOFF, E.; SMITH, F. W.; ASHER, C. J. Rare-earth elements and plant growth: II. Responses of corn and mungbean to low concentrations of lanthanum in dilute, continuously flowing nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.10, p.1977–1989, 1995b.

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**, v.18, n.10, p.1991–2003, 1995c.

DIATLOFF, E.; ASHER, C. J.; SMITH, F.W. The effects of rare earth elements on the growth and nutrition of plants. Rare Earths '98, **Material Science**, Forum 315, p.354–360, 1999.

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**, v.101, n.7, p.971-982, 2008.

EIRA, M.T. **Condicionamento osmótico de alface: efeitos sobre a germinação e desempenho sob estresse hídrico, salino e térmico**. 1988. 90f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

ESPINDOLA, M. C. G. et al. Tratamento de sementes de milho com Ce. **Ciência Rural** (no prelo), 2009.

FASHUI, H.S. et al. Distribution of rare earth elements and structure characterization of chlorophyll-lanthanum in a natural plant fern. **Acta Botanica**, v. 41, n.8, p.851–854, 1999.

FASHUI, H. et al. Mechanism of effect of lanthanum nitrate on vigor of aged rice seeds. **Journal of Rare Earths**, v.18, n.3, p.219-223, 2000.

FASHUI, H. S. Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. **Biological trace elements research**, v. 87, n.1-3, p.191–200, 2002.

FASHUI, H. S. et al. Study of lanthanum on seed germination and growth of rice. **Biological trace elements research**, v. 94, n.3, p.273–286, 2003.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agroecologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FRAY, D. Chemical engineering: separating rare earth elements. **Science**, v. 289, n. 5488, p. 2295 – 2296, 2000.

GOTO, R. A cultura da alface. In.: GOTO, R., TIVELLI, S.W. (org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo, Fundação Editora da UNESP, 1998, p. 137-159.

GUO, B.S. et al. **Rare Earths in Agriculture**. Beijing: Agricultural Scientific Technological Press, 1988. p. 23–208.

HARMET, K.H. Rapid growth responses of *Avena* coleoptile segments to lanthanum and other cations. **Plant Physiology**, v.64, n.6, p.1094–1098. 1979.

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.

HENNING, A. A.; CAMPO, R. J.; SFREDO, G. J. Tratamento com fungicidas, aplicação de micronutrientes e inoculação de sementes de soja. **Encarte técnico, informações agronômicas**, n.82, 1998.

HU, X. et al. 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.

HU, Z. et al. Physiological and Biochemical Effects of Rare Earth Elements on Plants and Their Agricultural Significance: A Review. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n.1, p.183-220, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2008. Disponível em :<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

JIE, H.G.; YU, Z.H. Effects of REEs on increasing yield and physiology of wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 1, p. 25–29, 1985.

LAUCHLI, A; BIELESKI, R.L. **Inorganic Plant Nutrition**. Springer-Verlag, Berlin, 1983. 23p.

LI, F. L. et al. Evaluation of plant availability of rare earth elements in soils by chemical fractionation and multiple regression analysis. **Environmental Pollution**, v.102, n.2-3, p.269–277,1998.

LIANG, C. et al. Effect of rare earths on plants under supplementary ultraviolet-B radiation: II. Effect of cerium on antioxidant defense system in rape seedlings under supplementary ultraviolet-B radiation. **Journal of rare earths**. v. 24, n.3, p. 364 – 368, 2006.

LIU, H. Y.; LIU, J. L. Effect of REEs on  $\alpha$ -amylase induced by GA<sub>3</sub> in the aleurone layer of wheat seed and their interaction. **Rare Metals**, v. 5, special issue, p.61 – 66, 1985.

LIU, M.; HASENSTEIN, K. H. La<sup>+3</sup> uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of *Zea mays* L. **Planta**, v.220, n.5, p.658-666, 2005.

LUCHESE, A. V. et al. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, v. 24, n. 6, p. 1949-1952, 2004.

MACHADO, J.C. **Patologia de sementes: fundamentos e aplicações**. Brasília: MEC; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 674 p.

MARTINS, J.F. da S.; BOTTON, M.; CARBONARI, J.J. Efeito de inseticidas no tratamento de sementes e na água de irrigação no controle de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima), em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, p.27-32, 1996.

MELLO, I. S. C.; JUNIOR, M. C.; MOTTA, J. F. M. Terras-raras no estado de São Paulo: avaliação da potencialidade geológica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.24, n.4, p.203-222, 1994.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizers and fertilization practices. **Developments in plants and soil sciences**, v.14, p. 221-235, 1985.

MU, K. G. Review of studies on rare earth against plant disease. **Journal of Rare Earths**, v.22, n.3, p.315, 2004.

MU, K.G. et al. Effect of lanthanum on mycelium growth and some pathogenic factors. **Journal of Rare Earths**, v. 24, n.4, p.485-490, 2006a.

MU, K.G. et al. Toxicity of lanthanum to pathogenic fungi and its morphological characteristics. **Journal of Rare Earths**, v. 24, n.5, p.607-612, 2006b.

NAGAHASHI, G.; THOMSON, W.W.; LEONARD, R.T. The Casparian strip as a barrier to the movement of lanthanum in corn roots. **Science**, v.183, p. 670 – 671, 1974.

NAKANISHI, T. M.; TAKAHASHI, J.; YAGI, H. Rare earth element, Al, and Sc partition between soil and coating wood grown in north-east Brazil by instrumental neutron activation analysis. **Biological Trace Elements Residual**, v.60, n.3, p.163–174, 1997.

NING, J.B.; XIAO, S.L. Effects of rare earth elements application on day lily. **Chinese Rare Earth**, v.10, n. 5, p. 52–54, 1989.

PANG, X.; LI, D.C.; PENG, A. Application of rare-earth elements in the agriculture of China and its environmental behavior in soil. **Environment Science Pollution**, v.9, n.3, p.143–148, 2002.

PARDUCCI, S. et al. **Micronutrientes**. Campinas: Microquímica, 1989. 101p.

QIAN, Q. et al. Physiological effects of cerium on seed germination and seedling growth in eggplant under chilling stress. **Acta Horticulturae Sinica**, v.32, n.4, p.710-712, 2005.

QIAO, X.B.; ZHANG, G.Q. Experiments for spraying REEs in soybean. **Journal Henan Agriculture Science**, v.12, n.1, p.9–10, 1989.

RUSCHEL, A. P.; ROCHA, A. C. M.; PENTEADO, A. F. Efeito do boro e do molibdênio aplicados a diferentes revestimentos de semente de feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.5, n.3, p. 49-52, 1979 (Série Agronomia).

SANTOS, O. S. et al. Efeitos de dosagens de molibdênio, cobalto, zinco e boro aplicados nas sementes sobre características agrônômicas da soja – 3º ano. In: **Reunião de pesquisa de soja na região sul**, 10, 1982, Porto Alegre.

SQUIER, T. C. et al. Calcium and lanthanide binding in the sarcoplasmic reticulum ATPase. **Journal of Biology and Chemistry**, v.265, n.23, p.13713–13720, 1990.

SUZUKI, H. et al. Influence of lanthanum on the uptake of various elements by marigold. **Riken Review**, n.35, 2001.

TYLER, G. Rare earth elements in soil and plant systems - A review. **Plant and soil**, v.267, n.1-2, p.191-206, 2004.

VELASCO, J. R. et al. Cultural studies on coconut-cadang: reaction of plants to the rare earths, thallium and certain soil samples. **The Philippine Journal Coconut Studies**, v. 4, n.1, p.1–13, 1979.

VIDOR, C.; PERES, J. R. R. Nutrição das plantas com molibdênio e cobalto. In: BORKET, C.M.; LANTMANN, A.F. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: Embrapa-CNPSO/SBCS, 1988. p. 197-204.

WANG, D. Z.; WAN, Q.; YANG, Y.C. Research and development of rare earth advanced materials in China. **Journal of Rare Earths**, v.3, p.223–230, 1996.

WANG, Z. et al. Accumulation of rare earth elements in corn after agricultural application. **Journal of Environmental Quality**, v.30, n.1, p.37-45, 2001.

WANG, L. F. et al. Photosystem 2 activities of hyper-accumulator *Dicranopteris dichotoma* Bernh from a light rare earth elements mine. **Photosynthetica**, v.44, n.2, p.202–207, 2006.

WEI, Y. Z.; ZHOU, X. B.; MOHAMED, O. M. Mechanism of application of Nd to increase yield of rapeseed. **Journal of Plant Nutrition and Fertility**, v.5, n.2, p.186–188, 1999.

WEI, Z. G. et al. Rare earth elements in naturally grown fern *Dicranopteris linearis* in relation to their variation in soils in South-Jiangxi region (Southern China). **Environmental Pollution**, v.114, n.3, p.345–355, 2001.

WEI, Z. G. et al. Subcellular and molecular localization of rare earth elements and structural characterization of yttrium bound chlorophyll a in naturally grown fern *Dicranopteris dichotoma*. **Microchemical Journal**. v.80, n.1, p.1–8, 2005.

WEN, F. J. Technologies and effect of application of REEs on soybean. **Rare Metals**, v.6 (Special issue), p.51–57, 1988.

WEN, B. The influence of rare earth element fertilizer application on the distribution and bioaccumulation of rare earth elements in plants under field conditions. **Chemical Special and Bioavailability**, v.13, n.2, p.39–48, 2001.

XIE, Z. B. et al. Effect of lanthanum on rice production, nutrient uptake, and distribution. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n.10, p.2315–2331, 2002.

XIONG, B. K. et al. Rare earth element research and applications in chinese agriculture and forest. **Metallurgical Industry Press**, Beijing, China, 2000.

XU, X. et al. Distribution of rare earths and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer. **The Science of the Total Environment**, v. 293, p.97–105, 2002.

XU, X. et al. Accumulation of rare earth elements in maize plants (*Zea mays* L.) after application of mixtures of rare earth elements and lanthanum. **Plant and soil**, v.252, n.2, p. 267-277, 2003.

YE, Y. et al. Subcellular location of horseradish peroxidase in horseradish leaves treated with La(III), Ce(III) and Tb(III). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.69, n.2, p1-8, 2008.

YUAN, D. et al. Uptake and distribution of rare earth elements in rice seeds cultured in fertilizer solution of rare earth elements. **Chemosphere**, v.43, n.8, p.327-337, 2001.

ZHANG, Y. X. CHAI, T. Y.; BURKARD, G. Research advances on the mechanisms of heavy metal tolerance in plants. **Acta Botanica Sinica**, v.5, n.1, p.453-457, 1999.

ZHU, Z. M.; WU, T. B. Study effect of REEs on soybean. **Rare Metals**, v.3, (special issue), p.15–19, 1982.