

## **EFEITOS PROVOCADOS PELA APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE FERRO, ÓXIDO DE SILÍCIO E ÓXIDO DE MAGNÉSIO EM PLANTAS DE MILHO JOVENS.**

GUBERT, Diego Wordell<sup>1</sup>  
DELAI, Robson Michael<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Milho é uma cultura de suma importância no mundo, sendo uma das principais culturas pesquisadas. O uso constante de adubação e a utilização de outros componentes químicos permitem aos produtores atingirem altos níveis de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação destes produtos em plantas de milho jovens. Para isto, foram verificados: o padrão fotossintético, o crescimento das plantas e também a atividade de peroxidase da parede de apoplastos, pois estes são todos possíveis marcadores para a eficácia da ação dos componentes. Em casa de vegetação as amostras foram plantadas e divididas em três tratamentos: (T1) o controle, (T2) com terra adubada e os componentes (óxido de silício, óxido de magnésio e óxido de ferro) e (T3) com terra somente com os componentes (óxido de silício, óxido de magnésio e óxido de ferro). Partes das amostras de plantas foram colhidas aos 18 dias após o plantio e o restante dos exemplares foram colhidos aos 104 dias após o plantio. Foram medidos os teores de clorofila, peso fresco, peso seco e os níveis de peroxidase. Os resultados mostram que os componentes apresentam um incremento na fotossíntese e no ganho de biomassa, porém novos experimentos devem ser realizados para mapear coadjuvantes que interferem nesse processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Zea mays*, clorofila,peroxidase, melhoramento de plantas

### **EFFECTS CAUSED BY THE USE OF IRON OXIDE, SILICON OXIDE AND MAGNESIUM OXIDE IN YOUNG CORN PLANTS.**

### **ABSTRACT**

Corn is a crop of great importance in the world, being one of the main crops investigated. The constant use of fertilizer and the use of other chemical components allow farmers to reach high production levels. The objective of this study was to evaluate the action of these products on young corn plants, checking the standard photosynthetic growth of the plants and the peroxidase activity in the apoplasts wall, all potential markers of the action of the components. In greenhouse samples were divided into three research lines: (T1) the control, (T2) fertilized and components (silicon oxide, magnesium oxide and iron oxide) and (T3) only with addition of silicon oxide, magnesium oxide and iron oxide. Parts of the plant samples were harvested 18 days after planting and the remainders of the specimens were harvested 104 days after planting. We measured the levels of chlorophyll, fresh weight, dry weight and the levels of peroxidase. The results show that the components exhibit an increase in photosynthesis and biomass gain, but further experiments must be carried out to map adjuvants that affect this process.

**KEYWORDS:** *Zea mays*, chlorophyll, peroxidase, plant breeding

### **1 – INTRODUÇÃO**

O milho é uma gramínea da família Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *mays* (*Zea mays L.*), é uma cultura de suma importância na produção mundial, tanto economicamente como cientificamente. Dentre todas as culturas mundiais, o milho se destaca como sendo a de maior alvo de pesquisas científicas, cujo estes resultados contribuem para o aperfeiçoamento do seu cultivo e também proporciona avanços nos métodos empregados em outras culturas (BORÉM, 2005). A origem do milho é essencialmente americana, este já era cultivado pelos americanos, desde o Canadá até a Argentina, tendo se tornado o principal cultivo civilizações como astecas, maias e incas (WEATHERWAX, 1954).

O milho é planta cultivada que atingiu o maior estagio de domesticação possível, ou seja, perdeu todas as suas características selvagens, sendo que, só consegue sobreviver com a ajuda do homem (BORÉM, 2005). A cultura do milho geralmente enfrenta grande stress ambiental, como a baixa fertilidade dos solos (REIS JUNIOR et al., 2008).

A deficiência de minerais pode provocar distúrbios no desenvolvimento, no metabolismo e no funcionamento vegetal. A nutrição mineral é o modo de estudo utilizado para verificar como as plantas empregam os nutrientes mineralizados em seu metabolismo (LOOMIS et al., 1992).

Para altas produtividades agrícolas existe uma dependência do processo de fertilização com minerais. O consumo mundial dos principais elementos minerais fertilizantes aumenta com a demanda por alimento crescente no planeta, apresentando uma manutenção ao longo desta ultima década (NOLAN et al., 2000; CAVALLET et al., 2000).

O método tradicional de cultivo utilizado permite as plantas absorverem menos da metade do fertilizante aplicado, podendo os minerais restantes continuar aderidos ao solo, em partículas, ou tomar outros caminhos (LOOMIS et al., 1992).

Os principais elementos considerados essenciais estão relatados na Tabela 1 modificada de Taiz e Zeiger (2004).

<sup>1</sup>Acadêmico de Ciências Biológicas – Bacharel – Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR. E-mail: [dwgubert@hotmail.com](mailto:dwgubert@hotmail.com)

<sup>2</sup>Biólogo – Mestre em Biologia Celular e Molecular. Docente da Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR – e-mail: [robson@fag.edu.br](mailto:robson@fag.edu.br)

Tabela 1: Níveis adequados no tecido de elementos que podem ser requeridos pelas plantas.

Elemento	Símbolo Químico	Concentração na matéria seca (% ou ppm) <sup>a</sup>	Número relativo de átomos em relação ao molibdênio
<b>Obtidos da agua ou dióxido de carbono</b>			
Hidrogênio	H	6	60.000.000
Carbono	C	45	40.000.000
Oxigênio	O	45	30.000.000
<b>Obtidos do solo</b>			
<b>Macronutrientes</b>			
Nitrogênio	N	1,5	1.000.000
Potássio	K	1,0	250.000
Cálcio	Ca	0,5	125.000
Magnésio	Mg	0,2	80.000
Fosforo	P	0,2	60.000
Enxofre	S	0,1	30.000
Silício	Si	0,1	30.000
<b>Micronutrientes</b>			
Cloro	Cl	100	3.000
Ferro	Fe	100	2.000
Boro	B	20	2.000
Manganês	Mn	50	1.000
Sódio	Na	10	400
Zinco	Zn	6	300
Cobre	Cu	6	100
Níquel	Ni	0,1	2
Molibdênio	Mo	0,1	1

Segundo Evans e Sorger (1996) e Mengel e Kirky (1987), a classificação dos nutrientes minerais das plantas pode ser subdividida de acordo com a sua função bioquímica. São divididos em quatro grupos básicos:

No primeiro grupo, que são os nutrientes que fazem parte de compostos de carbono, estão presentes o nitrogênio (N), que é constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas e hexoaminas, e o enxofre (S), que é componente da cisteína, cistina, metionina, proteínas, ácido lipoico, coenzima A, tiamina, pirofosfato, glutatona, biotina, adenosina-5'-fosfossulfato e 3-fosfoadenosina.

No segundo grupo, que são os nutrientes importantes na armazenagem de energia e na integridade estrutural, estão presentes o fosforo (P), que é utilizado na composição de fosfato açúcares, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídios, ácido fitico e tem papel central em reações que envolvem ATP, o silício (Si), que é depositado como sílica amorfa em paredes celulares, contribuindo para as propriedades mecânicas das paredes celulares incluindo a elasticidade e a rigidez, o boro (B), que está envolvido no alongamento celular e no metabolismo de ácidos nucleicos.

No grupo três, estão encontrados os nutrientes que permanecem na forma iônica, como por exemplo, o potássio (K), que é requerido como cofator de mais de 40 enzimas, o cálcio (Ca), que é constituinte da lamela media das paredes celulares, o magnésio (Mg), requerido por muitas enzimas que estão envolvidas na transferência de fosfatos, o cloro (Cl), que é utilizado nas reações fotossintéticas envolvendo a evolução do O<sub>2</sub>, o manganês (Mn), usado nas atividades de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases e o sódio (Na), que esta envolvido na regeneração do fosfoenolpiruvato em plantas C<sub>4</sub> e CAM, e também substitui o potássio em algumas funções.

No quarto grupo se encontram os nutrientes que estão envolvidos em rações redox, como o ferro (Fe), constituidor de citocromos e ferro-proteínas envolvidas na fotossíntese, fixação de N<sub>2</sub> e respiração, o zinco (Zn), constituinte da álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica ,entre outros, o cobre (Cu), que é componente da ácido ascórbico oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, uricase, citocromos oxidase, fenolase, lacase e plastocianina, o níquel (Ni), constituidor da uréase e em bactérias fixadoras de nitrogênio é constituinte de hidrogenases, e o molibdênio (Mo) que constitui a nitrogenase, nitrato redutase e xantina desigrogenase.

O presente trabalho tem como objetivo verificar os efeitos gerados pela aplicação de ferro, silício e magnésio em plantas de milho jovens.

## **2 – MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido sob condições de temperatura 28°C, e luminosidade média de 625 eisteins m<sup>2</sup> seg<sup>-1</sup>, na casa de vegetação da Faculdade Assis Gurgacz. O solo utilizado foi o latossolo vermelho-escuro distrófico, coletado na profundidade de 0-20 cm. Uma análise de pH em água 1:25, foi realizada para discriminação de sua composição e o nível de pH. O solo então foi peneirado para melhor homogeneização e foi adicionado calcário (PRNT = 95%) suficiente para elevar o pH até 6,0. A terra foi disposta em 120 recipientes com capacidade para cinco quilos cada, onde estes 120 vasos foram divididas em 3 tratamentos.

**- Controle (T1):** Vasos somente com a terra com o pH 6,0.

**- Adubado+componentes (T2):** Terra com pH 6,0 com nitrato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE BR12 para a adubação e a aplicação do composto químico (56% SiO<sub>2</sub>, 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% CaO, 4% MgO, 2% K<sub>2</sub>O, 0,4% Na<sub>2</sub>O).

**- Semente Componentes (T3):** Terra com pH 6,0 com o composto químico (56% SiO<sub>2</sub>, 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% CaO, 4% MgO, 2% K<sub>2</sub>O, 0,4% Na<sub>2</sub>O).

A semeadura realizou-se com cinco sementes de milho para cada recipiente, totalizando 600 sementes, após o período de 15 dias foi realizado o desbaste dos exemplares, deixando somente o melhor exemplar por recipiente. Aos 15 dias, foi borrifada 100 ml da primeira dose do componente químico, no tratamento T2 e T3, a irrigação dos vasos foi realizada em função da necessidade baseando-se no peso dos vasos, mantendo-se 60% do volume total de poros preenchidos com água. A diluição dos componentes químicos foi de 2 quilogramas de soluto (56% SiO<sub>2</sub>, 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% CaO, 4% MgO, 2% K<sub>2</sub>O, 0,4% Na<sub>2</sub>O) em 300 litros de água, realizando uma pré mistura dos componentes em 30 litros de água iniciais.

### **2.1 – VERIFICAÇÃO DO PESO FRESCO E PESO SECO**

Aos 18 dias após o plantio, 20 plantas de cada tratamento foram colhidas, lavadas com água, para a remoção do solo, e então separadas a parte aérea das raízes para a determinação do peso fresco da parte aérea e das raízes. Aos 104 dias após o plantio, o restante das plantas de cada tratamento foi colhido, lavadas com água, para a remoção do solo, e então separadas a parte aérea das raízes para a determinação do peso fresco da parte aérea e das raízes.

A parte aérea e a raiz foram pesadas separadamente, constatando o peso fresco das amostras. O peso da matéria seca, da parte aérea e das raízes foi obtido pela secagem em estufa a 65°C até haver peso constante, e foram utilizados para o cálculo da relação raiz/parte aérea (R/S).

Para calcular a taxa de crescimento relativo para cada dia foi necessário estimar o peso seco inicial para cada dia utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Cresc. Rel.} = (\text{PSfinal} - \text{PSinicial}) / \text{PSinicial}$$

Onde PSfinal é o peso seco final (para cada ponto no tempo) e PSinicial é o peso seco inicial estimado da planta em questão.

Para determinar a taxa de crescimento relativo foi verificada a porcentagem de peso seco da analise do dia 18 e a porcentagem de peso seco da analise do dia 104.

$$\text{Peso seco dia (x)} \times 100 / \text{peso fresco dia (x)}.$$

O resultado desta fórmula corresponde à porcentagem de peso seco do dia (x). Posteriormente calculamos a porcentagem de peso seco média das repetições para cada cultivar no dia (x).

### **2.2 - VERIFICAÇÕES DOS TEORES DE CLOROFILAS**

Utilizando o método desenvolvido por DELAI, 2002, as plantas colhidas foram armazenadas em acetona 100% durante seis dias para que a clorofila se soltasse. O material obtido passou por detecção de clorofila em espectrofotômetro a absorbância nos comprimentos de onda de 645 nm (A645) e 663 nm (A663).

A concentração de clorofila total dar-se-á pela fórmula:

$$\text{Chla} = (0,0127 \cdot \text{A663}) - (0,00269 \cdot \text{A645}), \text{ para clorofila a,}$$

$$\text{Chlb} = (0,0229 \cdot \text{A645}) - (0,00468 \cdot \text{A663}), \text{ para clorofila b.}$$

Onde **Chla** é a concentração de clorofila **a** em g L<sup>-1</sup> e **Chlb** é a concentração de clorofila **b** em g L<sup>-1</sup>. Soma-se o teor total de **Chla** e **Chlb** no volume total de extrato e dividi-se pelo peso seco de matéria extraída, expressa-se em mg de clorofila por grama de matéria seca extraída.

As plantas colhidas foram armazenadas em acetona 100% durante seis dias para que a clorofila se soltasse. O material obtido passou por detecção de clorofila em espectrofotômetro a absorbância nos comprimentos de onda de 645 nm (A645) e 663 nm (A663).

## 2.3 - ANÁLISE DA ATIVIDADE DE PEROXIDASE DA PAREDE DE APOPLASTO DE SISTEMA RADICULAR

O método espectrofotométrico foi desenvolvido por MANDAJI (2001) e alterado por DELAI (2002).

Lavou-se o sistema radicular das plantas com água destilada retirando o excesso de água com papel toalha. Cada planta foi colocada em tubos de ensaio contendo 3 ml de tampão fosfato (peróxido de hidrogênio 1% (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) + Guaiacol 1% (Sigma). Utilizou-se o mesmo tampão como branco para zerar o espectrofotômetro. Retirou-se uma alíquota após a exposição de um minuto do sistema radicular à solução. Mediu-se a absorbância em comprimento de onda de 420 nm.

## 2.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

O pacote estatístico utilizado para a analise foi o Graphpad Prism 5.0 versão 2010.

O teste de Anova de dupla entrada em nível de 5% foi utilizado para verificar a interação de pontos duplos entre os diferentes tratamentos e as comparações dos tratamentos com o controle. Objetivou-se através desse teste verificar a ocorrência de significância estatística integrada. O teste de média utilizado foi o teste de Tukey a nível 5%, com objetivo de diferenciar os resultados estatísticos entre o tratamento e confirmar uma das hipóteses deste trabalho.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas tratadas com o composto apresentaram significância estatística para o teste de Anova seguido do teste de média de Tukey para P<0,05 (figura 1). Verificou-se que o teor de clorofila total, calculado pela quantidade de clorofila em mg L<sup>-1</sup> dividido pelo crescimento relativo das plantas, apresentou-se maior nas plantas tratadas com o produto. A ação do composto apresenta influência no crescimento das plantas tratadas em relação as não tratadas. Verifica-se que isto ocorre sim, porém como esta visualização foi feita em plantas jovens, não foi possível de avaliar produção. Credita-se este aumento da clorofila talvez pela presença de silício (Si) encontrado na composição do tratamento.

Gomes et al., (2008), cita que por não ser considerado um elemento essencial às plantas, o silício (Si) não tem sido muito estudado na micropopulação de plantas. Contudo, do ponto de vista fisiológico, para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o silício tem demonstrado efeito benéfico sobre o aumento de produção de diversas culturas. Acredita-se que ele possa interferir na arquitetura das plantas e favorecer a fotossíntese, ao proporcionar folhas mais eretas, que têm maior eficiência fotossintética.

Silva, (2007) informa que o silício tende a se acumular nas folhas, onde forma uma barreira protetora e regula a perda de água da planta por evapotranspiração. Isto auxilia a aclimatização das plantas micropopagadas, pois a principal causa de mortalidade durante esse processo é a perda de água, pela baixa funcionalidade dos estômatos e delgada camada de cera epicuticular.

Segundo Raven (1996), o silício absorvido pelas plantas é depositado abaixo da cutícula epidérmica, formando uma camada dupla de sílica nas células. Essa incorporação acarreta em mudanças na arquitetura dessas plantas, que mantêm as folhas mais eretas ocasionando melhoria na interceptação da luz solar, portanto, da fotossíntese. Na biossíntese da clorofila, uma maior exposição das folhas à luz determina maior taxa fotossintética, maior síntese de clorofila total, e consequentemente, interferindo na produção das clorofilas *a* e *b*.

Hwang (2005), observou a efetividade da aplicação de silicato de potássio sobre o teor de clorofila total em roseiras.

Braga (2009), verificou em plântulas de morango uma maior concentração de clorofila *a* em tratamentos com meio MS (Murashigue e Skoog) + óxido de silício, enquanto as maiores concentrações de clorofila *b* e total foram registradas no tratamento MS+ óxido de silício e sódio. Mesmo não tendo apresentado diferença significativa entre os tratamentos, exceto para MS+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, maior relação clorofila *a/b* foi observada no meio MS sem silício.

Calvete (2002), verificou através de caracterização da superfície foliar, maior deposição de cera epicuticular na epiderme adaxial das folhas de morango submetidas a tratamento com diferentes fontes de silício, em relação ao tratamento testemunha.

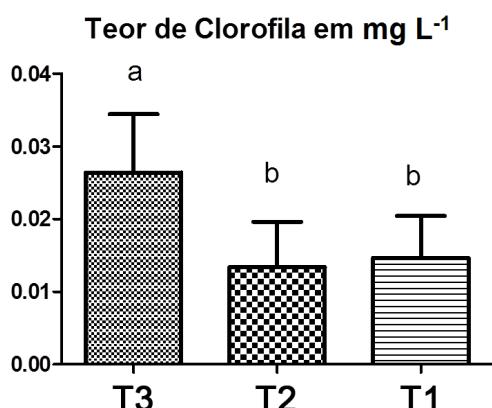
Na epiderme foliar, o silício combina com a celulose (SILVA et al., 2005) e pode estar presente nas células-guarda dos estômatos e nos tricomas. Segundo esses autores, o silício também pode ser encontrado nos elementos vasculares. A deposição desse elemento na parede das células torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos, evita a perda excessiva de água e diminui a taxa de transpiração (SILVA, 2007), o que poderá elevar a taxa de sobrevivência durante o processo de aclimatização.

O Magnésio constitui o átomo central da clorofila e é pôr isso importante para a fotossíntese. Além disto o Magnésio estimula a formação de açúcares, proteínas, gorduras e vitaminas vegetais. O Magnésio aumenta a resistência dos vegetais a fatores ambientais adversos, como Seca, doenças etc. Devido a sua influência positiva sobre o engrossamento das paredes e permeabilidade das membranas celulares, a suplementação de Magnésio via folhar em presença com o Fósforo acelera consideravelmente a translocação dos nutrientes aplicados (STAMFORD,1999).

Na ausência do mesmo, a clorofila começa a desaparecer na parte basal da folha entre a nervura principal e a margem; a progressão é usualmente para fora, deixando a figura de uma "cunha" na base da folha; pode, entretanto, darse para dentro e causar o aparecimento de uma cunha amarela; a folha inteira pode tomar uma cor bronze dourada e cair prematuramente, causando morte descendente de ramos novos (ALVES, 1988).

Estas condições podem evidenciar a melhora no tamanho da plantas de milho tratadas, bem como a possibilidade de resistência a adversidades ambientais, quando comparamos os resultados de T3 com os controle e a presença de adubaçāo.

Figura 1 - Relação do teor de clorofila total (a+b), extraída das folhas de *Zea mays*, entre plantas controle (T1), tratadas com o composto+ adubo (T2) e tratadas com o composto (T3).



Atividade de peroxidase foi verificada como metodologia citada acima. A análise sofreu tratamento estatístico de Anova seguida de teste de média Tukey onde  $P<0,001$ . Verificou-se que a ação do composto reduziu atividade de peroxidase, quando comparada com o controle e mostro-se estatisticamente significativo. Esta redução pode ser provocada pelo aumento de proliferação de micro organismos. Uma nova análise de solo pós-tratamento é necessária para verificar se esta proliferação apresenta microorganismos que possam contribuir com a redução da acidez do solo e uma maior disponibilidade de potássio.

Espécies Reativas de oxigênio (ROS) podem ser considerados complexos fatores de transcrição e muitas vezes são alvo e agem como moléculas sinalizadoras sistêmicas produzidos e / ou ativados durante estresses ambientais (APEL E HIRT, 2004).

O uso de ROS como moléculas de sinalização é antiga. Componentes de ROS de sinalização pode ser encontrado em praticamente todos os organismos aeróbicos (TURPAEV, 2002). Nas plantas, as cadeias de transdução de sinal individual para rota fotossintética, sensoriamento redox de excesso de luz e a concentração de açúcar no sensoriamento e hormônios do estresse, tais como etileno e ácido abscísico (ABA) provavelmente têm interseções complexas para corrigir os desequilíbrios metabólicos que ocorrem como resultado de variações nas condições ambientais (BROCARD-GIFFORD et al. 2003).

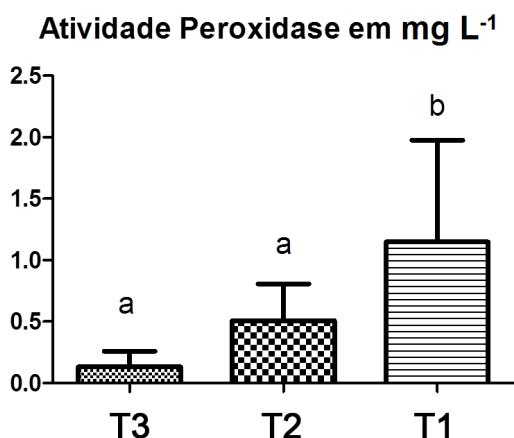
A nutrição mineral é um dos fatores ambientais de fácil manipulação pelo homem visando o controle de doenças em plantas cultivadas. Embora não considerado essencial às plantas, porém agronomicamente benéfico ou quase-essencial, o silício (Si) tem aumentado a resistência de várias espécies, na sua maioria monocotiledôneas, às pragas e às doenças, bem como a diversos tipos de estresses abióticos tais como altas temperaturas, déficit hídrico e toxidez de ferro e manganês às raízes (DATNOFF et al., 2007).

As Peroxidases (POX) estão relacionadas com o processo de proteção anti oxidativa catalisando a oxidação de componentes celulares como o peróxido de hidrogênio e também com o aumento na síntese de lignina que fortalece a parede celular contra a ação de enzimas líticas produzidas em abundância por alguns patógenos (KVARATSKHELIA et al., 1997).

Liang (2005) demonstrou que o uso de KSi, independente do pH da solução, foi pouco eficiente em potencializar a atividade dessas enzimas. O Si tem potencial em maximizar as respostas de defesa de plantas como o arroz, trigo e pepino a patógenos foliares por meio da produção de compostos fenólicos, aumento na produção de fitoalexina da classe das momilactonas, na transcrição de alguns genes que codificam as enzimas FAL, POX e PFO, além do aumento na atividade das enzimas QUI e GLU que são líticas à parede celular fúngica.

Esses mecanismos de defesa são potencializados desde que o Si seja passiva e ou ativamente absorvida pelas raízes da planta para atingir elevados teores na folha (DATNOFF, 2007).

Figura 2 - Relação da atividade de peroxidase de apoplasto de raiz, extraída do sistema radicular de *Zea mays*, entre plantas controle (T1), tratadas com o composto+ adubo (T2) e tratadas com o composto (T3).



#### 4 - CONCLUSÃO

A atividade de peroxidases de apoplasto de raiz não parecem se mostrar um bom marcador para verificar a ação do composto na resistência das plantas tratadas, porém novos experimentos com peroxidase de parte área possam demonstrar este processo.

O Silício pode ser avaliado como um possível instigador de crescimento e armazenamento de biomassa na parte aérea, pois as plantas tratadas apresentam um maior desenvolvimento.

O teor de clorofila acompanhado pelo crescimento mostra que o tratamento com o composto é eficaz no que se diz respeito ao aumento do crescimento de plantas e ao estímulo na produção fotossintética, situação que já foram verificadas na literatura.

Novos experimentos que priorizem a verificação da decomposição de matéria orgânica do solo, a proliferação de micro organismos e a absorção de nutrientes devem ser feitos para comprovar a eficácia do produto.

#### REFERÊNCIAS

- ALVES, A.C.; BRAUNER, J.L.; CORDEIRO, D.S.; ZONTA, E.P.; CORREA, L.A.V. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.5, p.529-536, 1988.
- APEL, K.; AND HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55, 373–399, 2004.
- ATROCH, E.M.A.C.; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas de *Bauhinia forficata* submetidas à diferentes condições de sombreamento. *Revista de Ciência Agrotecnológica*, v.25, n.4, p.853-862, 2001.
- BRAGA, F. T. Características Anatômicas de mudas de morangoiro micropropagadas com Diferentes Fontes de silício. *Pesq. Agropec. Bras.*, vol.44, n.2, 2009.
- BORÉM, A., *Melhoramento de espécies cultivadas*. 2 edicao, Editora UFV, p. 491-552, 2005.

BROCARD-GIFFORD, I.M.; LYNCH, T.J.; FINKELSTEIN, R.R.; Regulatory networks in seeds integrating developmental, abscisic acid, sugar, and light signaling. **Plant Physiol.** 131, 78–92, 2003.

BULL, L.T.; CANTARELLA, **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Informacoes Agronomicas.** Piracicaba: Potafos, p.63-145, 1993.

CAVALLET, L.E.; PESSOA, A.C.S.; HELMICHE, J.J.; HELMICHE, P.R.; OST, C.F. Produtividade do milho em resposta a aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum spp.* **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.129-132, 2000.

CALVETE, E.O.; AZEVEDO, M.; BORDIGNON, M.H.; SUZIN, M. Análises anatômicas e da biomassa em plantas de moranguero cultivadas in vitro e ex vitro. **Horticultura Brasileira**, v.20, p.649-653, 2002.

DATNOFF, L.E.; RODRIGUES, F.A.; SEEBOLD, K.W. Silicon and Plant Nutrition. **Mineral Nutrition and Plant Disease**, pp. 233-246, 2007.

DELAI, R.M. **Investigação de fatores que influenciam na resistência ao excesso de ferro em arroz.** 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EVANS, H.J.; SORGER, G.J. **Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations**, Annu. Rev. Plant Physiol. 17: 47-76, 1966.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D. dos; ANTUNES, C.S. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v.37, p.185-190, 2008.

HWANG, J.H.; PARK, H.M.; JEONG, B.R. Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose 'Pinocchio' grown on rockwool and its cut flower quality. **Journal Japan Society Horticulture Science**, Tokyo, v.74, n.3, p.242-245, 2005.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, p.745, 1972.

LIANG, Y.C.; SUN, W.C.; SI, J.; RÖMHEDD, V. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, 54:678-685, 2005.

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. **Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems**. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland, 1987.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. Ed. Londo: Academic Press, 1995.

NOLAN, B.T.; STONER, J.D. **Nutrients in groundwater of the center conterminous United States 1992-1995**. Environ. Sci. Tech. 34:1156-1165, 2000.

RAVEN, P.H.; EVERET, R.F.; EICHHORN, E.S. **Biologia Vegetal**. 5ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1996.

REIS JUNIOR, F.B.; MACHADO, C.T.T.; MACHADO, A.T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1139-1146, 2008.

SILVA, L.P. da; SILVA, L.S. da; BOHNEN, H. Componentes da parede celular e digestibilidade in vitro de palha de arroz (*Oryza sativa*) com diferentes teores de silício. **Ciência Rural**, v.35, p.1205-1208, 2005.

SILVA, D.P. **Meios de cultura e fontes de silício no desenvolvimento in vitro de gérbera**. 2007. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. **Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review**. Crop Sci., Madison, v.29, p.90-98, 1989.

STAMFORD, N. P; SANTOS, C.E. de R.S.; MEDEIROS, R.; FREITAS, A.D.S. de. Efeito da fertilização com Fósforo, Potássio e Magnésio los jacatupé Infectado com rizóbio los hum Latossolo Alico. **Pesq.agropec. bras.**, vol.34, n.10, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p.95-113, 2004.

TURPAEV, K.T. Reactive oxygen species and regulation of gene expression. **Biochemistry (Moscow)**, 67, 281–292, 2002.

UHART, A.S., ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: I – Effects on crop, growth, development, dry matter partitioning and kernel sets. **Crop Sci.**, Madison, v.35, p.1376-1383, 1995.

WEATHERWAX, P. **Indian Corn in Old America**. N.Y., USA: The MacMillan Co. 253p, 1954.