



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO AGRONOMIA**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE PROLINA NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DO MILHO VERDE EM SOLO COM
DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**

Autor: FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA

Orientador: **Prof. Dr. FRANCISCO HEVILÁSIO FREIRE PEREIRA**

POMBAL-PB

2015

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE PROLINA NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DO MILHO VERDE EM SOLO COM
DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus Pombal, como parte das exigências do curso de graduação em agronomia, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Hevilásio
Freire Pereira

POMBAL-PB

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- S586a Silva, Francisco de Assis.
Aplicação foliar de prolina no crescimento e fisiologia do milho verde em solo com diferentes níveis de salinidade / Francisco de Assis Silva. – Pombal, 2015.
39 f. : il.
- Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2015.
- "Orientação: Prof. Dr. Francisco Hevilásio Freire Pereira".
Referências.
1. *Zea Mays* L. 2. Aminoácido. 3. Trocas Gasosas. I. Pereira, Francisco Hevilásio. II. Título.
- CDU 633.15(043)

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE PROLINA NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DO
MILHO EM SOLO COM DIFERENTES NIVEIS DE SALINIDADE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus Pombal, como parte das exigências do curso de graduação em agronomia, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Apresentada em 17/ 07/ 2015

Orientador - Prof. Dr. Francisco Hevilásio Freire Pereira
(UFCG/UAGRA)

Examinador interno – Joyce Emanuelle de Medeiros
(UFCG/UAGRA)

Examinador externo – Elisdiane Freires Ferreira
Assessora NEDET-MDA-UFCG
TERRITORIAL

POMBAL-PB

2015

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus familiares e amigos que nunca mediram esforços para serem dedicados e esforçados e se tornaram exemplo de vida para mim.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Sobre todas as coisas agradeço primeiramente a Deus por sempre está presente em minha vida.

A Universidade Federal de Campina Grande através do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar pela oportunidade de cursar a graduação em Agronomia.

As duas Marias mais que especiais em minha vida, minha mãe e minha avó, por dar-me subsídio necessário para essa realização;

Aos meus irmãos, Heleno e Helenilda por sempre apoiarem as minhas decisões;

Aos amigos de ontem, de hoje e amanhã, que não caberia o nome nesta página, pelo simples fato de serem meus amigos, o que para mim significa muito. Agradeço pelo incentivo concedido e pela confiança depositada durante esse processo de formação.

Ao nosso grupo de estudo, Joyce Emanuele, Lucimara Alves e Hélio Lacerda, pelos bons momentos que passamos juntos; e em especial a um grande amigo/irmão que Deus me deu nesta vida acadêmica, José Eustáquio Campos Júnior, no qual pretendo cultivar essa amizade por todo sempre.

Ao professor Dr. Francisco Hevilásio Freire Pereira pela paciência e pela disposição em orientar-me durante o processo de formação.

A todos os professores do curso de agronomia do CCTA, pela dedicação e pelo fato de estarem dispostos a ensinar;

Enfim, a todos que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido

Meu muito obrigado!

“Eu sou o que Posso, na medida em que me permitem. Quando Posso Eu ultrapasso as fronteiras... Quando não posso, do meu limite faço arte. Sou semelhante ao rio. Se me barram, Eu aprofundo”.

(Pe. Fabio de Melo)

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 A cultura do milho.....	11
2.2 Estresse salino	12
2.3 O uso de prolina como osmorregulador em condições de estresse	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Local e tratamentos	17
3.2 Características avaliadas	19
3.2.1 Análises fisiológicas	19
3.2.2 Crescimento e acúmulo de massa seca das plantas	20
3.3 Análise estatística	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Análises fisiológicas	21
4.2 Crescimento e acúmulo de massa seca das plantas	26
5. CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais cultivadas no mundo. No Brasil, este cereal tem ampla diversidade de uso. A maioria das áreas onde há produção de milho utiliza-se a irrigação, entretanto, quando realizada de forma inadequada torna-se preponderante para a salinização dos solos. Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da aplicação foliar de prolina no crescimento e fisiologia do milho verde cultivado em solo com diferentes níveis de salinidade. O experimento foi conduzido no Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencente à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, PB, no período de 30 de março a 30 de abril de 2015, utilizando-se a variedade AG 1051. Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de salinidade do solo, (CE= 3,26 e 0,86 dS/m) e cinco concentrações de prolina (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mmol L⁻¹) aplicada via foliar nas plantas de milho. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Os maiores valores quanto aos parâmetros fisiológicos foram observados quando utilizado o solo de menor salinidade (CE= 0,86 dS/m). Para as variáveis de crescimento nas plantas, as maiores médias observadas ocorreram quando foi utilizada a concentração de 7,5 mmol L⁻¹ de prolina.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Aminoácido, Trocas gasosas.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is one of the most cultivated crops in the world. In Brazil, this cereal has wide range of use. Most areas where there corn production is used to turn irrigation if not performed correctly becomes predominant for the salinization of the soil. Thus, the aim with this study was to evaluate the effect of foliar application of proline in growth and corn grown in soil physiology with different levels of salinity. The experiment was conducted at the Science and Technology Centre Agrifood (CCTA), belonging to the Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, PB, from March 30 to April 30, 2015, using a variety AG 1051. The treatments consisted of two levels of soil salinity (EC 3.26 and 0.86 dS/m) and five proline concentrations (0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 mmol L⁻¹) applied to the leaves on corn plants. The experimental design was completely randomized in a factorial 2 x 5, with four replications. The higher values for physiological parameters were observed when using the least saline soil (EC 0.86 dS/m). For the growth variables in plants, the highest average observed occurred when it was used the concentration of 7.5 mmol proline L⁻¹.

Keywords: *Zea mays* L., amino acid, gas exchange

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) está entre as principais espécies mais cultivadas no mundo. Este cereal vem sendo utilizado na América Latina desde os tempos mais remotos, como a principal e tradicional fonte alimentar, ocupando hoje uma posição de destaque. No Brasil, o milho tem ampla diversidade de uso, sendo que 15% da produção são utilizadas para consumo humano (FARIAS, 2013).

A produção de milho na safra de 2011/2012 foi de 5.783.900 t em 2.951.200 ha de área colhida. Levando em consideração o seu potencial produtivo percebe-se que o rendimento de grãos na região Nordeste ainda é baixo, chegando a 1.960 kg ha¹ (CONAB, 2012).

A área de cultivo do milho, em sua maior parte, é realizada por irrigação que por sua vez se não for efetuada de forma correta torna-se um ato preponderante para salinização dos solos. As plantas estão constantemente expostas a estresses abióticos e, dentre eles, o estresse salino é um dos que mais comprometem o crescimento e a produtividade das culturas em todo o mundo (ISLÃ e ARAGUÉS, 2010). No Brasil ainda não foram realizados estudos detalhados quanto ao mapeamento e a identificação de áreas salinizadas, porém estima-se que cerca de 20 a 25% das áreas irrigadas apresentem problemas com salinidade do solo, sendo a região Nordeste a mais afetada (FAO, 2005).

A cultura do milho é considerada moderadamente sensível a salinidade, apresentando uma salinidade limiar da água de 1,1 dS m⁻¹ e do solo de 1,7 dS m⁻¹ (AYERS e WESTCOT, 1999). Dentre os processos fisiológicos afetados pela salinidade destaca-se a fotossíntese, que pode ser inibida pelo acúmulo de íons Na⁺ e/ou Cl⁻ nos cloroplastos, os quais afetam os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2009). As plantas podem ainda desenvolver outras alterações metabólicas com o estresse salino, como por exemplo, o acúmulo de solutos orgânicos compatíveis, tais como o N- aminosolúveis e os carboidratos solúveis (TESTER e DVENPORT, 2003). Como resposta ao estresse salino, como também a outros tipos de estresse abióticos, as plantas por sua vez, tem a capacidade de desenvolver mecanismos de defesa capazes de combatê-los e desta forma minimizar os efeitos deletérios causados pelos excessos de sais tanto do solo como da água de irrigação. O acúmulo de solutos orgânicos ou

osmólitos no vacúolo das plantas é um exemplo eficaz de resposta ao estresse salino (LACERDA, et al., 2003).

Para a absorção de água, as plantas precisam manter seu potencial hídrico interno abaixo daquele verificado no solo. Para isso, requer uma diminuição no potencial osmótico-hídrico através da absorção de íons do solo ou até mesmo pela síntese e acúmulo de solutos orgânicos compatíveis, assim mantendo o turgor e o seu crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2004). Os carboidratos solúveis, aminoácidos, glicina-betaina e prolina são alguns dos solutos orgânicos comumente encontrados nas plantas sob condições salinas, atuando no processo de ajuste osmótico em muitas culturas (HASEGAWA et al., 2000).

Sendo assim, ao invés da utilização do melhoramento genético para promover o aumento da produtividade da cultura sob estresse salino, tem-se sugerido como alternativa a aplicação destes compostos de forma exógena na planta, alavancando assim a produtividade (ASHRAF e FOOLAD, 2007). Desta forma, a aplicação exógena de determinados solutos orgânicos como, por exemplo, a prolina, em uma cultura sensível ou moderadamente sensível à salinidade poderá elevar esses nutrientes na folha e, conseqüentemente, promover um aumento na tolerância da cultura à salinidade (LACERDA, 2013).

Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar, o efeito da aplicação foliar de prolina no crescimento e fisiologia da cultura do milho verde cultivado em solo com diferentes níveis de salinidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) tem como centro de origem o México e a Guatemala. O teosinte ou “alimento dos deuses” chamado pelos Maias foi originado pelo processo de seleção artificial, feito pelo homem. O mesmo ainda é encontrado na América Central (LERAYER, 2006). É um dos cereais mais cultivados no mundo, se destacando na alimentação animal como também na humana, servindo de matéria prima para a produção de diversos alimentos. No Brasil, o milho se apresenta como uma das culturas de maior representatividade econômica, principalmente visando à produção de milho verde e de grão (CASTRO, 2010). No entanto, quando relacionado a outros países o Brasil ainda não se destaca entre os países de maior produtividade, visto que, existe uma gama de pequenos produtores que cultivam esse cereal (SILVA, 2009).

De acordo com a classificação botânica o milho é uma monocotiledônea pertencente à família Poaceae, gênero *Zea*, espécie *Zea mays* L. (SILOTO, 2002). É uma planta herbácea, monoica, portanto possui dois sexos na mesma planta em inflorescência diferente; além de apresentar ciclo vegetativo variado, existindo variedades de ciclo precoces, ocorrendo sua polinização aos 30 dias após a emergência, até as cultivares de ciclo mais tardio de até 300 dias. No Brasil, as cultivares de milho apresentam ciclo variando entre 110 e 180 dias, período compreendido entre a semeadura e a colheita (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

O sistema radicular apresenta dois tipos de raízes: primárias e adventícias. Suas folhas são lanceoladas, possuem limbo e bainha e são alternadas. O caule é do tipo colmo e apresenta nós e entrenós. A semente é do tipo cariopse que é um fruto seco indeiscente de semente única, fundido ao pericarpo, característica peculiar das gramíneas (CENTEC, 2004).

É uma cultura que apresenta uma grande flexibilidade, sendo bastante adaptada a sistema de rotação, sucessão e consorciação de culturas, mais como a maioria das culturas esse também requer uma interação entre os fatores edafoclimáticos e o manejo. O solo ideal para a cultura do milho apresenta

características físicas em textura média entre 30-35% de argila, com uma permeabilidade que garanta uma boa retenção de água e nutrientes (SANS e SANTANA, 2002).

A exigência por água está em torno de 500 a 580 mm, sendo o período mais exigente em água a fase reprodutiva compreendendo os 15 dias antes e 15 dias depois do pendoamento contribuindo assim para o florescimento das inflorescências masculina e feminina. A falta de água na produção do milho prejudica a disponibilidade, absorção e o transporte de nutrientes para a planta. Quanto ao clima, à temperatura ideal para o desenvolvimento do milho está entre 21 e 27° C, principalmente no período que compreende da emergência a floração. Temperaturas noturnas acima de 24°C diminui a taxa de fotoassimilados e ocasionam queda na produção. O clima mais favorável é aquele que apresenta verões quentes e úmidos durante o ciclo vegetativo, acompanhados de invernos secos o que vem facilitar a colheita e o armazenamento (MAGALHÃES et al, 2002; SILVA et al, 2010).

O milho por apresentar-se como planta C4 responde melhor a temperaturas mais elevadas do que as plantas C3, ou seja, apresenta mecanismos de crescimento acelerado, assim com o aumento da temperatura diminui o ciclo da cultura do milho. Desta forma pode-se dizer que as plantas C4 têm respostas positivas ao aumento da luminosidade, principalmente no enchimento de grãos (SILVA et al., 2010).

2.2 Estresse salino

A irrigação é uma das principais tecnologias capazes de trazer resultados satisfatórios ao desenvolvimento, rendimento e qualidade dos produtos agrícolas. No entanto, além da quantidade de água disponível para as plantas, outro fator de fundamental importância está relacionado com a qualidade da água, principalmente quanto à concentração de sais dissolvidos no solo (OLIVEIRA et al., 2014).

O termo salinidade se refere à existência de níveis de sais solúveis no solo que possam prejudicar significativamente o rendimento das plantas cultivadas (MUNNS e TESTER, 2008). A ocorrência de solos salinos é comumente encontrada nas regiões áridas e semiáridas por conta de alguns fatores climáticos como, por exemplo, a baixa precipitação pluvial e alta taxa de evaporação (RUIZ et al., 2006). A evaporação e a transpiração removem água pura do solo, que por sua vez

concentram solutos no solo. Outra forma de acúmulo de sais ocorre quando a água de irrigação contém uma alta concentração de solutos e não há possibilidade de descarregá-los em um sistema de drenagem, fazendo com que rapidamente se alcance níveis prejudiciais ao crescimento normal das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Estima-se que exista em torno de 800 milhões de hectares afetados pela salinidade (VAIDYANATHAN et al, 2003; MUNS, 2005). No Nordeste Brasileiro o que tem acelerado esse processo de salinização nos solos é a utilização de irrigações de modo irracional, como também a drenagem deficiente, fazendo com que essas áreas tornem-se pouco produtivas ou até mesmo improdutivas (BARROS et al., 2005).

Vários estudos já foram desenvolvidos para avaliar o efeito da salinidade do solo ou da água de irrigação sobre culturas de interesse agrônômico, sendo, na maioria dos casos, encontrados resultados que demonstram efeito deletério da salinidade sobre o crescimento e o rendimento das plantas, a exemplo de cucurbitáceas, como o meloeiro (DIAS et al., 2010; MEDEIROS et al., 2012). No Brasil existem poucos estudos para quantificar a tolerância do milho quando submetido ao cultivo sob estresse salino. BLANCO et al, (2003) verificaram que a emergência do milho foi afetada quando a salinidade da água de irrigação (CE) era superior a 1,65 dS/m, mas a produção de matéria seca das plantas só foi afetada para CE acima de 3,08 dS/m.

O estudo da tolerância à salinidade em plantas é de especial importância, pois o sal se constitui como um fator limitante para a produção agrícola, causando dois tipos distintos de estresse: estresse osmótico e estresse por fitotoxicidade iônica específica, o que conseqüentemente diminui a absorção de nutrientes e o crescimento, provocando distúrbios nas atividades metabólicas em geral (HARTER, 2014).

O acúmulo de sais solúveis no solo, como por exemplo, o sódio, pode acarretar grandes problemas como: a redução do potencial osmótico da solução do solo, desbalanceamento nutricional, alteração do pH e a desestruturação de seus agregados tornando-os adensados, compactados quando em estado seco e dispersos quando molhados (MEDEIROS, et al, 2010). Além dessas alterações na composição do solo, a salinidade ainda pode causar outros efeitos negativos nas

plantas, por conta da dificuldade encontrada em absorverem água (efeito osmótico), toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, o que vem a influenciar negativamente no crescimento e desenvolvimento da cultura (DIAS e BLANCO, 2010).

As alterações morfofisiológicas da planta aos estresses em geral variam enormemente com o genótipo e seu estágio de desenvolvimento, além da intensidade e duração do estresse ao qual a planta é submetida (WILLADINO e CÂMARA, 2004).

2.3 O uso de prolina como osmorregulador em condições de estresse

Os estresses abióticos são considerados os que mais limitam a produção de culturas agrícolas ao redor do mundo (MUNNS, 2011; FILIPPOU et al., 2014). Por esta razão este tema têm despertado grande interesse da pesquisa, que tem buscado incessantemente por cultivares mais produtivas sob condições desfavoráveis de cultivo.

Vários mecanismos de proteção são ativados nas plantas em resposta a condições adversas de crescimento. O ajuste osmótico constitui-se um dos mecanismos fisiológicos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, sob condições de baixo potencial hídrico no solo (MARIJUAN e BOSCH, 2013). Esses mecanismos se estabelecem mediante acúmulo no vacúolo ou no citosol de solutos compatíveis.

Dentre os solutos orgânicos que se acumulam no citoplasma em resposta ao estresse, destaca-se a prolina. O aminoácido prolina é o soluto mais estudado, em razão de sua sensibilidade de resposta a condições de estresse (TROVATO et al., 2008, ASHRAF et al., 2011). Tanto em trabalhos realizados com cultivo in vitro, como naqueles envolvendo a planta inteira tem-se demonstrado uma correlação positiva entre a acumulação de prolina e a tolerância ao estresse salino (JAIN et al., 1991; STOREY et al., 1993; CAMARA et al., 1998 ,). Em plantas sob estresse abiótico, o conteúdo de prolina pode aumentar até 100 vezes, em comparação ao observado em plantas cultivadas sob condições normais (VERBRUGGEN e HERMANS, 2008).

A aplicação exógena de prolina pode conferir proteção contra o estresse oxidativo em células vegetais. Em cultura de células de tabaco (*Nicotiana tabacum*

L.) a prolina aliviou os sintomas de estresses oxidativo induzido pela salinidade (HOQUE et al., 2008). A aplicação exógena de prolina em folhas de videira submetidas a estresse oxidativo por peróxido de hidrogenio ($H_2 O_2$), proporcionou menores níveis de peroxidação lipídica observados em presença desse aminoácido (OZDEN et al., 2009).

De um modo geral, a prolina livre está presente em pequenas quantidades nas plantas, aproximadamente entre 1 a 5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa seca (NOGUEIRA et al., 2001) e, devido à sua importância no ajustamento osmótico, é o composto mais estudado em plantas sob estresses abióticos (KAVI KISHOR et al., 2005). O acúmulo de prolina livre em plantas sob estresse pode ser consequência tanto do aumento na sua síntese como do decréscimo na sua degradação (FERREIRA et al., 2002).

Como a prolina pode exercer um papel na proteção contra espécies reativas de oxigênio (ERO), como sinalizador celular, ou mesmo no ajuste osmótico, alguns autores têm, postulados esses efeitos benéficos para o acúmulo de prolina em plantas sob condições de estresse salino, em outras culturas, como arroz (LIMA et al., 2004) e sorgo forrageiro (OLIVEIRA et al., 2006).

Estudos disponíveis sugerem que as concentrações ótimas de prolina comercial a serem aplicadas de forma exógena na planta, dependem de cada espécie, genótipo e estágio de desenvolvimento da cultura. Dessa forma é importante a realização de estudos que determinem a concentração ótima de prolina específica para cada cultura (ASHRAF, 1994; FOOLAD, 2000).

Existem dois diferentes percursos para a biossíntese de prolina em plantas, sendo que a via do glutamato é predominante na produção desse aminoácido, principalmente durante as condições de estresse. Nesta via, a L-prolina é produzida através do ácido L-glutamato via 1-pirrolina-5-carboxilato(P5C) pela enzima 1-pirrolina-5-carboxilato (P5CS), sendo que a atividade da enzima P5CS representa o passo limitante da síntese de prolina (YOSHIBA et al., 1995; SAUVORÉ et al., 1997).

A função de proteção da prolina em células de plantas sob estresse salino já foram relatados por vários autores (SAIRAM et al., 2002;; DEMIRAL; TURKAN, 2004). Trabalho realizado por KHEDR et al., (2003) mostraram que sob estresse salino severo a atividade antioxidante das enzimas catalase e peroxidase é inibida,

porém as atividades dessas enzimas foram significativamente maiores na presença da prolina.

Avaliações feitas com diferentes concentrações de NaCl (0, 68, 137 e 205 mM) sobre o cultivo invitro de calos de dois genótipos de milho (W64Ao2 e arizona 8601), em meio de cultura N6, suplementado ou não com a adição de 6,0 mM de prolina, demonstraram que, a presença da prolina favoreceu o crescimento dos calos no tratamento controle e minimizou os efeitos deletérios do estresse salino em ambos os genótipos, quando aplicado maior concentração (250 mmol L⁻¹) (CAMARA et al., 2000). Já em calos de alfafa EHSANPOUR e FATAHIAN, (2003) verificaram que a concentração de 10mM foi efetiva na melhora da germinação e crescimento de mudas em estresse salino e observaram ainda que as concentrações mais elevadas não foram benéficas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e tratamentos

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Pombal-PB, no período de 30/03/2015 a 30/04/2015, onde utilizou-se o híbrido de milho verde 'AG 1051', próprio para a produção de milho verde e produção de grãos.

O cultivo foi realizado em vasos com capacidade de 8L, preenchidos com solo classificado como vertissolo, textura argilosa, cujo resultado da análise de fertilidade e salinidade dos solos, realizada previamente antes da instalação do experimento encontra-se na tabela 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Análise da fertilidade do solo realizada antes do incremento da salinidade através da irrigação com água salina

Análise da fertilidade do solo 1						
P	K ²⁺	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	
mg dm ⁻³						
149,1	319,2	284,1	39,9	8,9	0,00	
H + Al	SB	CTC	V	m	PST	
0,00	50,85	50,85	100	0	2%	
CE			M.O	pH		
dS/m			gkg ⁻¹			
0,93			8,23	7,52		

Tabela 2. Análises de sólidos solúveis dos solos, utilizados no experimento.

Amostras	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	SATURAÇÃO (%)
mmol _c dm ⁻³						
Solo 1	0,02	0,00	40,00	3,13	15,38	92,00
Solo 2	0,06	0,00	10,00	3,13	5,23	84,00
Salinidade					Classificação	
Solo 1	Salinidade muito alta				C ₄	
Solo 2	Salinidade alta				C ₃	
	CE (Extrato)	pH (Extrato)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
	dS/ m		mmol _c dm ⁻³			
Solo 1	3,26	6,99	7,50	1,88	33,29	0,94
Solo 2	0,86	7,75	2,50	1,88	7,74	0,44

O incremento na salinidade do solo 1 foi obtido irrigando-se com água salina de CE= 2,0 dS/m durante 30 dias antes do plantio do milho. Para a salinização da água de irrigação foi utilizado cloreto de sódio. As características climáticas registradas durante a realização do experimento encontram-se na tabela 3.

Tabela 3. Média dos dados climáticos coletados durante a condução do experimento. Pombal, CCTA/UFCG, 2015.

Variáveis climáticas		Médias diárias
Temperatura do ar (°C)	Mínima	31,3
	Máxima	32,8
Umidade relativa do ar (%)	Mínima	42,1
	Máxima	49,9

3.2 Tratamentos e condução

Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de salinidade do solo (3,26 e 0,86 dS m), e cinco níveis de prolina (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mmol L⁻¹). A prolina foi aplicada a cada 7 dias na folha a partir do 10º (DAS), em volume que variou de 50 a 100 ml por planta de acordo com o crescimento da planta, sendo realizada 3 aplicações no decorrer do experimento. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,5 x 0,5 m.

A semeadura foi realizada no dia 30-03-2015, diretamente no vaso a uma profundidade de 2,0 cm, colocando-se vinte e cinco sementes por vaso com intuito de se avaliar inicialmente o efeito da salinidade sobre percentagem de emergência das semente de milho. A emergência, acima de 50% das plantas foi observada 4 dias após a semeadura (DAS). O desbaste foi realizado no sétimo dia após a semeadura (DAS) deixando duas plantas por vaso. Os macros e micronutrientes foram aplicados juntamente com a água de irrigação durante a condução do experimento e suas concentrações encontra-se na tabela 4.

Tabela 4. Quantidade de macro e micronutrientes aplicados durante a condução do experimento. Pombal, CCTA/UFCG, 2015.

Fertilizantes	Fórmula	Quantidade aplicada (g)
Fosfato Monopotássico	KH_2PO_4	307,0
Ureia	$\text{CH}_4 \text{N}_2\text{O}$	399,0
Cloreto de potássio	KCl	223,0
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_6\text{M}_{07} \text{O}_{24} 4\text{H}_2\text{O}$	286,0
Sulfato de zinco	$\text{ZNSO}_4 7\text{H}_2\text{O}$	9,5
Ácido bórico	H_3BO_3	13,0

A irrigação foi realizada de acordo com a necessidade da cultura, utilizando-se o método da lisimetria. Foram realizadas duas aplicações diárias (8:00 e 17:00 h). A quantidade de água aplicada por vaso variou no transcorrer do experimento de 0,5 a 2,0L por dia totalizando um quantidade de 50 litros de água por vaso durante os 30 dias.

3.2 Características avaliadas

3.2.1 Análises fisiológicas

- **Trocas gasosas**

As avaliações foram realizadas aos 30 (DAS). Nesta ocasião foram medidas a fotossíntese (A), a condutância estomática (gs), a transpiração (E) e a concentração intercelular de CO_2 (C_i), com analisador de gás no infravermelho (IRGA) LCpro⁺ (Analytical Development, Kings Lynn, UK) com fonte de luz constante de 2.000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO_2 ambiente. Para realização das leituras, foram utilizadas as folhas intermediárias, entre a quarta e sexta folha contada do ápice para a base do colmo, em uma planta por vaso.

- **Potencial osmótico**

As amostras foliares foram coletadas aos 30 DAS, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em freezer para congelamento visando à perda da integridade das estruturas celulares e extravasamento dos solutos. A seiva foi coletada por esmagamento com auxílio de uma prensa, centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm e a leitura do potencial osmótico determinada em osmômetro pelo ponto de congelamento.

3.2.2 Crescimento e acúmulo de massa seca das plantas

As avaliações foram realizadas aos 30 DAS, em uma planta por vaso, coletada cortando-as rente ao solo. Nessas plantas foram avaliadas: Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas por planta (NF), massa seca de folha (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca total (MST) e área foliar (AF).

A área foliar foi obtida relacionando-se a massa seca de 8 discos foliares de área conhecida (1,41 cm²) com a massa seca total das folhas por planta de acordo com a equação 1.

$$AFP = (MSF \times AFD) / MSD \quad (1)$$

Onde: AFP = Área foliar (cm² por planta), MSF = Massa seca das folhas (g), AFD = Área foliar dos discos (cm²), MSD = Massa seca dos discos (g).

O número de folhas foi obtido por contagem, considerando o tamanho mínimo da folha formada. O diâmetro do caule foi medido com paquímetro digital no colo da planta. A massa seca total foi determinada pela soma da massa seca das folhas e do caule, obtidas após secagem em estufa, com circulação de ar a 70° C, por 72 horas. Os valores foram expressos em g por planta.

3.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância. Para a análise dos dados aplicou-se teste de média e análise de variância, utilizando programa estatístico SAEG. Em seguida foi realizado o ajuste de equações em relação às doses de prolina.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises fisiológicas

Para os parâmetros fisiológicos observados nas plantas de milho, não houve interação significativa entre a salinidade do solo e o osmorregulador prolina para fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e concentração intercelular de CO₂ (Ci) (Tabela 5). No entanto, percebe-se que os maiores valores de fotossíntese e condutância estomática foram observados em as plantas cultivadas no solo com menor salinidade (CE= 0,86 dS/m). Já na concentração intercelular de CO₂ os valores foram superiores quando as plantas de milho foram cultivadas em solo de maior salinidade (CE= 3,26 dS/m).

Tabela 5. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e concentração intercelular de CO₂ em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e tratadas com diferentes concentrações de prolina. CCTA/UFCG, Pombal, 2015.

Salinidade dS m ⁻¹	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	gs (mol m ⁻² s ⁻¹)	Ci (μmol mol ⁻¹)
3,26	28,25a	0,2747a	96,05a
0,86	29,96a	0,2912a	90,35a
CV (%)	20,197	31,96	16,142

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando as trocas gasosas, quando relacionada a salinidade nas diferentes concentrações de prolina, verificou-se que não houve diferença significativa para a fotossíntese (A) em plantas de milho tratadas ou não com prolina, sendo os valores médios de 28,25 e 29,95 μmol m⁻² s⁻¹ quando se utilizou o solo (CE= 3,26 dS/m) e o solo (CE= 0,86 dS/m), respectivamente (figura 1A e B). Deste modo, observa-se que a fotossíntese se comportou de forma semelhante para as diferentes concentrações de prolina em ambas as condutividades.

LACERDA (2013) trabalhando com melancia, observou que a aplicação exógena de prolina até a dose de 8,02 mmol L⁻¹ foi eficiente em maximizar os processos fisiológicos da planta, reduzindo, assim, o efeito estressante causado pela salinidade da água de irrigação na melancieira. Acima de 8,02 mmol L⁻¹ houve uma redução na fotossíntese, possivelmente, devido a redução do potencial osmótico-

hídrico abaixo do tolerado pela cultura da melanciaira provocado pelo aumento na concentração de prolina

Na variável transpiração (E) houve interação significativa entre os fatores de salinidade e concentração de prolina (Figura 1C e D).

Para a transpiração, nas plantas de milho cultivadas em solo salinizado (CE= 3,26 dS/m), o maior valor obtido foi de 4,81 mmol m⁻² s⁻¹ na concentração de 8,34 mmol L⁻¹ de prolina. O incremento na transpiração proporcionado pela concentração de 8,34 mmol L⁻¹ foi de 14,13% em relação a testemunha (dose 0 mmol L⁻¹ de prolina). Já para o solo (CE= 0,86 dS/m) o menor valor encontrado para transpiração nas plantas de milho foi de 5,21 mmol m⁻² s⁻¹ na concentração de 6,07 mmol L⁻¹ de prolina (Figura 1D). Nas plantas de milho cultivadas no solo com (CE 0,86 dS/m) quando se comparou a testemunha (0 mmol L⁻¹) com as demais doses de prolina verificou-se que não houve incremento na transpiração.

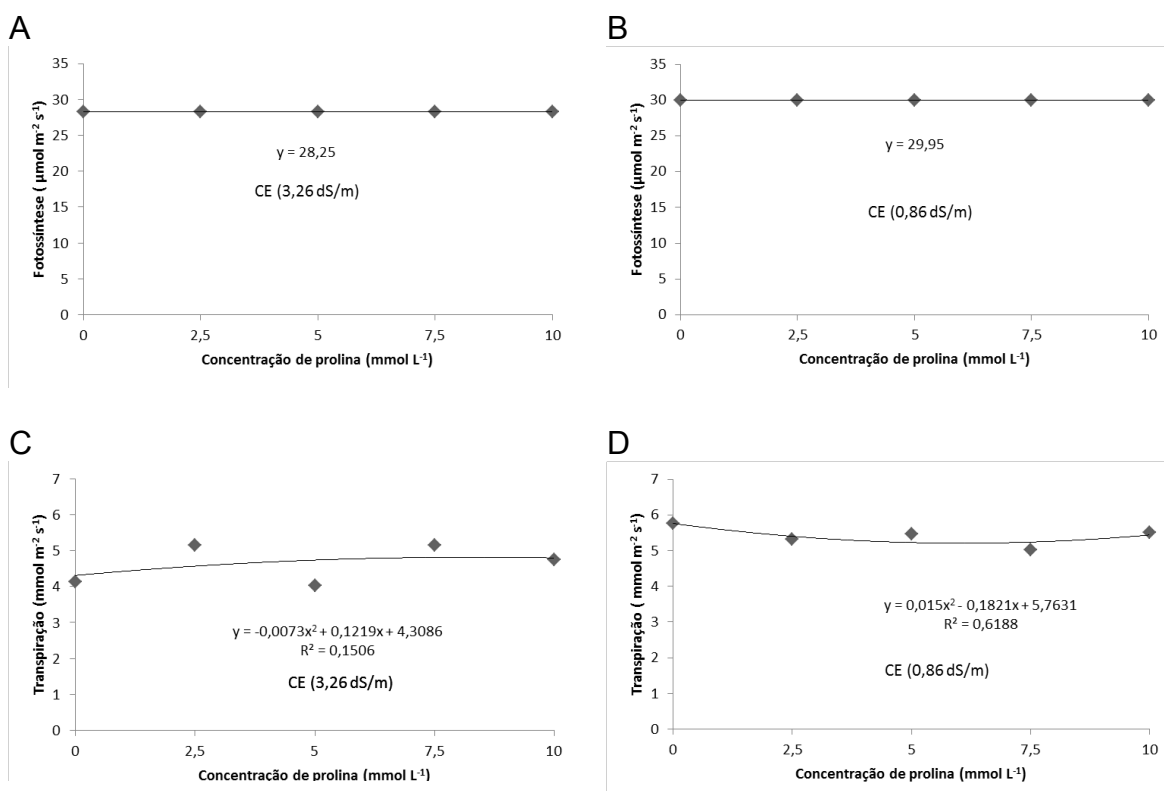


Figura 1. Fotossíntese (A e B) e transpiração (C e D) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFCG, Pombal, 2015.

Considerando os níveis de salinidade do solo em plantas de milho, verificou-se que os maiores valores de transpiração (E) foram observados quando utilizado o solo (CE= 0,86 dS/m) em comparação com o solo (CE= 3,26 dS/m). No entanto, quando se comparou as diferentes concentrações de prolina dentro de cada nível de salinidade constatou-se que para o solo (CE= 3,26 dS/m) as maiores médias foram obtidas nas concentrações de 2,5 e 7,5 mmol L⁻¹ de prolina diferindo estatisticamente das demais concentrações. Para o solo (CE= 0,86 dS/m) não houve diferença significativa entre as plantas tratadas ou não com as diferentes concentrações de prolina (Tabela 6).

Tabela 6. Transpiração em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e tratadas com diferentes concentrações de prolina. CCTA/UFMG, Pombal, 2015.

Salinidade dS m ⁻¹	Transpiração (E)				
	Concentração de prolina mmol L ⁻¹				
	0	2,5	5,0	7,5	10,0
3,26	4,13bB	5,16aA	4,03bB	5,16aA	4,74Ba
0,86	5,77aA	5,31aA	5,46aA	5,02aA	5,51Aa

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para condutância estomática nas plantas tratadas com diferentes concentrações de prolina não houve diferença quando do ajuste do modelo de regressão para o solo (CE= 3,26 dS/m). Para o solo (CE= 0,86 dS/m) o maior valor de condutância estomática foi de 0,304 mol m⁻² s⁻¹ obtidos em plantas de milho tratadas com a concentração a de 6,88 mmol L⁻¹ de prolina (Figura 2A e B). O incremento proporcionado pela concentração de 6,88 mmol L⁻¹ de prolina em relação a testemunha quando se utilizou o solo (CE= 0,86 dS/m) foi de 13,25%. O fechamento estomático é um mecanismo adaptativo das plantas para evitar perdas excessivas de água principalmente sob condições de estresse. No entanto, ao interferir na atividade fotossintética, limitando a entrada de CO₂ pelo poro estomático, esse mecanismo pode ocasionar redução na produção de fotoassimilados, refletindo no crescimento e produtividade, como observado por FEIJÃO et al. (2011) em trabalho realizado com sorgo sudão, e por NEVES et al. (2009) em feijão de corda.

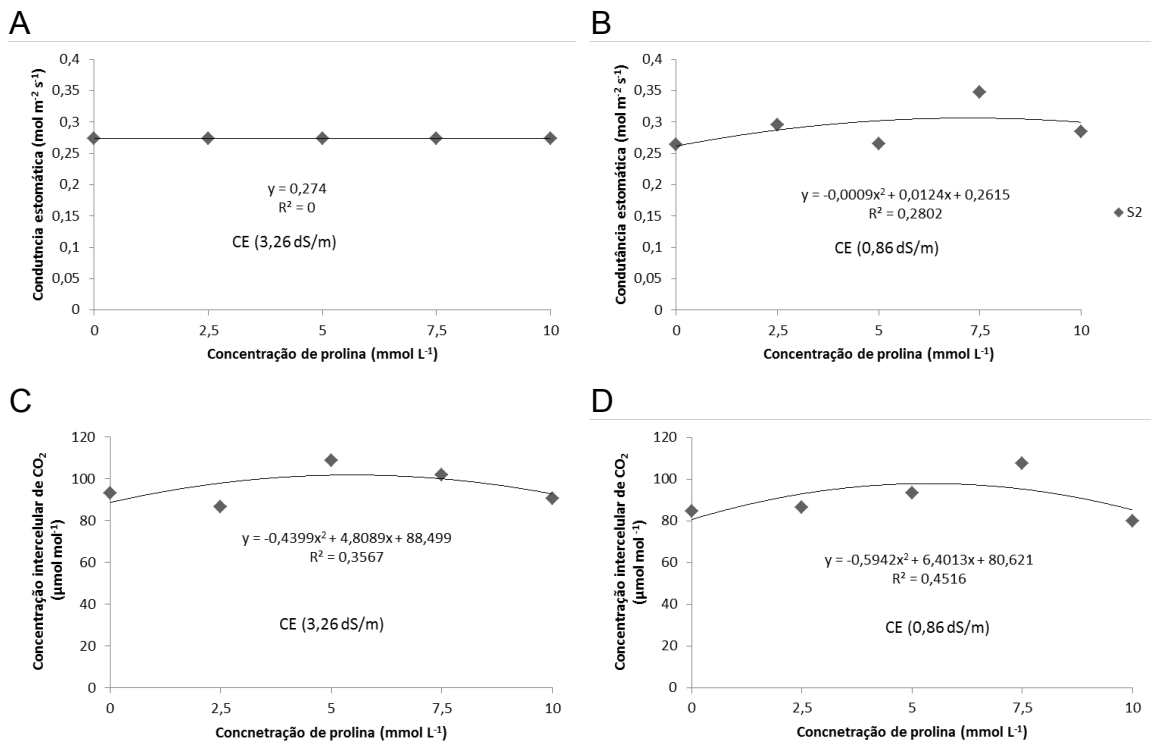


Figura 2. Condutância estomática (A e B) e concentração intercelular de CO₂ (C e D) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFCG, Pombal 2015.

Os maiores valores de concentração intercelular de CO₂ foram de 101,64 e 97,86 μmol mol⁻¹ nas concentrações de 5,46 e 5,38 mmol L⁻¹ de prolina quando utilizado o solo (CE= 3,26 dS/m) e solo (CE= 0,86 dS/m), respectivamente (Figura 2C e D). O incremento na concentração intercelular de CO₂ proporcionados pelas concentrações de 5,46 e 5,38 mmol L⁻¹ de prolina em relação à testemunha foi de 8,46 % quando foi utilizado o solo (CE= 3,26 dS/m) e 13,95% quando se utilizou o solo (CE= 0,86 dS/m).

Quando a planta é submetida a eventos de salinidade, seja do solo ou da água de irrigação, esta tende a reduzir o seu desempenho fisiológico, o que se torna natural devido ao estresse sofrido pela cultura. Sob condições salinas, os sais acumulados nas folhas podem afetar diversos processos fisiológicos das plantas de forma negativa, ao reduzir a fotossíntese, ou positiva, desde que não sejam atingidos níveis tóxicos, pela promoção do ajuste osmótico, que contribui para manutenção da turgescência e do crescimento (LACERDA et al., 2013).

A fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática e a concentração intercelular de CO₂ são parâmetros que por sua vez diagnosticam mudanças no comportamento fisiológico das plantas, quando submetidas a condições adversas, como, por exemplo, a salinidade. Deste modo, tem-se observado uma redução na fotossíntese, transpiração, condutância estomática, e redução ou aumento na concentração intercelular de CO₂, isto a depender do tipo de estresse que a planta foi submetida (LORETO et al, 1997).

Em sua maioria essa diminuição é atribuída a redução na aquisição de CO₂ pelo fechamento estomático. Em estudo realizado com cultivares de algodão sensíveis a salinidade, observou-se uma redução de 35% na taxa fotossintética em todas as concentrações de NaCl (50,100 e 200 mol m⁻³), enquanto que na cultivar tolerante a redução foi de 10, 25 e 30% nas respectivas concentrações. A condutância estomática (gs) seguiu a mesma tendência de redução em ambas as cultivares com aumento da concentração salina (MELONI et al., 2003).

O maior valor para o potencial osmótico na planta foi de -0,355 MPa nas concentrações de 5,4 e 7,5 mmol L⁻¹ de prolina nos solo (CE= 3,26 dS/m) e (CE= 0,86 dS/m), respectivamente (Figura 3). Observando o gráfico, percebe-se que houve um crescimento no potencial osmótico a partir da concentração 0 mmol L⁻¹ (testemunha) de prolina até a concentração de 5,4 e 7,5 mmol L⁻¹, respectivamente, logo em seguida ocorrendo uma redução.

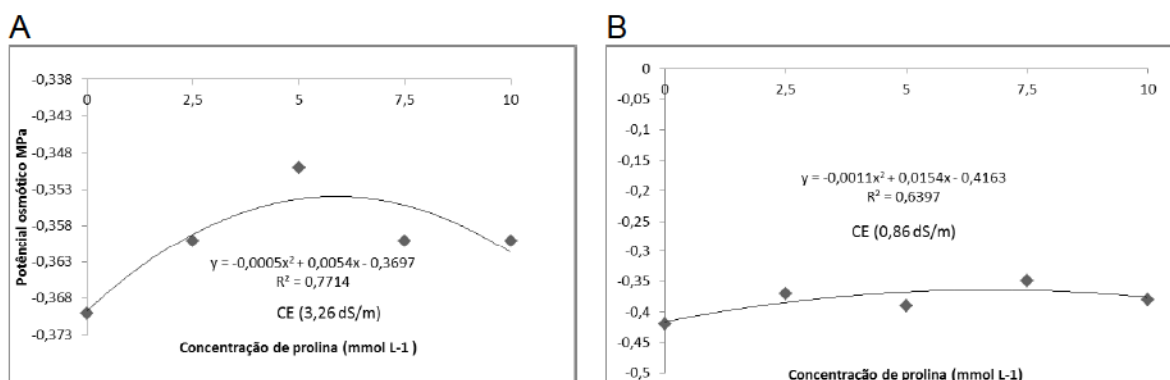


Figura 3. Potencial osmótico (A e B) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFMG, Pombal 2015.

Diferenças positivas na concentração de prolina foram observadas em trabalhos com a cultura do pimentão, em função do período e duração do estresse (Leonardo, 2003; Tonin, 2005).

4.2 Crescimento e acúmulo de massa seca das plantas

Não houve interação significativa entre a salinidade do solo e concentração de prolina para as características: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas por planta (NFP), área foliar (AF), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de caule (MSC) e matéria seca total. No entanto, foi realizado o ajuste do modelo de regressão em relação à concentração de prolina em cada nível de salinidade estudado.

Para altura de planta o maior valor foi de 57,94cm para o solo (CE= 3,26 dS/m) na concentração de 6,17 mmol L⁻¹ de prolina que proporcionou um incremento de 13,47% quando comparado com a testemunha (Figura 4A). Já no solo (CE= 0,86 dS/m) as plantas de milho obtiveram uma altura média de 56,54cm não apresentando efeito significativo quando se avaliou as concentrações de prolina (Figura 4B)

Para o diâmetro de caule, em plantas tratadas com diferentes concentrações de prolina e cultivadas em solo (CE= 3,26 ds/m) foi obtido o menor valor de 23,72mm na concentração de 4,68 mmol L⁻¹ de prolina, sendo esse valor inferior ao determinado na testemunha. Já no solo (CE= 0,86 ds/m) o maior valor encontrado para o diâmetro do caule foi de 27,35 mm, obtido na concentração de 4,75 mmol L⁻¹ de prolina. O incremento proporcionado pela concentração de 4,75 mmol L⁻¹ de prolina em relação à concentração 0 mmol de prolina (testemunha) foi de 3,94%.(Figura 4C e D).

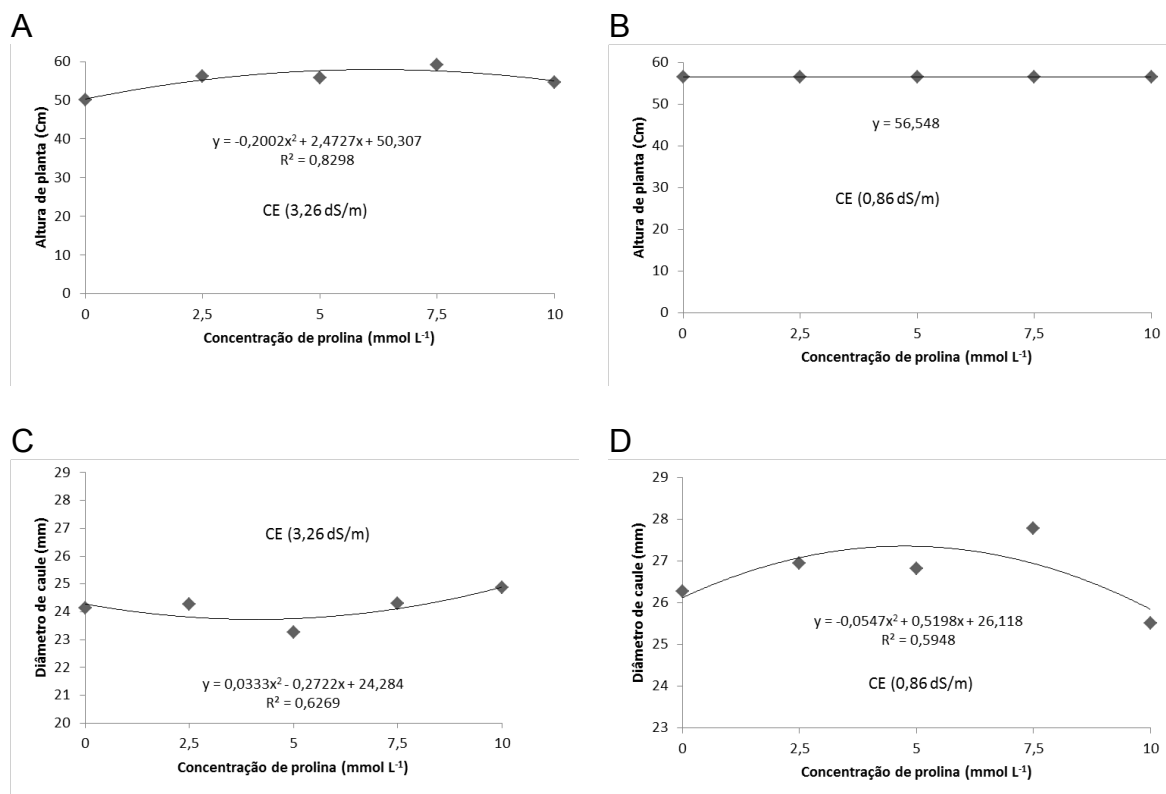


Figura 4. Altura de planta (A e B) e diâmetro do caule (C e D) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFMG, Pombal 2015.

Para o número de folhas das plantas de milho cultivadas no solo (CE= 3,26 dS/m) não houve efeito significativo para o ajuste da regressão. Já no solo (CE= 0,86 dS/m) o menor valor encontrado para o número de folhas foi de 10,8 na dose de 4,55 mmol L⁻¹ de prolina. Observou-se também que a partir dessa concentração houve um acréscimo no número de folhas (Figura 5A e B).

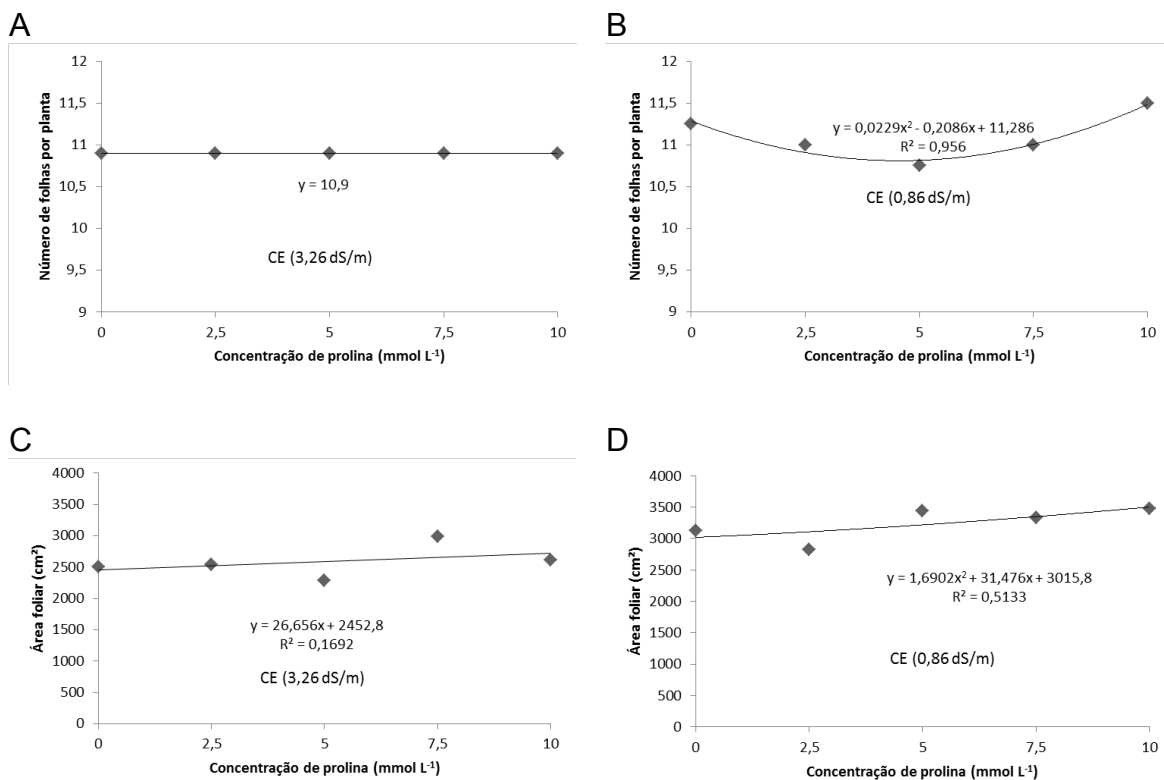


Figura 5. Número de folhas por planta (A e B) e área foliar (C e D) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFCG, Pombal, 2015.

Na variável área foliar o maior valor determinado nas plantas cultivadas no solo (CE= 0,86 dS/m) foi de 3753,16 cm² na concentração 7,18 mmol L⁻¹ de prolina,. No solo (CE= 3,26 dS/m) não houve efeito significativo entre as concentrações de prolina, obtendo um pequeno crescimento linear(Figura 5C e D). Quando observado apenas os níveis de salinidade do solo, verificou-se que solo mais salinizado apresentou uma menor média para área foliar em comparação com o solo menos salinizado (CE= 0,86 dS/m) (Tabela 7)

Tabela 7. Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade aos 30 DAS. CCTA/UFCEG, Pombal, 2015.

Salinidade dS/m	AP	DC	NF	AF
1	55.160	24.169	10.900	2586.090
2	56.545	26.663	11.100	3236.608
CV (%)	11.471	7.1192	9.5186	20.430

A redução da área foliar em plantas expostas a salinidade tem sido atribuída à diminuição na divisão celular e expansão da superfície da folha, que ocorre nas fases iniciais da exposição ao estresse salino (PARIDA e DAS, 2005). Ainda de acordo com WANG et al. (2001), a redução na área foliar em plantas sob estresse salino pode provocar redução na absorção de luz e na eficiência de uso da radiação, em condições de campo.

Para massa seca das folhas os maiores valores determinados foram de 11,91g e 13,84 g nas concentrações de 7,5 e 10,0 mmol L⁻¹ no solo (CE= 3,26 dS/m) e (CE= 0,86 dS/m), respectivamente. Os incrementos em relação a dose 0 mmol L⁻¹ nas duas salinidade foram de 15,95% e 10,04%, respectivamente (Figura 6A e B).

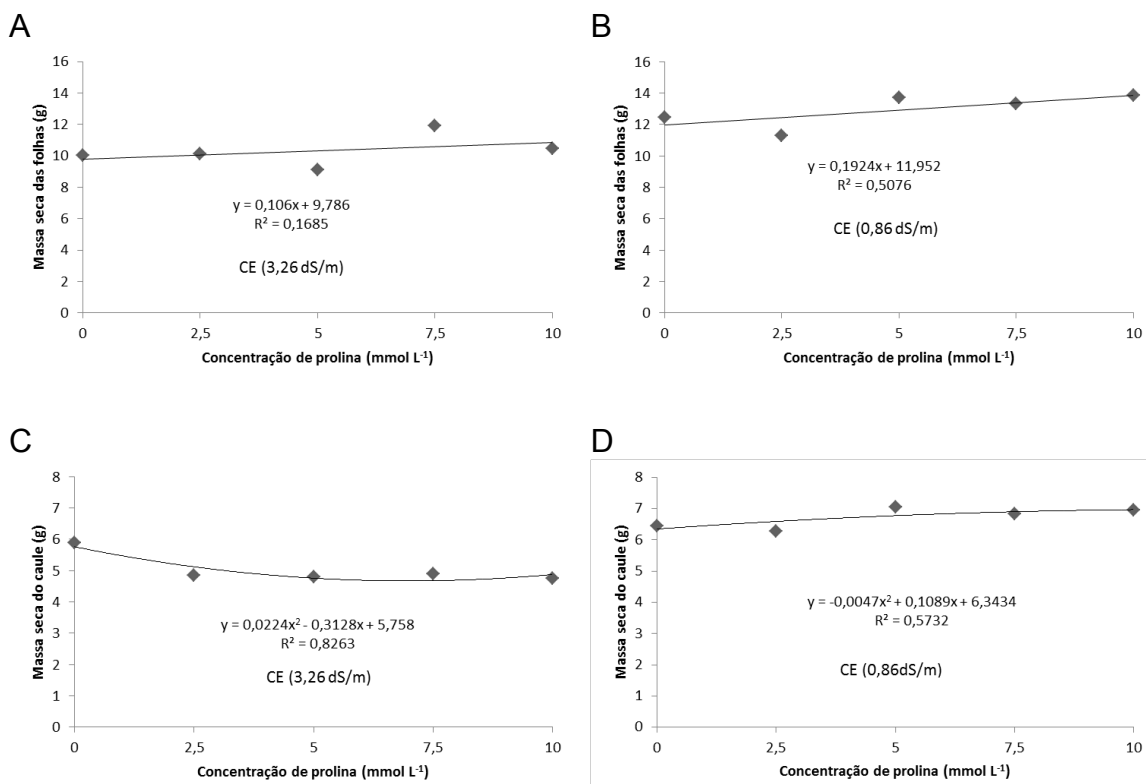


Figura 6. Massa seca das folhas (A e B) e massa seca do caule (C e D) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DAS. CCTA/UFCEG, Pombal, 2015.

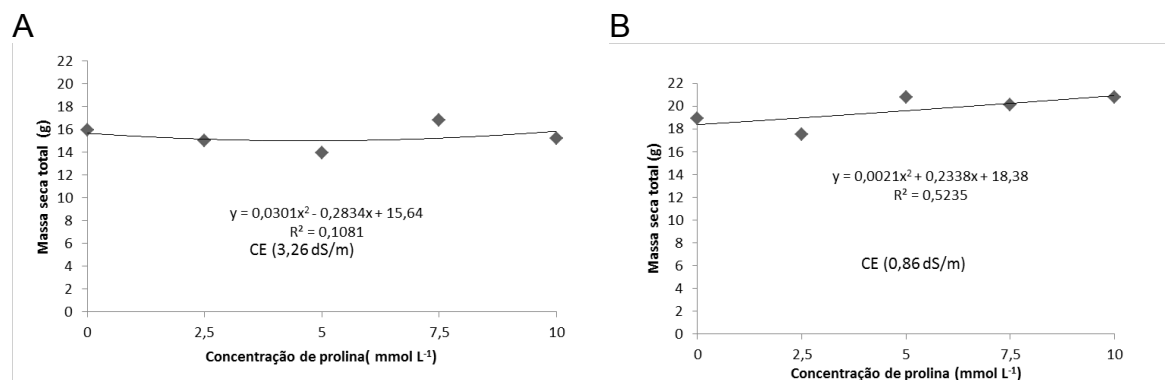


Figura 7. Massa seca total (A e B) em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade e concentrações de prolina aos 30 DASS CCTA/UFCEG, Pombal 2015.

Para massa seca do caule, o menor valor encontrado foi de 5,13g na concentração de 2,43 mmol L⁻¹ de prolina quando submetido ao solo (CE 3,26 dS/m). Quanto ao solo (CE= 0,86 dS/m) o maior valor encontrado foi de 7,05g na concentração de 5,0 mmol L⁻¹ de prolina com incremento de 5,67% comparado a concentração 0 mmol L⁻¹ de prolina (figura 6D e C). Resultado diferente foi encontrado por LACERDA (2013) ao trabalhar com a aplicação exógena de prolina em plantas de melanciera sob aplicação de água salina (4,0 dS/m) onde observou um incremento de 22,62% em relação a dose 0 mmol L⁻¹ de prolina.

Para massa seca total, os maiores valores determinados foram de 16,81g e 20,79 g nas concentrações de 7,5 e 10 mmol L⁻¹ de prolina com incrementos de 5,41 e 9,09% em relação a testemunha quando cultivada no solo (CE= 3,26 dS/m) e (CE= 0,86 dS/m), respectivamente (figura 7 A e B).

Os maiores valores para massa seca de folha (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca total (MST) independente das concentrações de prolina foram maiores quando a planta foi cultivada no solo com menor condutividade elétrica (CE 0,86 dS/m) (Tabela 8).

Redução geral no acúmulo de massa seca na planta tem sido verificado por diversos autores, a exemplo de LIMA et al.(2007) que verificou uma redução de 66,94% na biomassa seca da parte aérea do feijão vigna (cultivar quarentinha),

quando o mesmo foi irrigado com água de condutividade elétrica de 5,0 dS/m, em comparação a testemunha de 0,5 dS/m.

Tabela 8. Massa seca de folha (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca total em plantas de milho cultivadas em solo com diferentes níveis de salinidade aos 30 DAS. CCTA/UFCG, Pombal, 2015.

Salinidade	MSF	MSC	MST
CE (3,26 dS/m)	10.317b	5.032b	15.349b
CE (0,86 dS/m)	12.912a	6.711a	19.621a
CV (%)	20.430	23.839	20.208

A prolina tem a propriedade de proporcionar ajustamento osmótico sem causar injúria aos tecidos em comparação ao efetuado por íons. Plantas de milho respondem à salinização pela manutenção de maiores concentrações de sacarose e prolina, visto que o nível de prolina aumenta com a salinização e com o tempo de exposição das plantas ao sal, sugerindo um papel protetor da prolina (RODRÍGUEZ et al., 1997). O acúmulo de compostos orgânicos nitrogenados deve refletir num mecanismo protetor ao qual se inclui acúmulo de solutos compatíveis como a prolina e outros aminoácidos, refletindo como um mecanismo osmorregulatório (KUZNETSOV e SHEVYAKOVA, 1997).

Alguns trabalhos demonstram que o excesso de prolina em plantas pode causar efeito tóxico. ROY et al,(1993) ao realizar trabalho com arroz (*Oriza sativa*) observaram que 30 mM de prolina foi a concentração mais eficaz para melhorar a germinação e o crescimento das plantas sob estresse salino.

5 CONCLUSÕES

O fornecimento da prolina reduz, no milho, o efeito estressante causado pela salinidade do solo.

Os parâmetros fisiológicos e o crescimento em plantas de milho foram comprometidos pelo aumento da salinidade do solo;

Para as variáveis de crescimento de plantas, as maiores médias observadas ocorreram quando foi utilizada a concentração de $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de prolina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAF, M. Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. Cap. 13, p. 17- 42, 1994.

ASHRAF, M.; AKRAM, N.A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M.R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v.111, p.249-296, 2011. DOI: 10.1016/B978-0-12-387689-8.00002-3.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, Kidlington, v.59, n.2, p.2006-2016, mar., 2007.

Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 29.

BARROS, M. de F. C. et al. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Recife, PE, v.9, p.320-326, 2005.

BLANCO, F.F.; LOURENÇÃO, M.S.; FOLEGATTI, M.V. Tolerância do milho e da soja à salinidade (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 2003. Anais. João Pessoa: UFPB, 2003.

CAMARA, T. R. WILLADINO, L.TORNÉ, J.M. MANICK, A.SANTOS, M.A. Efeito do estresse salino e da prolina exógena em calos de milho. **Revistas Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.12, n.2, p. 146-155, agosto. 2000.

CAMARA, T.R.; WILLADINO, L.; TORNE, J.M.; SANTOS, M.A. Efeito da putrescina e do estresse salino em calos de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 10:153-156, 1998.

CASTRO, R. S. Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimilho. Mossoró, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2010. 90 f. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).

CENTEC. Instituto Centro de Ensino Tecnológico. **Produtor de milho**. 2.ed.rev. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2004. 56 p.

CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento. Brasília: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012.

DEMIRAL, T.; TURKAN. I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in root of two rice cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and experimental botany**: 53, 247-257, 2005.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI H R: DIAS, N. S. ; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, cap. 9. P. 129 – 140, 2010.

EHSANPOUR, A. A.; FATAHIAN, N. Effect of salt and proline on medicago sativa callus. **Plant Cell**, Rockville, v.73, n.1, p. 53-56, apr., 2003.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, v.18, 2000. 360 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical databases- production , 2005.

FARIAS. L, L, P. Avaliação Agronomica de híbridos de milho (*Zea mays* L.) para produção de silagem ou grãos cultivados no Distrito Federal. Universidade de Brasília, faculdade de agronomia e Medicina Veterinario. Brasilia-DF, 2013. (monografia).

FEIJÃO, A.R. et al. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n.3, p. 675-683, 2011.

FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.97, p.1-10, 2014.

FOOLAD, M. R. Genetic bases of salt tolerance and cold tolerance in tomato. **Current Opinion in Plant Biology**. London, p. 35 – 49, 2000.

GUPTA, K.; DEY, A.; GUPTA, B. Plant polyamines in abiotic stress responses. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, p.2015- 2036, 2013.

HARTER, L.S.H. et al. **Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango**. Hort. Bras., v.32 n.1. p. 80-85, 2014.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K; BOHNERT, H.J. Plant celular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 463-499, 2000.

HOQUE, M. A.; BANU, M.N.; NAKAMURA, K.; SHIMOISHI, Y.; MURATA, Y. Proline and glycinebetaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells, **journal of plant physiology** , v. 165, n.8, p. 813-824, may, 2008.

ISLÃ, R.; ARAGUÉS, R.. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. **Field Crops Research**, v.116, p.175-183, 2010.

JAIN, S.; NAINAWATEE, H.S.; JAIN, R.K. and CHOWDHURY, J. B. Proline status of genetically stable salt-tolerant Brassica juncea somaclones and their parent cv. Prakash. **Plant Cell Reports**, 9:684-687, 1991.

KAVI KISHOR PB; SANGAM S; AMRUTHA RN; SRI LAXMI P; NAIDU KR; RAO KRS; RAO S; REDDY KJ; THERIAPPAN P; SREENIVASULU N. 2005. Regulation of

proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 88: 424-438.

KHEDR, A. H. A.; ABBAS, M. A.; WAHID, A. A. A. QUICK, W. P. ABOGADALLAH, G. M. proline induces the expression of salt-stress responsive proteins and may improve the adaptation of *pancratium maritimum* L. to salt stress. **Journal of Experimental Botany**. 54, 2553-62-2003.

KOTAKIS, C.; THEODOROPOULOU, E.; TASSIS, K.; OUSTAMANOLAKIS, C.; LOANNIDIS, N.E.; KOTZABASIS, K. Putrescine, a fastacting switch for tolerance against osmotic stress. **Journal of Plant Physiology**, v.171, p.48-51, 2014. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.09.015.

KUZNETSOV, V.V.; SHEVYAKOVA, N.I. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.100, n.2, p.320-326, 1997.

LACERDA, C. F. ; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under stress. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v. 49, n.2, p. 107 -120, apr., 2003.

LACERDA, F. H. D. Aplicação exógena de prolina no crescimento fisiologia e produção da melancia irrigada com água salina. 2013. 39p. Monografia (Curso de Agronomia)- Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal-PB, 2013).

LERAYER, A. Guia do milho – tecnologia do campo a mesa. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. 2006. 15 p.

LEONARO, M. *Estresse salino induzido em plantas de pimentão (Capsicum annuum L.) fertirrigadas e seus efeitos sobre a produtividade e parâmetros bioquímicos*. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

LIMA, M. G. S. et al. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. *Bragantia*, Campinas, v. 63,n.3,p.335-340.dez,2004.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do Milho. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002, 23 p. (Circular Técnica).

MARIJUAN, M.P.; BOSCH, S.M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666, 2013.

MEDEIROS, P. R. F. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, Cap. 6, p. 83 -91, 2010.

MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; MARTINEZ, C. A.; CAMBRAIA, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v.49, n.1, p. 69-76, feb, 2003.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytology**, v.167, p.645–663, 2005.

MUNNS, R. Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. In: TURKAN, I (Ed.). **Plant responses to drought and salinity stress: developments in a postgenomic Era**. London: Elsevier, 2011. p.132. (Advances in botanical research, 57).

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Reviews Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

NEVES, A.L.R. *et al.* Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, supl.0, p.873-881, 2009.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Tolerância do maxixeiro, cultivado em vasos, a salinidade da água de irrigação. *Ver. Ceres, Viçosa*, v.61 n. 1. P. 147 – 154, 2014.

OLIVEIRA, L. A. A; BARRETO, L. P; BEZERRA NETO, E; SANTOS, M. V. F. DOS; COSTA, J; DE C.; A. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n.1.p.31-35, jan, 2006.

OZEDEN, M.; DEMIREL , U.; KAHRAMAN ,A. Effectes of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂ **Scientia Horticulturae** , Amsterdam, v.119, n.2, p. 163-168, jan. 2009.

PARIDA, A.K.;DAS,A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60 p. 324-349,2005.

ROY, D.; BASU, N.; BHUNIA, A.; BANERJEE, S.K. Counteraction of exogenous L-proline with NaCl in salt-sensitive cultivar of rice. *Plant Biology*, Hoboken, v.35 n. 1 p. 69-72, mar, 1993.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; FERREIRA, P.A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v.6, n.3, p.1-12, 2006.

SANS LMA & SANTANA DP (2002) Cultivo do milho: clima e solo. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS. 4p. (EMBRAPA-CNPMS. Comunicado Técnico, 38).

SAIRAM, R. K; RÃO, K.V.; SRISVASTAVA, G. C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant, activity and osmolytes concentration. **Plant science**: 163, 1037-1046, 2002.

SAUVORÉ, A.; HUA, X-J, BERTECAUCHE, N.; VAN MONTAGU, M.; VERBRUGEN, N. Abscisic acid-independent and abscisic acid-independent regulation of proline biosynthesis following cold and osmotic stress in arabidopsis thaliana. **Molecular genomics and genetics**: 254, 104-109, 1997.

SILOTO, R.C. **Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera:Noctuidae) em genótipos de milho**. Piracicaba. Estado de São Paulo – Brasil, 2002.

SILVA, M.S. **Atividade inseticida da folha e da semente de nim *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho *Zea mays* L. (Poaceae)**. Maceió, 52p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Alagoas - 2009.

SILVA, R. F. da.; OLIVEIRA, E. C. de.; JUSTINO, F. B. e; GROSSI, M. C. Influência das mudanças climáticas na cultura do milho na área da Amazônia Legal. XVI Congresso Brasileiro De Meteorologia. Set. Pará, 2010.

STOREY, R.; GORHAM, J.; PITMAN, M.G.; HANSON, A.D. and CAGE, D. Response of *Melanthera biflora* to salinity and water stress. *Journal of Experimental Botany*, 44:1551- 1560. 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Tradução: Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: Artmed, p. 618-619, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 4nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

Tester, M.; Davenport, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, p.503-527, 2003.

TONIN, F.B. **Atividade de enzimas antioxidantes e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)– Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

TROVATO, M.; MATTIOLI, R.; COSTANTINO, P. Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. **Rendiconti Lincei**, v.19, p.325-346, 2008.

VAIDYANATHAN, H. *et al.* Scavenging of reactive oxygen species in NaCl stressed rice (*Oryza sativa* L.) - differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. **Plant Science**, v.165, p.1411-1418, 2003.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v.35, p.753-759, 2008. DOI: 10.1007/s00726-008-0061-6. Wang, D.; Shannon, M. C.; Grieve, C. M. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research*, v.69, p.267-277, 2001.

WILLADINO, L; CÂMARA, T. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: REIGOSA. M. J.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. **La Ecofisiología Vegetal**, Una ciência de síntesis. Madri, Espanha. Editora Thomsom, p.303-329, 2004.

YOSHIBA, Y.; KIYOUSUE , T. KYOUSUE, T; KATAGIRI, T; UEDA, H.; MIZOGUCHI, T.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; WADA, K.; HARADA, Y.; SHINOZAKI, K. Correlation between the induction of a gen for delta 1-pyrroline-5- carboxylate synthethaseand the accumulation of proline in arabidopises thaliana under osmotic stress. Plant: 7, 751-760, 1995