

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

USO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO EM *Brachiaria brizantha* cv
MG-5 A RESISTÊNCIA AO ESTRESSE SALINO

Autor: Carlos Eduardo Ventura Lopes de Brito
Orientador: Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues

GARANHUNS
Estado de Pernambuco
Novembro – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

USO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO EM *Brachiaria brizantha* cv
MG-5 A RESISTÊNCIA AO ESTRESSE SALINO

Autor: Carlos Eduardo Ventura Lopes de Brito
Orientador: Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS, no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Área de Concentração: Produção de Ruminantes.

GARANHUNS
Estado de Pernambuco
Novembro – 2013

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

B862u Brito, Carlos Eduardo Ventura Lopes
Uso do silício na indução da resistência da
Brachiariabriazantha cv mg-5 ao estresse salino/
Carlos Eduardo V. Lopes de Brito.- Garanhuns,
2014.

f.

Orientador: Carlos Ribeiro Rodrigues
Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e
Pastagens) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns,
2014.

Inclui bibliografias

CDD: 631.4

1. Solo
 2. Fotossíntese - Salinidade
 3. Déficit hídrico
 4. Estudos quantitativos
- I. Rodrigues, Carlos Ribeiro
 - II. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

USO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA AO
ESTRESSE SALINO EM *Brachiaria brizantha* cv MG-5

Autor: Carlos Eduardo Ventura Lopes de Brito
Orientador: Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues

TITULAÇÃO: Mestre em Ciência Animal e Pastagens
Área de Concentração: Produção de ruminantes

APROVADO em ___/___/_____

Prof. Dr. Carlos Ribeiro
Rodrigues – IFGoiano
(Orientador)

Prof. Dr. Willian Gonçalves do
Nascimento – PPGCAP/UFRPE
(Co-Orientador)

Dra. Maria Alice Vasconcelos da
Silva – PPGCAP/UFRPE

Dr. Lindomário Barros de
Oliveira – MAPA

Se...

*Se és capaz de conservar o teu bom senso e a calma,
Quando os outros os perdem, e te acusam disso.*

*Se és capaz de confiar em ti, quando de ti duvidam
E, no entanto, perdoares que duvidem.*

*Se és capaz de esperar, sem perderes a esperança
E não caluniar os que te caluniam.*

*Se és capaz de, sendo odiado, dar ternura,
Tudo sem pensar que és sábio ou um modelo dos
bons.*

*Se és capaz de sonhar, sem que o sonho te domine,
E pensar, sem reduzir o pensamento a vício.*

*Se és capaz de enfrentar o Triunfo e o Desastre,
Sem fazer distinção entre estes dois impostores.*

*Se és capaz de ouvir a verdade que disseste,
Transformada por canalhas em armadilhas aos tolos.*

*Se és capaz de arriscar todos os teus haveres
Num lance corajosa, alheio ao resultado,
E perder e começar de novo teu caminho,
Sem que ouça um suspiro quem seguir ao teu lado.*

*Se és capaz de forçar teus músculos e nervos
E fazê-los servir se já quase não servem,
Sustentando-te a ti, quando nada em ti resta,
A não ser a vontade que diz: Enfrenta!*

*Se és capaz de falar ao povo e ficar digno
Ou de passear com reis conservando-te o mesmo.*

*Se não pode abalar-te amigo ou inimigo
E não sofrem decepção os que contam contigo.*

*Se podes preencher todo minuto que passa
Com sessenta segundos de tarefa acertada.*

*Se assim fores, meu filho, a Terra será tua,
Será teu tudo que nela existe
E não receies que te o tomem,
Mas (ainda melhor que tudo isto)
Se assim fores, serás um **HOMEM**.*

Rudyard Kipling

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado forças para enfrentar as dificuldades, e assim tornar possível a realização deste trabalho.

Às agências de fomento CAPES e FACEPE pela concessão de Bolsa de estudos e financiamento do projeto.

À Luciana Florêncio Vilaça, minha noiva, pelos momentos ao meu lado me incentivando e me concedendo o prazer de desfrutar de sua presença, companheirismo, atenção, carinho e, claro, de seu intelecto.

À meus pais Edilson Lopes de Brito e Quitéria Ventura de Campos Brito, por serem pessoas tão boas. Por se esforçarem a me guiar no caminho reto. Pelo apoio, carinho, atenção e confiança depositada em mim.

À meus irmãos José Ricardo Ventura Lopes de Brito, Paulo Roberto Ventura Lopes de Brito e João Marcos Ventura Lopes de Brito, pelo simples fato de serem meus irmãos, laço de dimensão imensurável. Que caminho teria sem vocês?

Em especial à toda minha família por ter investido e acreditado em mim não me deixando esmorecer diante dos obstáculos encontrados, me mostrando o valor que existe em empregar o amor em tudo que se faz.

Ao Professor Carlos Ribeiro Rodrigues, pela orientação, ensinamentos acadêmicos e, acima de tudo, pela amizade e ensinamentos extracurriculares que só o contato com uma pessoa com sua vivência e dedicação pode oferecer.

À Professora Tatiana Michlovská Rodrigues, ao Professor Willian Gonçalves do Nascimento e aos colegas do Laboratório de Nutrição Animal da UFRPE-UAG, pelo acolhimento e ensinamentos.

Aos professores e colegas da graduação e pós-graduação pela fundamental participação na minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Aos colegas Márcio Felipe Pinheiro Neri Nunes, Phelipe Matheus de Moraes Cavalcante, Maria Alice Vasconcelos da Silva, Rodrigo Pereira Hélcias, Wilca Jackeline Cavalcante dos Santos, Marthony Dornelas Santana, Miguel Barkokebas Neto, Arthur Torres de Lima, Ana Eduarda Albuquerque Freire, Manuela Araujo Pinto, Géssica Poliana e Graziela Bernardo pelo acolhimento, pelos momentos passados, por aceitarem doar um pouco de vocês para a realização deste trabalho, por trocarem horas de descanso merecido entre suas aulas, estudos e atividades cotidianas por horas de trabalho nas casas de vegetação e laboratórios.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

Carlos Eduardo Ventura Lopes de Brito, nascido em 17 de maio de 1985, filho de Edilson Lopes de Brito e Quitéria Ventura de Campos Brito, natural de São José do Egito – PE. Iniciou em agosto de 2005 o curso de Graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), concluindo-o em julho de 2010. Em agosto de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG).

ÍNDICE

	Página
INTRODUÇÃO GERAL.....	9
REVISÃO DE LITERATURA.....	11
BIBLIOGRAFIA CITADA	15
CAPÍTULO 1.....	19
1.1 Introdução	21
1.2 Material e Métodos	22
1.3 Resultados	25
1.4 Conclusões	34
1.5 Bibliografia Citada	34
CAPÍTULO 2.....	37
2.1 Introdução	39
2.2 Material e Métodos	40
2.3 Resultados	43
2.4 Discussão.....	57
2.5 Conclusões	59
2.6 Bibliografia Citada	60

RESUMO

A salinidade dos solos caracteriza-se pelo excesso de sais na solução do solo. Em solos com nível elevado de salinidade o déficit hídrico ocasiona redução na produtividade vegetal, alterando a fotossíntese e o crescimento. O uso do silício tem se destacado na indução de mecanismos de resistência em plantas, principalmente em relação ao estresse salino. Em geral, os trabalhos avaliando o efeito do Si sobre a indução de resistência em plantas também avaliam o efeito sobre a atividade fotossintética. Neste sentido o presente trabalho, objetivou avaliar o efeito Si em *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 cultivada em solução nutritiva com e sem a presença de NaCl. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e duas concentrações de NaCl (0 e 40 mmol L⁻¹ de NaCl) com quatro repetições. Foram realizadas quatro coletas durante a condução do experimento. As coletas iniciaram-se aos 20 dias após a semeadura (DAS) e seguiram-se aos 27, 42 e 57 DAS. O material colhido foi analisado para se obter dados sobre os teores dos pigmentos fotossintéticos, a fluorescência de clorofila a e o crescimento de *B. brizantha* cv. MG-5 em função dos tratamentos. Com base nos resultados obtidos se observou que o Si influenciou positivamente o crescimento plantas submetidas o estresse, porém sua influência no crescimento de plantas sem a condição de estresse, apesar de positiva no crescimento inicial, foi negativa em tempo prolongado. A proteção do aparato fotossintético foi influenciada pelas concentrações de silício. Em geral as concentrações de pigmentos fotossintéticos reduziram com a crescente adição de Si.

ABSTRACT

The salinity is characterized by salts excess in the soil solution. In soils with high salinity level the water deficit causes reduction in plant productivity, altering the growth and photosynthesis. The use of silicon (Si) has excelled in the induction of resistance mechanisms in plants, especially in relation to salt stress. In general, studies evaluating the effect of Si on the induction of plant resistance also assess the effect on the photosynthetic activity. In this sense, the present work aimed to evaluate whether, under stress conditions, the interaction, silicon x photosynthesis, may favor the maintenance of plant growth by reducing the deleterious effects of salinity. Experiment was conducted with plants braquiaraõ (Braquaria Brizantha) cv MG05 grown in nutrient solution. There followed a completely randomized design in a factorial 5 x 2 with five concentrations of Si in the nutrient solution (0; 1; 2; 3 and 4 mmol L⁻¹Si) and two concentrations of NaCl (0 and 40 mmol L⁻¹ NaCl) with 4 replications, totaling 40 vessels. Four samples were taken during the experiment. The collections were started at 20 days after sowing (DAS) and followed up at 27, 42 and 57 DAS. The material was analyzed to obtain data on growth and photochemical characteristics. Based on the results showed that protection of the photosynthetic apparatus was based on the silicon doses. Generally, the concentration of the chlorophyll a and chlorophyll b decreased with increasing doses of addition of Si. If under stress, high concentrations of Si in the middle provided maintenance of plant growth.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tem no setor agrícola e no setor de mineração as principais bases para seu desempenho econômico. Neste contexto, a atividade pecuária representa grande relevância econômica no país, com maior destaque para a bovinocultura.

Atualmente, nos sistemas brasileiros de criação de bovinos, é predominante a exploração à pasto, em função, principalmente, do baixo custo operacional e da disponibilidade de terras. Aliado a isto, tal forma de exploração é usada como fator de estímulo ao consumo do produto brasileiro com o uso do termo “boi verde” para se referir ao animal criado com uso total ou predominante de forragens.

No cenário atual de preocupação constante com formas de produção de alimento menos agressivas ao meio ambiente e de valorização das terras agricultáveis, é imprescindível a otimização das formas de exploração. Na bovinocultura a pasto, a otimização do sistema ocorre principalmente através da melhoria genética do rebanho e no uso de pastagens mais adaptadas, que apresentem boa produção nas condições de intempéries impostas pelo meio. Neste sentido, a *Brachiaria brizantha* cv. MG-05 vem ganhado destaque entre as gramíneas usadas na pecuária a pasto nas regiões tropicais.

Além do uso de espécies mais adaptadas às condições edafoclimáticas se faz necessário uso de tecnologias que proporcionem melhores condições para que as forrageiras possam expressar da melhor maneira seu potencial produtivo. Assim o uso de adubação, irrigação e defensivos agrícolas têm sido cada vez mais constantes na pecuária a pasto. Neste sentido o uso do Silício, elemento considerado benéfico às plantas, tem se mostrado promissor. Há numerosos relatos de que a aplicação de Si aumenta a produção e, principalmente, a resistência a estresses bióticos e abióticos em diversas culturas.

O estresse salino é considerado um dos maiores entraves para a produção agrícola mundial, sendo um problema de grande importância principalmente para regiões áridas e semiáridas por se mostrarem mais susceptíveis. A intensificação da produção pode vir a ser um fator que eleve o risco de ocorrência deste problema em função do

desmatamento, do manejo inadequado da irrigação e do uso intenso de defensivos e adubos minerais.

Existem várias técnicas que podem ser adotadas para o manejo de plantas em áreas salinizadas visando aumento da produção. Uma das técnicas é aumentar a tolerância, ou, a resistência das plantas a essas condições. Assim, o Si tem sido largamente estudado visando aumentar a resistência das plantas à salinidade. Os principais efeitos do Si são na redução da transpiração e na proteção bioquímica do aparato fotossintético. Outro fator importante é que a *Brachiaria brizantha* é eficiente na absorção de Si e por isso pode apresentar resposta positiva quando cultivada sob condições de salinidade.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do Si em plantas de braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. MG-5) cultivadas em solução nutritiva com ou sem a presença de NaCl no meio, para tanto foi realizada análise de crescimento bem como foi verificado o efeito do Si sobre os teores de pigmentos fotossintéticos e a fluorescência de clorofila a.

REVISÃO DE LITERATURA

A pecuária é hoje umas das principais atividades agrícolas do Brasil, caracterizando-se, principalmente, pelo modelo de produção à pasto devido ao baixo custo operacional, às características edafoclimáticas e à disponibilidade de área. No entanto, este sistema de produção exige o uso de pastagens adaptadas que apresentem alta produção e boa qualidade nutricional para garantir retorno econômico. Neste sentido, espécies do gênero *Brachiaria* têm se mostrado eficientes ocupando extensas áreas destinadas à bovinocultura.

Os capins do gênero *Brachiaria* são objeto de estudo da forragicultura desde a década de 50 (Costa et al., 2006). Apesar de conhecido a muito tempo por produtores e pesquisadores, o uso intensivo de gramíneas do gênero *Brachiaria* na formação de pastagens cultivadas é relativamente recente, segundo Costa et al. (2006) a expansão desse gênero ocorreu nas décadas de 70 e 80, com foco principal as regiões de clima mais quente. No entanto, por apresentarem alta adaptabilidade a vários tipos de solos (Souza Filho & Dutra, 1991) a expansão dessas gramíneas se deu rapidamente. O fato de serem plantas de alta produção de massa seca, apresentarem poucos problemas de doenças e mostrarem bom crescimento durante a maior parte do ano, inclusive no período seco atrai a atenção dos pecuaristas às espécies do gênero *Brachiaria* (Costa et al., 2006). De forma que, atualmente, mais de 50 % das áreas de pastagens cultivadas no Brasil tropical são de *Brachiaria* (Costa et al., 2006). Assim, fica evidente a grande importância desse gênero para a pecuária brasileira.

Por viabilizar a pecuária em solos ácido e de baixa fertilidade, as espécies do gênero *Brachiaria* desempenham papel primordial na produção de carne e leite (Costa et al., 2006). Em especial a espécie *Brachiaria brizantha*, popularmente conhecido como braquiarião que, em virtude da sua adaptabilidade às condições de solo e clima das regiões tropicais, tem sido foco de vários trabalhos de seleção e melhoramento com o lançamento de novas cultivares. Nesse contexto, a cultivar MG-05 vem ganhando espaço devido suas características de resistência, produção e recuperação após o pastejo.

A popularidade e a aceitação entre os pecuaristas da *B. brizantha* resultaram na implantação de extensas áreas dessa gramínea em sistema de monocultivo. De maneira que tornou o sistema de produção susceptível aos estresses abióticos e ou bióticos capazes de reduzir a produtividade e a qualidade das forrageiras (Verzianassi & Fernandes, 2001).

O estabelecimento e a manutenção de pastagens estão relacionados com quais condições de estresse a forrageira é submetida e a sua capacidade de reposta a estas condições. Uma condição de estresse que merece atenção nas regiões áridas e semiáridas é a salinidade, em função destas regiões apresentarem maior susceptibilidade a este problema (Iannetta & Colonna, 2011). A salinidade é o fator ambiental que mais afeta adversamente a produção e a qualidade das culturas no mundo (Asharaf & Harris, 2013). De acordo com Zhu (2001) o estresse salino em plantas, condição imposta pelo excesso de sais na solução do solo, causa inibição do crescimento podendo levar a morte. Estima-se que aproximadamente 22% das terras agricultáveis do mundo são afetadas pelo excesso de sais (Munns & Tester, 2008), estando a área em contínua expansão, sendo impulsionada, principalmente, pelo desmatamento e o mau manejo dos sistemas de irrigação, devido ao uso de água salina e da elevação do lençol freático pelo excesso de irrigação associada à drenagem insuficiente (Willadino & Camara, 2010). Em escala mundial, nenhuma substância tóxica restringe tanto o crescimento de plantas quanto a salinidade (Zhu, 2001), sendo de fundamental importância a busca de meios para indução de resistência ao estresse salino em plantas.

A salinidade é um efeito do excesso de sais na solução do solo, tendo como fatores responsáveis a natureza química dos solos, as interações com outros fatores, elevação do nível do lençol freático, variáveis climática (pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração), os sais trazidos pelos movimentos de água subsuperficial, água da irrigação, ou mesmo por adubação excessiva ou muito localizada (fertirrigação) (Gurgel et al., 2003; Almeida et al., 2005).

O efeito do estresse salino em plantas é o resultado de dois componentes: (1) o componente osmótico – redução do potencial osmótico em função da elevada concentração de solutos na solução do solo, provocando um déficit hídrico; (2) o componente iônico – alteração das relações entre nutrientes decorrente dos elevados teores de Na^+ e Cl^- (Mendes, 2009).

O uso do silício (Si) tem se destacado na indução de mecanismos de resistência em plantas, principalmente em relação ao estresse salino. Embora o Si ainda não seja considerado um elemento essencial para as plantas (Marschner, 1995; Epstein & Bloom, 2006; Korndorfer, 2006 e Malavolta, 2006), segundo Ma et al. (2001) a sua aplicação tem proporcionado aumento da resistência em plantas a condições de estresse bióticos e abióticos como ataque de fitopatógenos, estresse hídrico, osmótico, salino, metais pesados, alta luminosidade e por radiação UV.

Os mecanismos descritos, até o momento, pelos quais o Si tem promovido o aumento da resistência das plantas às condições de estresses bióticos e abióticos são semelhantes entre si. Tais mecanismo são citados por Fawe et al. (2001) para estresse bióticos e por Liang et al. (2007) para estresse abióticos sendo eles: redução da evapotranspiração; aumento da atividade fotossintética com consequente aumento nos teores dos pigmentos fotossintéticos; aumento da atividade de enzimas antioxidativas como peroxidases, catalases e superóxido dismutases; redução das formas reativas de oxigênio e aumento na concentração de compostos naturais de defesa como fitoalexinas.

Em geral, os trabalhos avaliando o efeito do Si sobre a indução de resistência em plantas também avaliam o efeito sobre a atividade fotossintética, visto que é uma atividade metabólica chave da planta e que segundo Taiz & Zeinger (2004) está envolvida diretamente nos mecanismos de aumento de resistência em plantas. Assim, alguns trabalhos têm avaliado a interação entre o Si e a atividade fotossintética em plantas sob condições de estresse biótico ou abiótico como toxidez de manganês (Mn) (Feng et al., 2009); estresse osmótico (Hattori et al., 2008); radiação UV (Goto et al., 2003; Wen-Bin et al., 2004 e Shen et al., 2010), ataque de fitopatógenos (Gao et al., 2010), estresse hídrico (Lobato et al., 2009), chuva ácida (Xie et al., 2008) e salinidade (Al-aghaby et al., 2004; Moussa, 2006). Tais trabalhos têm evidenciado o fato do Si proporcionar aumento da atividade fotossintética e do crescimento das plantas somente quando estas encontram-se expostas à condições de estresse.

Feng et al. (2009) relatam que o Si aumentou a atividade fotossintética, teores de pigmentos fotossintéticos e eficiência do Fotossistema II (FSII) em plantas de pepino somente quando essas foram cultivadas sob toxidez de Mn. Segundo os autores o Si proporciona proteção ao aparato fotossintético através do aumento da atividade de enzimas antioxidativas no cloroplasto, em específico das enzimas ligadas ao ciclo do ascorbato-glutationa que representa um mecanismo de detoxificação alternativo e mais eficiente contra Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) gerado no cloroplasto e citosol (Cakmak et al., 1993). Em consequência à proteção ao aparato fotossintético, em específico ao FSI e FSII, ocorre a manutenção na fixação de Dióxido de Carbono (CO_2) e a manutenção do crescimento das plantas sob condições de estresse. Outra justificativa utilizada por Feng et al. (2009) e que em plantas tratadas com Si há manutenção da absorção de ferro (Fe), nutriente funcional na cadeia transportadora de elétrons nas membranas dos tilacoides nos FSI e FSII.

Semelhante ao observado por Feng et al. (2009), Hattori et al. (2008) obtiveram respostas com aplicação de Si somente quando plantas jovens de pepino foram submetidas à condição de estresse osmótico. Os autores observaram aumento da taxa fotossintética e crescimento das plantas. No entanto, essas variáveis não apresentaram correlação com a taxa de transpiração, condutância estomática e transpiração cuticular. Os autores justificam que a manutenção da taxa fotossintética está associada à redução de danos no tecido fotossintético em plantas sob estresse osmótico supridas com Si. Liang et al. (2007) justificaram de forma semelhante a manutenção da atividade fotossintética de plantas de pepino sob inoculação de míldio.

Em relação ao estresse salino Liang (1999) e Liang et al. (2003) com a cultura da cevada, Zhu et al. (2004) com a cultura do pepino, Hamayun et al. (2010) com a cultura soja, Moussa (2006) e Parveen & Ashraf (2010) com a cultura do milho e Al-aghaby et al. (2004) com a cultura do tomate obtiveram aumento da resistência das plantas devido ao aumento da atividade fotossintética. Segundo Moussa (2006), Liang (1999) e Al-aghaby et al. (2004) a maior atividade fotossintética das plantas sob condição de estresse salino adubadas com Si está relacionada à maior proteção do sistema fotossintético, como relatado por Feng et al. (2009) e Hottari et al. (2008) para aumento da resistência à toxidez por Mn e estresse osmótico, respectivamente.

Liang et al. (2007) relatam que os principais mecanismos pelos quais plantas adubadas com Si aumentam a resistência à salinidade são: 1) redução da taxa de transpiração com redução do fluxo de água e de sódio para o apoplasto de tecidos da raiz; 2) aumento da absorção e transporte de potássio com redução da absorção e transporte de sódio sendo que esse efeito pode ser atribuído ao aumento da atividade de ATPases de membrana de células da raiz; 3) redução da permeabilidade de membranas mantendo a estrutura dos cloroplastos, que são destruídos em condições de salinidade e sem Si; 4) redução da peroxidação de lipídios aumentando a integridade das membranas plasmáticas e 5) em plantas sob estresse salino e com aplicação de Si houve aumento da atividade de enzimas antioxidativas como as peroxidases, superóxido dismutases e catalases e redução das concentrações de formas reativas de oxigênio.

Esses mecanismos de indução de resistência de plantas à condições de estresse bióticos e abióticos são semelhantes ao descritos por Buchanan et al. (2000) e Taiz & Zeiger (2004) para a indução do sistema de resistência adquirida. Fawe et al. (2001) relatam que os mecanismos pelo qual o Si induz a resistência das plantas à patógenos é semelhante ao mecanismo de indução da resistência sistema adquirido (resistência

sistemática induzida). Todavia a visualização desses mecanismos só é possível quando a planta está sob a condição de estresse.

Um dos poucos trabalhos a visualizar o efeito do Si sobre a indução de resistência em plantas sem submetê-las a condições de estresse foi Rodrigues et al. (2004). Segundo os autores, plantas de arroz, apesar de não submetidas a condições de estresse, quando adubadas com Si aumentaram a presença de mamilactones A e B, que são duas fitoalexinas (diterpenóides) comuns em plantas de arroz e que representam o mecanismo químico de defesa do arroz à brusone. Em pepino, Fawe et al. (1998) encontraram correlação positiva entre a concentração de fitoalexinas flavanol e resistência à míldio na cultura do pepino adubadas com Si. Tanto Fawe et al. (2001) quanto Samuels et al. (1991) sugerem que os mecanismos bioquímicos de defesa da planta são ativados pelo silício solúvel nas plantas e para isso é necessário o suprimento constante desse nutriente.

No intuito de atingir os objetivos propostos pelo presente trabalho foram elaborados dois trabalhos científicos. Dos dois, o trabalho intitulado “análise biológica do efeito do Si na indução de resistência ao estresse salino no braquiarião” foi redigido de acordo com normas da Revista Ciência Rural. Enquanto que o trabalho “Fotoquímica em folhas do braquiarião submetido à diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva” obedeceu as normas de redação requeridas pela Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal para publicação.

BIBLIOGRAFIA CITADA

AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.27, p.2101-2115, 2004.

ALMEIDA, M.B.A.D.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. et al. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.615-621, 2005.

ASHARAF, M.; HARRIS, P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, v.51, n.2, p.163-190, 2013.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. *Biochemistry & Molecular biology of Plants*. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiology. 1367p. 2000.

CAKMAK, I.; STRBAC, D.; MARSCHNER, H. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, v.44, p. 127-132, 1993.

EPSTEIN E; BLOMM AJ. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta, 403p. 2006.

- FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon-mediated accumulation of flavanoid phytoalexin in cucumber. *Phytopathology*, v.88, p.396-401, 1998.
- FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R. Silicon and disease in dicotyledons. In: DATNOFF, L.E.; SYNDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: ELSEVIER. 2001. P.159-169.
- FENG, J.; SHI, Q.; WAG, X. Effects os exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in chloroplast of cucumber seedlings under excess manganese. *Agricultural Sciences in China*, v.8, p.40-50, 2009.
- GAO, D.; CAI, K.; CHEN, J.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J.; ZHU, X.; Silicon enhances photochemical efficiency and adjusts mineral nutrient absorption in *Magnaporthe oryzae* infected rice plants. *Acta Physiology Plant*, published online: 07 september, 2010.
- GOTO, M.; EHARA, H.; KARITA, S.; TAKABE, K.; OGAWA, N.; YAMADA, Y.; OGAWA, S.; YAHAJA, M.S.; MORITA, O. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop. *Plant Science*, v.164, p.349-356, 2003.
- GURGEL, M.T.; MEDEIROS, J.F.; NOBRE, R.G.; CARDOSO NETO, F.; SILVA, F.V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. *Revista de Biologia e ciência da terra*, v.3, n.2, 2003.
- HAMAYUN, M.; SOHN, E.; KHAN, S.A.; SHINWARI, Z.K.; KHAN, A.L.; LEE, I. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress of growth and endogenous plant growth hormones of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, v.42, p.1713-1722, 2010.
- HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Effects of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings under osmotic stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.31, p.1046-1058, 2008.
- IANNETTA, M.; COLONNA, N. Salinização. Lucinda, Série B, n. 3. Disponível em <http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B3_Leaflet_PT.pdf> Acesso em 10 de Abril de 2012.
- KORNDORFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES MS. (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: SBCS. p.356-374. 2006.
- LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.; CHRÍSTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, v.47, p.422-428, 2007.
- LIANG, Y.C. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil*, v.29, p.217-224, 1999.
- LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H.; DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, v.160, p.1157-1164, 2003.
- LOBATO, A.K.S.; COIMBRA, G.K.; NETO, M.A.M.; COSTA, R.C.L.; SANTOS FILHO, B.G.; OLIVEIRA NETO, C.F.; LUZ, L.M.; BARRETO, A.G.T.; PEREIRA, B.W.F.; ALVES, G.A.R.; MONTEIRO, B.S.; MAROCHIO, C.A. Protective action os silicon water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. *Research Journal of Biology Sciences*, v.4, p.617-623, 2009b.

- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (eds.). Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier Science. p.17-39. 2001.
- MALAVOLTA E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. Piracicaba: CERES. 638p. 2006.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed. London: Academic Press. 889p. 1995.
- MENDES, B.S.S.. Efeitos Fisiológicos e Bioquímicos do Estresse Salino em *Ananas Porteanus Hort Veitch Ex C. Koch.*. Dissertação de Mestrado (UFRPE, Recife, Pós-Graduação em Química), 50f. 2009.
- MOUSSA, H.R. Influence os exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture & Biology, v.8, 293-297, 2006.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, v. 59, p.651-681, 2008.
- PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pakistan Journal of Botany, v.42, p.1675-1684, 2010.
- RODRIGUES, F.Á.; MCNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in Rice: a potencial mechanism for blast resistance. Phytophatology, v.94, p.177-183, 2004.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; RHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. Plant Cell Environment, v.14, p.485-492, 1991.
- SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A.E.; LI, J.; Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedling under drought and ultraviolet-B radiation. Journal of Plant Physiology, v.167, p.1248-1252, 2010.
- SOUZA FILHO, A. P. da S.; DUTRA, S. Resposta do *Brachiaria humidicola* à adubação em campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. Pasturas Tropicales, Cali, v. 13, n. 2, p. 42-45, ago. 1991
- TAIZ L; ZEIGER E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: ARTMED. 719p. 2004.
- VERZIGNASSI, J.R.; FERNANDES, C.D. Doenças em forrageiras. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 3p. (Embrapa Gado de Corte. Gado de Corte Divulga, 50)
- WEN-BIN, L.; XIN-HUI, S.; HE, W.; FU-SUO, Z. Effects of silicon on rice leaves resistance to ultraviolet-B. Acta Botanica Sinica, v.46, p.691-697, 2004.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Enciclopédia Biosfera, v.6, n.11, p.1-23, 2010.
- XIE, Y.F.; YANG, W.H.; LU, M.R.; CAI, X.L.; ZHOU, J. Effects of silicon on photosynthetic characteristics of *Indocalamus barbatus* under simulated acid rain stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, v.19, p.1179-1184, 2008.
- ZHU, J.K. Plant salt tolerance. Trends in Plant Science, v.6, n.2, p.66-71, 2001.

ZHU, Z.J.; WEI, G.Q.; LI, J.; QIAN, Q.Q.; YU, J.Q. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, v.167, p.527-533, 2004.

CAPÍTULO 1

Análise biológica do efeito do Si na indução de resistência ao estresse salino no braquiário

Resumo: O estresse salino em plantas é condicionado pelo excesso de sais na solução do solo causando inibição do crescimento das plantas, podendo levar a morte. O silício (Si), elemento considerado benéfico às plantas, tem sido usado como indutor de resistência, principalmente em relação ao estresse salino. Assim, no intuito de verificar o efeito do Si sobre o crescimento agrônômico e biológico de *Brachiria brizantha* cv. MG-5 sob diferentes condições de estresse salino, foi realizado experimento com plantas de braquiário cultivadas em solução nutritiva. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e duas concentrações de NaCl (0 e 40 mmol L⁻¹ de NaCl) com 4 repetições, totalizando 40 vasos. Foram realizadas quatro coletas durante a condução do experimento, aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS). O crescimento das plantas foi avaliado através da massa seca da parte aérea, da raiz, total e suas relações, área foliar total e específica e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Assimilação Líquida (TAL) e Razão de Área Foliar (RAF). Com base nos resultados observou-se que, sob condição do estresse, concentrações de 2 mmol L⁻¹ de Si no meio proporcionaram manutenção do crescimento das plantas. Sem a condição de estresse o ganho em crescimento, em função das doses de Si, foi praticamente nulo. Quando as plantas foram expostas por tempo prolongado ao estresse, não se observou efeito atenuante do Si sobre os efeitos deletérios da salinidade. Diante do exposto pode-se concluir que a aplicação do Si reduziu atenuou os efeitos deletérios da salinidade na fase inicial do experimento, porém a *Brachiararia brizantha* cv. MG-5.

Palavras-chave: *Brachiararia brizantha*, silício, salinidade, solução nutritiva, crescimento

Biological analysis of the Si effect in the resistance induction to salt stress in palisade
grass

Abstract: The salt stress in plants is conditioned by excess salts in the soil solution causing inhibition of plant growth and can lead to death. Silicon (Si) is not considered essential element for plants, has been used as inducer of resistance, especially in relation to salt stress. Thus, in order to verify the effect of Si on the growth of biological and agronomic *Brachiria brizantha*. MG-5 under different salt stress experiment was conducted with plants grown in nutrient solution braquiaraõ. We used a completely randomized design in a factorial 5 x 2 with five concentrations of Si in the nutrient solution (0, 1, 2, 3:04 mmol L⁻¹ Si) and two concentrations of NaCl (0 to 40 mmol L⁻¹ NaCl) with 4 replications, totaling 40 vessels. Four samples were taken during the experiment. The collections were started at 20 days after sowing (DAS) and followed up at 27, 42 and 57 DAS. Plant growth was evaluated by dry weight of each plant, total, and their relations and leaf area index, specific for each collection period. Values were estimated from Absolute Growth Rate (AGR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and leaf area ratio (LAR). Based on the results observed that under conditions of stress, high concentrations of Si provided in the middle maintenance of plant growth, but without the stress condition on the dry mass gain, as a function of Si was virtually nil. When plants were exposed to prolonged stress, there was no dampening effect of Si on the salinity effects.

Keywords: Growth, Sodium chloride, Potassium silicate

1.1 Introdução

Atualmente a pecuária é umas das principais atividades agrícolas do Brasil, sendo caracterizada, principalmente, pela produção à pasto. No entanto, para tornar a atividade viável neste sistema de produção é imprescindível a escolha de pastagens adaptadas que apresentam alta produção e boa qualidade nutricional. Assim, espécies do gênero *Brachiaria* têm se destacado e ocupado extensas áreas destinadas à bovinocultura em função da sua adaptabilidade às condições de solo e clima das regiões tropicais.

As regiões áridas e semiáridas são susceptíveis à salinidade sendo esta uma condição de estresse que merece estudos (Iannetta & Colonna, 2011). Segundo Asharaf & Harris (2013) a salinidade é o fator ambiental que mais afeta adversamente a produção e a qualidade das culturas no mundo. O estresse salino em plantas é condicionado pelo excesso de sais na solução do solo causando inibição do crescimento das plantas, podendo levar a morte (Zhu, 2001). A viabilidade da produção agrícola em regiões com problemas de salinidade parte pelo princípios da adaptação das culturas ao ambiente salino. Essa adaptação pode ser obtido por vários meios como melhoramento genético e principalmente através de manejo da adubação e irrigação. Nesse sentido, o Si vem sendo estudado como um elemento químico benéfico às plantas por induzir a resistência a várias condições de estresse (Marschner, 1995; Ma et al., 2001; Epstein & Bloom, 2006; Korndorfer, 2006; Malavolta, 2006), entre elas a salinidade.

Ahmad et al. (1992) avaliou o efeito do Si no crescimento do trigo sob estresse salino até a fase vegetativa e reprodutiva. Segundo os autores houve aumento na massa seca de parte aérea e manutenção da massa seca de raiz das plantas de trigo sob estresse salino e nutridas com Si. Os mesmos autores relatam que houve aumento nos teores foliares de Si com o incremento do Si e do Na na solução nutritiva. Romero-Aranda & Jurado (2006) obtiveram menor redução do crescimento do tomateiro submetido ao

estresse salino quando nutridas com Si, ou seja, o Si minimizou os efeitos deletérios da salinidade no tomateiro. Da mesma forma Bradbury & Ahmad (1990) com a algarobeira (*Prosopis juliflora*) e Miranda et al. (2002) com a moringa (*Moringa oleífera*) relataram aumento do crescimento de plantas tratadas com Si e sob estresse salino.

Para o *Brachiaria brizantha* não foi encontrado nenhum trabalho avaliando o efeito do Si na redução dos efeitos deletérios da salinidade. Melo et al., (2010) relatam que a *Brachiaria brizantha* apresenta alta eficiência na absorção de Si, todavia não é classificada como acumuladora de silício. Mesmo encontrando altas teores de Si no tecido Melo et al., (2010) não observaram aumento de crescimento da *B. brizantha* com a aplicação do Si. Resultados semelhantes foram obtidos por Korndörfer et al. (2010) e Fagundes (2005) com a *B. brizantha*. Todavia, a resposta das plantas à presença do Si pode estar atrelado à condição de estresse, quando comparadas com as plantas sem Si, conforme relatado por Pinto et al., (2012) e Fawe et al., (2001).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a absorção de Si, o crescimento e os índices de crescimento biológico da *Brachiaria brizantha* MG-5, sob diferentes concentrações de Si e estresse pelo NaCl na solução nutritiva.

1.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE). As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade para dois litros contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) mais os tratamentos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e sem e com estresse (0 e 40 mmol L⁻¹ de NaCl, respectivamente) com 4 repetições, totalizando 40 vasos. Cada vaso contendo cinco plantas foi considerado uma

parcela experimental e cada parcela uma repetição. Durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, foram realizadas quatro coletas consistindo de: início do crescimento (20 Dias Após a Semeadura - DAS), início do perfilhamento (27 DAS), pleno perfilhamento (42 DAS) e idade de corte (57 DAS). Em cada coleta foi colhida uma planta por vaso, totalizando quatro plantas por tratamento.

As sementes do braquiarião cv. MG-5 foram semeadas em bandejas contendo areia lavada umedecida com água destilada. Após a emissão da primeira folha definitiva as plântulas foram transferidas para bandejas de 40 L de capacidade contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) a 25% da força iônica na qual permaneceram durante 15 dias para adaptação. Em seguida, as plantas foram escolhidas em função da uniformidade morfológica e transferidas para vaso definitivo de cultivo contendo 10 L de solução nutritiva de Hoagland a 100% da força iônica mais os tratamentos (Tabela 1), de forma que cada vaso acondicionou cinco plantas.

TABELA 1 Volume de solução estoque (mL) necessário para a produção de 1L de solução de cultivo dos tratamentos.

Reagentes	[] ¹	Concentrações de Si (mmol L ⁻¹) Sem Estresse (0 mmol L ⁻¹ de NaCl)					Concentrações de Si (mmol L ⁻¹) Com Estresse (40 mmol L ⁻¹ de NaCl)					
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
		KNO ₃	1	5,00	4,26	3,52	2,77	2,03	5,00	4,26	3,52	2,77
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
MgSO ₄ .7H ₂ O	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
KH ₂ PO ₄	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HNO ₃	1	-	0,74	1,48	2,23	3,97	-	0,74	1,48	2,23	3,97	
K ₂ SiO ₃	K	4,5 ²	-	0,165	0,33	0,495	0,66	-	0,165	0,33	0,495	0,66
	Si	6,1 ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaCl	1	-	-	-	-	-	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	
Solução Micro ³	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Fe-EDTA ⁴	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

¹Concentração da Solução Estoque em mol L⁻¹.

²Concentração em mol L⁻¹ de K e Si na solução comercial de metasilicato de potássio -K₂SiO₃ (171 g L⁻¹ de Si; 210 g L⁻¹ de K₂O; pH = 12 e d = 1,4 g cm⁻³).

³ Solução coquetel completa de micronutrientes: será dissolvido separadamente 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,22 g ZnSO₄.7H₂O; 0,08 g CuSO₄.5H₂O e 0,02 g H₂MoO₄.H₂O, e após misturar e completar o volume para 1000 mL.

⁴ Solução Fe-EDTA: (a) Solução A - dissolver 33,3 g de Na₂-EDTA em 500 mL de água destilada a 30°C contendo 100,4 mL de NaOH 1 molc L⁻¹; (b) Solução B - dissolver 24,9 g de FeSO₄.7H₂O em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl 1 molc L⁻¹; misturar as Soluções A e B, completar o volume para 1000 mL com água destilada e colocar sob aeração constante por 12 horas. A solução será acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

Como fonte de Si foi utilizada a solução de silicato de potássio – K_2SiO_3 (171 g L^{-1} de Si; 210 g L^{-1} de K_2O ; $pH = 12$ e $d = 1,4 \text{ g cm}^{-3}$). As concentrações de potássio (K) na solução nutritiva foram ajustadas pela redução das doses de KNO_3 e as de nitrogênio pela adição de HNO_3 (Tabela 1). No final do preparo da solução nutritiva de cada tratamento o pH foi ajustado para 5,5 com auxílio de solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} e, ou, $NaOH$ 1 mol L^{-1} . Quando necessário o nível de solução dos vasos foi completado com adição de água destilada. O pH foi monitorado a cada cinco dias e ajustado, quando necessário, para 5,5 com auxílio de solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} e $NaOH$ 1 mol L^{-1} . A condutividade elétrica da solução de cada vaso, também, foi monitorada a cada cinco dias. A solução nutritiva foi trocada sempre que a condutividade elétrica reduzia 20% da condutividade elétrica inicial da solução.

No dia das coletas foi escolhida, de forma arbitrária, uma planta por vaso a qual teve determinada a área foliar (AF) através da digitalização em scanner de mesa de todas as folhas, seguida de uma análise posterior das imagens por meio do software *Quant v.1.0.2.*. Em seguida, a planta escolhida foi colhida separando-se a parte aérea das raízes que foram lavadas em água destilada, secas em papel toalha, acondicionadas em sacos de papel Kraft previamente identificados, posteriormente, foram secas em estufa de circulação de ar forçada à $65-70^\circ \text{ C}$ até peso constante, pesadas e determinada a massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR). Com a AF, MSPA e MSR foram estimados a área foliar específica (AFS), a relação massa seca de parte aérea e massa seca de raiz (MSPA/MSR) e a massa seca total (MST).

Para o intervalo de cada coleta foram estimados a Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa de Assimilação Líquida (TAL) e Razão de Área Foliar (RAF) conforme equações propostas por Benincasa (2003).

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa SISVAR. As regressões múltiplas em função das datas de coletas e concentrações de Si no meio foram estimadas pelo programa Sigmaplot 10.0 e teste de Chow (Chow, 1960; Erlat, 1978) para a comparação dos modelos múltiplos entre os tratamentos com e sem NaCl no meio.

1.3 Resultados

Avaliou-se o crescimento das plantas em quatro diferentes estádios: I) antes do perfilhamento (20 dias após a semeadura - DAS); II) início do perfilhamento (27 DAS); III) pleno desenvolvimento vegetativo (42 DAS) e IV) na última avaliação com as plantas no final da fase de desenvolvimento vegetativo (57 DAS).

Resultados e Discussão

A MSPA apresentou ajuste não linear em função das concentrações de Si na solução e das épocas de coleta sem e com NaCl no meio (Figuras 1 A e B). Os modelos ajustados para a MSPA diferem entre si pelo teste de Chow (5% de prob.) (Chow, 1960; Erlat, 1978) para as plantas com e sem NaCl na solução. Sem o NaCl no meio, as concentrações de Si só proporcionaram efeitos lineares à MSPA, como observado pela ausência do coeficiente Si^2 na equação da Figura 1A. Nessa equação, substituindo as datas de coleta na equação da Figura 1A, obtêm-se o efeito isolado do Si em cada coleta. Assim, aos 20 e 27 DAS ($MSPA = 1,545 + 2,57Si$ e $MSPA = 4,313 + 1,23Si$, respectivamente) observa-se incremento da MSPA com o aumento do Si no meio. Já, aos 42 e 57 DAS ($MSPA = 19,81 - 2,97Si$ e $MSPA = 48,35 - 8,99Si$, respectivamente) o Si proporciona redução do ganho de MSPA. Esse resultado pode ser melhor visualizado ao se verificar a TCA na condição de 0 mmol L^{-1} de NaCl (Figura 4 A), em que se observa a influência positiva do Si apenas no intervalo de 20-27, apresentando TCA máximo de $1,028 \text{ g dia}^{-1}$

na concentração de 4 mmol L⁻¹ de Si, ou seja no intervalo entre os 20 DAS e os 27 DAS as plantas cresceram mais rápido com a concentração de 4 mmol L⁻¹ de Si.

A redução de crescimento das plantas sem estresse em função das concentrações de Si na solução pode ser atribuída à deposição e precipitação de sílica junto a epiderme com possíveis efeitos negativos sobre as trocas gasosas. Como pode ser visto o AcSiPA das plantas sem estresse salino (Figura 3 A) foi crescente em função dos DAS e das concentrações de Si. Conforme Melo et. al (2010) o acúmulo de sílica na *B. brizantha* ocorre em maior proporção na face adaxial de folhas completamente expandidas e, de forma irregular, junto as células buliformes. Alta deposição de sílica abaixo da epiderme pode levar a redução da transpiração (Ma, 2004; Gao et al., 2006). Esse efeito é mais pronunciado quando há deposição de sílica junto às células buliformes (Bremond et al., 2005). Essa redução pode ser melhor observado pelo comportamento da TAL (Figura 4 E) em que se observa o declínio em função das concentrações de Si no intervalo de 42 – 57 DAS, sendo este fato um indicativo da atuação negativa do acúmulo do Si por tempo prolongado.. A AFS não teve influência significativa das concentrações de Si sendo influenciada apenas pelos DAS (Figuras 2 C e D), o que indica a não atuação do Si na melhoria da capacidade fotossintética das plantas neste experimento.

Em geral a redução de produção de parte aérea de forrageiras, não é vantajoso para o produtor, devido a diminuição da disponibilidade de alimento para os animais, reduzindo a capacidade de suporte da pastagem. Todavia, a redução da produção em plantas sem estresse salino se deu nos últimos 15 dias antes da colheita. No intervalo de 20 -27 a concentração de 4 mmol de Si por litro de solução promoveu um pico na taxa de assimilação líquida (Figura 4 E) tendo o Si promovido um ganho de MSPA mais elevado nesse período. Enquanto que no intervalo de 27-42 a TAL se manteve praticamente estável.

Nas plantas com NaCl no meio o Si proporcionou incrementos na produção das plantas nas concentrações próximas a 2 e 3 mmol L⁻¹ de Si, em todas as coletas. Todavia, esse incremento de produção não foi suficiente para promover um comportamento semelhante ao das plantas sem estresse. A máxima produção obtida nas plantas sem o NaCl no meio (55,03 g planta⁻¹, com 0 mmol L⁻¹ de Si aos 57 DAS) foi 57,71 % superior à máxima MSPA obtida nas plantas sob estresse por NaCl (23,27 g planta⁻¹, com 2 mmol L⁻¹ de Si aos 57 DAS). É possível visualizar um incremento da AF nas plantas sob estresse também na concentração de 2 mmol L⁻¹ de Si (Figura 2 B). Já foi relatado por diversos autores que a visualização dos mecanismos de indução de resistência promovido pelo Si, só é possível em plantas sob condição de estresse, como nos trabalhos de Feng et al (2009) e Hattori et al. (2008) com plantas de pepino, Liang (1999) e Liang et al. (2003) com a cultura da cevada, Moussa (2006) e Parveen & Ashraf (2010) com a cultura do milho e Al-aghabary et al. (2004) com a cultura do tomate.

É interessante notar que o comportamento do AcSiPA nas plantas com NaCl no meio (Figura 3 B) foi semelhante ao da MSPA na mesmas condições, de forma que os maiores valores AcSiPA com NaCl (Figura 3 B) foram entre 2 e 3 mmol L⁻¹ Si, esse dado mostra com mais clareza uma ação positiva do Si na redução dos efeitos deletérios da salinidade.

A PA:R não obteve alteração em função das concentrações de Si na solução nutritiva e dos dias avaliados com e sem NaCl no meio. Os valores médios de PA:R nas plantas cultivadas com NaCl no meio (3,03) foi significativamente inferior (Teste de t 5% de probabilidade) aos valores obtidos pelas plantas sem o estresse (3,60).

Quanto a MSR as plantas sem a condição de estresse não apresentaram efeito das concentrações de Si, apresentando resposta linear influenciada apenas pelos DAS (Figura 1 C). Porém, quando em condição de estresse a MSR foi influenciada não apenas pelos

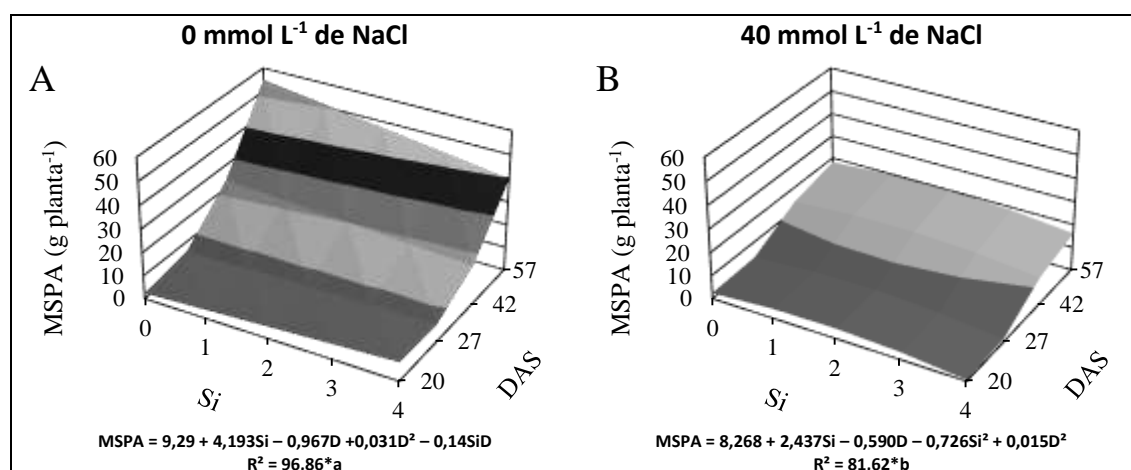
DAS como também sofreu influência das concentrações de Si no meio e da interação entre Si e DAS, apresentando resposta quadrática para as duas variáveis (Figura 1 D).

As plantas submetidas ao estresse salino apresentaram resposta quadrática às concentrações de Si, o que pode ser observado no fator Si^2 da equação da Figura 1 D, este fato pode ser atribuído ao efeito, já relatado anteriormente, de deposição do Si na epiderme foliar diminuindo a quantidade de fotossintatos enviados aos tecidos meristemáticos do sistema radicular. Porém, é possível observar que as plantas sob estresse salino necessitaram de cada vez mais Si na solução nutritiva para manter o crescimento radicular, observando que aos 20 DAS a maior MSR ($1,15 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtida com 1 mmol de Si na solução, enquanto que aos 57 DAS a maior MSR ($6,15 \text{ g planta}^{-1}$) só foi obtida com 4 mmol de Si na solução. Assim, é possível visualizar uma influência positiva do Si em manter o crescimento radicular nas plantas submetidas ao estresse salino. Apesar do efeito do Si, se observa que o maior valor de MSR encontrado nas plantas sob estresse ($6,15 \text{ g planta}^{-1}$, com 4 mmol L^{-1} de Si aos 57 DAS) é 78,54% menor que o encontrado nas plantas não estressadas ($10,986 \text{ g planta}^{-1}$ aos 57 DAS).

Ao se avaliar a MST fica evidente que esta foi fortemente influenciado pela MSPA, apresentando o mesmo efeito negativo das altas concentrações de Si no ganho de massa da *B. brizantha* aos 57 DAS nas plantas sem estresse salino. As plantas sem Si e sem estresse salino aos 57 DAS (Figura 1 E) apresentaram uma MST ($65,9 \text{ g planta}^{-1}$, com 0 mmol L^{-1} de Si) 36,66% maior que as plantas submetidas à mesma concentração de NaCl e coletadas no mesmo período (Figura 1 F) ($29,23 \text{ g planta}^{-1}$ com 2 mmol L^{-1} de Si). No entanto, de forma semelhante ao que ocorreu com a MSPA e influenciada por esta, nas plantas sem estresse salino aos 20 e 27 DAS (MST = $3,79 + 1,43Si$ e MST = $8,09 + 0,438Si$, respectivamente) observa-se incremento do ganho de MST com o

aumento do Si no meio. Já, aos 42 e 57 DAS (MST = 29,03 – 1,66i e MST = 65,98 – 3,76Si, respectivamente) o Si proporciona redução do ganho de MST (Figura 1 E).

O comportamento da MST das plantas sob estresse salino não diferiu do comportamento da MSPA. É possível observar o efeito benéfico das concentrações de Si por volta de 2 mmol de Si na solução (Figura 1 F), sendo os valores de MST nesta concentração superiores aos demais em todos os períodos de coleta. No entanto, a significância do efeito do Si vai reduzindo com o avanço dos DAS, de forma que aos 20 DAS a MST na concentração de 2 mmol de Si (5,597g planta⁻¹) é 39,74% superior à MST na concentração de 0 mmol de Si (3,372 g planta⁻¹), enquanto que esta superioridade da MST promovida pela concentração de 2 mmol de Si em relação à de 0 mmol de Si cai para 32,88% aos 27 DAS, para 14,44% aos 42 DAS e para apenas 7,11% aos 57 DAS (Figura 1 F). Neste sentido se verifica que, apesar do Si promover a manutenção do ganho de MST, o seu acúmulo na epiderme foliar influencia negativamente o ganho de MST, sendo este fato melhor visualizado ao observar que na concentração de 4 mmol de Si na solução todas as coletas apresentaram MST inferior às demais concentrações.



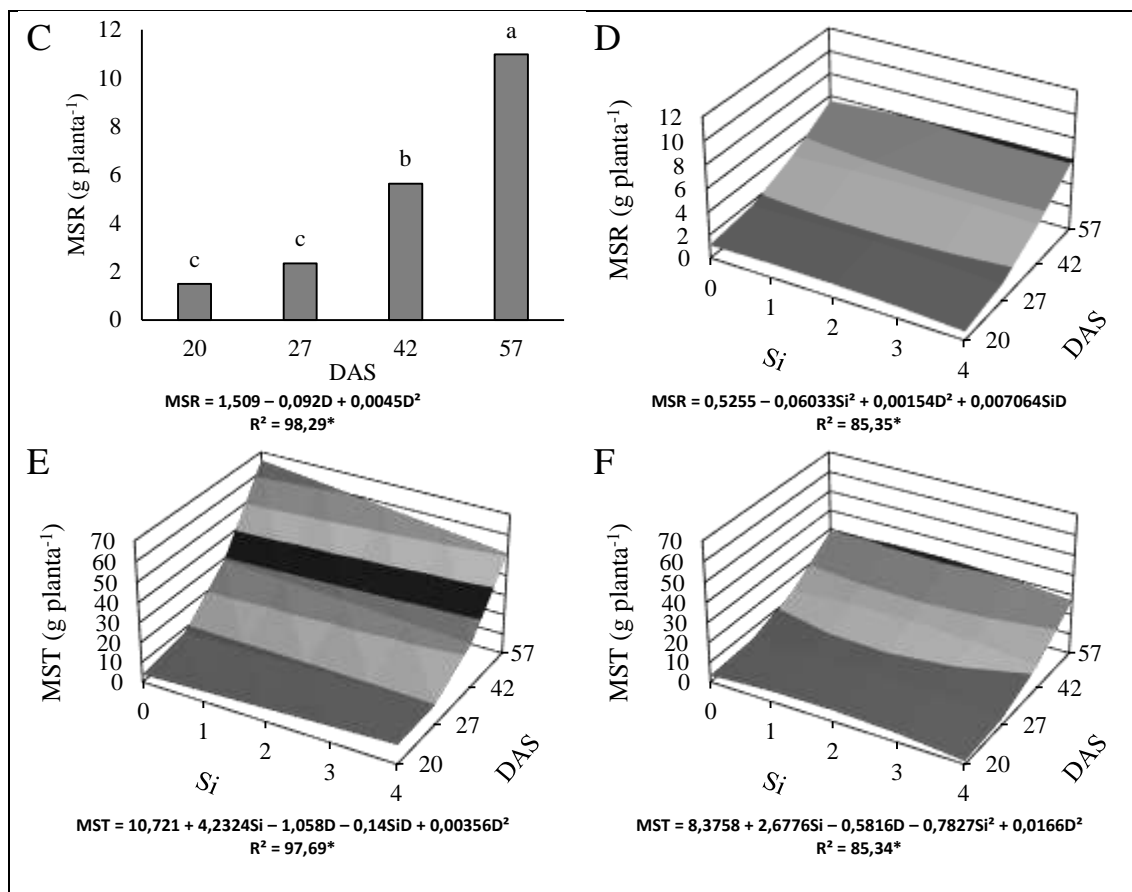


FIGURA 1 Variáveis de crescimento, massa seca de parte aérea – MSPA (A e B); massa seca de raiz – MSR (C e D) e massa seca total – MST (E e F) da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 em função das concentrações de Si (mmol L⁻¹) na solução nutritiva e dias de coleta (dias após a semeadura – DAS) com e sem NaCl no meio. *, ** e ns Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F (5% de probabilidade).

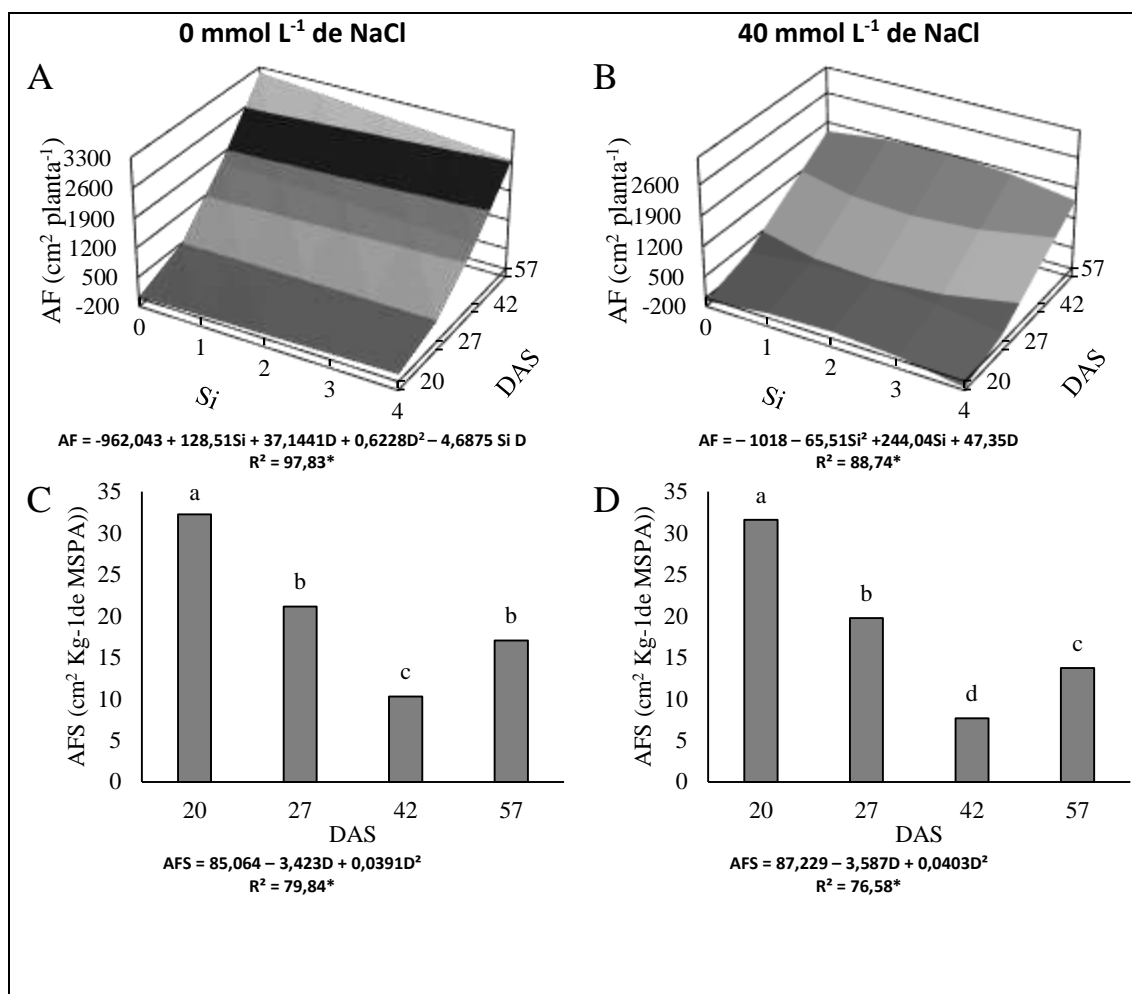


FIGURA 2 Área Foliar (A e B), Área Foliar Específica (C e D), da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 em função das concentrações de Si (mmol L⁻¹) na solução nutritiva e dias de coleta (dias após a semeadura – DAS) com e sem NaCl no meio. *, ** e ns Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F (5% de probabilidade).

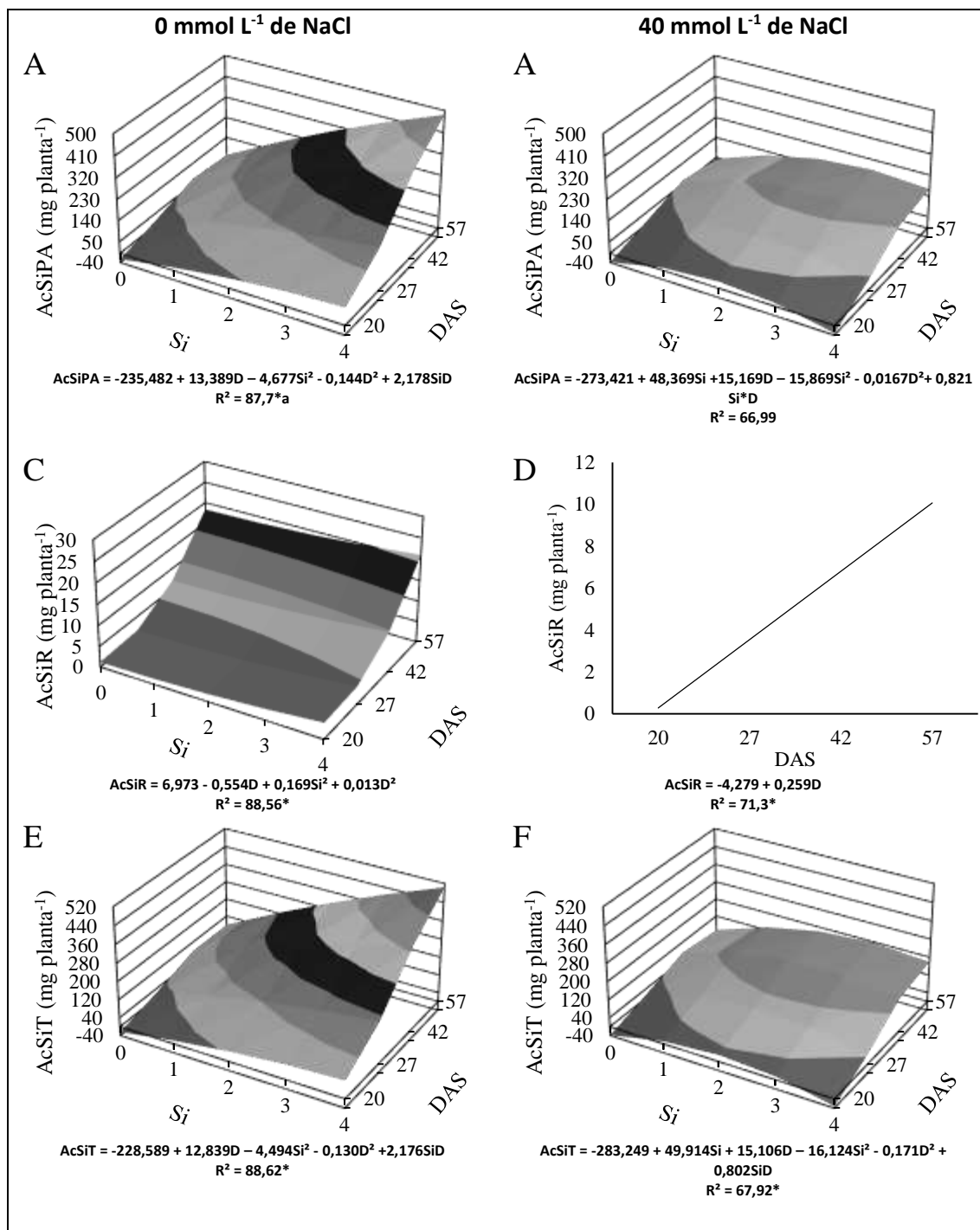


FIGURA 3 Acúmulo Si parte área – AcSiPA (A e B); acúmulo de Si raiz – AcSiR (C e D); acúmulo Si total – AcSiT (E e F), da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 em função das concentrações de Si (mmol L⁻¹) na solução nutritiva e dias de coleta (dias após a semeadura – DAS) com e sem NaCl no meio. *, ** e ns Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F (5% de probabilidade).

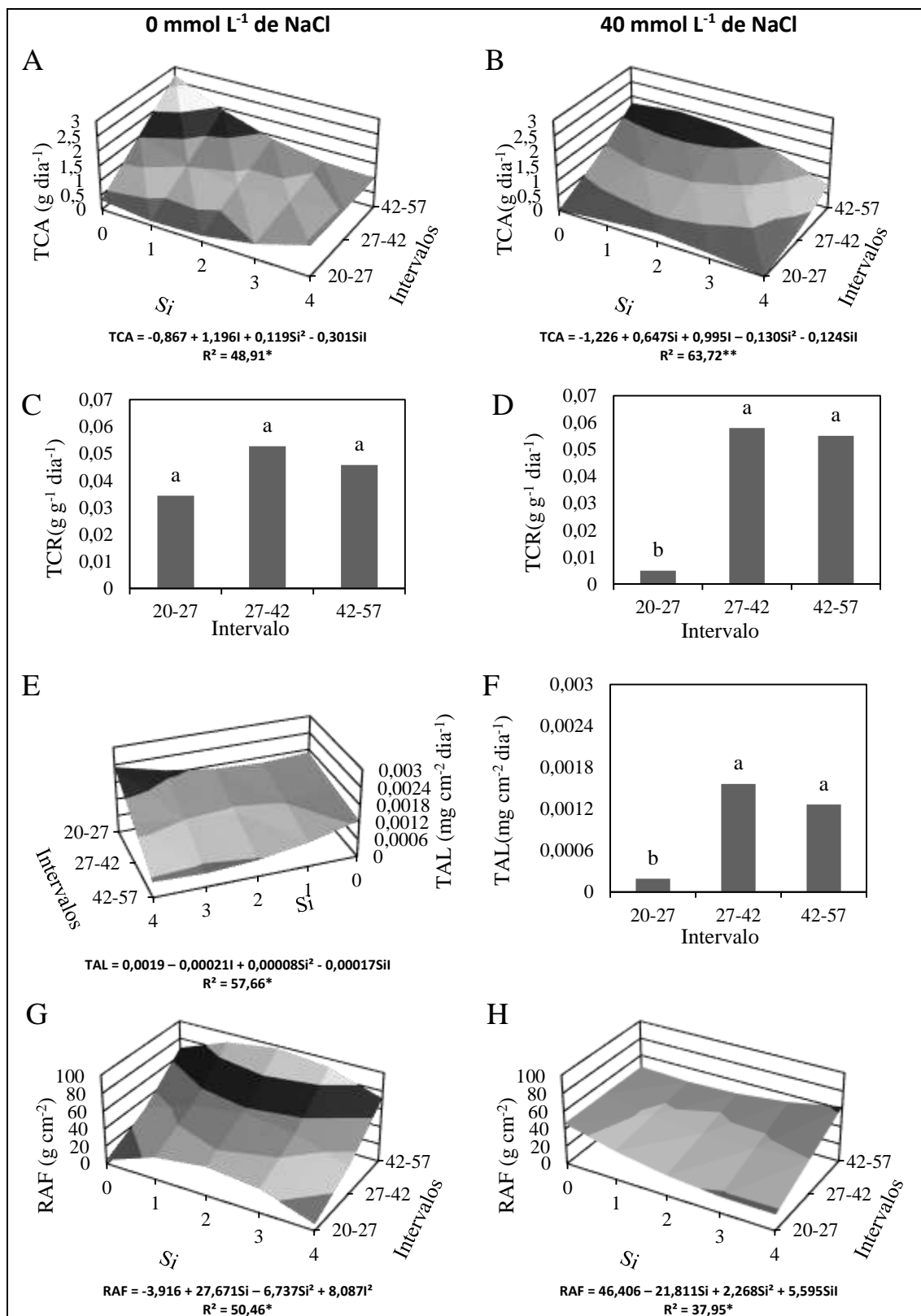


FIGURA 4 Taxa de crescimento absoluto – TCA (A e B); taxa de crescimento relativo – TCR (C e D); taxa de assimilação líquida – TAL (E e F); razão de área foliar – RAF (G e H), da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 em função das concentrações de Si (mmol L⁻¹) na solução nutritiva e dias de coleta (dias após a semeadura – DAS) com e sem NaCl no meio. *, ** e ns Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F (5% de probabilidade).

1.4 Conclusões

Com os resultados pode-se concluir que a que a *B. brizantha* foi eficiente em absorver e acumular Si, tendo este, papel de na redução dos efeitos deletérios da salinidade nas concentrações 2 a 3 mmol L⁻¹, porém, em plantas que não sem encontravam na condição de estresse, apesar de acelerar o desenvolvimento inicial, seu acúmulo foi negativo ao crescimento das plantas com prolongar do tempo.

1.5 Bibliografia Citada

- AHMAD, R.; ZAHEER, S.H.; ISMAIL, S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Science*, v.85, p.43-50. 1992.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.27, p.2101-2115, 2004.
- ASHARAF, M.; HARRIS, P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, v.51, n.2, p.163-190, 2013.
- BENICASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- BRADBURY, M.; AHMAD, R. The effect of silicone on the growth of *Prosopis juliflora* growing in saline soil. *Plant and Soil*, v.125, p.71-74. 1990.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*. V.32. p.311-327. 2005.
- EPSTEIN E; BLOMM AJ. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 403p. 2006.
- FAGUNDES, R.P. Efeito do silicato na produção e qualidade de *Brachiaria brizantha* cultivada em solo degradado do triângulo mineiro. Dissertação de mestrado (UFU, Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciência Veterinária). 67f. 2005.
- FERREIRA, D.F. Sisva: a computer statistical analysis system. *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*. V.29. p.1637-1647. 2006.
- HAMAYUN, M.; SOHN, E.; KHAN, S.A.; SHINWARI, Z.K.; KHAN, A.L.; LEE, I. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress of growth and endogenous plant growth hormones of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, v.42, p.1713-1722, 2010.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method of growing plants without soil. University of California, Berkeley, 32 p., 1950.

- HODSON, M.J.; WHITE, P.J.; MEAD, A.; BROADLEY, M.R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals Botany*. V.96. p.1027-1046. 2005.
- IANNETTA, M.; COLONNA, N. Salinização. *Lucinda, Série B*, n. 3. Disponível em <http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B3_Leaflet_PT.pdf> Acesso em 10 de Abril de 2012.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. *Advanced in Agronomy*. V.19, p.107-149. 1967
- KORNDORFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES MS. (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: SBCS. p.356-374. 2006.
- KORNDORFER, P.H.; SILVA, G.C. da; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, A.G. da; FREITAS, R.S. de. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v.40. p.119-125. 2010.
- LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R.J. C., ARAÚJO, E. L., WILLADINO, L. G., CAVALCANTE, U. (ed.) *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, 2005, p. 127-137.
- LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.; CHRÍSTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, v.47, p.422-428, 2007.
- LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H.; DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, v.160, p.1157-1164, 2003.
- MA, J.F. Role of silicone in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. v.50. p.11-18. 2004.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (eds.). *Silicon in agriculture*. Amsterdam: Elsevier Science. p.17-39. 2001.
- MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*. V.11. p.392-397. 2006.
- MALAVOLTA E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. Piracicaba: CERES. 638p. 2006.
- MARCUM, K.B. Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily Chloridoideae. *Crop Science*, v.39, n.4, p.1153-1160.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ed. London: Academic Press. 889p. 1995.
- MASSEY, F.; HARTLEY, S.E. experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: impacts on foliage digestibility and vole growth rates. *Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences*. V.273. p.2299-2304. 2006.
- MELO, S.P de; KORNDORFER, G.H.; KORNDORFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G. de. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. *Scientia Agricola*, v.60, p.755-759, 2003.

- MELO, S.P. de; MONTEIRO, F.A.; BONA, F.D. de. Silicon distribution and accumulation in shoot tissue of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*. *Plant and Soil*. v.336. p.241-249. 2010.
- MERGULHÃO, A.C.; BURITY, H.A.; TABOSA, J.N.; FIGUEIREDO, M.B.; DA SILVA, M.L. Salt stress response and proline accumulation in *Brachiaria humidicola* plants with and without mycorrhizal inoculation. *Revista Argentina de Microbiologia*, v.34, n.2, p.77-82. 2002.
- MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* LAM.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p.957-965. 2002
- MOTOMURA, H.; FUJII, T.; SUZUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae: Bambusoideae). *Annals of Botany*. V.93. p.235-248. 2004.
- MOTOMURA, H.; MITA, N.; SUZUKI, M. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae: Bambusoideae). *Annals of Botany*. V.90. p.149-152. 2002.
- MOUSSA, H.R. Influence os exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture & Biology*, v.8, 293-297, 2006.
- PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. *Pakistan Journal of Botany*, v.42, p.1675-1684, 2010.
- ROMERO-ARANDA, M.R.; JURADO, O. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, v.163, p.847-855. 2006.
- SHEWMAKER, G.E.; MAYLAND, H.F.; ROSENAU, R.C.; ASAY, K.H. Silicon in C3 grasses: effects on forage quality and sheep preference. *Journal of Range Management*. V.42. p.122-127. 1989.
- SOUZA, E.A. de; MORAES, J.C. de; AMARAL, J.L. do; LIBERATO, R.D.; BONELLI, E.A.; LIMA, L.R. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanho das raízes *Scaptocoris carvalhoi* Becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. *Ciência e Agrotecnologia*. V.33. p.1518-1526. 2009.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center. p.420-433. 1995.
- ZHU, J.K. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, v.6, n.2, p.66-71, 2001.
- ZHU, Z.J.; WEI, G.Q.; LI, J.; QIAN, Q.Q.; YU, J.Q. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, v.167, p.527-533, 2004.

CAPÍTULO 2

Clorofila e fotoquímica em folhas do braquiário submetido à concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva

Resumo: A salinidade afeta o desempenho das plantas comprometendo a funcionalidade de alguns processos como síntese de proteínas, metabolismo de lipídeos e fotossíntese. O silício (Si), elemento ainda não considerado essencial às plantas, tem sido usado como indutor de resistência em plantas, estando associado à proteção do aparato fotossintético. Assim, no intuito de verificar o efeito da adubação silicatada sobre parâmetros de funcionalidade do aparato fotossintético de *Brachiria brizantha* cv. MG-05 sob diferentes condições de estresse salino, foi realizado experimento com plantas de braquiário cultivadas em solução nutritiva. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e duas concentrações de NaCl (0 e 40 mmol L⁻¹ de NaCl) com 4 repetições, totalizando 40 vasos. Foram realizadas quatro coletas durante a condução do experimento. Em cada coleta foi determinada a fluorescência de clorofila por meio do FluorPen FP100, quantificado os teores de clorofila a (ChlA) e clorofila b (ChlB) por meio do clorofilometro ClorofiLOG® e pelo uso do dimetil-sufóxido (DMSO) também usado para quantificar os teores de carotenoides totais. As coletas iniciaram-se aos 20 dias após a semeadura (DAS) e seguiram-se aos 27, 42 e 57 DAS. Com base nos resultados observou-se que houve proteção do aparato fotossintético em função das doses de Si. De maneira geral, os teores de ChlA e ChlB reduziram com o aumento das doses de Si.

Palavras-chave: Carotenoides, Clorofila, Fluorescência, Silício

Palisade grass leaves chlorophyll and photochemistry under Si and NaCl in nutrient solution

Abstract: Salinity affects plant performance compromising the functionality of some processes such as protein synthesis, lipid metabolism and photosynthesis. Silicon (Si) is not considered essential element for plants, has been used to induce resistance in plants and are associated with protection of the photosynthetic apparatus. Thus, in order to verify the effect of silicon fertilization on parameters of functionality of the photosynthetic apparatus of *Brachiria brizantha*. MG-5 under different salt stress experiment was conducted with plants grown in nutrient solution braquiarão. We used a completely randomized design in a factorial 5 x 2 with five concentrations of Si in the nutrient solution (0, 1, 2, 3:04 mmol L⁻¹ Si) and two concentrations of NaCl (0 to 40 mmol L⁻¹ NaCl) with 4 replications, totaling 40 vessels. Four samples were taken during the experiment. In each sample was determined by means of chlorophyll fluorescence of FluorPen FP100, measured the levels of chlorophyll a (Chla) and chlorophyll b (ChlB) by means of chlorophyll ClorofiLOG ® and by the use of dimethyl sulfoxide (DMSO) is also used for quantify the levels of total carotenoids. The collections were started at 20 days after sowing (DAS) and followed up at 27, 42 and 57 DAS. Based on the results showed that protection of the photosynthetic apparatus was based on the silicon doses. Generally, the concentration of Chla and ChlB decreased with increasing doses of Si.

Keywords: Carotenoids, Chlorophyll, Fluorescence, Silicon

2.1 Introdução

Em solos com nível elevado de salinidade o déficit hídrico ocasiona redução na produtividade vegetal, alterando o crescimento e a fotossíntese (Pimentel, 1999; Pimentel et al., 2002). A salinidade afeta o desempenho das plantas através de déficit de água, toxidez provocadas por íons e desequilíbrio nutricional, comprometendo a funcionalidade de alguns processos como síntese de proteínas, metabolismo de lipídeos e fotossíntese (Esteves & Suzuki, 2008).

Quando expostas aos ambientes salinos, as plantas deparam-se inicialmente com dois problemas: o efeito tóxico específico dos íons em excesso e o déficit hídrico que o acompanha, uma vez que os sais dissolvidos reduzem o potencial hídrico no solo (Azaïzeh & Steudle, 1991). Marcondes & Garcia (2009) ao realizar análise ultraestrutural celular de plantas de arroz sob condição de estresse salino, observaram o cloroplasto como a principal organela afetada pelo estresse salino.

É descrito na literatura a atuação do silício (Si) na proteção do aparato fotossintético, porém, a visualização dos mecanismos de proteção é possível apenas em condição de estresse. Feng et al. (2009) relatam que o Si aumentou a atividade fotossintética, teores de pigmentos fotossintéticos e eficiência do FSII em plantas de pepino quando cultivadas sob toxidez de manganês (Mn), fato explicado pelos autores como relacionado ao aumento da atividade de enzimas antioxidativas no cloroplasto. Outra justificativa utilizada por Feng et al. (2009) e a manutenção da absorção de ferro em plantas tratadas com Si, nutriente funcional na cadeia transportadora de elétrons nas membranas dos tilacóides nos FSI e FSII.

Em se tratando do estresse salino Liang et al. (1999) e Liang et al. (2003) com a cultura da cevada, Zhu et al. (2004) com a cultura do pepino, Hamayun et al. (2010) com

a cultura soja, Moussa (2006) e Parveen & Ashraf (2010) com a cultura do milho e Al-ghabary et al. (2004) com a cultura do tomate obtiveram aumento da resistência das plantas devido ao aumento da atividade fotossintética. Segundo Moussa (2006), Liang et al. (1999) e Al-ghabary et al. (2004) a maior atividade fotossintética das plantas sob condição de estresse salino adubadas com Si está relacionada à maior proteção do sistema fotossintético através do aumento da atividade de enzimas antioxidativas, reduzindo os danos provocados pelas formas reativas de oxigênio.

O efeito da adubação silicatada sobre parâmetros de funcionalidade do aparato fotossintético de *B. brizantha* submetida a estresse salino ainda é pouco conhecido. Nesse sentido o presente trabalho se propõe avaliar o efeito do Si e estresse pelo NaCl sobre o os teores dos pigmentos fotossintéticos e da análise da fotoquímica através da fluorescência da clorofila a.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE). Em que plantas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-05 foram cultivadas em vasos com capacidade para dez litros contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) e receberam aeração constante via compressor.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e duas concentrações de NaCl (0 e 40 mmol L⁻¹ de NaCl) com 4 repetições, totalizando 40 vasos. Cada vaso contendo cinco plantas foi considerado uma parcela experimental e cada parcela uma repetição. Durante a condução do experimento foram

realizas quatro coletas, sendo, em cada, colhida uma planta por vaso, totalizando quatro plantas por tratamento. As coletas iniciaram-se aos 20 dias após a semeadura (DAS) e seguiram-se aos 27, 42 e 57 DAS.

TABELA 1 Volume de solução estoque (mL) necessário para a produção de 1L de solução de cultivo dos tratamentos.

Reagentes	[] ¹	Concentrações de Si (mmol L ⁻¹) com 0 mmol L ⁻¹ de NaCl					Concentrações de Si (mmol L ⁻¹) com 40 mmol L ⁻¹ de NaCl					
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
		KNO ₃	1	5,00	4,26	3,52	2,77	2,03	5,00	4,26	3,52	2,77
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
MgSO ₄ .7H ₂ O	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
KH ₂ PO ₄	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HNO ₃	1	-	0,74	1,48	2,23	3,97	-	0,74	1,48	2,23	3,97	
K ₂ SiO ₃	K	4,5 ²	-	0,165	0,33	0,495	0,66	-	0,165	0,33	0,495	0,66
	Si	6,1 ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaCl	1	-	-	-	-	-	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	
Solução Micro ³	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Fe-EDTA ⁴	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

¹Concentração da Solução Estoque em mol L⁻¹.

²Concentração em mol L⁻¹ de K e Si na solução comercial de metasilicato de potássio -K₂SiO₃ (171 g L⁻¹ de Si; 210 g L⁻¹ de K₂O; pH = 12 e d = 1,4 g cm⁻³).

³ Solução coquetel completa de micronutrientes: será dissolvido separadamente 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,22 g ZnSO₄.7H₂O; 0,08 g CuSO₄.5H₂O e 0,02 g H₂MoO₄.H₂O, e após misturar e completar o volume para 1000 mL.

⁴ Solução Fe-EDTA: (a) Solução A - dissolver 33,3 g de Na₂-EDTA em 500 mL de água destilada a 30°C contendo 100,4 mL de NaOH 1 mol L⁻¹; (b) Solução B - dissolver 24,9 g de FeSO₄.7H₂O em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl 1 mol L⁻¹; misturar as Soluções A e B, completar o volume para 1000 mL com água destilada e colocar sob aeração constante por 12 horas. A solução será acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

As sementes de braquiarião cv. MG05 foram semeadas em bandejas contendo areia lavada umedecida com água destilada. Após a emissão da primeira folha definitiva as plântulas foram transferidas para bandejas com volume de 40 L contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) a 25% da força iônica, na qual permaneceram durante 15 dias para adaptação. Em seguida, as plantas foram escolhidas em função da uniformidade morfológica e transferidas para vaso definitivo de cultivo contendo 10 L de solução nutritiva de Hoagland a 100% da força iônica mais os tratamentos (Tabela 3.1), de forma que cada vaso acondicionou cinco plantas.

Como fonte de Si foi utilizada a solução de silicato de potássio – K_2SiO_3 (171 g L^{-1} de Si; 210 g L^{-1} de K_2O ; $pH = 12$ e $d = 1,4\text{ g cm}^{-3}$). As concentrações de potássio (K) na solução nutritiva foram ajustadas pela redução das doses de KNO_3 e as de nitrogênio pela adição de HNO_3 (Tabela 3.1). No final do preparo da solução nutritiva de cada tratamento o pH foi ajustado para 5,5 com auxílio de solução de H_2SO_4 $0,5\text{ mol L}^{-1}$ e KOH $0,5\text{ mol L}^{-1}$. Quando necessário o nível de solução dos vasos foi completado com adição de água destilada. O pH foi monitorado a cada cinco dias e ajustado, quando necessário, para 5,5 com auxílio de solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} e $NaOH$ 1 mol L^{-1} . A condutividade elétrica da solução de cada vaso, também, foi monitorada a cada cinco dias. Assim que a condutividade caiu à 20% da inicial a solução foi trocada.

Foram realizadas quatro coletas durante toda a fase de condução do experimento de forma a abarcar as fases de início do crescimento, início do perfilhamento, pleno perfilhamento e idade de corte. Nas coletas foram determinados: 1) a fluorescência de clorofila; 2) e teores de clorofila a, b e carotenoides totais.

No dia das coletas foi escolhida, de forma aleatória, uma planta por vaso em que se selecionou a primeira folha completamente expandida do perfilho mais desenvolvido, a qual teve, primeiramente, determinada os parâmetros de fluorescência de clorofila a através do equipamento FluorPen FP100 e estimados conforme Strasser et al (2000). Após, ainda usando a mesma folha, foi retirado um segmento de $169,72\text{ mm}^2$ que foi enrolado em papel alumínio e encaminhado ao Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Laboratórios de Garanhuns da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (LANA/CENLAG/UAG/UFRPE) onde foi realizada a extração e determinação dos teores de clorofila a, clorofila b e carotenoides totais segundo metodologia descrita por Hiscox & Israelstam (1979) e Wellburn (1994), respectivamente.

Os dados experimentais de cada coleta e de cada planta foram submetidos à análise de variância e de regressão em função das concentrações de Si na solução nutritiva e de média (Scott-Knott a 5% de probabilidade) para os tratamentos com e sem estresse pelo NaCl com auxílio do programa SISVAR (Ferreira et al., 2000).

2.3 Resultados

Os teores de clorofila a (ChlA) obtiveram alteração em função dos tratamentos aos 20 e 27 DAS e em função dos tratamentos e de suas interações aos 42 e 57 DAS. Aos 20 e 27 DAS, independente das plantas cultivadas com ou sem NaCl na solução nutritiva, os teores de ChlA reduziram com o aumento das concentrações de Si no meio (Figuras 1 A1 e A2). Aos 41 DAS houve redução dos teores de ChlA somente nas folhas das plantas cultivadas sem estresse (Figura 1 A3) e aos 57 DAS, também houve redução com o incremento das concentrações de Si no meio, porém nas plantas cultivadas com e sem NaCl (Figura 1 A4). Nas coletas aos 20, 27 e 57 DAS os maiores teores de ChlA foram obtidos nas plantas cultivadas sem o estresse pelo NaCl (Figuras 1 A1, A2 e A4). Aos 42 DAS só não houve igualdade dos teores de ChlA nas plantas com e sem NaCl no meio no tratamento sem Si na solução (Figura 1 A3).

Os teores de Clorofila b (ChlB) obteve alteração em função dos tratamentos e da sua interação aos 20, 42 e 57 DAS e somente em função dos tratamentos aos 27 DAS. Os teores de ChlB nas plantas cultivadas sem NaCl no meio apresentaram ajuste de regressão linear e quadrática aos 42 e 57 DAS, respectivamente (Figuras 1 B3 e B4, respectivamente). Aos 57 DAS o menor valor de ChlB ($1,78 \text{ mg g}^{-1}$) foi obtido com $2,16 \text{ mol L}^{-1}$ de Si no meio. Nas plantas cultivadas sob o estresse pelo NaCl foi obtido redução dos teores de ChlB aos 20 DAS (Figura 1 B1) e incremento com ajuste quadrático aos 57 DAS (Figura 1 B4) em função das concentrações de Si, com o maior valor de ChlB ($2,95 \text{ mg g}^{-1}$) obtido com $1,8 \text{ mol L}^{-1}$ de Si no meio. Em relação ao NaCl no meio, só foi obtida

alteração dos teores de ChlB aos 57 DAS com os maiores valores obtidos nas plantas sem NaCl e com 0 e 4 mol L⁻¹ de Si no meio (Figura 1 B4).

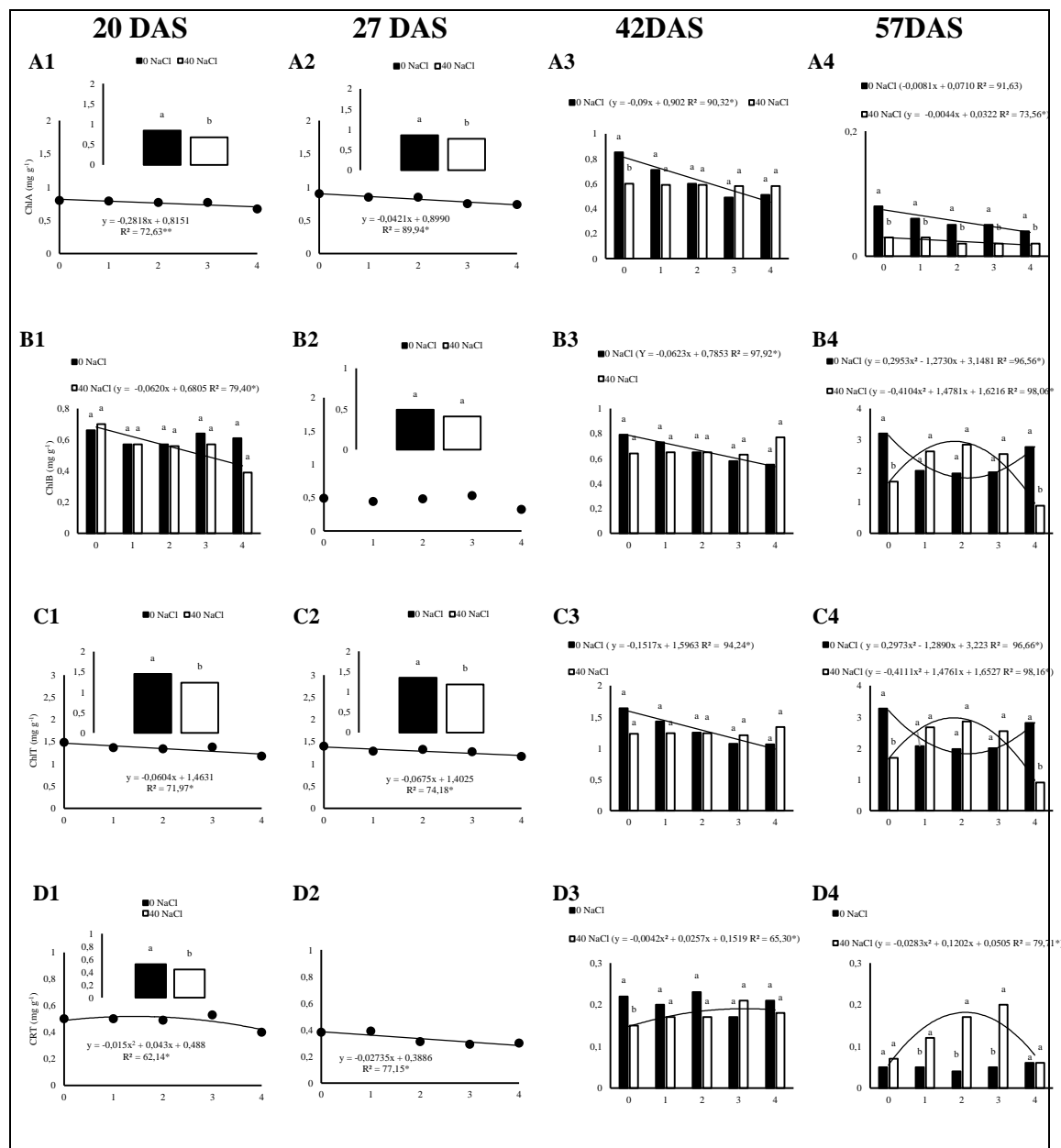


FIGURA 1 Pigmentos fotossintéticos na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Clorofila A (ChlA); B – Clorofila B (ChlB); C – Clorofila total (ChlT) e D – Carotenoides totais (CRT).

Verificou-se alteração dos teores dos Carotenóides totais (CRT) em função dos tratamentos e sua interação aos 42 e 57 DAS, dos tratamentos aos 20 DAS e somente da concentração do Si aos 27 DAS. Independente da presença ou não do NaCl, as

concentrações de Si na solução proporcionaram ajuste quadrático e linear para os teores de CRT aos 20 e 27 DAS, respectivamente (Figuras 1 C1 e C2). Aos 20 DAS o maior valor de CRT ($0,52 \text{ mg g}^{-1}$) foi obtido com $1,4 \text{ mol L}^{-1}$ de Si. Aos 42 e 57 DAS somente para as plantas cultivadas com NaCl no meio houve ajuste de modelo quadrático dos teores dos CRT em função das concentrações de Si no meio com os maiores teores ($0,19$ e $0,18 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente) obtidos com $3,06$ e $2,12 \text{ mol L}^{-1}$ de Si, respectivamente (Figuras 1 C3 e C4). Aos 20 DAS e aos 42 DAS nos tratamentos sem Si, os maiores teores dos CRT foram obtidos nos tratamentos sem NaCl no meio (Figuras 1 C1 e C3). Aos 42 DAS com a aplicação do Si houve aumento significativo nos teores dos CRT nas plantas cultivadas com o NaCl no meio (Figura 1 C3). Aos 57 DAS, as plantas dos tratamentos com as concentrações de 1 , 2 e 3 mol L^{-1} de Si e NaCl no meio obtiveram os maiores teores dos CRT (Figura 1 C4).

Os teores de clorofila total (ChlT) obtiveram comportamento semelhante aos obtidos para a ChlB, com exceção aos 20 DAS que os teores de ChlT não obteve alteração em função da interação dos tratamentos (Figuras 1 D1, D2, D3 e D4). Nesse período (Figura 1 D1), independente se com ou sem estresse pelo NaCl, as concentrações de Si proporcionaram redução dos teores da ChlT e os menores teores obtidos pelos tratamentos com NaCl no meio.

Em geral, o Si reduziu os teores dos pigmentos fotossintéticos, o que pode ser atribuído ao aumento da eficiência fotossintética das plantas em consequência da maior interceptação de luz pela melhor arquitetura das plantas. O estresse pelo NaCl, também, reduziu os teores dos pigmentos fotossintéticos o que pode ser atribuído aos danos provocados ao aparato fotossintético pelo estresse oxidativo de plantas submetidas à estresse abióticos, como a salinidade. Uma das evidências do mecanismo bioquímico do Si na redução dos danos da salinidade é observado aos 57 DAS, onde as plantas sob

estresse aumentaram significativamente os teores dos CRT, pigmentos protetores do aparato fotossintético contra o estresse oxidativo, com a aplicação de 1, 2 e 3 mol L⁻¹ de Si. Todavia, esse mecanismo bioquímico de proteção do aparato fotossintético induzido nas plantas com Si não foi suficiente para a manutenção do crescimento das plantas.

Em consequência da alteração nos teores dos pigmentos fotossintéticos, há alteração na fotoquímica, ou seja, no processo de transformação da energia luminosa em poder redutor para o processo de fixação do carbono. A avaliação da fotoquímica foi realizada com a medida de fluorescência da ChlA. Fluorescência é uma das formas de perda de energia pela não transmissão da energia na forma de ressonância da ChlA para os centros de reação (CR) do fotossistema II (PSII). A fluorescência da clorofila determinada pelo aparelho FLUORPEN FP100® determina os índices de fluorescência da cinética OIJP da curva de Kurtsky, conforme descrito por Strasser et al. (2000). Segundo os mesmos autores os índices de fluorescência de clorofila podem ser divididos em Parâmetros de Fluorescência, Eficiência Quântica e Fluxos Específicos de Energia. O princípio de funcionamento dos fluorômetros baseia-se na redução bioquímica de toda a cadeia transportadora de elétrons nas membranas dos tilacoides para avaliar o processo de transporte de elétrons desde o início. A redução dos componentes da cadeia transportadora de elétrons é feita adaptando a amostra a ser analisada no escuro por 20 minutos. Em seguida, o aparelho emite fótons de comprimento de onda conhecido e verifica a energia perdida na forma de fluorescência no tempo, a partir do tempo zero, o que pode correlacionar com vários processos fotoquímicos.

Os parâmetros de fluorescência são: a intensidade da fluorescência inicial (F_0); a intensidade da fluorescência a dois milissegundos (F_1), tempo necessário para o início da liberação de O₂ pela reação de Müller; a intensidade da fluorescência a 60 milissegundos (F_1), tempo necessário para a transferência de energia para o *pool* de plastoquinonas; a

intensidade da fluorescência máxima (F_M); a fluorescência variável (F_V) ($F_V = F_M - F_0$); a taxa líquida do fechamento dos centros de reação (CR) do fotossistema dois (PSII) quando a re-oxidação da quinona a (Qa) não está bloqueada (M_o) ($M_o = 4 \times (F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$); a área acima da F_0 a F_M , que corresponde à quantidade de aceptores de elétrons (AREA); a medida de energia necessária para fechar todos os CR do PSII (S_M) ($S_M = AREA/(F_M - F_0)$); a medida de energia necessária para reduzir a Qa uma única vez (S_S) e o número de *turn-over*, ou seja, quantas vezes a Qa foi reduzida em relação ao tempo zero (t_0) (N)

$$(N = S_M \times M_o \times (I/V_J)).$$

A fluorescência inicial (F_0) obteve alteração em função dos tratamentos e da interação entre esses aos 57 DAS e em função somente das concentrações do Si aos 42 DAS. A F_0 aos 42 DAS obteve ajuste quadrático inverso em função das concentrações de Si no meio com o menor valor (4.443,74) obtido com 1,83 mol L⁻¹ de Si (Figura 2 A3). Aos 57 DAS a F_0 obteve ajuste quadrático negativo somente nas plantas cultivadas com NaCl no meio, com o menor valor (5.477,71) obtido com 2,19 mol L⁻¹ de Si. As plantas obtiveram os menores valores de F_0 sob estresse com NaCl e nas concentrações 2 e 3 mol L⁻¹ de Si aos 57 DAS (Figura 1 A4).

20 DAS	27 DAS	42 DAS	57 DAS
--------	--------	--------	--------

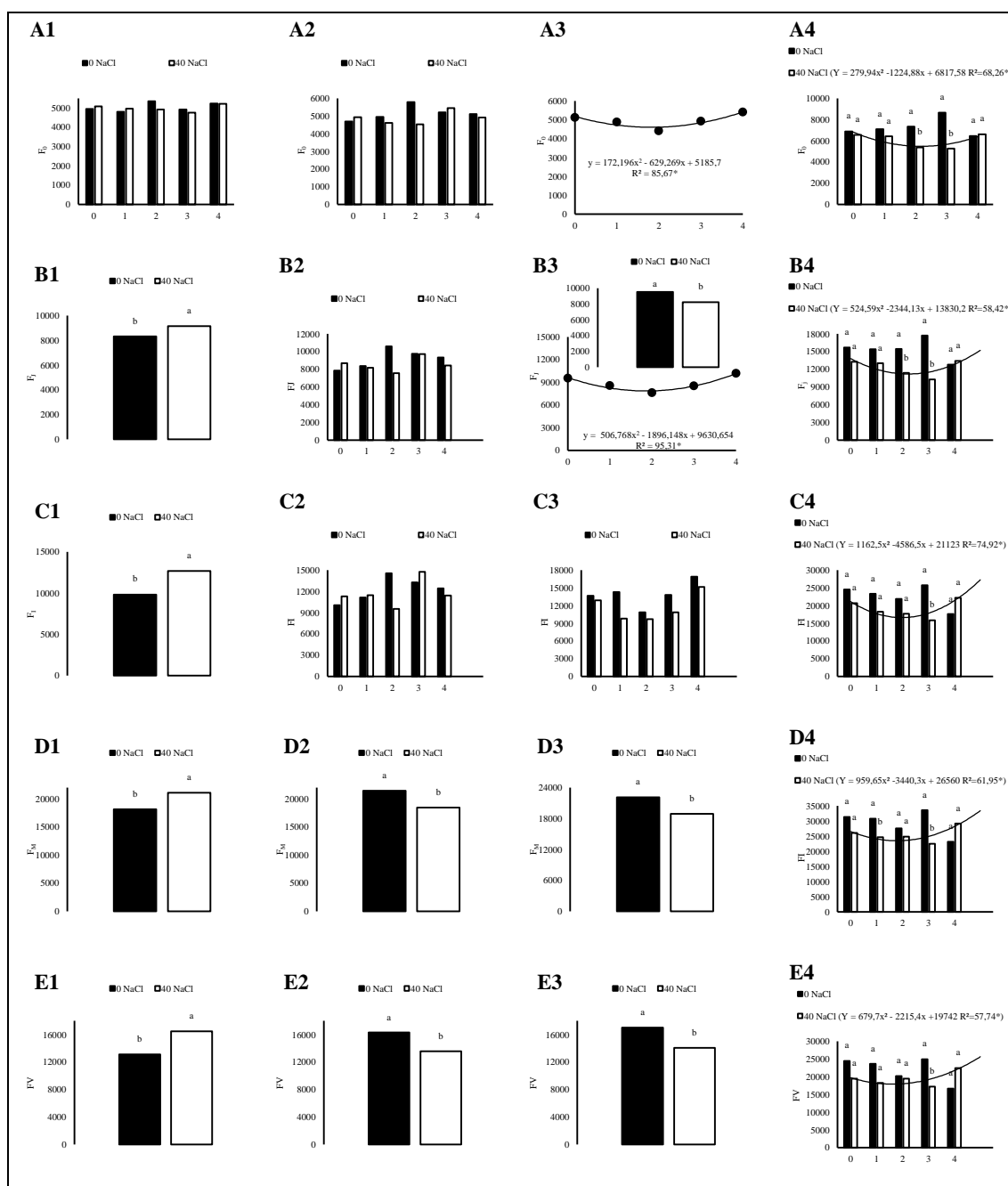


FIGURA 2 Parâmetros de fluorescência da clorofila a na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Fluorescência inicial (F_0); B – Fluorescência a dois milissegundos (F_2); C – Fluorescência a 60 milissegundos (F_{60}); D – Fluorescência máxima (F_m) e E – Fluorescência variável (F_v).

A fluorescência no tempo correspondente ao início da emissão de O_2 pelas reações de Müller (F_j) obteve alteração em função dos tratamentos e de sua interação aos 57 DAS, em função dos tratamentos aos 42 DAS e em função das concentrações de NaCl no meio aos 20 DAS. As concentrações de Si no meio proporcionaram comportamento semelhante

da F_J com a F_0 (Figuras 2 B3 e B4). Aos 42 DAS, independente se com ou sem NaCl no meio o menor valor da F_J (7.856,97) foi obtido com 1,87 mol L⁻¹ de Si (Figura 2 B3). Aos 57 DAS, para as plantas cultivadas com NaCl no meio, o menor valor de F_J (11.211,52) foi obtido com 2,23 mol L⁻¹ de Si na solução (Figura 2 B4). Aos 20 DAS as plantas cultivadas com NaCl no meio obtiveram maior valor de F_J (Figura 2 B1). Já, aos 42 DAS, independente das concentrações de Si, e aos 57 DAS, nas concentrações 2 e 3 mol L⁻¹ de Si, os maiores valores de F_J foram obtidos nas plantas cultivadas sem o estresse.

A fluorescência no tempo correspondente à transferência de energia para o *pool* de plastoquinonas (F_I) obteve alteração em função dos tratamentos e de sua interação aos 57 DAS e em função do NaCl no meio aos 20 DAS. As concentrações de Si no meio proporcionaram ajuste quadrático negativo da F_I somente aos 57 DAS e nas plantas sob estresse (Figura 2 C4), com o menor valor (16.599,14) obtido com 1,97 mol L⁻¹ de Si. Aos 20 DAS o menor valor de F_I foi obtido nas plantas sem estresse pelo NaCl (Figura 2 C1). Aos 57 DAS o menor valor de F_I foi obtido nos tratamentos com NaCl e 3 mol L⁻¹ de Si no meio (Figura 2 C4).

A fluorescência máxima (F_M) obteve alteração em função das concentrações de NaCl no meio aos 20, 27 e 42 DAS e em função dos tratamentos e da sua interação aos 57 DAS. As concentrações de Si no meio proporcionaram ajuste de modelo quadrático negativo da F_M somente nas plantas sob o estresse pelo NaCl (Figura 2 D4) com o menor valor (23.476,73) obtido com 1,8 mol L⁻¹ de Si na solução. Aos 20 DAS as plantas sem estresse pelo NaCl obtiveram maior valor de F_M (Figura 2 D1). Aos 27 e 42 DAS, independente das concentrações de Si, e aos 57 DAS com 3 mol L⁻¹ de Si o maior valor de F_M foi obtida nas plantas sem estresse (Figuras 2 D2, D3 e D4, respectivamente).

A fluorescência variável entre a inicial e a máxima (F_V) obteve resultados semelhantes aos observados para a F_M (Figuras 2 E1, E2, E3 e E4). O menor valor da F_V

(17.936,80) obtido nas plantas sob o estresse pelo NaCl aos 57 DAS foi obtido com 1,63 mol L⁻¹ de Si na solução nutritiva (Figura 2 E4).

A taxa líquida do fechamento dos centros de reação (CR) do fotossistema dois (PSII) quando a re-oxidação da quinona a (Qa) não está bloqueada (Mo), ou seja, a estabilidade do PSII obteve alteração em função das concentrações de Si aos 42 DAS e das concentrações de NaCl aos 57 DAS. As concentrações de Si no meio proporcionaram ajuste quadrático negativo para a variável Mo aos 42 DAS, independente das concentrações de NaCl no meio (Figura 3 A3), com o menor valor (0,49) obtido com 2,36 mol L⁻¹ de Si na solução. Aos 57 DAS o menor valor de Mo foi obtido nas plantas cultivadas sob o estresse com o NaCl no meio (Figura 3 A4).

A área (AREA) acima da curva F₀-F_M, que corresponde à quantidade de aceptores de elétrons obteve alteração somente em função do NaCl na solução nutritiva aos 27 e 42 DAS, com os maiores valores obtidos nas plantas cultivadas sem o estresse (Figuras 3 B2 e B3, respectivamente). Esse valor indica um menor dano mecânico ao aparato fotossintético, em específico ao PSII, em plantas cultivadas sem o estresse salino.

A medida de energia para fechar todos os centros de reação (S_M) foi menor nas plantas cultivadas sem o NaCl no meio aos 20 e 27 DAS (Figuras 3 C1 e C2). Aos 42 DAS não foi obtida diferença. Esse é um indicativo que corrobora com os menores valores de AREA, onde há maior dano mecânico ao PSII nas plantas cultivadas sob o estresse salino.

A medida de energia necessária para reduzir a Qa uma única vez (S_S) obteve alteração em função dos tratamentos e de sua interação aos 20 DAS e em função da concentração de NaCl no meio aos 42 e 57 DAS. Aos 20 DAS as plantas cultivadas sem o NaCl no meio obtiveram redução da variável S_S com as concentrações de Si (Figura 3 D1). As plantas cultivadas com o NaCl no meio a variável S_S obteve ajuste quadrático em

função das concentrações de Si na solução (Figura 3 D1), com o maior valor (0,55) obtido com 2,7 mol L⁻¹ de Si no meio. O número de vezes que a Qa foi reduzida desde o tempo zero (N) foi menor nas plantas com NaCl no meio aos 20 DAS (Figura 3 E1). Esse resultado reforça a afirmativa que as plantas sob estresse pelo NaCl já apresentavam dano ao aparato fotossintético aos 20 DAS.

A Eficiência Quântica (ϕ) obtida pelo aparelho FLUORPEN FP100 são: eficiência quântica do PSII, ou seja, dissipação causada pela utilização da energia para a redução do NADP, também chamada de *queching* fotoquímico (ϕ_{P0}) ($\phi_{P0} = F_V/F_M$); eficiência não quântica (ϕ_{NP0}) que representa a energia dissipada na forma de calor, fluorescência para outros sistemas ($\phi_{NP0} = F_0/F_M$); eficiência quântica no início da emissão de O₂ (2ms) (ϕ_{O2}) ($\phi_{O2} = 1 - (F_J/F_M)$); eficiência quântica no início da transmissão de elétrons pela Qa (60ms) (ϕ_{Qa}) ($\phi_{Qa} = 1 - (F_I/F_M)$); razão entre a ϕ_{P0} : ϕ_{NP0} que é um indicador sensível da máxima eficiência do processo fotoquímico do PSII, ou seja, representa a atividade fotossintética potencial das plantas; eficiência pela qual a energia fixada move-se pela Qa para a cadeia transportadora de elétrons (CTE) (ψ_0) ($\psi_0 = 1 - V_J$) e eficiência que um *photon* absorvido moverá um elétron pela CTE (ϕ_{E0}) ($\phi_{E0} = (1 - F_0/F_M) \times \psi_0$).

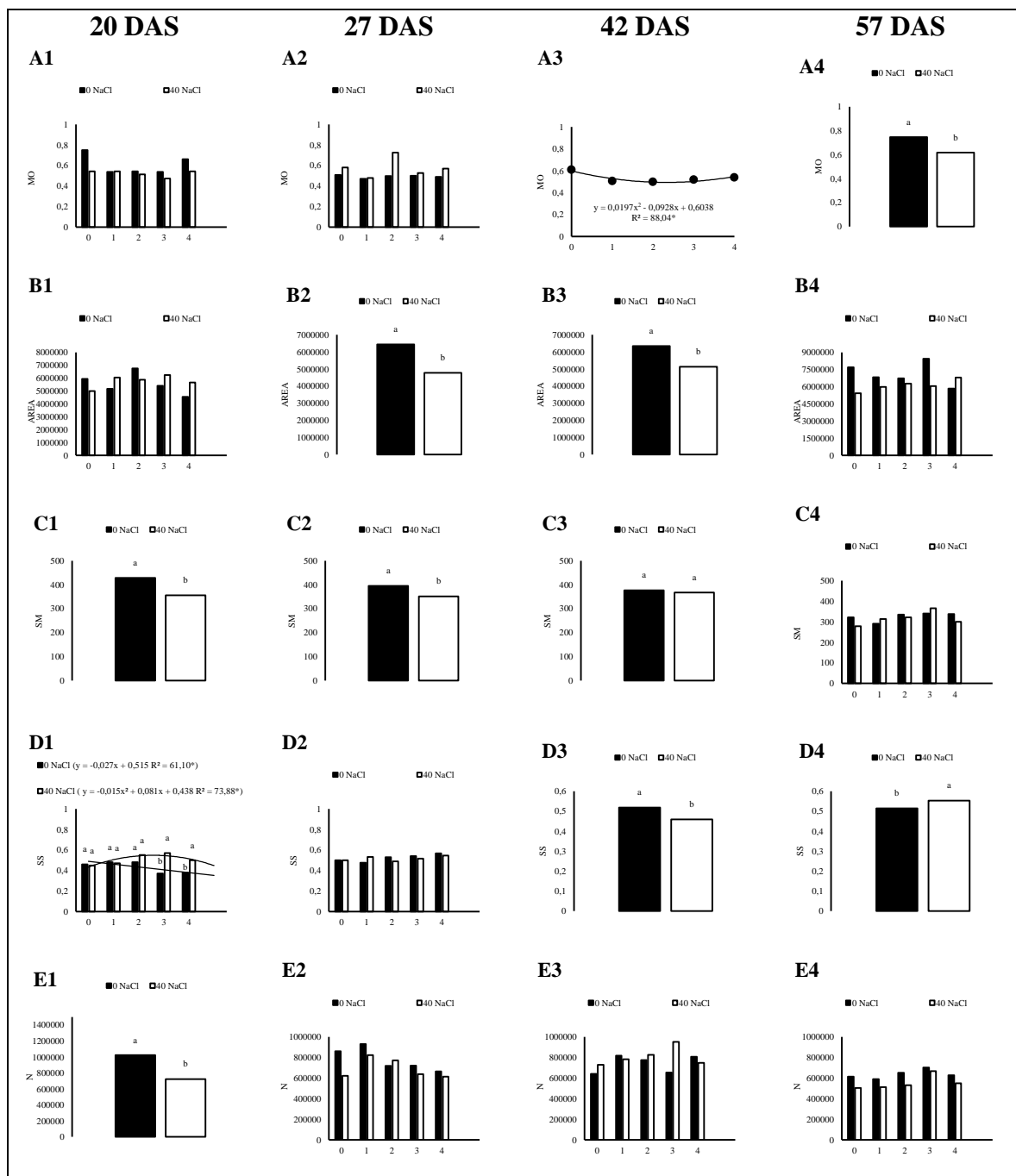


FIGURA 3 Parâmetros de fluorescência da clorofila a estimados na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Taxa líquida do fechamento dos centros de reação (CR) do fotossistema dois (PSII) quando a re-oxidação da quinona a (Qa) não está bloqueada (Mo); B – A área acima da F_0 a F_M , que corresponde à quantidade de aceptores de elétrons (AREA); C – Medida de energia necessária para fechar todos os CR do PSII (S_M); D – A medida de energia necessária para reduzir a Qa uma única vez (S_S) e E – Número de *turn-over*, ou seja, quantas vezes a Qa foi reduzida em relação ao tempo zero (t_0) (N).

A maior eficiência quântica do PSII (ϕ_{P0}) e a máxima eficiência do processo fotoquímico (ϕ_{P0} : ϕ_{NP0}) foram obtidas pelas plantas cultivadas com NaCl no meio aos 20 DAS e pelas plantas cultivadas sem NaCl aos 42 DAS (Figuras 4 A1, A3, E1 e E3). Resultado inverso é obtido para a eficiência não quântica do PSII (ϕ_{NP0}) (Figuras 4 B1 e B3). A eficiência quântica no início da emissão de O₂ (ϕ_{O2}) aos 27 DAS e a eficiência quântica no início do transporte de elétrons para a Qa (ϕ_{Qa}) aos 20 e 27 DAS foi maior nas plantas cultivadas sem o NaCl na solução (Figuras 4 C2, D1 e D2, respectivamente). A eficiência pela qual a energia fixada move-se pela Qa para a cadeia transportadora de elétrons (CTE) (ψ_0) obteve alteração em função dos tratamentos e da sua interação aos 20 DAS, em função dos tratamentos aos 27 DAS e em função das concentrações de NaCl na solução nutritiva aos 57 DAS. Nas plantas cultivadas sem NaCl no meio as concentrações de Si proporcionaram ajuste de modelo quadrático para ψ_0 (Figura 5 A1) com o maior valor (0,78) obtido com 2,86 mol L⁻¹ de Si. Aos 27 DAS o maior valor de ψ_0 foi obtido em plantas cultivadas sem NaCl no meio (Figura 5 A2) e aos 57 DAS em plantas cultivadas sob o estresse (Figura 5 A4). A eficiência que um *photon* absorvido moverá um elétron pela CTE (ϕ_{E0}) obteve alteração somente em função da concentração de NaCl no meio aos 27 DAS com o maior valor obtido nas plantas sem o estresse salino (Figura 5 B2).

Os Fluxos Específicos de Energia são: fluxo de *photons* absorvidos pelos pigmentos (ABS) ($ABS = M_0 \times (1/V_J) \times (1/\phi_{P0})$); fluxo de *photons* dissipados na forma de calor, de fluorescência ou para outros sistemas (DI) ($DI = ABS - TR_0$); fluxo de energia preso no centro de reação do PSII para o processo fotoquímico, ou seja, a taxa que um (1) *photon* fixado reduz a Qa ($TR_0 = M_0 \times (1/V_J)$) e o fluxo de energia correspondente ao transporte além da Qa ($ET_0 = M_0 \times (1/V_J) \times \psi_0$).

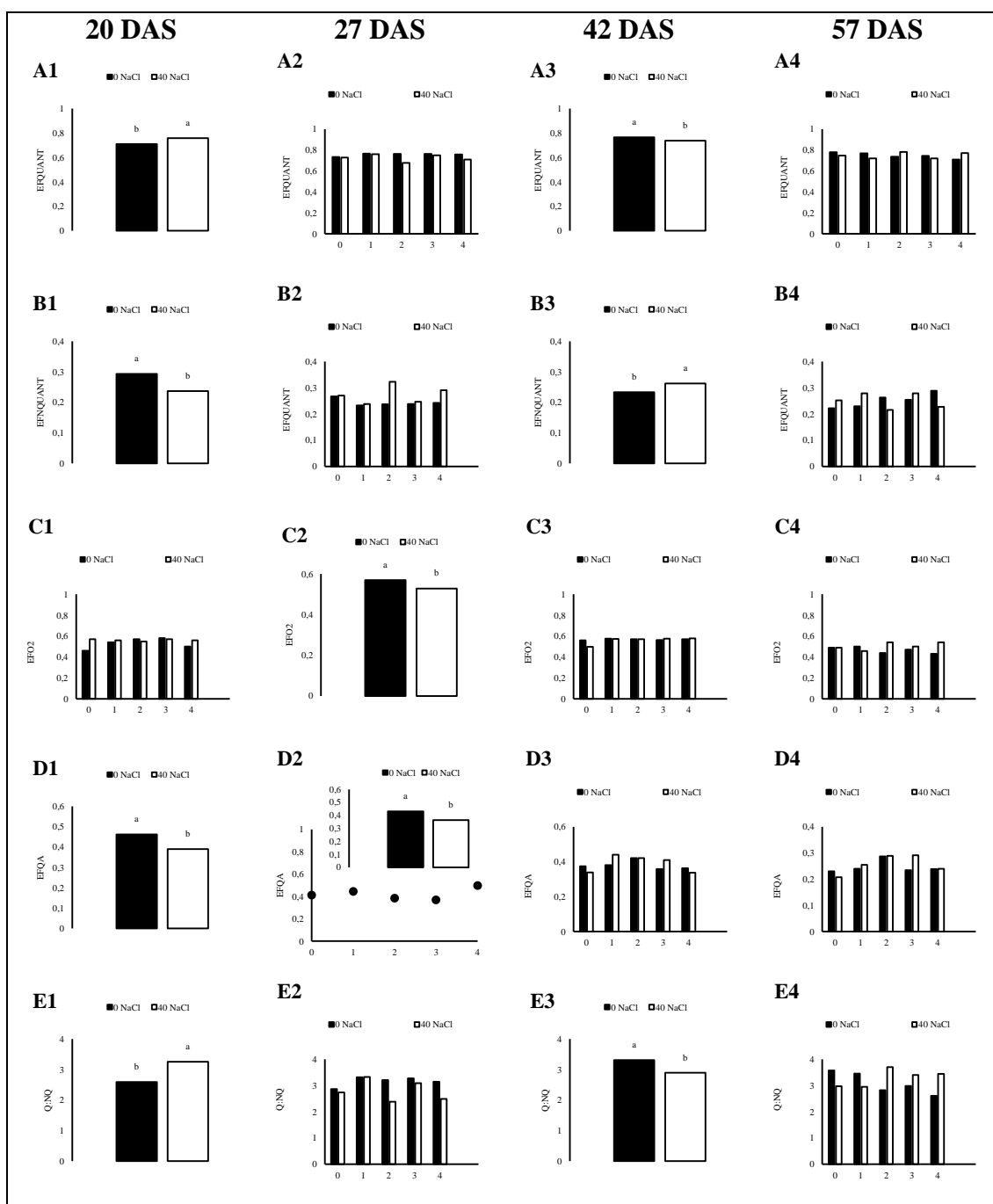


FIGURA 4 Eficiência quântica do PSII na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Eficiência quântica do PSII ou *queching* fotoquímico (ϕ_{P0}); B – Eficiência não quântica ou *queching* não fotoquímico (ϕ_{NP0}); C – Eficiência quântica no início da emissão de O_2 (2ms) (ϕ_{O2}); D – Eficiência quântica no início da transmissão de elétrons pela Qa (60ms) (ϕ_{Qa}); E – Razão entre ϕ_{P0} : ϕ_{NP0} .

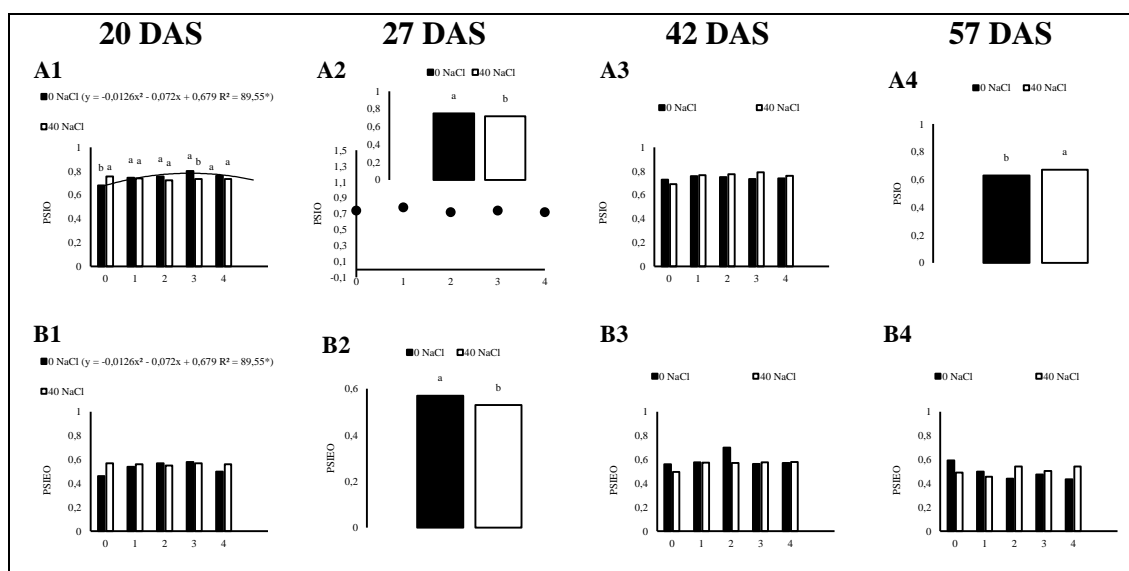


FIGURA 5 Eficiência quântica do PSII na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Eficiência pela qual a energia fixada move-se pela Qa para a cadeia transportadora de elétrons (CTE) (ψ_0) e B – Eficiência que um *photon* absorvido moverá um elétron pela CTE (ϕ_{E0}).

O ABS e a DI obtiveram alteração em função das concentrações de NaCl no meio aos 20 e 42 DAS. Os maiores valores de ABS e DI foram obtidos nas plantas cultivadas sem o NaCl no meio aos 20 DAS (Figuras 6 A1 e C1, respectivamente) e com o NaCl no meio aos 42 DAS (Figura 6 A3 e C3, respectivamente). A TR_0 , também, obteve alteração somente em função da concentração de NaCl no meio aos 20, 42 e 57 DAS. Aos 20 DAS o maior valor foi obtido pelas plantas cultivadas sem NaCl no meio (Figura 6 B1) e aos 42 DAS pelas plantas cultivadas com o NaCl no meio (Figura 6 B3). Aos 57 DAS não foi obtida diferença entre os tratamentos (Figura 6 B4). O ET_0 obteve alteração em função dos tratamentos e de sua interação aos 20 DAS e em função da concentração de NaCl na solução aos 42 DAS. As plantas cultivadas sem o NaCl na solução obtiveram incremento do ET_0 com as concentrações de Si aos 20 DAS (Figura 6 D1). No mesmo período, as plantas cultivadas com o NaCl no meio obtiveram ajuste quadrático inverso para ET_0 com as concentrações de Si (Figura 6 D1) com o menor valor (1,35) obtido com 2,43 mol L⁻¹ de Si. Com o incremento dos valores de ET_0 nas plantas sem estresse pelo NaCl os

tratamentos com 3 e 4 mol L⁻¹ de Si obtiveram maiores valores em relação às plantas cultivadas com o NaCl no meio aos 20 DAS (Figura 6 D1). Aos 42 DAS o maior valor de ET₀ foi obtido pelas plantas cultivadas com o NaCl na solução (Figura 6 D3).

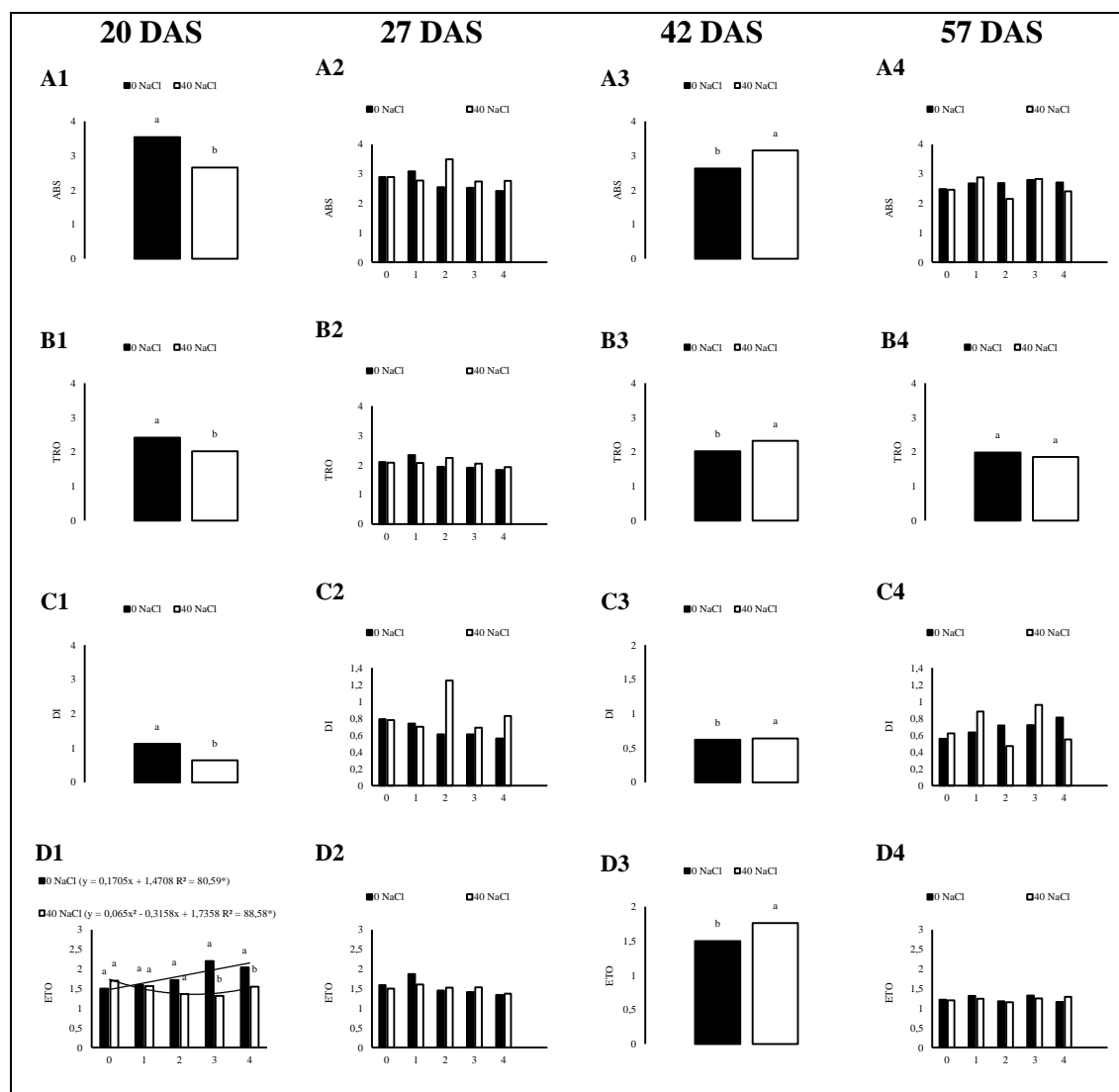


FIGURA 6 Fluxo específico de energia do PSII na 1ª folha completamente expandida do braquiarião cv. MG05 (*Brachiaria brizantha*) aos 20, 27, 42 e 57 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva. Garanhuns/PE, 2013. A – Fluxo de *photons* absorvidos pelos pigmentos (ABS); B – Fluxo de energia preso no centro de reação do PSII para o processo fotoquímico (TR₀); C – Fluxo de *photons* dissipados na forma de calor, de fluorescência ou para outros sistemas (DI) e D – Fluxo de energia correspondente ao transporte além da Qa (ET₀).

2.4 Discussão

Em geral, houve redução dos teores de ChlA com o aumento das concentrações de Si em todas as coletas (Figuras 1 A1, A2, A3 e A4). Os teores de ChlB, quando não alterados, também, obtiveram redução com o aumento das concentrações de Si, com exceção das plantas cultivadas com NaCl no meio aos 57 DAS (Figuras 1 B1, B2, B3 e B4). Um dos principais efeitos do Si nas plantas é a melhoria da arquitetura das plantas, como relatado por Zanão Júnior et al. (2010) para a cultura do arroz, Benedetti et al. (2007) para a cultura da cenoura e Rodrigues et al. (2007) para a cultura da batata. Com a melhoria da arquitetura, há aumento de interceptação de luz pelas folhas das plantas e consequentemente aumento da eficiência fotossintética e redução dos teores de ChlA e ChlB. No presente trabalho foi observado aumento da eficiência fotossintética, como observado pelos aumentos dos valores da taxa assimilatória líquida (TAL) das plantas com e sem NaCl no meio até 2,5 e 4 mol L⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 3 C2, Capítulo 1). Já aos 20 DAS, com o aumento das concentrações de Si no meio, nas plantas sem estresse pelo NaCl, foi obtida a redução na quantidade de energia necessária para reduzir a Qa uma única vez com o aumento (S_s) (Figura 3 D1) evidenciando, assim essa melhora na transmissão de energia dos complexos antena até o CR. Resultado esse que pode ser atribuído à melhoria da arquitetura das plantas.

As plantas cultivadas com NaCl no meio, também, apresentaram redução dos teores de ChlA. Os teores de ChlB só apresentaram alteração em função do NaCl no meio aos 57 DAS. Os maiores teores dos CRT foram obtidos nas plantas com o estresse pelo NaCl e com a aplicação das concentrações de 1, 2 e 3 mol L⁻¹ de Si. O NaCl somente afetou a F₀ com a aplicação de 2 e 3 mol L⁻¹ de Si (Figura 2 A4). Essa redução da F₀ das plantas sob estresse e com a aplicação do Si pode ser um indicativo de que há um

mecanismo que reduz os efeitos deletérios. Mecanismos esse que pode estar correlacionado direto e, ou, indiretamente com o aumento da concentração de pigmentos acessórios, como os carotenoides (Figura 1 D4).

A influência do Si na alteração dos teores dos pigmentos fotossintéticos nas plantas cultivadas como estresse pelo NaCl foi obtido com maior amplitude para a ChlB e CRT aos 57 DAS. Em geral, nos períodos de avaliação anteriores o Si não alterou o comportamento dos teores dos pigmentos fotossintéticos em função do estresse. Aos 57 DAS, os efeitos deletérios sobre o crescimento das plantas (Figuras 1, 2 e 3, Capítulo 1) não foram minimizados pelo Si. Assim, pode-se afirmar que a não alteração dos teores dos pigmentos fotossintéticos até 42 DAS em função do estresse pode ter sido um indicativo de que o Si manteve a estrutura fotossintética ativa das plantas, como observados por diversos autores (Liang et al., 2003; Al-aghabary et al., 2004; Zhu et al., 2004; Moussa, 2006; Hamayun et al., 2010; Parveen & Ashraf, 2010). Os CRT são pigmentos acessórios e a principal função biológica desses e a proteção do aparato fotossintético contra danos oxidativos em condições de estresses bióticos e abióticos (Buchanan, 2001; Taiz & Zeiger, 2004). Assim, o aumento significativo dos teores dos CRT com a aplicação do Si aos 57 DAS pode ser devido ao mecanismo de proteção bioquímica do aparato fotossintético da planta. Todavia, esse mecanismo não foi suficiente para a manutenção da produção das plantas, que nesse período obteve redução significativa do crescimento (Figuras 1 A4, B4 e C4 e Figura 2 A4, Capítulo 1).

A maior concentração de carotenoides nas plantas sob estresse salino aos 57 DAS pode ter proporcionado os menores valores de F_0 , F_J , F_I e F_M , ou seja, os menores valores de F_0 , F_J , F_I e F_M aos 57 DAS é consequência do aumento da concentração dos carotenoides. Então, pode-se afirmar que aos 57 DAS há uma maior eficiência na absorção e transmissão da energia luminosa nas plantas sob estresse em consequência da

maior concentração dos pigmentos protetores como os carotenoides. Entretanto, essa maior eficiência não foi suficiente para aumentar a produção das plantas (Figuras 1 A4, B4 e C4, Capítulo 1) pois, as plantas sob estresse salino já apresentavam danos no CR do PSII, como observado pelos menores valores de Mo (Figura 2 F4). Assim, e pode-se concluir que essa maior eficiência do PSII é consequência da proteção do aparato fotossintético nas plantas sob estresse. Proteção essa que pode ser atribuída ao aumento dos CRT nas plantas com estresse e com 2 e 3 mol L⁻¹ de Si no meio.

Aos 20 DAS não foi observado efeito do Si sobre a fotoquímica das plantas. Todavia, o NaCl no meio já proporcionou redução dos pigmentos fotossintéticos como ChlA (Figura 1 A1) e CRT (Figura 1 D1). Quando esse efeito foi prolongado, 42 e 57 DAS, observa-se que nas plantas com 2 e 3 mol L⁻¹ de Si foi obtido aumento da concentração dos CRT e redução da fluorescência.

2.5 Conclusões

Houve proteção do aparato fotossintético em função das doses de Si. De maneira geral, os teores de ChlA e ChlB reduziram com o aumento das doses de Si em função da melhoria da arquitetura da planta e consequente aumento da interceptação luminosa. O efeito do Si sobre os conteúdos dos pigmentos fotossintéticos, nas plantas sob efeito de estresse salino, foi mais expressivo aos 57 DAS com maior amplitude para a ChlB e CRT.

2.6 Bibliografia Citada

- ABDESHAHIAN, M.; NABIPOUR, M.; MESKARBASHEE, M. Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat (*Triticum aestivum*) plants. World Academy of Science, Engineering and Technology, v.71, p.569-571, 2010.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal of Plant Nutrition, v.27, p.2101-2115, 2004.
- AZAIZEH, H.; STEUDLE, E. Effects of salinity on water transport of excised maize (*Zea mays* L.) roots. Plant Physiology, v.97, p.1136-1145, 1991.
- BENEDETTI, T. C.; RODRIGUES, T.M.; RODRIGUES, C.R. ; SOUZA, J.V.; FIGUEIREDO, F.C. Aplicação de fosfito e silicato de potássio via foliar em plantas de cenoura: arquitetura de planta e crescimento de raiz. In: IV Simpósio Brasileiro Sobre Silício Na Agricultura, 2007, Botucatu. IV Simpósio Brasileiro Sobre Silício Na Agricultura: RESUMOS. Botucatu: FEPAF, 2007. p. 231-234.
- BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. Biochemistry & Molecular biology of Plants. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiology. 1367p. 2000.
- ESTEVEVES, B.S.; SUZUKI, M.S. Efeito da salinidade sobre as plantas. Oecologia Brasiliensis, v.12, n.4, p.662-679, 2008.
- FENG, J.; SHI, Q.; WAG, X. Effects os exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in chloroplast of cucumber seedlings under excess manganese. Agricultural Sciences in China, v.8, p.40-50, 2009.
- FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para o Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Anais. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- HAMAYUN, M.; SOHN, E.; KHAN, S.A.; SHINWARI, Z.K.; KHAN, A.L.; LEE, I. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress of growth and endogenous plant growth hormones of soybean. Pakistan Journal of Botany, v.42, p.1713-1722, 2010.
- HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany, v. 57, p.1332-1334, 1979.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method of growing plants without soil. University of California, Berkeley, 32 p., 1950.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LIANG, Y.C. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant and Soil, v.29, p.217-224, 1999.
- LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H.; DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in rrots salt-setressed barley (*Hordeun vulgare* L.). Journal of Plant Physiology, v.160, p.1157-1164, 2003.

- MARCONDES, J.; GARCIA, A.B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). Arquivo do Instituto Biológico de São Paulo, v.76, n.2, p.187-194, 2009.
- MOUSSA, H.R. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture & Biology, v.8, 293-297, 2006.
- PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pakistan Journal of Botany, v.42, p.1675-1684, 2010.
- PIMENTEL, C. Relações Hídricas em dois Híbridos de Milho sob Dois Ciclos de Deficiência Hídrica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, n.11, p. 2021-2027, 1999.
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A.C.S.; ROY-MACAULEY, H. Tolerância Protoplasmática Foliar à Seca, em Dois Genótipos de Caupi Cultivadas em Campo. Revista Universidade Rural. Série Ciências da vida, v. 22, n. 1, p. 7-14, 2002.
- RODRIGUES, C.R.; CARVALHO JUNIOR, P.C.; LUZ, J.M.Q.; JULIATTI, F.C.; SOUSA, V.B.F. de; SOUZA, J.V. Aplicação de silicato de potássio via foliar em plantas de batata: teor foliar de silício e arquitetura de plantas. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Porto Alegre - RS: UFRGS, 2007.
- STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic sample. Taylor and Francis: UK. 2000. p.445-483.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: ARTMED. 719p. 2004.
- WEELBURN, A.R. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology, v.144, p.307-313, 1994.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L.IMA ; KORNDÖRFER, G.H.; ÁVILA, V.T. Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 34, p.1629-1639, 2010.
- ZHANI, K.; MARIEM, B.F.; FARDAOUS, M.; CHERIF, H. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and Fluorescence of tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* l.). Journal of stress physiology & biochemistry, v.8, n.4, P. 236-252, 2012.
- ZHU, Z.J.; WEI, G.Q.; LI, J.; QIAN, Q.Q.; YU, J.Q. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science, v.167, p.527-533, 2004.