

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

THAÍS ABADIA BARBOSA RODRIGUES ALVES

**FORMAS DE NITROGÊNIO, CLOROFILA E CRESCIMENTO DE CULTIVARES
DE BRAQUIARÃO CULTIVADAS COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM SILÍCIO**

**Uberlândia – MG
Novembro - 2008**

THAÍS ABADIA BARBOSA RODRIGUES ALVES

**FORMAS DE NITROGÊNIO, CLOROFILA E CRESCIMENTO DE CULTIVARES
DE BRAQUIARÃO CULTIVADAS COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM SILÍCIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Lísias Coelho

**Uberlândia – MG
Novembro - 2008**

THAÍS ABADIA BARBOSA RODRIGUES ALVES

**FORMAS DE NITROGÊNIO, CLOROFILA E CRESCIMENTO DE CULTIVARES
DE BRAQUIARÃO CULTIVADAS COM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM SILÍCIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 26 de novembro de 2008

Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Co-orientador

Eng. Agr. Ana Paula dos Santos
Membro da Banca

Prof. Dr. Lísias Coelho
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo seu infinito amor, aos meus pais Maria Regina e João Batista pela força e aconchego, ao meu irmão Ralph pelo apoio e companheirismo, ao meu namorado Hugo pela paciência e carinho, as minhas prima Nayara, Renata e Rejane pela amizade, as minhas amigas Ester, Danielli e Daniele pelo auxílio, aos meus avós, padrinhos e professores pela experiência e a todos que de alguma forma contribuíram com a minha conquista. Muito obrigada!

RESUMO

Poucas são as informações com relação ao uso de silício em solução nutritiva em cultivares de Braquiarião, mesmo sendo as gramíneas do gênero *Brachiaria* sp. as grandes representantes das pastagens cultivadas no Brasil. O trabalho objetivou avaliar o efeito de concentrações de silício na solução nutritiva sobre teores de clorofila, formas de nitrogênio e crescimento do braquiarião, cultivares MG-05 e Marandu. O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), utilizando sementes de *Brachiaria brizantha* das cultivares Marandu e MG05, solução nutritiva de Hoagland e produto comercial (12,2% de Silício solúvel e 15% de K₂O) como fonte de silício. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3 sendo quatro concentrações de Silício na solução nutritiva (0, 25, 50 e 100 mg L⁻¹ de Si) e três épocas de cultivo (15, 30 e 60 dias após o transplante), com quatro repetições cada. Cada repetição foi considerada uma parcela, sendo cada parcela representada por um vaso com quatro mudas. Foi avaliado o efeito de doses de silício na solução nutritiva sobre crescimento, teor e acúmulo de silício, formas de nitrogênio e clorofila nas cultivares Marandu e MG05. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e regressão, com o auxílio do programa SISVAR. Com os resultados obtidos verificou-se que a cv. MG05 apresentou níveis maiores de silício que a cv. Marandu, e melhor aproveitamento do nitrogênio como consequência, diminuição no teor de clorofila na planta.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*, nitrato, amônio.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Braquiário (<i>Brachiaria brizantha</i>).....	8
2.1.1 Cultivar Marandu.....	8
2.1.2 Cultivar MG05 (cv. Xaraés).....	9
2.2 Silício na Agricultura.....	9
2.3 Silício no Solo.....	9
2.4 Silício na Planta.....	11
2.4.1 Essencialidade, absorção, transporte e redistribuição.....	11
2.4.2 Efeitos Benéficos do Silício.....	12
2.4.3 Alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas adubadas com Silício.....	12
2.5 Importância do nitrogênio para a planta.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

As gramíneas do gênero *Brachiaria* representam grande parte das pastagens cultivadas no Brasil, principalmente por terem se adaptado bem às condições edafoclimáticas locais e apresentarem boa tolerância ao pastejo (SANTOS et al., 1995).

O manejo adequado da adubação das pastagens de gramíneas tropicais, como as do gênero *Brachiaria*, é requisito fundamental para manter sua sustentabilidade, de forma que estas possam manter altas produtividades e constituir alimento de qualidade para o rebanho bovino (PRIMAVESI et al., 2006).

Uma das razões da resistência do capim braquiária em solos sob vegetação de cerrado pode ser sua capacidade de absorver e acumular Si na epiderme das folhas, atenuando os efeitos tóxicos do alumínio, manganês, ferro e aumentando a disponibilidade de fósforo, como ocorre em outras gramíneas (poáceas). Esse acúmulo de sílica na folha provoca redução na transpiração e faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor, fato que pode ser de extrema importância para as gramíneas que crescem em solos onde o período de estiagem é longo e severo. Além disso, o silício acumulado na folha permite que esta fique mais ereta e com isso aumente a área de exposição à luz solar (CRUCIOL et al., 2006). Como consequência, outros efeitos benéficos do Si têm sido observados em várias gramíneas que o acumulam, especialmente quando estas plantas estão submetidas a estresse, bióticos ou abióticos, refletindo-se em aumentos de produtividade, na redução da queda de folhas, resistência a pragas e doenças (EPSTEIN, 1999). O aumento de produtividade com adubação silicatada já foi constatado em culturas de outras gramíneas, como arroz e cana de açúcar (KORNDÖRFER et al., 2004).

Plantas com níveis mais elevados de silício tendem a conter mais nitrogênio em seus tecidos. Como o silício aumenta a produção de fotoassimilados, devido ao incremento na taxa fotossintética, há um aumento de substrato para a incorporação do nitrogênio nos esqueletos carbônicos.

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN & LEA, 1976; HARPER, 1994). Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente, além de proporcionar aumento na produção de matéria-seca e no teor de proteína, a partir da produção de carboidratos. Sua carência provoca o aparecimento de uma clorose generalizada das folhas,

iniciando-se pelas folhas mais velhas, o que está relacionado com a participação do N na estrutura da molécula de clorofila.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de concentrações de silício em solução nutritiva sobre formas de nitrogênio, teores de clorofila e crescimento do braquiarião, cultivares MG05 e Marandu.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Braquiarião (*Brachiaria brizantha*)

As braquiárias são plantas que se adaptam às diversas condições de solo e clima, existindo grande número de espécies adaptadas a solos de baixa a média fertilidade (SANTOS et al., 1995) e ao clima brasileiro (ZAMBOLIM et al., 2004).

Diante disso, é o capim mais plantado no Brasil, ocupando cada vez mais espaço na região de cerrados, com vantagens sobre outras espécies, devido a sua capacidade de proporcionar produções satisfatórias de forragem nestas condições (ZAMBOLIM et al., 2004). A maior área plantada com braquiárias no Brasil está na região centro-oeste do país, sendo esta região sujeita a grandes variações estacionais de temperatura e umidade (PEIXOTO et al., 2001).

2.1.1 Cultivar Marandu

A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu é conhecida como braquiarião ou brizantão, seu porte é muito variável, bem como sua pubescência e rendimento. Desenvolve-se na maioria dos solos, inclusive nos ácidos, não tolera o fogo, é moderadamente tolerante à seca, desenvolve-se bem em solos não úmidos, é tolerante ao frio, resistente ao ataque de cigarrinhas, tem bom valor forrageiro e alta produção de massa (VILELA, 2007).

A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu tem tido grande representatividade nas pastagens cultivadas no Brasil, estando relacionada principalmente a sua boa resistência à cigarrinha das pastagens (PEIXOTO et al., 2001). Segundo Pires (2006), esta espécie já foi mais resistente às cigarrinhas das pastagens, apresentando atualmente, maior sensibilidade. Segundo Pupo (2002), a braquiária brizanta cresce com relativa rapidez, proporcionando uma produção de dez toneladas de matéria seca por hectare/ano de uma forragem de boa qualidade, cuja análise bromatológica apresentou 6,29% de proteína bruta e 27,8% de fibra bruta na matéria seca. Segundo Peixoto et al. (2001), esta espécie pode conter até 10% de proteína bruta e apresenta boa resposta à adubação.

2.1.2 Cultivar MG05 (cv. Xaraés)

O lançamento de novos cultivares de gramíneas forrageiras resulta da demanda crescente pela busca por plantas mais competitivas, menos exigentes em fertilidade do solo, com menor sazonalidade de produção e maior resistência a pragas e doenças, entre outros. Em atendimento à essa demanda, o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA) lançou a cultivar de *Brachiaria brizantha* denominado Xaraés. Segundo Valle et al. (2003), o cultivar Xaraés foi liberado com o objetivo de promover a diversificação de espécies forrageiras nas pastagens do gênero *Brachiaria*, oferecendo opção alternativa de qualidade à *B. brizantha* cv. Marandu, desencorajando, assim, o monocultivo pecuário predominante no Brasil Central.

A cultivar Xaraés é indicado para solos de média fertilidade, bem drenado e de textura média (VALLE et al., 2003). Essa forrageira é uma planta cespitosa que pode enraizar nos nós basais e apresenta altura média de 1,5 m. Em ensaios em canteiros, apresentou elevada produção de forragem, chegando a 21 t há⁻¹ de matéria seca com 30% desse rendimento no período seco (VALLE et al., 2001). É uma forrageira de estabelecimento rápido e com rebrotação superior à da cultivar Marandu. O florescimento é tardio e concentrado em maio/junho e a produtividade de sementes puras chega a 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (VALLE et al., 2003)

2.2 Silício na Agricultura

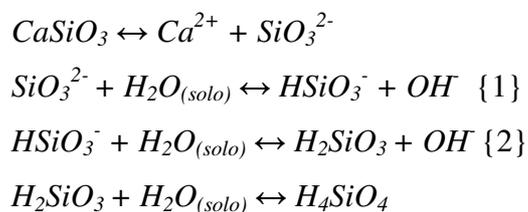
Inicialmente, os estudos com silício eram voltados mais para gramíneas, por estas serem acumuladoras do elemento e desenvolverem uma barreira física, impedindo a penetração de patógenos. No entanto, novas teorias sobre indução de resistência levaram alguns pesquisadores a estudar o silício em não acumuladoras como as dicotiledôneas. Nessas plantas, o silício pode agir como elemento capaz de induzir mecanismos de defesa da própria planta pela ativação de várias estratégias de defesa, incluindo síntese de compostos fenólicos, lignina, suberina e calose na parede celular das plantas (POZZA et al., 2004).

2.3 Silício no Solo

Várias classes de solos da região central do Brasil (áreas de cerrado) são pobres em Si solúveis (disponível para as plantas) nos horizontes superiores (RAIJ; CAMARGO, 1973). Nestas condições pode se esperar resposta para aplicação de Si na forma de fertilizantes principalmente quando aplicado em plantas acumuladoras de Si, como é o caso da maioria das gramíneas.

Assim como nos carbonatos, a reatividade de uma fonte de silício varia de acordo com sua granulometria, a dosagem utilizada, o tipo de solo e o tempo de contato com o solo. Porém, em comparação aos carbonatos, o poder corretivo das fontes de silício pode ser superior em função da característica de suas partículas, que apresentam maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade (NOLLA, 2004).

Dentre as principais fontes de silício se destacam as escórias de siderurgia, tendo como principais componentes os silicatos de cálcio (CaSiO_3) e de magnésio (MgSiO_3) sendo estes, os responsáveis pela correção da acidez do solo. Basicamente o mecanismo de correção da acidez pelos silicatos presentes nas escórias pode ser explicado pelas seguintes reações descritas por Alcarde e Rodella (2003):



As equações demonstram que a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH^-) que no solo reagem neutralizando os prótons (H^+), promovendo a elevação do pH, e ainda reagem com o Al^{3+} presente no solo formando o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$, que corresponde a uma forma precipitada e não tóxica aos vegetais.

Como descrito anteriormente, o mecanismo de correção da acidez do solo pelo uso dos silicatos, resulta na produção do ácido monossilícico (H_4SiO_4), que corresponde à forma química pela qual a planta absorve o silício, micronutriente benéfico às plantas (BRASIL, 2004). Assim sendo a presença do Si na composição dos corretivos do solo pode ser considerado como uma vantagem deste material em relação aos carbonatos.

Em seu mecanismo de correção da acidez do solo, os silicatos, diferentemente dos carbonatos, não liberam para a atmosfera moléculas de CO_2 , que contribuem para o aumento do efeito estufa e de seus conseqüentes danos ao meio ambiente (NOLLA, 2004).

Segundo Korndörfer et al. (2004), uma fonte de silício, pode ser recomendada para uso agrícola caso tenha altos teores de Si solúvel, CaO e MgO, alta reatividade (poder real de neutralização), boas propriedades físicas (granulometria fina, alta densidade, etc.), efeito residual prolongado, baixo custo e tenha em sua composição baixos teores de contaminantes (metais pesados e radioativos).

2.4 Silício na Planta

2.4.1 Essencialidade, transporte e redistribuição

O Si não é considerado elemento essencial às plantas (JONES; HANDRECK, 1967; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; MENGEL; KIRKBY, 2001), porque não atende os critérios diretos e indiretos de essencialidade. De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é considerado essencial quando na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida; não pode ser substituído por nenhum outro elemento; tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce nenhum papel neutralizador de efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para a planta (MALAVOLTA, 1980).

As plantas são classificadas como acumuladoras de Si quando seus teores de SiO_2 variam de 1 a 3% na matéria seca e não acumuladoras plantas com menos de 0,5% de SiO_2 (MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRKBY, 2001). Posteriormente outros efeitos foram anexados, sendo definidas como acumuladoras as plantas com teor de Si superior a 1% e com relação Si/Ca maior que 1. Plantas da família Poaceae, como arroz e trigo, são exemplos deste grupo. Plantas como a soja e as da família Curcubitaceae, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém com relação Si/Ca inferior a 1, são classificadas como de exigência intermediária. Já, plantas não acumuladoras apresentam como característica concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5% (MA et al., 2001).

O transporte do Si a longa distância em plantas é limitado ao xilema (BALASTRA et al., 1989). O Si é depositado principalmente na forma de $\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$ amorfa ou opala.

Segundo Yoshida (1975), no interior da planta 99% do Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado e o restante encontra-se na forma coloidal ou iônica. A precipitação do Si na planta pode ocorrer tanto na parte aérea, como nas raízes (SANGSTER; PARRY, 1976; SANGSTER, 1978; HODSON; SANGSTER, 1988), e uma vez nesta forma, o Si não é mais redistribuído (PARRY; SMITHSON, 1964; RAVEN 1983).

2.4.2 Efeitos Benéficos do Silício

Mesmo não sendo essencial, a absorção e acumulação de Si pelas plantas trazem inúmeros benefícios (KORNDÖRFER et al., 2002). Os efeitos benéficos do silício eram conhecidos em algumas espécies da família Poaceae e Cyperaceae (EPSTEIN, 1999). No entanto, plantas da família Cucurbitaceae (WAGNER, 1940; MIYAKE; TAKAHASHI, 1983), e até mesmo o cafeeiro (SANTOS, 2002; POZZA et al., 2004), algodoeiro (GAMA et al., 2004; LEME et al., 2004), morangueiro (LANNING, 1960; WANG; GALLETTA, 1998) e várias olerícolas como a alface (SOBRINHO et al., 2004), cenoura (JULIATTI et al., 2003) e tomate (MIYAKE; TAKAHASHI, 1978; CARVALHO et al., 2002; LANA et al., 2002) e ornamentais como a rosa (VOOGT; SONNEVELD, 2001), também tem sido relatadas como responsivas à adição do Si, principalmente em aplicações na solução nutritiva em sistemas hidropônicos e via foliar.

Podem-se dividir os efeitos benéficos do Si, relatados por Korndörfer (2002), sobre o crescimento das plantas em dois grupos: benefício físico e fisiológico. Os benefícios físicos estão relacionados ao acúmulo do Si na parede celular das plantas, reduzindo a perda d'água, melhorando a arquitetura das plantas e barreira física à penetração de fitopatógenos e de insetos (BOWEN et al., 1992; SAMUELS et al., 1993; EPSTEIN, 1994; BELANGER et al., 1995; MARSCHNER, 1995; DATNOFF et al., 1997; SANTOS, 2002; POZZA; POZZA, 2003). Os benefícios fisiológicos são pouco estudados, porém alguns autores relatam que plantas adubadas com Si apresentam maior atividade fotossintética e resistência ao ataque de fitopatógenos e pragas, devido ao Si induzir uma série de reações metabólicas nas plantas resultando na formação de compostos como fitoalexinas e ligninas (VIDHYASEKARAN, 1997; MENZIES et al., 1991).

De maneira geral os efeitos benéficos do Si em plantas estão envolvidos na adaptação dessas a condições de estresses bióticos, como ataque de fitopatógenos, e abióticos, como

estresse hídrico, toxidez de metais (Mn, Cu, Cd, etc.) e salinidade (EPSTEIN, 1999; ROGALLA; RÖMHELD, 2002; HECKMAN et al., 2003; ZHU et al., 2004).

2.4.3 Alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas adubadas com Silício

Em função de uma camada dupla de sílica abaixo da cutícula, as plantas mantêm as folhas mais eretas promovendo maior aproveitamento da luz (YOSHIDA et al., 1969). Na biossíntese da clorofila, a ciclização de um dos anéis é uma reação dependente de luz (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, pode-se dizer que quanto maior a exposição das folhas à luz maior e biossíntese da clorofila e conseqüentemente maior eficiência na interceptação de luz e transmissão de elétrons para os fotossistemas I e II, da fase fotoquímica da fotossíntese. Nessa fase da fotossíntese os elétrons captados possuem diferentes destinos, sendo uns deles a produção de ATP e NADPH+H⁺, para a assimilação de CO₂ pela Ribulose bifosfato carboxilase (Rubisco) no Ciclo de Calvim e produção de formas reativas de oxigênio nas plantas, como os radicais superóxido (O₂^{•-}), oxidrilo (OH[•]) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Poucos são os estudos envolvendo o efeito do Si sobre o metabolismo das plantas. Al-aghaby et al. (2004) relatam aumento nos teores e fluorescência das clorofilas em tomateiros cultivados em solução nutritiva com Si, indicando aumento da eficiência fotossintética das plantas, em específico do fotossistema II. Gong et al. (2005) relatam que o trigo adubado com Si aumentou a atividade fotossintética, associada ao aumento da atividade da Rubisco e da gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase NADPH+H⁺ dependente, como também, ao aumento nos teores de clorofila a, b e total e carotenóides. Adatia; Besford (1986), também relatam aumento no teor de clorofila e atividade da Rubisco em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva com Si. Segundo os autores a atividade da Rubisco foi 50% superior em relação às plantas não adubadas com Si. Em morangueiro a aplicação de Si proporcionou alteração na composição de metabólicos da planta, como alterações nas proporções de ácidos graxos insaturados em glicolipídios e fosfolipídios (WANG; GALLETTA, 1998). Segundo os autores com o aumento das doses de Si aplicado via foliar, houve redução da concentração de carboidratos solúveis e ácidos orgânicos na parte aérea das plantas, indicando uma maior mobilização de metabolitos intermediários para o crescimento e produção do morangueiro. No entanto, os autores também relatam que mesmo com a redução da concentração dos carboidratos solúveis e ácidos orgânicos, houve aumento no acúmulo

desses, resultante do maior crescimento das plantas. Adatia e Besford (1969) relatam que o Si, também interfere na distribuição e partição de fotoassimilados dentro das plantas. Os autores observaram que em plantas de pepino tratadas com Si houve uma maior concentração de carboidratos solúveis e ácidos orgânicos nas folhas, e em plantas sem Si, observaram maior concentração desses nos pecíolos.

Vários são os trabalhos evidenciando o efeito do Si sobre os teores das formas reativas de oxigênio e a atividade das enzimas envolvidas no processo de redução dessas, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidases (POX). Liang (1999); estudando o efeito do Si em plantas de cevada cultivadas sob estresse salino relata aumento da atividade da SOD e POX nas folhas. Liang et al. (2003) relatam aumento da atividade da POX em raízes de cevada cultivadas em solução nutritiva sob estresse salino e com Si. Zhu et al. (2004) também relatam que o Si aliviou o estresse salino em plantas de Pepino (*Cucumis sativus* L.), resultante do aumento da atividade da SOD e POX e conseqüente redução do teor de H₂O₂ nas folhas. Segundo esses autores as plantas adubadas com Si e mantidas sob condição de salinidade mantiveram a produção devido à redução da permeabilidade de membranas e a peroxidação de lipídios de membrana, mantendo assim a integridade e funcionalidade. O aumento da atividade das enzimas antioxidativas, como a SOD e POX, em folhas de plantas adubadas com Si e sob estresse abiótico como salinidade, déficit hídrico e toxidez por metais pesados sugere que este elemento, também, esteja envolvido na atividade metabólica e fisiológica das plantas (ZHU et al., 2004).

Devido a uma maior eficiência na interceptação de luz e transmissão de elétrons da fase fotoquímica da fotossíntese, plantas adubadas com Si, provavelmente, podem aumentar inicialmente os teores de formas reativas de oxigênio a níveis que não causem danos às células, o que pode ser chamado de “explosão oxidativa” (RUIZ, 1998). Segundo Taiz e Zeiger (2004), o aumento de formas reativas de oxigênio devido à maior atividade fotossintética é chamado de fotoinibição, onde a presença destas formas de oxigênio pode causar sérios danos como inibição do fotossistema II. No entanto, os autores ainda relatam que a fotoinibição em estágios iniciais é reversível. Um dos mecanismos de defesa das formas reativas de oxigênio nos estágios iniciais seria a biossíntese “de novo” das enzimas envolvidas no sistema de defesa, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX), com conseqüente aumento da atividade destas enzimas.

A presença de formas reativas de oxigênio nas plantas, em teores que não causam danos às células, também pode induzir algumas proteínas de parede celular, ricas em prolina, a formarem ligações cruzadas em uma reação mediada pelo H₂O₂ (TAIZ; ZEIGER, 2004),

induzindo assim, uma maior resistência física a penetração de fitopatógenos. Os autores ainda relatam que a formação destas formas de oxigênio na planta, além de induzir ligações transversais de proteínas em paredes celulares, também são ativadores de genes responsáveis pela biossíntese de fitoalexinas, lignina, ácido salicílico (resistência sistêmica adquirida) e enzimas hidrolíticas, as quais estão envolvidas na proteção das plantas a fitopatógenos. Segundo Tenhaken et al. (1995) e Dangl et al. (1996), durante a “explosão oxidativa”, a biossíntese de H_2O_2 tem fundamental participação em processos bioquímicos relacionados ao enrijecimento da parede celular vegetal e a indução sistêmica de genes de defesa em células. Mehdy (1994) observou indução e o acúmulo de mRNAs codificando enzimas envolvidas na biossíntese de fitoalexinas e endoquitinases, em células de feijoeiro tratadas com H_2O_2 .

Epstein (1999) sugere que o Si pode agir como um segundo mensageiro dentro da célula, afirmando também, que os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases.

2.5 Importância do nitrogênio para a planta

O nitrogênio é o principal nutriente para manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras, sendo essencial na formação das proteínas, cloroplastos e outros compostos que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos constituintes da estrutura vegetal; portanto, responsável por características ligadas ao porte da planta, tais como o tamanho das folhas, tamanho do colmo, formação e desenvolvimento dos perfilhos (Werner, 1986).

Corsi (1994) relata que o nitrogênio promove diversas alterações fisiológicas em gramíneas forrageiras, como no número, tamanho, peso e taxa de aparecimento de perfilhos e folhas, e alongamento do colmo, que são fatores importantes na produção de massa seca e valor nutritivo da planta forrageira, resultando na elevação de índices zootécnicos. Quando o nitrogênio é deficiente, o perfilhamento é inibido e, ao aumentar o suprimento de N, há um acréscimo no número de perfilhos por planta (Pedreira et al., 2001).

A passagem de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) através da membrana plasmática (plasmalema) das células da epiderme e do córtex da raiz ocorre através de transportadores específicos para essas formas de nitrogênio (LARSSON & INGEMARSSON, 1989). Após a entrada do nitrogênio na célula, o nitrato pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-), no citosol, através da enzima redutase do nitrato (RN) e, logo a seguir, convertido a amônio (NH_4^+) no plastídio, através da enzima redutase do nitrito (RNi). O amônio é, então, incorporado em aminoácidos

pelas enzimas sintetase da glutamina (GS) e sintase do glutamato (GOGAT), formando glutamina (GLN), glutamato (GLU) e outros aminoácidos e seus metabólitos (CRAWFORD, 1995). Alternativamente, o NO_3^- e o NH_4^+ podem ser transportados por carregadores específicos através do tonoplasto e armazenados no vacúolo, para posteriormente serem reduzidos no citosol da mesma célula ou serem translocados inalterados para a parte aérea da planta. Nos colmos e folhas, o nitrato é reduzido a nitrito pela ação da enzima RN, e a amônio, através da enzima RNi. O amônio é então incorporado em aminoácidos pelas enzimas GS e GOGAT. Estes elementos também são armazenados no vacúolo das células para posterior redução e utilização (KING et al., 1993; CRAWFORD, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As sementes de *Brachiaria brizantha* das cultivares Marandu e MG05 foram semeadas separadamente em bandejas e em seguida transplantadas para vasos contendo quatro litros de solução nutritiva, onde foram cultivadas até o final dos experimentos.

Foram realizados dois experimentos semelhantes, sendo um com a cultivar Marandu e o outro com a cultivar MG05 de *Brachiaria brizantha*. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x3 sendo quatro concentrações de Si na solução nutritiva (0, 25, 50 e 100 mg L⁻¹ de Si) e três épocas de cultivo (15, 30 e 60 dias após o transplante), com quatro repetições cada. Cada repetição foi considerada uma parcela, sendo cada parcela representada por um vaso com quatro mudas.

As sementes das cultivares foram semeadas em bandejas com vermiculita e irrigadas com água deionizada e solução de sulfato de cálcio 0,1 mmol L⁻¹. Depois de germinadas e da emissão da primeira folha definitiva as mudas foram selecionadas pela uniformidade e transplantadas em quatro para cada vaso contendo quatro litros de solução nutritiva de Hoagland (Hoagland e Arnon, 1959) com os tratamentos (Tabela 1) com 25% de sua força iônica para adaptação. Após 10 dias a solução foi trocada mantendo-se 100% de força iônica. A adição do silício na solução foi feita através de um produto comercial que apresenta 12,2% de Si solúvel e 15% K₂O.

O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,5 e 6,0 através da adição de NaOH 0,1 mol_c L⁻¹ ou HCl 0,1 mol_c L⁻¹, quando necessário. Diariamente o volume de solução nutritiva dos vasos era completado com água deionizada e medida a condutividade. A solução nutritiva dos tratamentos era trocada quando a condutividade elétrica atingia o valor de 30% da inicial.

No período de cada coleta, 15, 30 e 60 dias após o transplante, das quatro plantas de cada vaso, duas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz, lavadas em água destilada, secas em papel toalha, acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65-70°C até peso constante e em seguida foram pesadas as partes para determinação da massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR). Posteriormente, o material correspondente à parte aérea das plantas foi moído e destinado à análise química de tecido para a determinação dos teores foliares de Si segundo Elliot e Snyder (1991), N total segundo Malavolta et al. (1997) e N-nitrato (N-NO₃⁻) e N-amônio (N-NH₄⁺) segundo Tedesco et al. (1995). Nas duas plantas restantes de cada vaso, foi coletada a

parte aérea e envolvida em papel alumínio e posteriormente em sacos plásticos previamente identificados e acondicionados em caixa de isopor com gelo seco e em seguida foram levadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas do DCS/UFLA para a determinação dos pigmentos clorofila A e B, segundo metodologia descrita por Arnon (1949).

Tabela 1. Volume de solução estoque (mL L^{-1}) necessário para a elaboração dos tratamentos com as concentrações de Si na solução nutritiva.

Soluções Estoque	Concentrações de Si na solução nutritiva [mg L^{-1}]			
	0	25	50	100
Ca(NO₃)₂·4H₂O - [1 mol L⁻¹]	5,0	5,0	5,0	5,0
KNO₃ - [1 mol L⁻¹]	5,0	4,5	4,0	3,0
MgSO₄·7H₂O - [1 mol L⁻¹]	2,0	2,0	2,0	2,0
KH₂PO₄ - [1 mol L⁻¹]	1,0	1,0	1,0	1,0
K₄SiO₄ - [202,6 mL L⁻¹]	-	1,0	2,0	4,0
NH₄NO₃ - [1 mol L⁻¹]	-	0,25	0,5	1,0
Micro¹	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe-EDTA²	1,0	1,0	1,0	1,0

¹ 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.

² 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 foi acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

As variáveis analisadas MSPA, MSR, teores foliares de Si, N-total, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, Clorofila A e B e as relações NO₃⁻:NH₄⁺, Clorofila A:B foram submetidas a análise de variância e regressão, em função das concentrações de Si na solução nutritiva, com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), N total, nitrato (N-NO_3^-), amônio (N-NH_4^+), relação nitrato:amônio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$), clorofila A, clorofila B e relação clorofila A/B alteraram significativamente nas diferentes concentrações de Si na solução nutritiva e épocas de avaliação, tanto na cultivar MG05 quanto na Marandu.

Observa-se que o aumento de concentrações de Si na solução nutritiva proporcionou crescimento de parte aérea (Figura 1 (a) e (b)) e raiz (Figura 1 (d)) no final do período de avaliação do experimento. Tanto para a cv. Marandu, quanto para a cv. MG05, as concentrações de Si no meio proporcionaram efeito quadrático para as variáveis MSPA e MSR aos 60 DAT, exceto para a MSR da cv. Marandu, que não apresentou resposta em função das concentrações de Si na solução nutritiva. A máxima produção de MSPA das cultivares Marandu e MG05 (86,35 e 88,18 g vaso⁻¹, respectivamente) foram obtidas com 29,5 e 45,8 mg L⁻¹ de Si, respectivamente. Mesmo sendo de mesma espécie, a cv. Marandu responde em produção com baixas concentrações de Si no meio, ao contrário da cv. MG05 que obteve a máxima produção de matéria seca com altas concentrações de Si na solução nutritiva.

Na concentração de Si no meio correspondente à máxima produção de MSPA aos 60 DAT para a cv. Marandu (29,5 mg L⁻¹ de Si), observa-se que os teores de Si na parte aérea da cv. Marandu (0,91 dag kg⁻¹) é 33,5% inferior ao teor foliar de Si observado para a cv. MG05 (1,37 dag kg⁻¹). Na concentração de Si no meio correspondente à máxima produção de MSPA aos 60 DAT para a cv. MG05 (45,8 mg L⁻¹ de Si), foi observado valor semelhante, onde a cv. Marandu (1,18 dag kg⁻¹) apresentou teor foliar de Si 31% inferior ao obtido pela cv. MG05 (1,70 dag kg⁻¹). Assim, de maneira geral, a cv. Marandu apresentou menor absorção de Si em relação à cv. MG05.

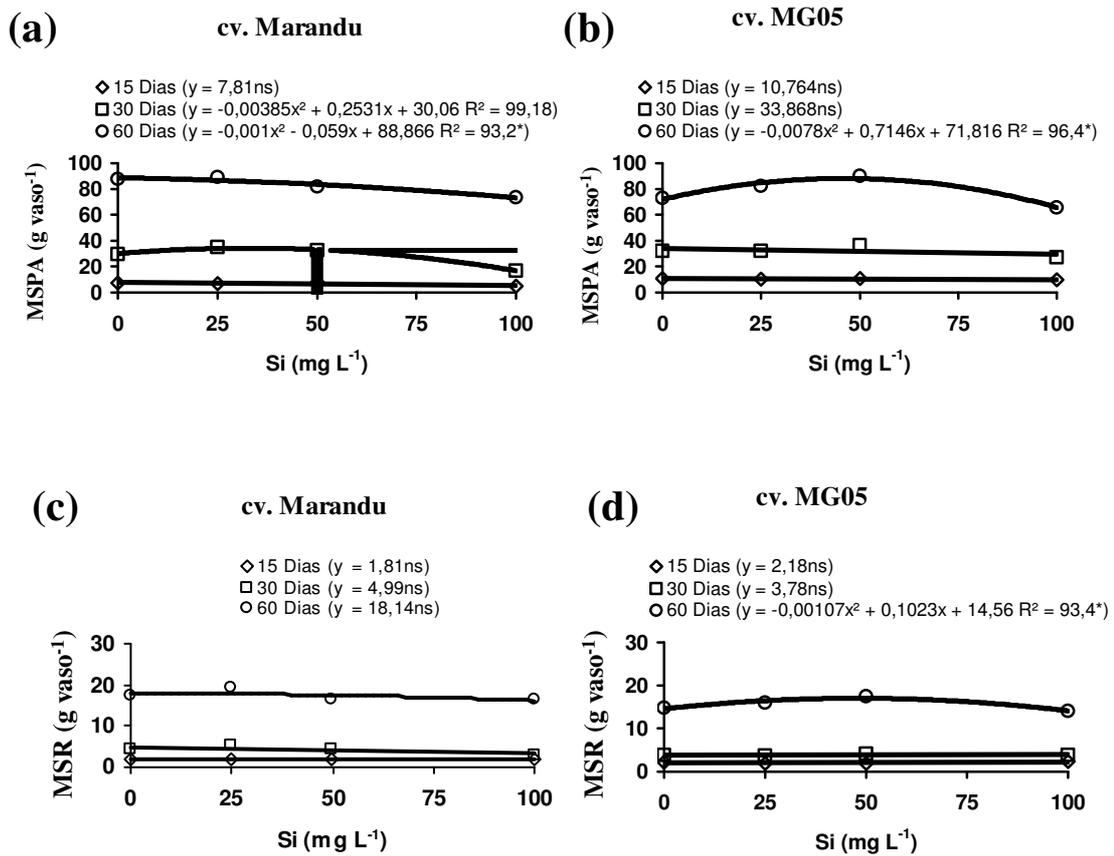


Figura 1. Produção de massa seca de parte aérea (MSPA) (a) e (b) e massa seca de raiz (MSR) (c) e (d) das cultivares Marandu e MG05 cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de Si.

Na Figura 2 (a) e (b) observa-se que as concentrações de Si na solução nutritiva proporcionaram incrementos crescentes lineares do teor foliar desse nutriente em todas as épocas avaliadas. Em exceção, aos 15 DAT na cv. Marandu, os teores foliares de Si apresentaram comportamento quadrático em função das concentrações de Si no meio, sendo que o máximo teor foliar de Si ($3,37 \text{ dag kg}^{-1}$) obtido com $81,6 \text{ mg L}^{-1}$ de Si na solução nutritiva, valor esse 2,4 vezes superior ao obtido por Melo (2005) para a mesma cultivar.

Diversos trabalhos na literatura apresentam resultado positivo em crescimento do braquiarião, cv. Marandu, com a aplicação de silicatos de cálcio no solo, que na maior parte são escórias de siderurgia. Essas escórias apresentam baixa concentração de Si solúvel, o que provavelmente disponibiliza no solo baixa quantidade de Si. No entanto, como observado no presente trabalho, a cv. Marandu responde em crescimento com baixas concentrações de Si no meio e com isso propicia resposta positiva à adição dessas fontes. No entanto, para a cv. MG05, a aplicação de fontes de Si que disponibilizam baixas quantidades desse nutriente no solo pode não proporcionar efeito sobre o crescimento e acúmulo de Si. Melo (2005),

avaliando a produção de braquiarião cv. Marandu com a adição de Wollastonita (243 g kg⁻¹ de Si; 42 g kg⁻¹ de CaO e 1,5 g kg⁻¹ de MgO) no solo, observou o maior teor de Si na parte aérea (1,4 dag kg⁻¹) com a incorporação de 450 mg dm⁻³ de Si, o que corresponderia à incorporação, a 20 cm de profundidade, de 3,7 ton ha⁻¹ de Wollastonita, obtendo por volta de 30,5 mg dm⁻³ de Si disponível. Em futuros trabalhos seria interessante avaliar o efeito da aplicação de fontes solúveis de Si no plantio e, ou, em cobertura sobre o crescimento das plantas, pois o máximo acúmulo de Si na parte aérea da cv. Marandu adubadas com fontes de baixa solubilidade apresenta-se de maneira geral, inferior ao observado no presente trabalho, o que pode retratar a baixa eficiência dessas fontes no fornecimento do Si.

O coeficiente angular das equações representa a taxa de aumento nos teores foliares de Si com o incremento das concentrações do nutriente no meio. Observa-se que para a cv. Marandu os coeficientes angulares são superiores aos observados para a cultivar MG05 aos 15 e 30 DAT (Figuras 2 (a) e (b)). Já, aos 60 DAT, o maior incremento nos teores foliares de Si, com o aumento da disponibilidade no meio, foram observados para a cv. MG05 (Figura 2 (a) e (b)). Em relação ao acúmulo de Si pelas plantas, o maior coeficiente angular das equações, que indica o incremento na absorção de Si, de maneira geral é observada para a cv. MG05 (Figuras 2 (c) e (d)). Essas diferenças entre cultivares de mesma espécie são interessantes serem identificadas, pois poucos são os estudos que avaliam o comportamento das plantas em relação ao potencial de absorção de nutrientes quando em processo de melhoramento. No entanto, o baixo potencial da cv. Marandu em acumular Si pode colaborar com o fato dessa variedade ser mais susceptível ao ataque de fungos do solo como *Rhizoctonia* sp., *Pythium* sp. e *Fusarium* sp. (ZÚÑIGA, 1997). De maneira geral, em relação à fertilidade do solo, a cv. Marandu é exigente e a MG05 pouco exigente (BRAQUIARÃO, 2006). Esses resultados demonstram, de maneira geral, a necessidade de mais estudos bioquímicos que avaliem com mais detalhes o processo de absorção de Si e quais os componentes de membrana envolvidos.

A cv. Marandu responde em crescimento de parte aérea com baixas concentrações de Si na solução nutritiva, já a cv. MG05 responde em crescimento com altas concentrações de Si no meio. Observa-se também, que a cv. MG05 apresenta maior teor e conseqüentemente maior acúmulo de Si que a cv. Marandu. Devido a isso, podemos inferir que a maior influência do Si no metabolismo da planta poderá ser observado para a cv. MG05 em relação à cv. Marandu. Ainda não há trabalhos que relatem com clareza como o Si influencia o metabolismo das plantas, se é a fração insolúvel, ou mesmo a solúvel, mesmo essa compondo somente 1% do total.

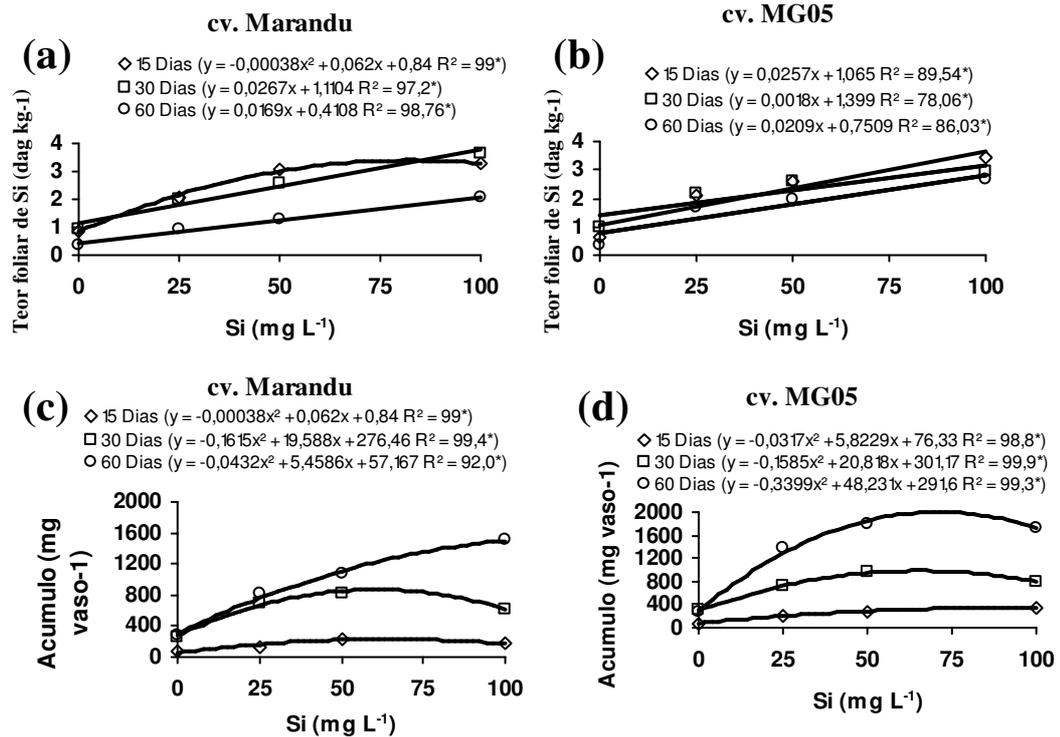


Figura 2. Teores foliares (a) e (b) e acúmulo (c) e (d) de Si na parte aérea dos cultivares Marandu e MG05 cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de Si.

A cultivar MG05 apresentou níveis mais elevados de silício e com isso, tendeu a conter mais nitrogênio em seus tecidos quando comparamos com a cultivar Marandu (Figura 3). Isso porque o silício aumenta a produção de fotoassimilados e assim, há um aumento de substrato para a incorporação do nitrogênio nos esqueletos carbônicos. Com a planta contendo mais nitrogênio, os teores de nitrato, n-total (Figura 3) e clorofila A e B (Figura 4) diminuíram, pois a planta está aproveitando melhor o nitrogênio contido no interior da célula do mesófilo.

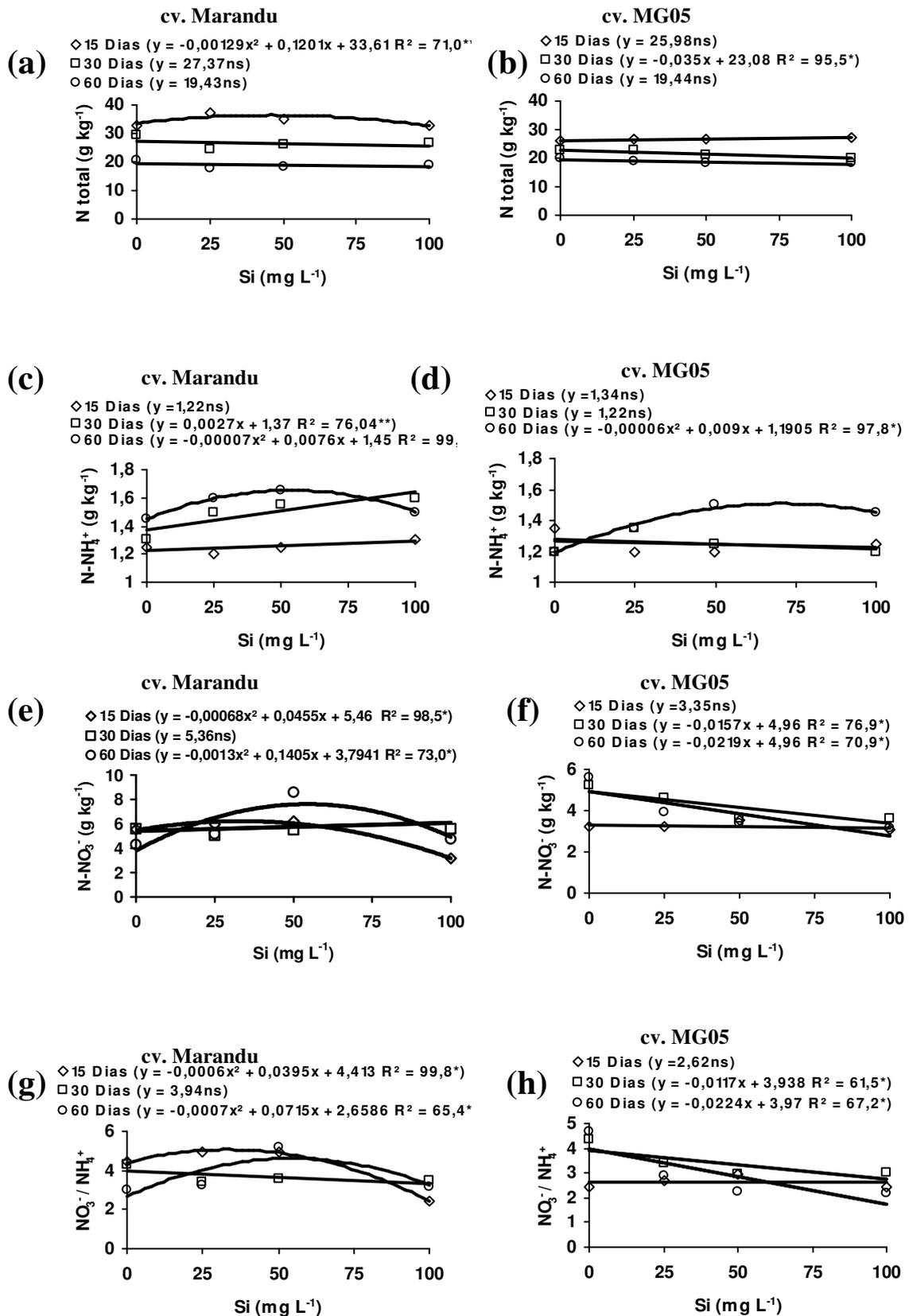


Figura 3. Teores foliares de N-total (a) e (b), N-NH₄⁺ (c) e (d), N-NO₃⁻ (e) e (f) e relação NO₃⁻/NH₄⁺ (g) e (h) na parte aérea das cultivares Marandu e MG05 cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de Si.

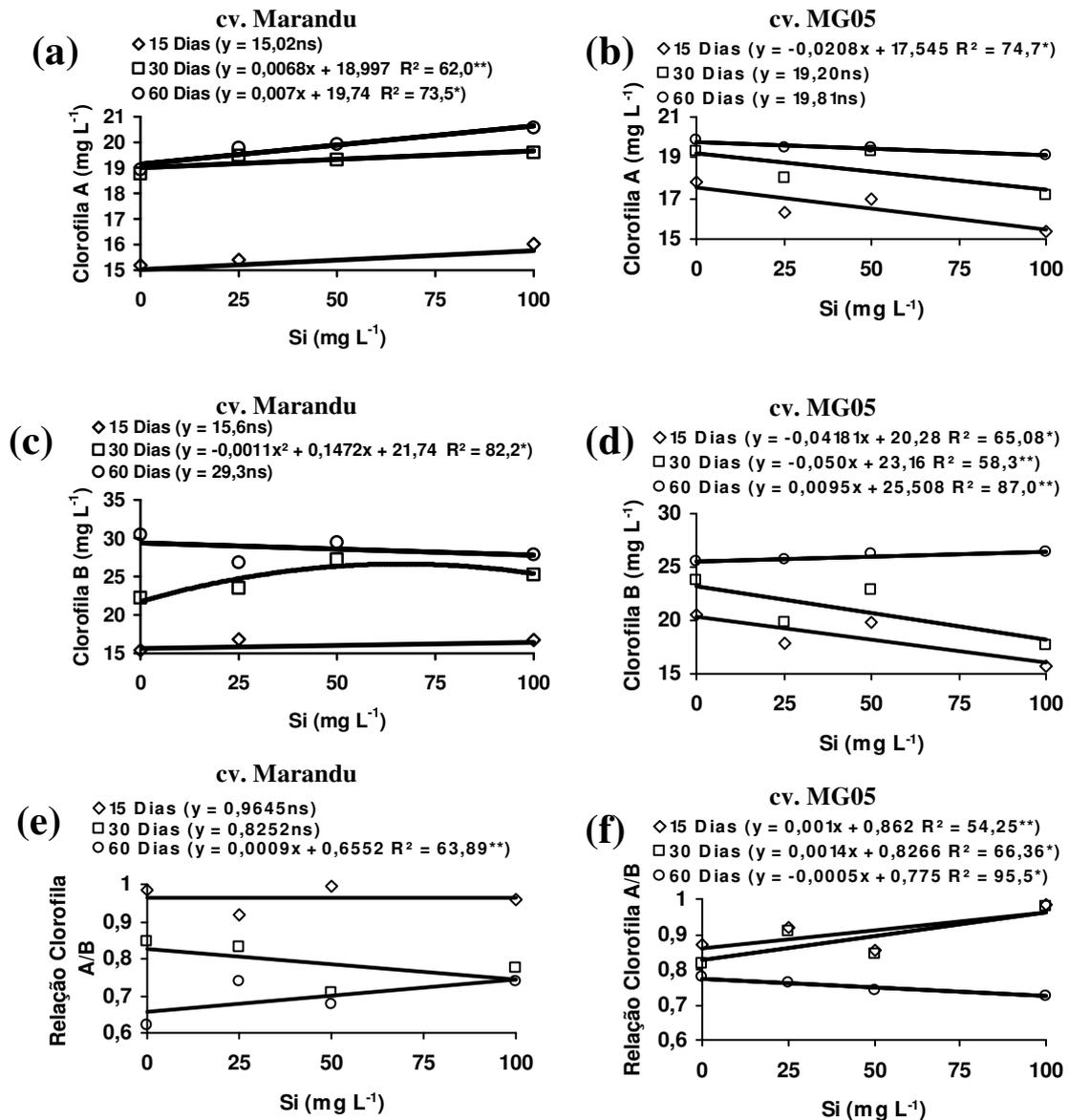


Figura 4. Clorofila A (a) e (b), clorofila B (c) e (d) e relação clorofila A/B (e) e (f) na parte aérea das cultivares Marandu e MG05 cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de Si.

Observa-se na Tabela 2 que os teores foliares de Si apresentaram correlação significativa com as variáveis: teores foliares de nitrato, amônio, n-total, clorofila A e clorofila B. A correlação entre teores foliares de Si e teores foliares de nitrato, n-total e clorofila A foi inversa, ou seja, quanto maior o teor de Si na folha menores os teores de nitrato, n-total e clorofila A. Já a correlação entre teores foliares de Si e teores foliares de amônio e clorofila B foi positiva. Isso indica que as plantas cultivadas na solução nutritiva

com as concentrações maiores de Si apresentaram maior eficiência no aproveitamento do nitrogênio.

Tabela 2. Correlação entre os teores de Si foliar e variáveis nutricionais das cultivares Marandu e MG05.

Cultivares	Variáveis	Equação	R ²
cv. Marandu	Si x N-NO ₃ ⁻	$y = 0,5631x + 5,0531$	2,07 ^{ns}
	Si x N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0264x + 1,5196$	2,09 ^{ns}
	Si x N-total	$y = -0,8846x + 19,889$	5,58 ^{ns}
	Si x Clorofila A	$y = 0,9114x + 18,748$	9,78*
	Si x Clorofila B	$y = -1,0771x + 29,875$	4,77 ^{ns}
cv. MG05	Si x N-NO ₃ ⁻	$y = -1,1334x + 5,8844$	0,9768*
	Si x N-NH ₄ ⁺	$y = 0,124x + 1,1688$	0,8992*
	Si x N-total	$y = -0,8089x + 20,122$	0,9201*
	Si x Clorofila A	$y = -0,288x + 19,979$	0,9795*
	Si x Clorofila B	$y = 0,4018x + 25,255$	0,8884**

5 CONCLUSÕES

A cultivar MG05 apresentou maior acúmulo de silício, aumento da matéria seca da parte aérea ($45,8 \text{ mg L}^{-1}$ de Si), da matéria seca de raiz e como consequência maior aproveitamento do nitrogênio e menor teor de clorofila quando comparada com a cultivar Marandu que apresentou aumento da matéria seca da parte aérea ($29,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Si), não apresentou aumento da material seca de raiz e consequentemente apresentou aumento nos teores de nitrogênio e clorofila, pois plantas com níveis mais elevados de silício tendem a conter mais nitrogênio em seus tecidos, o que explica a cultivar MG05 ter apresentado menor teor de N-nitrato, N-total e clorofila.

REFERÊNCIAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon in cucumber plants grown in recirculation nutrient solution, **Annals of Botany**, London, v.58, p.343-351, 1986.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.J.; SHI, Q.H. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescent and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.27, p. 2101 – 2115, 2004.
- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras gramíneas e leguminosas**. 3.Ed. São Paulo: Editora Nobel. 1985. 28 p.
- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A. S.; ALVARES V. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poluphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.24, p.1-15, 1949.
- BALASTRA, M.L.F.C.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLAREAL, C.P. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, n.8, p.2356-2363, 1989.
- BARBER, D.A.; SHONE, M.G.T. The absorpoin of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.17, p.569-578, 1965.
- BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G.; Soluble silicon: its role in crops and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, Saint Paul, v.79, p.329-336, 1995.
- BOWEN, P.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, p.906-912, 1992.
- BRASIL. Decreto n°. 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei n°. 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas jurídicas (Texto Integral) - DEC 004954. 27 p.
- CARVALHO, J.de G.; MACHADO, A.Q.; NASCIMENTO, I.R. do; BOAS, R.C.V. Desempenho da cultura do tomate adubado com silifétil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.2, p.402, julho 2002. Suplemento 2.
- CORSI, M. Adubação nitrogenada das pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 121-155.

CRUSCIOL, C.A.C. Silício para as gramíneas forrageiras. **Revista Campo e Negócios**, v. 4, Uberlândia, n. 37, p.14-15, 2006.

DANGL, J.L.; DIETRICH, R.A.; RICHBERG, M.H. Death don't have no mercy: cell death program in plant-microbe interactions. **The Plant Cell**, Rockville, v.8, p.1798-1807, 1996.

DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Guildford, v.16, p.525-531, 1997.

ELLIOT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave – Induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal Agriculture Food Chemistry**, Easton, n.39, p.1118-1119, 1991.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy Science**, Washington, DC, v.91, p.11-17, 1994.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In... REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000. **Anais...** São Carlos, SP: SIB, 2000. p. 255-258.

GAMA, A.J.M.; KORNDÖRFER, G.H.; JULIATTI, F.C.; NOLLA, A.; BUCK, G.B.; ARAÚJO, L.S. Controle de doenças fúngicas na cultura do algodão com adubação de silício via solo e foliar. In: FERTBIO, Lages-SC, **Resumos...**, Lages-SC, 2004. CD-ROM. 2004.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought, **Plant Science**, Limerick, v.169, p.313-321, 2005.

HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R. **Physiology and determination of crop yield**. Madison : ASA/CSSA/SSSA, 1994. Chapt.11A. p.285-302.

HECKMAN, J.R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **HortScience**, Alexandria, v.38, p.552-554, 2003.

HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, London, v.62, p.463-471, 1988.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silicon in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.19, p.107-149, 1967.

JULIATTI, F.C.; RAMOS, H.F.; KORNDÖRFER, G.H.; OLIVEIRA, R.G.; AMADO, D.F.; CARNEIRO, L.M.S.; LUZ, J.M.Q. Controle da queima das folhas de cenoura pelo uso do silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, XXXVI, 2003, Uberlândia. **Resumos...**Uberlândia, 2003. CD-ROM. 2003.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, Boletim Técnico; 02. 2004. 50 f.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CARMARGO, M.S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. UFU/ICIAG, 2002. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico 01). 23p.

LANA, R.W.Q.; CÉSAR, E.U.R.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR, L.A. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.2, p.399, julho 2002. Suplemento 2.

LANNING, F.C. Nature and distribution of silica in strawberry plants, **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.76, p.349-358, 1960.

LEME, E.; GAMA, A.J.M.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; BITTENCOURT, M.F.; PACHECO, L.P. Eficiência do silício (NaSiO₃) aplicado via foliar na nutrição de plantas de algodão. In: FERTBIO, Lages-SC, **Resumos...**, Lages-SC, 2004. CD-ROM. 2004.

LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, R. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.160, p.1157-1164, 2003.

LIANG, Y.C.; DING, R.X.; LIU, Q. Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. **Scientia Sinica, Agricultural**, Beijing, v.32, p.75-83, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MELO, S. P. ; Monteiro F.A. ; D. Manfredini . **Aplicação de silicato e fosfato e o número de perfilhos e a massa seca do capim-Marandu**. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005.

MEHDY, M.C. Active oxygen species in plant defense against pathogens. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.105, p.467-472, 1994.

MENGEL K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.39, p.403-414, 1991.

MIFLIN, B.J., LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v.15, p.873-885, 1976.

- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Toquio, v.29, p.71-83, 1983.
- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plants, **Soil Science and Plant Nutrition**, Toquio, v.24, p.175-189, 1978.
- NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004. **Palestras...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.
- PARRY, D.W.; SMITHSON, F. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. **Annals of Botany**, London, v.28, p.169-185, 1964.
- PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 772-807.
- PEIXOTO, A. M.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P.; A planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, **Anais...** Piracicaba, 2001.
- PIRES, A.J.V.; REIS, R. A.; CARVALHO, G. G. P.; SIQUEIRA, G. R.; BERNARDES, T. F.; RUGGIERI, A. C.; ALMEIDA E. O.; ROTH M. T. P. Degradabilidade ruminal da matéria seca, da fração fibrosa e da proteína bruta de forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.4, p.643-648, 2006.
- POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.2, p.373-402, 2004.
- POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A. Manejo de doença de plantas com macro e micronutrientes, **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.28, p.52-54, 2003.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p.562-568, 2006.
- PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras**: formação, conservação, utilização. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 2002. 94 p.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.
- RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Review**, Cambridge, v.58, p.179-207, 1983.
- ROGALLA, H.; RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.25, p.549-555, 2002.
- RUIZ, W.F.R. **Atividade de superóxido dismutase, catalases e peroxidase durante o desenvolvimento de micorrizas arbusculares em feijoeiro, sob condições de baixo e alto**

nível de fosfato. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. The effect of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. **Annals of Botany**, London, v.72, p.433-440, 1993.

SANGSTER, A.G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v.65, p.929-935, 1978.

SANGSTER, A.G.; PARRY, D.M. Endodermal silification in mature, nodal roots of *Sorghum bicolor* (L.) Moench, **Annals of Botany**, v.40, p.373-379, 1976.

SANTOS, D.M. dos. **Efeito do silício na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTOS, F.A.P.; PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. **Volúmosos para bovinos.** 2.Ed. Piracicaba: Fealq. 1995. p.30-41.

SOBRINHO, R.R. de L.; ARAÚJO, J.L.; RODRIGUES, T.M.; TREVISAN, D.; RODRIGUES, C.R.; FAQUIN, V. Crescimento da alface americana em solução nutritiva sob diferentes concentrações e formas de aplicação de silício. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC, **Resumos...**, Lages-SC, 2004. CD-ROM. 2004.

SOUZA, F. H. D. As sementes de espécies forrageiras do gênero *Brachiaria* no Brasil Central. In: PAULINO, V. T. (Ed.) **A *Brachiaria* no novo século.** 2. ed. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2002. p.7-29.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TENHAKEN, R.; LEVINE, A.; BRISSON, L.; DIXON, R.; LAMB, C. Function of the oxidative burst in hypersensitive disease resistance. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, Alexandria, v.29, p.4158-4163, 1995.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B., MACEDO, M.C.M., VALÉRIO, JR. Selecting new *Brachiaria* for Brazilian pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. p.13-14.

VALLE, C.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S.; BONATO, A. L. V. Lançamentos de cultivares forrageiras: o processo e seus resultados – cvs. Massai, Pojuca, Campo Grande, Xaraés. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FORRAGICULTURA, 4., 2003, Lavras. **Proceedings...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. p.179-225.

VIDHYASEKARAN, P. **Fungal pathogenesis in plant and crops** – molecular biology and host defense mechanisms. New York: Marcel Dekker, 1997. 553p.

VILELA, H. **Série Gramíneas Tropicais** - Gênero BRACHIARIA (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú – Capim). 2007. Disponível em:
http://Agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_brachiaria.htm. Acesso em 10 de Julho de 2007.

VOOGT, W.; SONNEVELD, C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.115-131.

WAGNER, F. Die bedeutung der Kieselsäure für das Wachstum einiger Kulturpflanzen ihren Nährstoffhaushalt und ihre Anfälligkeit gegen echte Mehltaupilze. **Phytopathology Journal**, Berlin, v.12, p.427-429, 1940.

WANG, S.Y.; GALLETTA, G.J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, p.157-167, 1998. USA.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49 p. (Boletim Técnico, 18).

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S.A.; RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, The Hague, v.31, p.48-56, 1969.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agricultural Sciences**, Ser. B., Toquio, v.15, p.1-58, 1975.

ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A.; AGNES, E. L. **Manejo integrado: integração agricultura – pecuária**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2004. 333p.

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

ZÚÑIGA, P.C. **Comportamiento de cuatro introducciones del género *Brachiaria* ssp. a la influencia de hongos fitopatógenos bajo dos niveles de humedad del suelo**, 62p. 1997. Tesis Ing. Agr., U. de Costa Rica sede del Atlántico, Costa Rica.