



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

ÉLCIO BILIBIO BONFADA

**EFEITO DA ADUBAÇÃO COM SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO SOBRE O
DESENVOLVIMENTO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

CERRO LARGO – RS

2014

ÉLCIO BILIBIO BONFADA

**EFEITO DA ADUBAÇÃO COM SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO SOBRE O
DESENVOLVIMENTO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia, disciplina de TCC – II da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser
Co-orientadora: Prof.^a Dra. Juliane Ludwig.

CERRO LARGO – RS

2014

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Bonfada, Élcio Bilibio

Efeito da adubação com silicato de cálcio e magnésio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho/

Élcio Bilibio Bonfada. -- 2014.

41 f.:il.

Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser.

Co-orientadora: Juliane Ludwig.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2014.

1. Zea mays. 2. Disponibilidade de fósforo. 3. Pós de rochas. 4. Adubação com silício. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Ludwig, Juliane, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus, pela vida e a conquista da Graduação em Agronomia.

A minha família, em especial ao pai Edemilson Bonfada e a mãe Lenir Ana Bilibio Bonfada, pelo acompanhamento durante toda a minha vida. Ao meu irmão, Éverson Bilibio Bonfada pelos tantos momentos em que participou comigo nas atividades dos experimentos, por estar ao meu lado em toda a formação acadêmica.

Ao meu Orientador Professor Doutor Douglas Rodrigo Kaiser pela confiança e o grande aprendizado durante todas as atividades desenvolvidas na graduação, além dos experimentos e estágio, e a Co-orientadora Professora Doutora Juliane Ludwig, meu Muito Obrigado!

Ao Professor Doutor Gustavo Brunetto pela grande contribuição nas avaliações e andamento do TCC, bem como ao Doutorando Lessandro De Conti, o Mestrando Rogerio Piccin e a acadêmica Carina Marchezan pela disponibilidade e auxílio nas análises realizadas na UFSM.

Aos meus colegas Gilmar Luiz Mumbach, José Luiz Prill Rauber, Micael Stolben Mallmann e Valéria Ortaça Portela pela amizade e auxílio com a condução do experimento, bem como as avaliações e ao andamento das atividades que envolveram os projetos de pesquisa e o TCC.

Ao Técnico Agrícola Mateus V. dos Santos e ao Engenheiro Agrônomo Robson Giacomeli pelas contribuições no experimento e nas atividades nos Laboratórios da UFFS.

Enfim, a todos que de alguma forma prestaram seu apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

RESUMO

O silício (Si) é considerado um micronutriente benéfico às plantas superiores, o qual pode apresentar efeitos às culturas, quando confere a planta maior resistência ao ataque de doenças, pragas e insetos além de maior produtividade de grãos. Sendo assim, novos produtos comerciais surgem na tentativa de aumento de produção, aliado a outros benefícios à planta. É o caso dos fertilizantes que possuem o silício como elemento constituinte, como os silicatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Assim, a utilização de silicatos de Ca e Mg, na forma de mistura de pó de rocha, tem surgido como uma alternativa que visa aumentar os teores de Si, além de contribuir na disponibilidade de fósforo, no solo. Sendo assim, objetivou-se neste estudo, avaliar o efeito de doses e épocas de aplicação de fertilizante natural rico em silício, na semeadura e em cobertura, sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho 2ª safra de 2014, além do seu efeito sobre a disponibilidade de fósforo no solo. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram duas doses (200 e 400 kg ha⁻¹) de um produto comercial a base de silicato de cálcio e magnésio, que é derivado da mistura de pó de rochas, aplicados no sulco de semeadura, em superfície na semeadura e em cobertura no estágio V4 de milho além de uma testemunha, sem aplicação do fertilizante. As variáveis analisadas foram os teores de N, P, K, Ca, Mg no tecido foliar e análise de solo completa antes e depois do cultivo, emergência das plantas, parâmetros vegetativos indicadores do desenvolvimento como: altura de plantas, diâmetro de colmo, área foliar, índice de área foliar na fase de florescimento, altura de inserção da primeira espiga, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e a produtividade de grãos. Os resultados demonstram que não houve diferença significativa em relação ao efeito dos tratamentos utilizados, tanto nos parâmetros vegetativos quanto na produtividade de grãos da cultura do milho. O teor médio de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na folha de milho também foram similares entre si. No solo, os atributos químicos analisados apresentaram valores similares entre si. Conclui-se que a utilização deste silicato de cálcio e magnésio não foi eficiente na cultura do milho safrinha.

Palavras-Chave: *Zea mays*. Disponibilidade de Fósforo. Pós de rochas. Adubação com silício.

ABSTRACT

Silicon (Si) is considered beneficial micronutrient to higher plants, which may have effects on crops, when it provides the plant greater resistance to attack by diseases, pests and insects as well as higher grain yield. Thus, new commercial products arise in trying to increase production, plus other benefits to the plant. This is the case of fertilizers having the silicon as a constituent element, such as silicates of calcium (Ca) and magnesium (Mg). Thus, the use of silicates of Ca and Mg in the form of a mixture of powdered rock, has emerged as an alternative for increasing the content of Si, and contribute to the availability of phosphorus in the soil. However, as their action in maize (*Zea mays*) when applied to the soil there is a certain lack of information. Therefore, the aim of this study was to evaluate and discuss the effect of silicon rich natural fertilizer application doses and times, at sowing and topdressing on the development and productivity of maize, besides its effect on the availability of phosphorus in the soil, in the off-season and 2014. The experimental design was a randomized block design (RBD) with four replications. Treatments are two doses (200 and 400 kg / ha) of calcium silicate and magnesium, which is a natural fertilizer derived from the powder mixture of rocks, besides the application at seed furrows, at sowing surface coverage in the V4 stage (4 expanded leaves) and a control without fertilizer application. The analyzed variables are the Ca, Mg, P, K, Si in the soil before and after cultivation, plant emergence, vegetative parameters as indicators of development, plant height, stem diameter, leaf area index during flowering, first spike insertion height, number of grains per spike, 100-grain mass and grain yield. The results demonstrate that there was no significant difference relative from the effect of treatments used, at both vegetative parameters and productivity of corn grains. The average content of macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) at corn leaf also presents no significant difference. On the ground, the analyzed chemical attributes showed similar results to each other. It can be concluded that the use of calcium silicate and magnesium was not efficient for the cultivation of the second harvest of corn.

Keywords: *Zea mays*. Availability match. Post rock. Fertilization with silicon.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do ciclo da cultura do milho.....27
- Figura 2 – Temperatura do ar, precipitação acumulada e a Normal Climatológica Brasileira de precipitação acumulada mensal ao longo do ciclo fenológico da cultura do milho.....27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do solo antes da implantação do experimento determinadas na profundidade de 0 a 10 cm.....	22
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos utilizados.....	23
Tabela 3 – Produtividade de grãos de milho, Peso de 1000 grãos (g), Comprimento (C) e Diâmetro (D) de espigas (mm) de milho, safrinha 2014.....	28
Tabela 4 – Área Foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF) de plantas de milho no estágio R1.....	29
Tabela 5 – Diâmetro de colmos, em mm, de plantas de milho em diferentes datas de avaliação.....	29
Tabela 6 – Altura de plantas de milho (cm) em diferentes datas de avaliação e altura de inserção de espigas de milho (cm).....	30
Tabela 7 – Teor de nutrientes na folha de milho.....	31
Tabela 8 – Atributos químicos do solo após colheita da cultura do milho, amostras de 0 a 10 cm de profundidade.....	32

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AF - Área Foliar

Al - Alumínio

Ca - Cálcio

DAE - Dias Após a Emergência

DAS - Dias Após a Semeadura

Fe - Ferro

H₂O - Água

H₄SiO₄ - Ácido monossilícico

IAF - Índice de Área Foliar

K - Potássio

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

N - Nitrogênio

P - Fósforo

Si - Silício

SiO - Óxido de Silício

SiO₂ - Dióxido de Silício

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral.....	11
1.1.1.1	Objetivos específicos	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO	13
2.2	O SILÍCIO NA CROSTA TERRESTRE	14
2.3	DINÂMICA DO SILÍCIO NAS PLANTAS	16
2.4	DINÂMICA DO SILÍCIO NO SOLO	17
2.5	RELAÇÃO SI E P NO SOLO	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
6.	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O milho é considerado um cereal de grande importância no mundo. No Brasil, conforme dados da Conab (2014) na safra de 2012/13 cultivou-se cerca de 15.829,3 milhões de hectares com a cultura do milho, com produção de cerca de 81.505,7 milhões de toneladas.

Sabendo da importância econômica do milho para a agricultura, a alimentação humana e animal, para fins industriais, é necessário produções cada vez maiores. Assim a adubação visando aumento de rendimentos, para esta cultura também deve receber atenção, buscando, além disso, melhorar a eficiência no uso dos nutrientes e minimizar os impactos ambientais. Sendo assim, novos produtos comerciais surgem na tentativa de aumento de produção, aliado a outros benefícios à planta. É o caso dos fertilizantes que possuem o silício (Si) como elemento constituinte.

Os solos altamente intemperizados, altos teores de argila e predomínio de óxidos de Fe possuem maior sorção de P. Por isso, pode ocorrer baixos níveis de silício pelo nível de intemperismo atingido. Assim, a utilização de silicatos de Ca e Mg, na forma de mistura de pó de rocha, tem surgido como uma alternativa que visa aumentar os teores de Si no solo, além de contribuir na redução da sorção do P pelos óxidos de Fe. Nessa condição é oportuno a pesquisa com produtos que estão ligados a disponibilidade de P no solo, e sua importância nos efeitos causados na cultura do milho.

Quanto a disponibilidade de fósforo, o grau de intemperização e as características físico-químicas dos solos, Rheinheimer & Anghinoni (2001) afirmam que nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente tornando esse fosfatos lábeis ou não-lábeis no solo. A dinâmica e ocorrência do P no solo está associada, de acordo com Santos et al. (2008) aos fatores do ambiente que agem sobre a atividade biológica dos microrganismos na mineralização desse nutriente, e ainda às propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo.

A fração lábil, então, é dependente dos processos geoquímicos e biológicos que transformam os fosfatos naturais em formas orgânicas e inorgânicas estáveis e ao grau de intemperismo do material de origem, no caso do basalto, que deu origem aos Latossolos (Santos et al., 2008).

O aumento na disponibilidade de P na superfície do solo no Sistema Plantio Direto

(SPD) pode resultar em maior transformação do fósforo inorgânico em fósforo orgânico, atuando na condição de resiliência de solos argilosos, pelos altos teores de óxidos de ferro destes, quando comparados com solos arenosos (Conte et al., 2003).

Na crosta terrestre, o silício é o segundo elemento com mais abundância, em peso, e nos minerais do grupo dos silicatos é o componente majoritário (Raij, 1991). Vieira (1988) também reitera o silício como componente dos minerais, sendo que o quartzo constitui-se de bióxido de silício em estado cristalino, isto é, a sílica cristalina é o quartzo, o que justifica esse elemento ser um dos minerais mais frequentes na natureza.

Os solos tropicais são, de maneira geral, altamente intemperizados, fato este decorrente da dessilicatização, o que gera a gênese de solos ricos em óxidos de ferro e alumínio e com baixas quantidades de silício (Si) na sua constituição (Queiroz, 2006). Sendo assim, a quantidade de silício solúvel presente nos solos das regiões tropicais e, por sinal, solos predominantes da Região Missioneira do Estado do Rio Grande do Sul, como os Latossolos, é geralmente menor do que na maioria dos solos temperados.

Como descrito por Queiroz (2006) e de acordo com o decreto Nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 aprovado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento o silício passou a ser considerado um elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais, mais especificamente, um micronutriente benéfico. Portanto, para a utilização do silício em misturas sólidas ou fluídas, com macronutrientes primários ou secundários, para aplicação no solo diretamente ou via fertirrigação, as garantias mínimas não poderão ser inferiores a 1%, em produtos sólidos, e 0,5%, em produtos fluídos solúveis em água.

Atualmente, dentre as fontes de silício comercializadas, algumas provém de rochas moídas. Sendo assim, para Queiroz (2006), existem diversas fontes de silício comercializadas no Brasil, como as escórias de siderurgia, e fontes naturais, que são constituídas quimicamente de silicatos de cálcio e/ou magnésio.

Para Malavolta (2006) o silício contribui para o crescimento e a produção de diversas maneiras: melhorando condições físicas e químicas desfavoráveis, contribuindo diretamente para nutrição e aumentando a resistência a pragas e a moléstias. Apesar de não considerado elemento essencial às plantas, no que tange ao seu crescimento, porém agronomicamente benéfico, o silício tem aumentado a resistência física de várias espécies, por desenvolver características específicas nas células vegetais, devido ao aumento da espessura da lamela média, às pragas e às doenças (Oliveira, 2013). Ainda assim, tornando as plantas melhor

adaptadas às condições de cultivo como diversos tipos de estresses ambientais, tais como temperaturas altas, deficiência hídrica e toxidez de substâncias como ferro e manganês associados às raízes.

A utilização de silício tem proporcionado o aumento do grau de resistência de plantas ao ataque de diversos insetos (Silva, 2009), como as lagartas do cartucho observado por Goussain et al. (2002) e o pulgão-das-gramíneas verificado por Gomes et al. (2005) na cultura do trigo, fatos estes ocorridos principalmente em gramíneas. Somado a estes benefícios, a aplicação do silício tem potencial para estimular o crescimento, aumentar a produção, proteger contra estresses bióticos e abióticos, devido à barreira mecânica proporcionada pela deposição de sílica nos tecidos foliares e tricomas, além da produção de compostos fenólicos, que atuam na defesa da planta (Silva, 2009). O ácido monossilícico é a principal forma de absorção de Si pelas plantas (Korndörfer et al., 2004).

As principais fontes de silício, além do próprio solo, são os silicatos, que apresentam inúmeras ações benéficas, influenciadas pela alteração do pH, entre elas o aumento de Ca e Mg, saturação por bases e P (Demattê et al., 2011). Ainda de acordo com os autores, como fontes de silício para as plantas, tem sido utilizado escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo, cimento termofosfato, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio, silicatos de magnésio (serpentinóis) e silicato de cálcio.

Os silicatos de cálcio e magnésio apresentam composição semelhante à dos carbonatos (calcário CaCO_3) (Castro, 2012). Para Barbosa et al. (2008) a aplicação de silicato de cálcio (CaSiO_3) e magnésio (MgSiO_3) aumentou o pH e o teor de Si do solo, promovendo benefícios ao solo na medida que aumenta a disponibilidade de Si, Ca e Mg e indiretamente na disponibilidade de P, podendo ainda reduzir a toxidez de Fe, Mn e Al.

Quanto ao aspecto comercial, Lima Filho et al., (1999) verifica que, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de Ca e Mg, podem ainda serem utilizadas como corretivos da acidez do solo devido à sua basicidade, além de serem fontes de Si.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação a base silicato de cálcio e

magnésio obtido pela mistura de pós de rochas, sobre a disponibilidade de nutrientes no solo e no tecido e sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho.

1.1.1.1 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Avaliar o efeito de doses diferentes de adubação com fertilizante natural rico em silicato de Cálcio e Magnésio para a cultura do milho;
- b) Avaliar a emergência do milho;
- c) Determinar altura de planta, área foliar, índice de área foliar, diâmetro de colmo;
- d) Avaliar a altura de inserção da primeira espiga, tamanho de espiga, peso de 100 grãos;
- e) Determinar o efeito da adubação na produtividade de grãos do milho;
- f) Avaliar as características químicas do solo pré e pós aplicação da adubação de silício;
- g) Determinar os teores de N, P, K, Ca, Mg e Si em análise de tecido vegetal de folhas do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho é um dos principais cereais cultivados no mundo, do qual são oriundos produtos utilizados para a alimentação humana, animal e matérias-primas para a indústria (Fancelli e Dourado Neto, 2000). É uma cultura de grande importância econômica devido à área cultivada e volume de produção, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. É uma planta de origem tropical e que conseqüentemente, exige, durante seu ciclo vegetativo, calor e umidade suficientes para seu pleno desenvolvimento.

Conforme indicações técnicas da Embrapa (2013b) a produção de milho representa mais de 30% do total de grãos produzidos, destacada importância na alimentação humana e animal, produção de combustível etanol principalmente nos Estados Unidos, além de ser utilizado para fabricação dos mais diversos produtos como medicamentos e colas.

Dados da Embrapa (2013b) mostram que a produção de milho no Brasil, no período entre 2004 e 2013, teve um crescimento anual de 4,7%, enquanto que o consumo cresceu 2,8% no mesmo período. Esses mesmos dados caracterizam que no Rio Grande do Sul a cultura do milho apresenta expressiva importância socioeconômica, ocupando aproximadamente 20% do total das áreas semeadas com cultivos de primavera-verão.

O milho é uma planta que pertence à família Gramineae/Poaceae, e ainda pertence a um grupo de plantas com metabolismo C₄. A cultura do milho encontra-se amplamente cultivada no Brasil. Isto se deve tanto à sua multiplicidade de usos na propriedade rural quanto à tradição de cultivo desse cereal pelos agricultores brasileiros (Magalhães et al. 2002). No âmbito tecnológico, o comportamento de aversão ao risco, a baixa disponibilidade de capital para custeio e menor ainda para investimento, o grau de instrução formal geralmente baixo, a comercialização fortemente vinculada a intermediários e o alto grau de consumo na própria propriedade são características geralmente associadas à condição do agricultor familiar. Ainda conforme Magalhães et al. (2002), diferenças nos rendimentos agrícolas são devido a fatores edafoclimáticos e econômicos e ao estoque de conhecimento disponível e disseminado entre os agricultores (no que se refere ao uso de insumos e práticas culturais). A taxa de desenvolvimento da cultura do milho pode ser alterada por vários fatores, tais como disponibilidade de água no solo, temperatura, radiação solar, fotoperíodo e parâmetros de fertilidade do solo (Knies et al., 2008).

A adubação nas culturas de interesse agrícola, como o milho, tem grande importância no que diz respeito a produção de grãos, bem como sua utilização para silagem, nos parâmetros de massa verde e seca para utilização como fonte de nutrição animal (Silva, 2009). Os elementos que são considerados não essenciais para as plantas, também exercem influência no desenvolvimento da cultura, proporcionando benefícios, uma vez que a resposta das culturas quanto aos micronutrientes a produção e a qualidade de grãos têm sido observadas.

As exigências nutricionais do milho estão relacionadas pela quantidade de nutrientes que a planta extrai durante seu ciclo, quando para produção de grãos ou silagem de planta inteira (Coelho et al., 1995).

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho e o nutriente que mais limita a produtividade desta cultura (Broch et al., 2009). Quanto a absorção de potássio Ritchie et al., (2003) afirmam que ela é completada logo após o florescimento, porém a absorção dos outros nutrientes essenciais, como por exemplo o nitrogênio e fósforo, continua até próximo da maturidade do milho.

A extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produção, e a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (Coelho et al., 1995). Ainda, para os referidos autores, no que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o fósforo é o elemento que é em grande parte translocado para as sementes (80 a 90%), seguindo-se o nitrogênio (75%), o enxofre (60%), o magnésio (50%), o potássio (20-30%) e em menor quantidade o cálcio (10-15%),

2.2 O SILÍCIO NA CROSTA TERRESTRE

O oxigênio é o primeiro elemento seguido pelo silício em abundância no solo, já que a maioria dos minerais presentes no solo é de silicatos de alumínio (Epstein & Bloom, 2005). A litosfera, segundo Malavolta (2006) apresenta em sua composição 47% de O e 28% de Si, concordando com Epstein & Bloom (2005). Nesse sentido, Raij & Camargo (1973) também afirmam que o Si é um dos elementos mais encontrados na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos.

O silício em solos ocorre principalmente no mineral inerte das areias, o quartzo (SiO_4),

bem como na caulinita e outros minerais de argila, sendo assim o elemento ocorre na solução do solo, como o ácido monossilícico Si(OH)_4 (Raij, 1991).

A solubilidade de vários silicatos do solo é muito variável, bem como a concentração de silício na solução do solo (Epstein & Bloom, 2005). O conteúdo de silício em plantas também é variável, pois depende das espécies, seu ambiente de solo e outros fatores. Ainda conforme os autores, a maioria dos solos são predominantemente silicatos ou aluminossilicatos, sendo que na solução do solo o silício está presente como ácido silícico (H_4SiO_4). Para Sandim et al., (2010) necessita-se de mais estudos e mais conhecimentos sobre o uso adequado desses compostos.

O silício, de maneira geral, não é considerado entre o grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. Entretanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda, etc.) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, tomate, alface e repolho) têm mostrado incrementos de produtividades com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas (Silva, 2009).

O silício mesmo sendo um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades do mesmo, cultivos consecutivos podem reduzir o nível deste elemento até um ponto em que a adubação com silício seja necessária para obtenção de máximas produções (Silva, 2009). Sendo assim, solos com grau de intemperização elevados e altamente lixiviados, ácidos, com baixos teores de silício trocável e baixa relação de Si/sesquióxidos, tem sido apontados como fatores que levam solos a se tornarem particularmente pobres em silício disponível para as plantas.

Para Sandim et al. (2010), o silício ainda é um elemento pouco conhecido na agricultura, mas que tem potencial de alcançar importância, com os novos estudos de seu papel na nutrição de algumas plantas comerciais, principalmente gramíneas, como arroz, cana-de-açúcar e milho. Ainda segundo o autor, o silício absorvido pelas raízes junto com a água tende a acumular-se nas folhas de algumas gramíneas, formando uma barreira protetora contra o ataque de insetos e fungos e regulando a perda de água da planta por evapotranspiração. Desse modo, o autor define que a adubação complementar com silício aumenta a produtividade, reduz gastos com agrotóxicos e torna a planta conseqüentemente mais resistente ao acamamento.

2.3 DINÂMICA DO SILÍCIO NAS PLANTAS

O silício, como elemento benéfico, contribui em aspectos para o crescimento e a produção, como a melhoria das condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis; contribuindo diretamente para a nutrição e acrescentando a resistência a pragas e moléstias (Malavolta, 2006). O silício tem sido aplicado, mesmo não sendo um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas, visando principalmente a aumentar a resistência da planta a pragas e doenças (Silva, 2009).

A ação benéfica do Si tem sido associada a diversos efeitos indiretos, dentre os quais se destacam: aumento na eficiência de aproveitamento e uso da energia solar e, conseqüentemente, aumento da capacidade fotossintética, redução da transpiração, aumento da resistência mecânica das células, aumento da resistência das plantas a certos insetos e doenças, redução da acumulação tóxica de Mn, Fe, Al e outros metais pesados, aumento da absorção de outros elementos, tais como o P, produção de plantas mais eretas e aumento do metabolismo do P (Sandim et al., 2010). Aliado a isso, O efeito do silício em plantas está na diminuição dos efeitos tóxicos do Al em decorrência da sua menor absorção por elas (Lima Filho et al., 1999).

A absorção do silício ocorre por meio das raízes das plantas como ácido monossilícico, por processo ativo ou passivo, através de transportadores de membrana específicos para tal (Rodrigues et al., 2011). Desse modo, os autores ainda colocam que, após absorção o transporte é feito via xilema e pode ser regulado pela transpiração ou por processo ativo.

O silício também exerce influência nos fatores abióticos como salinidade, toxicidade a metais, déficit hídrico, danos devido à radiação, balanço de nutrientes, temperaturas elevadas e geadas (Silva, 2009). Esses efeitos benéficos são consequência da alta acumulação de sílica nos tecidos da planta. Para Feng (2004) a direcionamento do melhoramento genético tem sido proposto para obtenção de plantas com maior teor de silício e com isso visar o alcance de resistências múltiplas.

A aplicação de silício via foliar mostrou efeitos positivos em plantas de milho, no crescimento de folhas, no desenvolvimento de caules, aumentando a resistência, no maior aeração na zona de raízes, aumentando o número de grãos, proporcionando acréscimos na acumulação de matéria seca e na produção de milho (Silva, 2009). O ácido monossilícico

depois de absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes células da epiderme, o qual contribui para fortalecer a estrutura da planta, além de diminuir a transpiração (Rodrigues et al., 2011).

Os valores normais para o silício em matéria vegetal seca variam de aproximadamente 0,1% a 10%, embora tanto valores menores ou maiores possam ser admitidos (Epstein & Bloom, 2005). Ainda conforme os autores, altos valores de silício são encontrados unicamente em arroz (*Oryza sativa*), os quais excedem aqueles de qualquer outro nutriente mineral, incluindo nitrogênio. Os autores também afirmam que o silício está presente em plantas em níveis na faixa dos elementos do grupo dos macronutrientes.

2.4 DINÂMICA DO SILÍCIO NO SOLO

No solo, de acordo com Malavolta (2006) o Si está presente como: a) minerais primários e quartzo; b) minerais secundários; c) adsorvido (íon silicato pode ocupar os sítios usados pelos íons fosfato, o que pode ser admitido que o silicato desloque fosfato para solução do solo, local de ocorrência de raízes) e, d) na solução do solo como H_4SiO_4 , o qual diminui quando o pH é alcalino.

As principais formas de silício presentes são: a) silício solúvel (H_4SiO_4), que é desprovido de carga elétrica; b) silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e c) os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos) (Raij & Camargo, 1973). Os autores também apontam que além do pH, a temperatura, o tamanho das partículas, a composição química e a presença de rachaduras na sua estrutura, influenciam a solubilidade destes minerais; fatores do solo também influenciam na dissolução desses minerais, tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de óxido-redução e quantidade de sesquióxidos.

Os solos brasileiros caracterizam-se por serem altamente intemperizados, em que se encontra material rico em argilominerais de baixa atividade, como a caulinita e óxidos de Fe e Al (Korndöfer et al., 1999a). Nesse sentido, o Si contido nos minerais do solo, originais ou neoformados, somente serão aproveitados pelas plantas quando forem submetidos à decomposição devido aos processos de intemperismo do solo Malavolta (2006).

O silício também possui efeito sobre a decomposição da palhada, ou seja, na relação C/N, pois quanto maior a concentração de silício no resíduo vegetal deixado sobre o solo, menor a velocidade de decomposição da mesma (Korndöfer, 1999). Um dos efeitos do silício

com reflexos no sistema plantio direto é a manutenção de uma palhada mais estável, de mais difícil decomposição na superfície do solo.

Para Castro (2012), os solos geralmente possuem de 5 a 40% de Si na sua composição, sendo que essa grande variação percentual deve-se ao grau de intemperismo dos solos, no qual os mais intemperizados, como os Latossolos, possuem baixos teores, enquanto solos mais jovens como os cambissolos concentram maiores teores do elemento. De acordo com Korndörfer et al. (1999) a concentração de Si na fração argila está ligada ao grau de intemperismo que sofreram os minerais silicatados de origem, posteriormente o grau de lixiviação de SiO_2 e de bases do perfil resultante desse processo de intemperismo.

Em plantas que absorvem bastante silício, ele é rapidamente transportado para a parte aérea à medida que a água é transpirada pelas folhas, o silício é dissolvido nelas e torna-se supersaturado ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) formando compostos chamados de opala (Epstein e Bloom, 2006). Ainda segundo os autores, esses compostos são largamente incorporados no final do fluxo transpiratório de água das paredes celulares, empregando rigidez e aspereza a essas.

O ácido monossilícico (H_4SiO_4) em sua forma disponível de Si na solução do solo, pode ter origem da decomposição dos resíduos de culturas, dos fertilizantes silicatados, da água de irrigação, da dissociação dos polímeros do ácido monossilícico, da dessorção dos óxidos de ferro e de alumínio ou da dissolução dos minerais do solo (Lima Filho et al. 1999). Ainda segundo os autores, quando o H_4SiO_4 encontra-se na solução do solo pode ser adsorvido a óxidos e hidróxidos de Fe e de Al, precipitar e formar minerais cristalinos, formar polímeros, ser absorvido pelas plantas ou lixiviado. A absorção de silício contido na solução do solo ocorre de forma passiva por gramíneas, ao passo que o elemento acompanha o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas (Raij, 1991).

Conforme descrito por Malavolta, (1980); Mendes et al. (2011) o Si é transportado como H_4SiO_4 no xilema, e sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta ao passo que essa distribuição depende também da espécie, sendo uniforme nas plantas que acumulam pouco Si e nas acumuladoras, como o arroz (*Oryza sativa*), 90% do elemento encontra-se na parte aérea. Ainda de acordo com Mendes et al. (2011) o silício é um elemento imóvel na planta, sendo depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, com destaque que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar.

A forma de fornecimento de Si para as plantas vem sendo foco de estudos,

recentemente, a partir da liberação do uso do silicato de potássio como fertilizante (Freitas et al., 2011). Até então, conforme os autores, o Si era fornecido para as plantas somente via uso de escórias de siderurgia, na forma de silicatos de cálcio e magnésio, os quais são fontes de baixíssima solubilidade em água e que, dependendo da origem, podem apresentar traços de metais pesados. Para os autores, o silicato de potássio é uma fonte interessante de fornecimento de Si, que, aplicado via foliar, pode facilitar o aproveitamento desse elemento pelas plantas, além de poder ser aplicado em conjunto com fungicidas e inseticidas, economizando-se, assim, em aplicações.

Em estudos conduzidos por Freitas et al. (2011), a aplicação foliar de Si não influenciou o crescimento e a produção de plantas de milho quando o teor máximo de 7,70 g kg⁻¹ Si nas folhas de milho é obtido com a aplicação foliar de 217,9 g ha⁻¹ de Si.

Portanto, discutir o efeito do Si em condição de campo é bastante difícil visto que inúmeros fatores podem interferir na sua ação (Silva, 2009). O primeiro deles, e mais importante, segundo o autor, é o tipo de solo, visto que a maior ou menor absorção do Si depende da disponibilidade desse elemento na solução do solo, uma vez que em seu trabalho a autora verificou que, ocorre grande disponibilidade natural do silício na maioria dos solos, seus efeitos sobre as plantas e conseqüentemente sobre os agentes biológicos que as utilizam, não são suficientes para interferir de maneira significativa tanto no desenvolvimento vegetativo e na produtividade quanto na incidência da praga e na prevenção dos seus danos.

Apesar disso, o silício tem sido utilizado na forma de fertilizante em diversos países, como no Brasil, Japão, Estados Unidos (EUA), Austrália e África do Sul, principalmente. Nesses locais, essa adubação é utilizada em cultivos de arroz e cana-de-açúcar.

No Brasil, o Si foi recentemente incluído na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos como micronutriente benéfico para as plantas e, portanto, pode ser comercializado isoladamente ou em mistura com outros nutrientes. Esses benefícios, estão ligados a aumentos na produtividade e na resistência contra pragas e doenças e redução dos efeitos do excesso de metais tóxicos (Alumínio), do estresse salino e da deficiência hídrica, resistência ao acamamento, dentre outros. O Si é absorvido pelas raízes das plantas na forma neutra como ácido monossilícico (H₄SiO₄) por processo ativo e passivo. Depois de absorvido é depositado principalmente nas paredes celulares da epiderme (Rodrigues et al., 2011).

2.5 RELAÇÃO SI E P NO SOLO

Os solos tropicais e subtropicais sujeitos à intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicificação. Estes solos, segundo os autores, normalmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P, além de uma atividade da microbiota reduzida (Lima Filho et al., 1999).

O silício tem sido reportado por ter vários efeitos benéficos no crescimento de plantas, incluindo o aumento na disponibilização do fósforo quando os solos possuem altas quantidades de fósforo adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio (Koski-Vahala et al., 2001; MA et al., 2001).

As principais fontes de ácido silícico presentes na fração solúvel do solo são: decomposição de restos vegetais (mineralização), dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes minerais silicatados, e a água de irrigação (Lima Filho et al., 1999).

Conforme observado por Carvalho et al. (2000) ocorre uma competição Si x P pelos mesmos sítios de adsorção, de maneira que o segundo pode deslocar (dessorver) o primeiro, e vice-versa, da fase sólida para a líquida. Aliado a estes acontecimentos, a calagem em pré-cultivo e seu efeito sobre o pH mascara a disponibilidade de P pelo Si.

Dessa forma, a aplicação de silicato aumenta a fração solúvel do fósforo no solo e diminui a fixação deste elemento contido nos fertilizantes fosfatados (Queiroz, 2006). Ainda segundo o autor, discute-se o efeito favorável deste fertilizante na absorção de P e na produção de matéria seca. Provavelmente isso ocorre por: a) aumento na absorção de silício; b) a menor fixação do P, causado pela elevação do pH, já que o silicato é um corretivo de acidez do solo; c) competição entre o silicato e o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo; ou d) ao conjunto destes fatores. Para Malavolta (2006) o silício pode ainda, auxiliar a atenuar o efeito maléfico do excesso de Mn e do Fe dos solos ácidos.

A correção da acidez com silicatos, além de elevar o pH do solo poderia aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, pelo efeito adicional do deslocamento do fósforo adsorvido nos colóides para a solução e também pela diminuição da fixação deste elemento contido nos fertilizantes fosfatados, além de aumentar a disponibilidade de Ca e Mg nos solos

(Queiroz, 2006).

Além disso, a disponibilidade do fósforo no solo tem influência do aumento do pH pela aplicação dos silicatos de cálcio e magnésio (calagem) que corresponde a neutralização do H^+ e do Al^{+3} tóxico da solução do solo (Malavolta, 2006). Do mesmo modo que os calcários (carbonatos de Ca e Mg), os silicatos agrícolas, como por exemplo, o termofosfato magnésiano, tem seu poder de neutralização.

Portanto, busca-se a analisar a viabilidade de aplicação de novos fertilizantes minerais nas culturas de interesse agrícola, especificamente na cultura do milho, como forma de aumentar a produtividade de grãos para comercialização e parâmetros que levam ao maior rendimento de massa verde para possível utilização como fonte de alimentação animal.

Nesse sentido, cabe a avaliação dos efeitos positivos ou negativos de novos fertilizantes comerciais, para uso na agricultura, como a adubação a base de silicatos de Cálcio e Magnésio derivados da mistura de pós de rochas, como alternativa para melhorar o aproveitamento do fósforo no solo, aumentar os teores disponíveis de Ca e Mg e de Si para as plantas e incrementar ganhos aos agricultores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos do estudo, instalou-se um experimento no campo experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS campus de Cerro Largo/RS. O solo da área experimental pertence à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 2013a). Antes da instalação do experimento realizou-se análise de solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características do solo antes da implantação do experimento determinadas na profundidade de 0 a 10 cm.

Parâmetros	Teor
Argila (%)	57,0
MO (%)	3,1
pH – H ₂ O	5,2
Ca (cmol _c dm ⁻³)	8,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,4
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,2
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,6
Índice SMP	6,0
P-Mehlich (mgdm ⁻³)	19,5
K (mgdm ⁻³)	352,0
Saturação Al (cmol _c dm ⁻³)	1,3
Saturação Bases	72,3
CTC pH _{7,0} (cmol _c dm ⁻³)	16,5

Utilizou-se delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de sete linhas, sendo cada uma delas distribuídas com espaçamento de 0,50 metros entre linhas e com 4 metros de comprimento. A área útil era compreendida por 5 linhas principais de cada subparcela, desprezando 0,5 metros na extremidade de cada linha. O adubo utilizado teve como composição básica Cálcio (9%), Magnésio (2%) e Silício (9%), sendo oriundo da mistura de cinco rochas silicatadas, o qual é comercializado na forma granulada.

Para a implantação da cultura do milho utilizou-se a cultivar 2B433PW da Empresa Dow Agrosiences Sementes e Biotecnologia, semeada no dia 12 de fevereiro de 2014. A cultivar de milho utilizada possui características de superprecocidade, é um híbrido triplo, grão semi-dentado de coloração amarelo-alaranjada, com finalidade de uso para grão e silagem e indicada para o cultivo de safra e safrinha.

A distribuição das sementes foi de forma manual, na densidade de 3,5 sementes/metro. Por ocasião da semeadura foi realizada uma capina manual para controle das plantas daninhas.

Cada parcela tem 7 linhas (5 teste + 2 bordadura), correspondendo a 14 m². As parcelas foram conduzidas com os seguintes tratamentos (Tabela 2): testemunha (sem adubação com silício), semeadura com adubação em linha (na cova), semeadura com adubação a lanço e semeadura com adubação 30% na semeadura e 70% de cobertura, esta última realizada no estágio V4 (4 folhas expandidas). Além disso, as doses aplicadas foram de 200 kg/ha e 400 kg/ha da adubação com silicato. Todo o experimento recebeu uma adubação de base com NPK de 450 kg/ha da fórmula 05-20-20 por ocasião da semeadura. No estágio V3 e V8 foram realizadas as aplicações em cobertura de nitrogênio na dose de 150 kg/ha, respectivamente. Para tal, utilizou-se ureia de formulação comercial 46-00-00.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados.

Tratamentos	Dose (kg ha ⁻¹)
Test - Testemunha	0
S200 - Adubação na linha de semeadura	200
L200 - Adubação em superfície	200
C200 - Adubação em cobertura*	200
S400 - Adubação na linha de semeadura	400
L400 - Adubação em superfície	400
C400 - Adubação em cobertura*	400

* adubação com 30% da dose na linha e 70% da dose em cobertura

Para análise química do solo, antes de ser realizado a semeadura do milho foi coletada uma amostra por bloco, composta por uma sub amostra de cada parcela do bloco, totalizando 4 amostras. Para as avaliações químicas, utilizou-se análise completa das amostras de solo, as quais foram realizadas seguindo procedimento descrito por Tedesco et al. (1995).

Para determinações do estágio fenológico, foram marcadas três plantas por parcela, sendo assim, o ciclo fenológico do milho foi acompanhado conforme escala proposta por Ritchie et al. (1993).

Após a semeadura, determinou-se a emergência de plantas por meio da contagem de plântulas emergidas em uma linha por parcela, por três metros lineares, desprezando-se 0,5 metros das bordas das linhas.

Para as avaliações de características morfológicas, a coleta de dados para diâmetro de colmo e altura de planta foi realizada a partir do estádio V7 (36 DAE). Nas avaliações de altura de plantas, diâmetro de colmo e altura de inserção da primeira espiga foram avaliadas cinco plantas por parcela, aleatoriamente demarcadas nas linhas de avaliação, ou seja, as mesmas plantas para essas avaliações. Para determinação da altura de planta, foi utilizada uma trena métrica, medindo desde a superfície do solo até a inserção (aurícula) da última folha formada (verdadeira), nos 36, 45, 53, 60 e 68 DAE. Para diâmetro de colmo, foi utilizado um paquímetro digital (DIGIMESS IP54) obtendo-se a medida a 10 cm da superfície do solo, em 37, 46, 53, 60, 68, 75 e 82 DAE. A altura de inserção da primeira espiga foi determinada através da medição da distância do solo até a inserção da espiga na planta nas cinco plantas escolhidas ao acaso com auxílio de uma trena métrica, nos 114 DAE.

A determinação da área foliar (AF) foi efetuada quando mais de 75% das plantas apresentavam-se em R1 da escala de Ritchie et al. (1993). Foi obtida pela expressão (Sangoi et al., 2007; 2011):

$$AF = C \times L \times 0,75$$

em que C e L representam o comprimento e a largura (cm), respectivamente, de todas as folhas com mais de 50% de área verde, de três plantas por parcela. Para tanto, mediu-se todas as folhas da planta que atenderam a este requisito, assim, a área foliar individual foi calculada somando-se as áreas de todas as folhas da planta.

O Índice de Área Foliar (IAF), m^2m^{-2} , foi estimado pela relação entre a área foliar e o espaço ocupado pelas plantas em cada tratamento, pela equação:

$$IAF = \frac{AF}{E_1 \times E_2}$$

em que AF, cm^2 , E_1 e E_2 representam, espaçamento (cm) entre plantas e entre linhas, respectivamente, conforme descrito por Soares (2003).

Para os componentes do rendimento, foi realizada a colheita de espigas em uma área de 3,0 m^2 , no centro da parcela, em todo o experimento. Para o cálculo da produtividade, foi realizada a debulha manual das espigas de milho, realizada a pesagem dos grãos e após ajustada a umidade a 13% resultando na produtividade em kg/ha.

Para determinar o número de grãos por espiga, após realizar a colheita das espigas, foi

realizada e contagem de grãos por espigas em cinco plantas escolhidas ao acaso por parcela, em laboratório. A massa de 1000 grãos foi determinada pela contagem dos grãos e pesagem, com correção da umidade a 13%. Foi avaliado o tamanho de espiga pelo seu comprimento retilíneo entre as extremidades e diâmetro no terço médio da espiga.

Para quantificar os teores de N, P, K, Ca e Mg nas folhas, quanto a absorção em função da aplicação do fertilizante derivado de pós de rocha, foi realizada a análise do tecido vegetal conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Foi coletada uma folha por planta (folha oposta e abaixo da espiga), em cinco plantas por parcela na época do florescimento, de acordo com a indicação do Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2004), secas em estufa de ar forçado a 40°C.

Para os parâmetros químicos do solo, foi coletado amostras em pré implantação do experimento e na pós-colheita do milho, sendo retirada uma amostra de solo por parcela, totalizando 28 amostras, coletadas na profundidade de 0-10 cm. Essas amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Análises de Solos (LAS) da UFSM, Santa Maria – RS, credenciado pela rede ROLAS.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ano agrícola de 2014 para a cultura de milho safrinha teve redução de produtividade e de qualidade de grãos, devido às condições meteorológicas (Figura 1). A produtividade média do milho 2ª safra para a Região Sul foi de 5388 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014). A produtividade média do experimento foi de 5162,7 kg ha⁻¹, pois no período de colheita, as espigas estavam com umidade alta, pelos índices pluviométricos elevados, ocasionando grãos com menor peso e qualidade.

Os dados meteorológicos foram obtidos pela estação meteorológica automática da UFFS campus de Cerro Largo, localizada nas coordenadas 28°08'31.2"S e 54°45'25.2"W e 253m de altitude. A Figura 1 apresenta os dados diários de precipitação diária (mm) e umidade relativa do ar (%) no período de 20 de janeiro de 2014 a 31 de julho de 2014. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 1133,8 mm num ciclo de 149 dias da cultura do milho (semeadura até colheita).

Baseado nessas informações, no mês de janeiro (3º decêndio) e fevereiro houve poucas precipitações, 18,4 e 124,8 mm respectivamente, valores que ficaram abaixo da Normal Climática Brasileira (1961 – 1990) de Precipitação Acumulada Decendial (janeiro) e Mensal (demais meses), correspondendo a 46,4 e 133,1 mm, respectivamente, conforme dados do site do INMET da Estação Meteorológica de São Luiz Gonzaga/RS (Figura 2). Para os meses de maio e junho, as precipitações foram elevadas, 319,6 e 326,0 mm, respectivamente, totalizando 645,6 mm de chuva (Figura 2) e superaram a Normal Climática Brasileira, que foi de 118,3 mm para o mês de maio e 180,2 mm para o mês de junho.

Tal condição meteorológica coincidiu com os estágios reprodutivos do milho, o que prejudicou a produtividade de grãos bem como a qualidade destes (Figura 1) já que as plantas apresentavam variadas doenças fúngicas nas folhas (manchas foliares – mancha foliar de *Turcicum* e mancha foliar de *Cercospora* e ferrugens) e nas espigas (podridões – *Fusarium moniliforme*), reduzindo a capacidade fotossintética das plantas, promovendo o aumento da suscetibilidade a outros patógenos e a pragas, fazendo com que a planta diminuísse sua resistência aos estresses abióticos e bióticos.

O número de Dias Após a Emergência (DAE) foi considerado em 16 de fevereiro de 2014, data em que a contagem de plantas emergidas no experimento apresentou-se $\geq 50\%$ população total de plantas, ocorrendo 4 dias após a semeadura (DAS).

Figura 1. Precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do ciclo da cultura do milho.

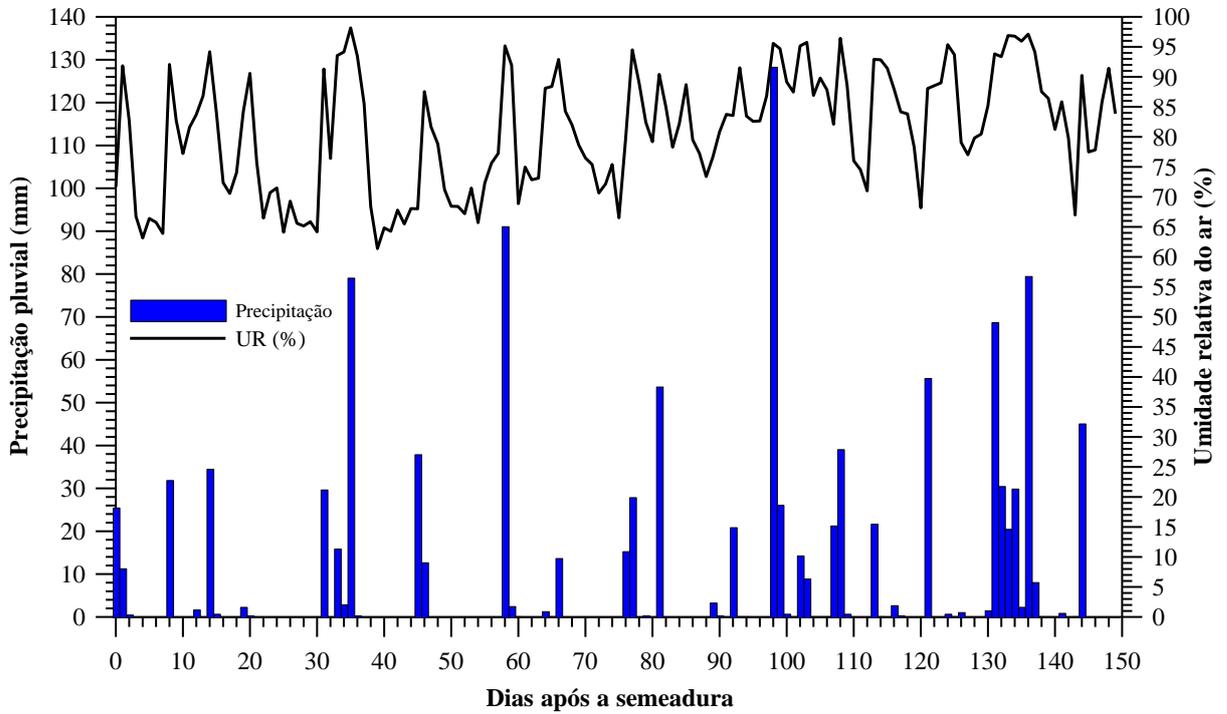
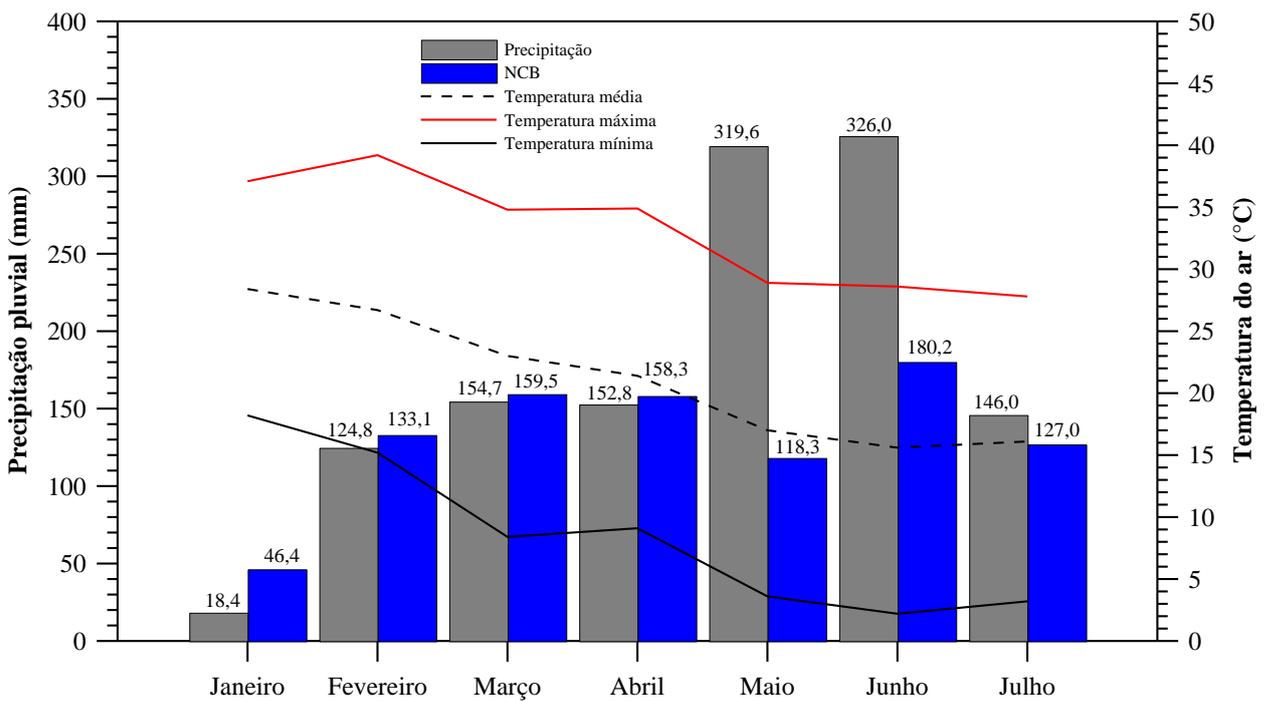


Figura 2. Temperatura do ar, precipitação acumulada e a Normal Climatológica Brasileira de precipitação acumulada mensal ao longo do ciclo fenológico da cultura do milho.



As médias de altura de plantas não diferiram significativamente entre os tratamentos utilizados, realizadas nas avaliações de 36, 45, 53, 60 e 68 DAE (Tabela 3). A altura de plantas máxima observada na última avaliação foi de 1,89 metros até a última folha formada no ápice da planta. Para a altura de inserção de espiga, as médias não diferiram significativamente em relação a testemunha, sendo observada uma média de 0,946 metros de altura de inserção da espiga no colmo principal da planta.

Tabela 3. Altura de plantas de milho (cm) em diferentes datas de avaliação e altura de inserção de espigas de milho (cm).

Tratamentos	Altura de plantas (cm)					Altura de inserção de espigas (cm)
	36 DAE	45 DAE	53 DAE	60 DAE	68 DAE	
Test	42,3 a*	95,2 a*	162,1 a*	185,5 a*	186,7 a*	95,8 a*
S200	43,6 a	98,1 a	163,9 a	185,2 a	185,4 a	95,9 a
L200	43,0 a	98,4 a	166,0 a	187,9 a	189,0 a	95,6 a
C200	43,2 a	99,3 a	161,4 a	189,4 a	189,6 a	95,3 a
S400	43,6 a	97,9 a	161,0 a	181,5 a	182,7 a	93,1 a
L400	43,2 a	97,8 a	166,1 a	184,1 a	184,7 a	92,9 a
C400	43,6 a	98,1 a	161,7 a	183,3 a	183,4 a	93,9 a
C.V. (%)	7,0	6,4	4,4	2,5	2,4	4,6

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

DAE - Dias Após a Emergência

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

Também não houve efeito significativo nos resultados de diâmetro de colmos (Tabela 4) na cultura do milho quando efetuado nas avaliações realizadas em 37, 46, 53, 60, 68, 75 e 82 DAE.

Não houve efeito significativo na área foliar e consequentemente no índice de área foliar (Tabela 5) na avaliação feita em R1. O índice de área foliar (IAF) encontrados variam de 3,525 a 3,816 m² m⁻², semelhante aos valores encontrados por Soares et al., 2003, quando de sua determinou AF e IAF na cultura do milho.

É difícil relacionar os valores aqui observados com os obtidos em outros trabalhos uma vez que Silva (2009), afirma que discutir o efeito do Si na condição de campo é bastante difícil visto que inúmeros fatores podem interferir na sua ação. O primeiro deles, e mais importante, é o tipo de solo, visto que a maior ou menor absorção do Si depende da

disponibilidade desse elemento na solução do solo.

Tabela 4. Diâmetro de colmos, em mm, de plantas de milho em diferentes datas de avaliação.

Tratamentos	Diâmetro de colmos (mm)						
	37 DAE	46 DAE	53 DAE	60 DAE	68 DAE	75 DAE	82 DAE
Test	23,4 a*	24,1 a*	23,7 a*	22,8 a*	21,1 a*	20,1 a*	19,2 a*
S200	24,1 a	24,8 a	23,8 a	22,9 a	20,5 a	19,4 a	19,2 a
L200	24,6 a	25,6 a	23,6 a	23,2 a	21,6 a	20,9 a	19,9 a
C200	25,4 a	25,5 a	24,6 a	24,3 a	21,8 a	21,2 a	20,2 a
S400	24,1 a	24,0 a	23,6 a	22,8 a	20,6 a	19,8 a	18,9 a
L400	23,6 a	24,8 a	24,0 a	23,8 a	21,5 a	20,3 a	19,8 a
C400	24,5 a	25,2 a	24,6 a	23,4 a	21,9 a	21,0 a	20,0 a
C.V. (%)	5,0	5,6	4,9	4,4	5,7	5,4	4,8

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

DAE - Dias Após a Emergência

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

Tabela 5. Área Foliar (AF) e Índice de Área Foliar (IAF) de plantas de milho no estágio R1.

Tratamentos	AF (cm ²)	IAF (m ² m ⁻²)
Test	5079,5 a*	3,5 a*
S200	5269,1 a	3,7 a
L200	5429,7 a	3,8 a
C200	5039,6 a	3,5 a
S400	5157,5 a	3,6 a
L400	5048,8 a	3,5 a
C400	5120,6 a	3,5 a
C.V. (%)		12,6

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

A Tabela 6 apresenta os teores de macronutrientes na folha de milho, sendo eles, N, P, K, Ca e Mg. Os valores médios de N no tecido variaram de 2,91 a 3,19%. Para Tedesco et al. (1995), o teor de N varia com a espécie, variedade, parte, desenvolvimento e estado nutricional da planta, geralmente, situa-se entre 0,5 e 5%. Os teores médios de P variaram de 0,26 a 0,30% entre os tratamentos. Para Tedesco et al. (1995), o teor de P no tecido vegetal

varia em geral entre 0,08 e 1,5%.

Os resultados médios de K estão entre 2,5 e 2,7% nos tratamentos. Conforme Tedesco et al. (1995) o teor de K no tecido vegetal varia na maior parte dos casos entre 0,2 e 10%. Já os teores médios de Ca e Mg variaram entre 0,32 e 0,41% e entre 0,040 e 0,060%, respectivamente. Em Tedesco et al. (1995), os teores de Ca no tecido vegetal variam geralmente entre 0,05 e 2,5% e os de Mg entre 0,02 e 1,5%. Desse modo, os teores apresentados na Tabela 6 estão de acordo com os teores descritos por Tedesco et al. (1995). Ainda assim, os teores de N, P, K e Ca na folha de milho (Tabela 6) estão dentro da faixa de suficiência de macronutrientes (CQFS, 2004).

Tabela 6. Teor de nutrientes na folha de milho.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Test	30,3 a*	2,9 a*	26,4 a*	3,4 a*	0,4 a*
S200	30,6 a	2,6 a	25,1 a	3,4 a	0,5 a
L200	30,9 a	3,0 a	26,6 a	4,1 a	0,4 a
C200	30,3 a	2,9 a	26,9 a	3,7 a	0,4 a
S400	29,1 a	2,9 a	26,4 a	3,9 a	0,6 a
L400	31,9 a	2,7 a	26,4 a	3,2 a	0,4 a
C400	30,0 a	2,7 a	27,1 a	3,7 a	0,4 a
C.V.(%)	5,3	10,1	6,4	15,8	22,9

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

Os atributos químicos do solo após a colheita da cultura do milho (Tabela 7) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos utilizados. A interpretação desses atributos químicos do solo, de acordo com CQFS (2004), tem como resultados que o solo apresenta necessidade de calagem para corrigir a acidez, já que o pH é classificado como muito baixo (< 5,0), somado a isso, a saturação de bases também apresenta valor baixo (45 – 64%). Para fósforo e potássio, os valores são classificados em muito alto, onde a adubação seria somente de reposição. Os teores de cálcio e magnésio apresentam-se como altos. A saturação de alumínio apresentou-se baixa.

Tabela 7. Atributos químicos do solo após a colheita da cultura do milho, amostras de 0 a 10 cm de profundidade.

Atributos	Tratamentos						
	Test	S200	L200	C200	S400	L400	C400
pH - H ₂ O	4,8 a*	4,8 a*	5,02 a*	4,8 a*	4,8 a*	4,7 a*	4,8 a*
P- Mehlich (mg dm ⁻³)	21,4 a	15,0 a	22,0 a	20,1 a	20,4 a	19,7 a	21,1 a
K (mg dm ⁻³)	316,0 a	297,0 a	337,0 a	315,0 a	323,0 a	332,0 a	328,0 a
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,5 a	5,1 a	6,1 a	5,2 a	5,6 a	5,0 a	5,3 a
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,2 a	1,1 a	1,2 a	1,0 a	1,2 a	1,0 a	1,1 a
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,4 a	0,4 a	0,2 a	0,4 a	0,4 a	0,5 a	0,4 a
Saturação Bases (%)	54,0 a	49,6 a	54,7 a	50,7 a	54,7 a	46,3 a	49,6 a
Saturação Al (%)	6,5 a	5,7 a	3,3 a	5,6 a	4,9 a	7,5 a	5,9 a

* Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

Os resultados de produtividade de grãos de milho, no cultivo de safrinha do ano de 2014 (Tabela 8), indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados em relação a testemunha, sendo assim, não houve resposta em produtividade da cultura do milho ao aumento da dose da adubação com silicato de cálcio e magnésio.

Quanto a massa de 1000 grãos, também não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados. O mesmo pode ser observado nas médias de comprimento e diâmetro de espiga, demonstrando não haver diferença significativa no tamanho das espigas de milho, nas duas doses analisadas em relação a testemunha, e conseqüentemente, na sua correlação com a produtividade de grãos da cultura do milho (Tabela 8).

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2009) no qual não constatou influencia no tamanho e no peso de grãos das plantas de milho, visto que não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos com Si nem entre estes e a testemunha.

Correlacionado aos resultados encontrados, conforme Epstein & Bloom (2005), ocorre variabilidade na solubilidade de vários silicatos do solo, bem como a concentração de silício na solução do solo. Para os autores, o conteúdo de silício em plantas também é variável, pois depende das espécies, seu ambiente de solo e outros fatores.

Tabela 8. Produtividade de grãos de milho, Peso de 1000 grãos (g), Comprimento (C) e Diâmetro (D) de espigas (mm) de milho, safrinha 2014.

Tratamentos	Produtividade		Peso de 1000 grãos (g)	C (mm)	D (mm)
	kg ha ⁻¹	sc ha ^{-1**}			
Test	5236,3 a*	87,2 a*	288,5 a*	113,6 a*	48,4 a*
S200	5914,7 a	98,5 a	289,1 a	117,3 a	49,9 a
L200	4791,5 a	79,8 a	283,5 a	112,2 a	49,2 a
C200	4670,8 a	77,8 a	283,5 a	116,9 a	49,2 a
S400	5283,5 a	88,0 a	277,8 a	115,4 a	48,0 a
L400	5121,2 a	85,3 a	285,5 a	114,0 a	48,1 a
C400	5120,9 a	85,3 a	276,0 a	110,3 a	48,4 a
C.V. (%)	12,8		7,8	5,3	2,3

** Sacas de 60 kg

* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Test = Testemunha; S200 = adubação linha de semeadura 200kg/ha; L200 = adubação superfície 200kg/ha; C200 = adubação cobertura 200kg/ha; S400 = adubação linha de semeadura 400kg/ha; L200 = adubação superfície 400kg/ha; C400 = adubação cobertura 400kg/ha.

Um aspecto importante do Si está no fato de ser um condicionante do solo melhor do que o Ca, no que tange principalmente à correção do pH e na redução da toxicidade do Al e do Mn, visto que em menores quantidades proporciona melhores resultados. Essa ação é importante para o pleno desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, porém, essas características se evidenciam em termos práticos em áreas onde esses problemas seriam realmente limitantes (Silva, 2009).

Os ânions silicatos aumentam o pH do solo, podendo fazer com que a atividade dos elementos tóxicos seja diminuída, precipitando-os em compostos insolúveis ou formando polímeros de baixa solubilidade para as plantas (Rodrigues et al., 2011). A toxicidade de alumínio para as plantas é observada em solos naturalmente ácidos, como em algumas classes de Cambissolos e Latossolos (Streck, et al., 2008) com maior pronunciamento desta característica química.

No entanto, outro fator é a menor solubilidade de alguns silicatos, o que também pode afetar a disponibilidade dos elementos presentes. Para Freitas et al. (2011) a forma de fornecimento de Si para as plantas vem sendo estudada, recentemente, a partir da liberação do uso do silicato de potássio como fertilizante. Até então, o Si era fornecido para as plantas somente via uso de escórias de siderurgia, na forma de silicatos de cálcio e magnésio, os quais são fontes de baixíssima solubilidade em água e que, dependendo da origem, podem

apresentar traços de metais pesados. Ainda assim, alguns trabalhos descrevem os silicatos de cálcio e magnésio com potencial para correção da acidez do solo, substituindo o calcário com vantagens, pelos benefícios do Ca e do Mg no solo (Castro, 2012).

O Si pode apresentar-se como elemento benéfico as plantas. Nesse sentido, quando as plantas de milho são afetadas diretamente pelo estresse hídrico nos processos bioquímicos, estes mecanismos, por sua vez, são relacionados a produção, pareceram ser controlados pela presença do silício (Conceição et al., 2012).

Para a avaliação da eficiência agronômica da utilização de silicatos de cálcio e magnésio no solo, trabalhos ainda estão sendo conduzidos, bem como, o estudo mais detalhado destas adubações na cultura do milho. Nesse sentido, Sandim et al. (2010) afirma que necessita-se de mais estudos e mais conhecimentos sobre o uso adequado desses compostos. Para o autor, o silício ainda é um elemento pouco conhecido na agricultura, mas tem potencial de alcançar importância, com os novos estudos de seu papel na nutrição de algumas plantas comerciais, principalmente gramíneas, como arroz, cana-de-açúcar e milho.

Cabe ressaltar que neste estudo, a aplicação do silicato de cálcio e magnésio é recente, no qual um novo experimento está sendo conduzido, buscando avaliar a solubilidade desse fertilizante num maior período de tempo. Assim, será determinado sua relação com os teores por meio de análise química completa e o teor de Si no solo e N, P, K, Ca, Mg e Si no tecido, bem como, na produtividade de grãos da cultura do milho, sem a adição suplementar de P e K na área.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do silicato de cálcio e magnésio não interferiu significativamente nas variáveis de desenvolvimento obtidas e nem na produtividade do milho.

Não houve diferença significativa entre as dosagens de 200 e 400 kg/ha de silicato de cálcio e magnésio em relação a testemunha, nem entre as formas e momentos de aplicação.

Não houve efeito significativo nos teores de N, P, K, Ca e Mg nas folhas de milho sob os tratamentos utilizados. O mesmo ocorreu nos atributos químicos do solo.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, N. C.; VENÂNCIO, R.; ASSIS, M. R. S.; PAIVA, J. de B.; CARNEIRO, M. A. C.; PEREIRA, H. S. Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em Neossolo quartzarênico de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 38, n. 4, p. 290-296, out./dez. 2008.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho. **Revista e Produção: Soja e Milho**, p. 133-140, 2009.
- CARVALHO, R.; NETO, A. E.F.; CURI, N.; FERNANDES, L. A.; JR, A. C. O. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: p. 69-74, 2000.
- CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**. Botucatu. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura). 155 p. 2012.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de.; Seja o doutor do seu milho Nutrição e Adubação. **Arquivo do agrônomo** Nº 2 - 2ª edição, p. 1-25, setembro/1995.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 1 – Safra 2013/14, n. 6 – Sexto Levantamento, mar. 2014
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.1 – Safra 2013/14, n.11 – Décimo primeiro levantamento, ago. 2014.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: p. 893-900, 2003.
- CONCEIÇÃO, A. G. da C.; COELHO, C. C. R.; SILVA, J. E. S.; SILVA, J. L. de S.; SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M.; NEVES, M. G.; SILVA, J. N. da; NETO, C. F. de O. **Respostas Osmóticas em Folhas e Raízes de Milho em Diferentes Níveis de Silício e de Deficiência Hídrica**. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia – 2012.
- CQFS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS - 10. Ed. – Porto Alegre, 400 p. 2004.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 353 p. 2013a.
- EMBRAPA. **LVIII Reunião Técnica Anual de Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015** – Brasília, DF: Embrapa, 124 p. 2013b.

DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas** N° 133. p. 7-12, março 2011.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta Título Original: Mineral Nutrition of Plants / Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. – Sunderland: Sinauer Associates, 2004.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** Vol. 91, p. 11-17, January 1994.

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

FENG, J. Ma. Role of Silicon in Enhancing the Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 50 (1), p. 11-18, 2004.

FREITAS, L. B. de; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n.2, p. 262-267, mar/abr, 2011.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C. de; SANTOS, C. D. dos; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.62, n.6, p. 547-551, Nov./Dec. 2005.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology** 31(2): p. 305-310, April – June, 2002.

KNIES, A. E.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; MICHELON, C. J.; GRASEL, L. F.; SEVERO, L. F. **Fenologia de plantas de milho visando o manejo da cultura e de irrigação**. Santa Maria, 2008.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:p. 635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G.H. **Existe alguma relação entre silício e PD**. In: DIRETO NO CERRADO, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 4 (12) 5, abr/1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico 02), 50 p. 2004.

LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações agronômicas** n° 87 – setembro/99, 1999.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P. PAIVA, E. Fisiologia do milho. **EMBRAPA**, Circular Técnica 22, Sete Lagoas, MG. p. 1-23, 2002.

MALAVOLTA, Euripedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MENDES, L. da S.; SOUZA, H. E. de; MACHADO, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrociências**. UNIPAM, (2): p. 51-63, set. 2011.

OLIVEIRA, S. de. Oliveira, Sandro de; **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja** - Pelotas, 2013. 66 p.: il. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

QUEIROZ, A. A. **Interação do silicato de cálcio e magnésio granulado em mistura com adubos fosfatados solúveis**. Uberlândia, 119 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia da Universidade Paulista de Ilha Solteira, 2001.

RAIJ, B. V.; CAMARGO, O. A. de; Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, vol. 32, N. 11, p. 223-236, 1973.

RHEINHEIMER, D. dos S; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Potafós**, Piracicaba: Informações Agronômicas Nº 103, p. 1-20, 2003.

RODRIGUES, F. de A.; OLIVEIRA, L. A. de; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas** Nº 134, p. 14-20, 2011.

SANDIM, A. da S.; RIBON, A. A.; DIOGO, L. O.; SAVI, M. A. Doses de silício na produtividade do milho (*Zea mays* L.) híbrido simples na região de Campo Grande – MS. **Cascavel**, v.3, n.1, p.171-178, 2010.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p. 263-271, 2007

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F. da; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. de. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.6, p. 609-616, jun. 2011.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, mar-abr, 2008.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H., DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A Review. **J. Plant Nutr.** 22 (12): p. 1853-1903, 1999.

SILVA, A. C. A. e. **Efeito do silício aplicado no solo e em pulverização foliar na incidência da lagarta do cartucho na cultura do milho**. Botucatu: [s.n.]. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Proteção de plantas), 2009.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays L.*)**. Dissertação (Mestrado – Fitotecnia). Piracicaba, 92 p. 2003.

STRECK, Edeimar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed – Porto Alegre: Emater/RS – ASCAR. 222 p. 2008.

TEDESCO, M J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. 2. ed ver. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. (Boletim Técnico N°5), 174 p. 1995.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos Solos Tropicais**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 2ª edição, 464 p. 1988.