

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIELA MARQUES CARDOSO

**ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLUÇÃO EM SOLOS DESSATURADOS E DE
TEXTURAS ARENOSA E MUITO ARGILOSA**

Uberlândia

2020

GABRIELA MARQUES CARDOSO

ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLUÇÃO EM SOLOS DESSATURADOS E DE
TEXTURAS ARENOSA E MUITO ARGILOSA

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para adquirir o
Grau de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientadora Professora Dra. Araújo Hulmann Batista

Uberlândia

2020

GABRIELA MARQUES CARDOSO

ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLUÇÃO EM SOLOS DESSATURADOS E DE
TEXTURAS EXTREMAS: ARENOSA E MUITO ARGILOSA

Aprovado em de de

BANCA EXAMINADORA

Professor Gilberto Fernandes Corrêa

Professor Wedisson Oliveira Santos

Orientadora – Professora Araújo Hulmann Batista - UFU

Uberlândia

2020

A todos aqueles que me ajudaram, primeiramente e principalmente a Deus, aos meus orientadores, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força, direção, cuidado, amor e por preencher meu coração.

Ao Professor Dr. Gilberto Fernandes Corrêa e à Professora Dra. Araújo Hulmann Batista pela orientação, ensino e dedicação.

À Professora Gabriella Queiroz de Almeida pelo auxílio e análises estatísticas do trabalho.

Ao Professor Wedisson Oliveira Santos por aceitar o convite para participar da banca de defesa deste trabalho e por todas as pontuações e observações realizadas.

Ao Técnico-Administrativo do Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) Glaicon Florisbello Alves, ao Técnico do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) João George Moreira, ao Laboratorista Eduardo Oliveira Chagas do Laboratório de Análise de Solo e Planta (LABAS) e ao Técnico do Laboratório de Manejo de Solos (LAMAS), pertencentes à UFU, pelo auxílio e análises realizadas.

À minha mãe pelo apoio, amor, por seu imenso cuidado e esforço em me oferecer as melhores oportunidades.

Ao meu pai pelo cuidado e amor, por me ouvir, aconselhar e compartilhar experiências e à Thereza pelo amor e orações.

Aos meus três irmãos Daniel, Mateus e Alice, que enchem a minha vida de alegria e o meu coração de amor.

Aos amigos que auxiliaram nas coletas para atual pesquisa, Felipe Santos e principalmente Myckell Rafael Campos de Almeida.

A todos os irmãos e amigos que tornam minha vida mais feliz.

“Mas sede fortes, e não desfaleçam as vossas mãos,
porque a vossa obra terá recompensa.”

2 Crônicas 15:7

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO	10
1. HIPÓTESE	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Fase de Campo	11
2.2 Fase Laboratorial	12
2.2.1 Preparo das Amostras.....	12
2.2.2 Análise Textural	13
2.2.3 Determinação de pH.....	13
2.2.4 Extração de Silício	13
2.2.5 Alumínio trocável.....	14
2.2.6 Acidez potencial	14
2.2.7 Cátions trocáveis	14
2.2.8 Análise de metais na solução do solo: espectrometria de emissão atômica com plasma induzido. 15	
2.2.9 Análise estatística.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 Cálculos	23
4. CONCLUSÕES	26
5. BIBLIOGRAFIA.....	26

RESUMO

O silício (Si) é tido como um elemento substancial na crosta terrestre, pois, é considerado o segundo componente mais abundante quando avaliada a variável peso, além de ser considerado elemento benéfico para algumas plantas, principalmente gramíneas. Ocorre que a resposta das plantas está intrinsicamente relacionada a transportadores de Si na solução do solo que consiste no reservatório onde a maioria das reações químicas ocorrem, assim, o estudo de sua composição e relações com a fase sólida, podem elucidar as reações que comandam a atividade e concentração dos íons na solução. Desta forma, o foco principal deste trabalho foi avaliar a concentração do elemento Si na solução de solos em região de Cerrado nos municípios de Uberaba e Uberlândia, MG, em duas distintas classes texturais arenosa e muito argilosa. A coleta das amostras foi realizada em quatro áreas com solos dentro das duas texturas, em duas estações do ano, uma no período seco e outra no chuvoso. Os solos com maiores teores de areia fina, tamponaram mais a solução com o Si, mantendo sua concentração mais alta em relação aos solos mais argilosos.

PALAVRAS-CHAVE: Solos arenosos, solos muito argilosos, silício, solubilidade, quartzo.

ABSTRACT

Silicon (Si) is a substantial element in the terrestrial layer considered the second most abundant component when evaluating the weight variable; it is also considered a beneficial element for plants, especially grasses. The response of the plants is intrinsically related to the concentration in the soil solution, which is defined as the reservoir where most of the chemical reactions occur. Therefore, the study of soil composition and relations with the solid phase can elucidate the reactions that command the activity and concentration of ions in the solution. Thus, the main focus of this work is to evaluate the concentration of the element Si in the solution of Cerrado soils in the Municipality regions of Uberaba and Uberlândia, MG, in two different textural classes, due to the dissolution of the quartz minerals present in the sand fraction: (i) sandy and (ii) very clayey. The collection of samples was carried out in four different areas with soils within the two textures, in two seasons: in the dry period and in the rainy season. The soils with higher levels of fine sand showed the solution more buffered with Si, maintaining its higher concentration in relation to the more clayey soils.

KEYWORDS: Sandy soils, very clayey soils, silicon, solubility, quartz.

INTRODUÇÃO

O silício (Si) na crosta terrestre é considerado o segundo componente mais abundante quando avaliada a variável peso. A presença do Si nos solos é notada principalmente em duas formas, a de silicatos secundários na fração argila e minerais silicatados encontrados principalmente na fração areia (VAN RAIJ; CAMARGO, 1973; MOTA et al, 2007; LEPSCH, 2011). O intemperismo químico que ocorre nos solos é causado principalmente pela água, que condiciona a velocidade das reações químicas na fase sólida, bem como o transporte dos produtos destas dissoluções no perfil do solo (R.TROEH; THOMPSON, 2007). Ao entrar em contato com a água os minerais silicatados primários sofrem transformações químicas formando ácido monossilícico (H_4SiO_4), forma esta que pode ser absorvida pelas plantas (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001).

Solos de textura arenosa têm elevadas quantidades de Si na fase sólida devido à presença de quartzo na fração areia, este mineral apresenta elevada resistência ao intemperismo, concentrando-se nestas frações mais grosseiras. Todavia, estes minerais podem sofrer dissolução, principalmente quando presente em frações de menor tamanho, como as partículas de areia mais finas e silte. Além das frações mais finas, a dissolução dos minerais silicatados também ocorre na superfície das partículas mais grosseiras de quartzo (fração areia grossa) levando à alteração da morfologia dos grãos, que passam a ter um contorno rendilhado, possível de ser observado em microscópios óticos, e, com mais detalhes, nos equipamentos de microscopia eletrônica de varredura (CORRÊA, 1989; SPERA et al., 1999). Este é um processo que exige solos bem drenados, reação ácida e baixa concentração de Si na solução (MILLOT, 1964). Estas condições são comumente observadas em solos altamente intemperizados, como os da região do Cerrado no Brasil central.

O Si não é considerado um nutriente ou elemento essencial e sim um elemento benéfico para as plantas, principalmente gramíneas (RODRIGUES et al, 2011). Quando absorvido, na forma de ácido monossilícico, a maior parte do silício é direcionada para as células da parede celular das plantas, o que ocasiona menor perda de água no processo de transpiração e maior resistência a estresses hídricos (FILGUEIRAS, 2007). A aplicação de Si nas plantações traz outros benefícios como maior resistência a estresses bióticos e abióticos e aumento da produtividade (REIS et al., 2008). Segundo Fernandes et al. (2009) o silício auxilia no controle de doenças e pragas na cultura do café, e de acordo com Barbosa Filho e Prabhu (2002) é útil para a cultura do arroz, pois, sua ausência ou baixa disponibilidade pode predeterminar maior incidência de doenças e pragas. Auxilia também na redução de ataques de pulgão à soja

(BUSSOLARO; ZELIN; SIMONETTI, 2011 e CAPPELLESSO et al, 2016) e no combate à traça das crucíferas (*Plutella xylostella*) na cultura do repolho (FREITAS; JUNQUEIRA; MICHEREFF FILHO, 2012 e FREITAS, 2014).

Como mencionado anteriormente, o fornecimento de Si via adubação pode favorecer o desenvolvimento e a produtividade de culturas agrícolas. Ocorre que a resposta das plantas está intrinsicamente relacionada à concentração de Si na solução do solo, que é mantida de acordo com a dissolução da fase sólida, ou seja, de acordo com o equilíbrio químico da solução. Existe uma condição de equilíbrio entre os componentes da solução e fase sólida. Soluções mais diluídas, favorecem a dissolução dos minerais e vice-versa. A solução do solo é o reservatório onde a maioria das reações químicas ocorrem, assim, o estudo de sua composição e relações com a fase sólida, podem elucidar as reações que comandam a atividade e concentração dos íons na solução.

Desta forma, o foco principal deste trabalho foi avaliar a concentração do elemento Si na solução de solos, compreendendo em duas classes texturais: (i) arenosa (solo areno-quartzoso de origem sedimentar) com distintas concentrações de areia fina e (ii) muito argilosa, também solos de origem sedimentar, ambos com ampla oscilação do lençol freático.

1. HIPÓTESE

Solos de natureza areno-quartzosa, com predomínio de areia fina (0,05 a 0,2 mm), possuem maior disponibilidade de Si na solução em relação a solos argilosos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fase de Campo

Foram selecionados oito pontos para coleta de solo (unidades experimentais - 4 solos argilosos e 4 solos arenosos). Nestes locais foram coletadas amostras do solo e da solução do solo. As unidades experimentais encontram-se localizadas nos municípios de Uberlândia e Uberaba (MG). De cada ponto foram coletadas duas amostras de solução do solo, sendo a primeira no final do período seco (setembro de 2017) e a segunda no final do período chuvoso (abril de 2018). Estas amostras foram coletadas pouco abaixo do nível superior do lençol freático para que, assim, os resultados (bases e acidez) possam ser compatibilizados com a

disponibilidade às plantas. Essa coleta foi feita por sucção utilizando uma mangueira de látex. As amostras de solo foram coletadas com o trado holandês em profundidade compatível com a posição estável do nível do lençol freático, ou seja, abaixo de sua faixa de oscilação (depleção) (Quadro 1). Isto para assegurar uma certa estabilidade na relação solo/solução. As profundidades dos furos variaram conforme a profundidade do lençol freático. As amostras de solo foram coletadas apenas na ocasião da tradagem dos furos. Na época “das águas” foram retiradas novamente, apenas as amostras da solução do solo.

Quadro 1. Dados sobre os pontos de coleta, com as profundidades para cada ponto amostral.

Pontos amostrais	Latitude	Longitude	Profundidade do furo (cm)	Profundidade da amostra de solo (cm)	Profundidade do lençol* freático (cm)
1	-19° 04' 8,04"	-48° 08' 18,96"	476	456 - 476	380
2	-19° 04' 7,68"	-48° 08' 18,6"	290	270 - 290	65
3	-19° 08' 8,52"	-48° 08' 7,44"	153	103 - 123	58
4	-19° 12' 14,76"	-48° 06' 54,4"	108	88 - 108	43
5	-18° 58' 13,56"	-48° 15' 45,72"	207	187 - 207	33
6	-19° 13' 56,44"	-48° 12' 14,77"	198	178 - 198	49
7	-19° 14' 13,93"	-48° 12' 12,74"	235	215 - 235	60
8	-19° 14' 7,91"	-48° 10' 42,58"	287	215 - 235	60

*Período seco

As amostragens da solução do solo foram feitas no terço inferior das vertentes e, uma delas (ponto 1) em posição de cimeira (chapadão) em local com microrrelevo de murundus, locais estes onde o lençol freático está relativamente próximo à superfície. Convém ressaltar que a solução do solo na base de uma vertente provém, em grande parte, das áreas de boa drenagem à montante, principalmente no período de estiagem.

2.2 Fase Laboratorial

2.2.1 Preparo das Amostras

A partir das amostras de solos coletadas em cada ponto amostral (Quadro 1), obteve-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para ser levada aos laboratórios para análises diversas. A solução

retirada dos solos foi filtrada em papel filtro quantitativo para a análise de silício, e os metais sódio, potássio, cálcio, alumínio e magnésio.

2.2.2 Análise Textural

Para a análise textural das amostras foi utilizado o método da pipeta preconizado por Embrapa (2011). Foram pesados 10 gramas de TFSA, adicionados 50 mL de solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e deixado em repouso por 12 horas. Após essa etapa, cada amostra foi agitada durante 15 minutos para solos argilosos e 5 minutos para os arenosos, ambas a 10.000 rotações por minutos (rpm). Na sequência, duas peneiras (tamis) foram utilizadas, uma de malha de 0,210 mm e outra de 0,053mm, com o objetivo de separação das frações areia grossa e areia fina, respectivamente.

A argila mais o silte permanecem em suspensão na água destilada utilizada durante a tamisagem (separação das areias). Esta suspensão é colocada em uma proveta de 1000 mL, completando sua capacidade com água destilada. Agitou-se o conteúdo nas provetas e após 46 segundos, com uma pipeta, coletou-se o volume de 25 mL a 10 cm de profundidade. A solução foi deixada em repouso por 4 horas para a segunda coleta também de 25 mL, a uma profundidade de 5 cm, para determinação do teor de argila. As alíquotas coletadas foram colocadas em cadinhos de porcelana e juntamente com as areias foram levadas para secagem em estufa.

2.2.3 Determinação de pH

Através do método potenciométrico descrito por Embrapa (2011), foram obtidos o pH em H_2O e em KCl de cada amostra de solo e da solução do solo. Foram utilizados 10g de TFSA e 25 mL de H_2O ou KCl 1 mol L^{-1} . Após agitação de 15 minutos e repouso de 45 minutos, fez-se a leitura em potenciômetro de bancada.

2.2.4 Extração de Silício

Foi realizada com a adição de 100 mL da solução extratora de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ em um recipiente com capacidade de 150 mL contendo 10g de TFSA. Após agitação (50 rpm) por uma hora em agitador horizontal, esperou-se 15 min para decantação. Em seguida fez-se a filtragem da suspensão que foi, então, deixada em repouso por mais de 12 horas.

Para determinação do teor de silício, uma alíquota de 10 mL do extrato (filtrado/decantado) foi pipetada, obtendo-se padrões de (0; 0,4; 1,0; 2,0 mg L⁻¹ de Si). Foram pipetados 0; 2; 5 e 10 mL da solução padrão de 20 mg L⁻¹ de Si e colocados em balões com capacidade de 100 mL os quais foram completados com água destilada. De cada um dos padrões retirou-se uma alíquota de 10 mL e adicionou-se 1 mL de solução sulfo-molíbica. O molibdato presente na solução reage com o silício do extrato desenvolvendo uma coloração amarelada. Transcorrido 10 minutos, foram acrescentados 2 mL de solução de ácido tartárico 200 mg L⁻¹ para complexar o fósforo (P) que também adquire cor amarelada. Após 5 minutos, 10 mL da solução de ácido ascórbico foram adicionados. Com a redução do composto contendo Si, o complexo de cor amarela passa a ter cor azul. Após 1:00 hora, fez-se a leitura em espectrofotômetro UV-visível no comprimento de onda de 660 nm.

Para determinação do Si na solução do solo o processo foi igual para o extrato adquirido no início da determinação de silício no solo, ou seja, o processo iniciou-se a partir das extrações das alíquotas até a leitura no espectrofotômetro. Metodologia utilizada pelo LAFER (Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes) da Universidade Federal de Uberlândia onde as análises foram realizadas.

2.2.5 Acidez trocável

O alumínio trocável (Al⁺³) foi extraído de uma amostra 10 g de TFSA com solução de KCl 1 mol L⁻¹ seguida de agitação por 15 minutos e repouso de 12 horas. Em 25 mL do extrato foram adicionadas três gotas de azul de bromotimol e a solução foi titulada com hidróxido de sódio a 0,025 mol L⁻¹.

2.2.6 Acidez potencial

Foram utilizados 25 mL de solução de CaCl₂ (0,01 molar) e 5 mL de solução tampão SMP a pH 7,5 em 10 g de TFSA. Seguiu-se agitação por 15 minutos a 220 rpm e 45 minutos de repouso. Após o processo foi feita a determinação de H⁺+Al⁺³ através da leitura do pH da solução por potenciômetro de bancada. A concentração de H⁺+Al³⁺ é estimada por meio de equações que a relaciona ao pH de equilíbrio.

2.2.7 Cátions trocáveis

Pelo acréscimo de 100 mL de solução de KCL 1 mol L⁻¹ em 10g de TFSA foi realizada a extração de Ca⁺² e Mg⁺² após 15 minutos de agitação e repouso de 12 horas. O Ca⁺² foi quantificado com a adição de 5 mL de coquetel para cálcio composto por 3 gotas de calcon com

50 mL de H₂O em 25 mL do extrato, titulado com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) com 0,01 N. O Mg⁺² foi quantificado com a adição de 5 mL de coquetel para cálcio em alíquota de 25 mL acrescido de 3 gotas de preto de eriocromo T, também titulado com EDTA 0,01 N.

2.2.8 Análise de metais na solução do solo: espectrometria de emissão atômica com plasma induzido

A metodologia utilizada nas análises foi a criação da curva padrão para todos elementos (sódio, potássio, cálcio, alumínio e magnésio), que consiste em estabelecer uma faixa crescente de concentração dos elementos presentes através de pontos conhecidos de padrões sintéticos, garantindo estabilidade, sensibilidade e linearidade. O equipamento utilizado foi o Agilent Technologies 5100 ICP-OES. Foi usada a potência de 1,2 kW, com leitura axial e coeficiente de correlação de 0,999.

2.2.9 Análise estatística

Foram aplicados o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade e variância, e Lilliefors, para testar a normalidade a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo é um sistema aberto considerado multicomponente devido as várias substâncias que o formam (MELLO; PEREZ, 2009). Algumas dessas partículas são classificadas de acordo com suas respectivas dimensões, como a areia grossa, fina, silte e argila, e a proporção das mesmas confere à textura do solo. As combinações são muitas e o sistema gráfico de classificação foi desenvolvido facilitando a classificação dos solos (REINERT; REICHERT, 2006). O estudo atual foi realizado em solos de diferentes texturas, argilosa a muito argilosa e de média a arenosa, em oito pontos de coleta. Os quatro primeiros apresentaram solos argilosos e os demais arenosos, como mostra o quadro 2. Observa-se nos resultados que o teor de areia fina se distingue nos solos mais arenosos (pontos 5, 6, 7 e 8), com os maiores valores observados no solo 8.

Quadro 2. Distribuição granulométrica da terra fina ($\varnothing < 2 \text{ mm}$) dos solos nas oito unidades amostrais.

Pontos Amostrais	Matéria Orgânica	Granulometria da TFSA g kg^{-1} (NaOH 0,1 mol L ⁻¹)			
		dag kg ⁻¹	Areia Fina*	Areia grossa**	Silte Argila
1	0,3	40	90	200	670
2	0,3	90	400	60	450
3	0,5	80	260	60	600
4	0,8	40	80	160	720
5	0,4	120	630	20	230
6	0,4	300	400	40	260
7	0,3	250	500	20	220
8	0,3	470	380	20	130

*Partículas de diâmetro de 0,05 até 0,2 mm. ** Partículas de diâmetro de 0,2 até 2 mm.

Os teores de matéria orgânica dos solos variaram de 0,3 até 0,8 dag ha⁻¹ (Quadro 2). A matéria orgânica é a principal fonte de carbono para os solos, e suas interações com diversos componentes da fase sólida e porosa influenciam a retenção de água, formação de agregados, densidade, capacidade de troca catiônica (CTC), entre outros (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

O Quadro 3 mostra os resultados de teores trocáveis de K, Ca e Mg, bases importantes, tanto na nutrição de plantas como no equilíbrio químico e estabilidade de alguns minerais silicatados nos solos. Para alguns solos, principalmente os de regiões tropicais úmidas, é comum o processo natural de acidificação, redução do pH, devido à elevada precipitação pluviométrica e temperaturas altas que favorecem o intemperismo químico. Os valores observados para todos os solos foram muito baixos, especialmente para o K, que não foi detectado em algumas das amostras avaliadas. Com alta mobilidade, este cátion é facilmente lixiviado e perde-se do sistema. Não houve diferença estatística entre os solos arenosos e argilosos nos teores de K. Apesar das distintas classes texturais, mesmo argilosos, os solos de 1 até 4 apresentam CTC efetiva e total muito baixas, com valores que demonstram a presença de argilas de baixa atividade e com baixa capacidade de retenção de nutrientes. Até mesmo os valores de alumínio são baixos, indicando a pobreza química destes ambientes.

As atividades dos elementos do solo dependem de alguns ou vários fatores, como a do alumínio que, por exemplo, dentre outros fatores é influenciada pelo pH e a composição mineralógica do solo. De modo geral, a atividade do Al³⁺ na solução diminui com o aumento

do pH do solo. Para um mesmo valor de pH as atividades de Al^{3+} em solução, variam em função do tipo de mineral presente na fase sólida. Quando se desloca das regiões de trocas (saturação por alumínio representada pela letra m) é hidrolisado, mantendo ou reduzindo ainda mais, o baixo pH do solo. Os baixos valores de alumínio são coerentes com o pH acima de 5,0, nos quais o elemento está completamente hidrolisado, como $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, com exceção para a amostra 5 (Quadro 5), que apesar de elevado pH (5,4) apresentou teor de Al^{3+} de $0,6 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$. O alto grau de intemperismo fica evidente com os resultados obtidos, incluindo o que se observa para a acidez ativa (pH em água). Nota-se que o pH em água é acima de 5,0 em todas as amostras avaliadas. Apesar de não ter sido medido o pH em solução $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$, é possível inferir que o delta pH (pH KCl – pH água) pode ser positivo ou nulo, indicando caráter ácido para os solos amostrados.

Quadro 3. Caracterização química das oito amostras de solo coletadas dentro da faixa de flutuação do lençol freático.

Pontos amostrais	K	Ca	Mg	Soma de bases (S)	Al	H+Al	T	m	V	pH solo:água 1:2,5
	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$								%	
1	0,00	0,10	0,10	0,20	0,00	2,00	2,20	0	9,09	6,2
2	0,00	0,10	0,10	0,20	0,00	2,00	2,20	0	9,09	5,8
3	0,03	0,10	0,10	0,23	0,00	2,00	2,23	0	10,31	5,9
4	0,02	0,10	0,10	0,22	0,00	2,80	3,02	0	7,28	5,8
5	0,00	0,10	0,10	0,20	0,60	2,80	3,00	75	6,67	5,4
6	0,04	0,10	0,10	0,24	0,00	1,80	2,04	0	11,76	5,0
7	0,02	0,10	0,10	0,22	0,00	1,60	1,82	0	12,09	5,0
8	0,01	0,20	0,20	0,41	0,00	1,30	1,71	0	23,98	5,2

A presença ou não dos elementos analisados, sódio, potássio, cálcio, alumínio, magnésio e silício na solução do solo e seus teores em cada um dos pontos, estão no Quadro 4. É possível notar o comportamento dos nutrientes de acordo com a época de coleta. Por exemplo, na segunda época, o ponto 1 no período “seco” apresentou $1,29 \text{ mg L}^{-1}$ de silício, e na época “das águas” os valores do elemento foram de $1,12 \text{ mg L}^{-1}$, não apresentando diferença expressiva para esta unidade amostral. Já, para sódio, as diferenças foram mais expressivas, com valor de $6,07 \text{ mg L}^{-1}$ na época de estiagem e de $1,27 \text{ mg L}^{-1}$ de sódio, na época úmida, respectivamente. Os resultados apontam uma maior diluição do elemento, diminuindo sua concentração,

possivelmente por processos de remoção do Na pelas águas das chuvas. Tal diluição é expressa na maioria dos pontos e elementos, com exceção do alumínio que nos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8 aumentaram suas concentrações na segunda coleta. Os valores apresentados representam a atividade dos íons na solução, e era esperado que com a diminuição dos outros cátions, a atividade do alumínio fosse maior na época mais úmida, pois este tem preferência a permanecer no sistema em detrimento dos outros cátions. Isto ocorre devido à sua elevada carga elétrica associada a um raio iônico hidratado menor que os dos outros elementos químicos presentes na solução.

Os maiores teores de Si nos solos com maiores teores de areia quartzosa estão apresentados nos Quadros 4 e 6. O quartzo é um mineral praticamente indecomponível e a liberação do Si de sua rede cristalina é essencialmente por dissolução química, que embora muito lenta, é significativa, considerando o volume de areias que representam solos de textura média e arenosa, em clima tropical úmido. Os resultados confirmam, pelas diferenças estatísticas presentes no Quadro 6, que os solos mais areno-quartzosos apresentam maior teor de Si na solução.

No Quadro 5 além do Si na solução do solo, encontra-se o teor de Si no solo. Vale ressaltar que o maior teor de Si na solução foi o da amostra 8 ($2,40 \text{ mg L}^{-1}$) justamente a amostra com os maiores teores e areia total. Dentre os solos estudados, o correspondente à amostra 8 é o mais arenoso (850 g kg^{-1}) e o único que, por este critério (teor de areias menos teor de argila $> 700 \text{ g kg}^{-1}$) (EMBRAPA, 2018), se enquadra na classe Neossolos Quartzarênicos. É de se esperar que em solos areno-quartzosos a concentração de Si em solução tenha uma relação direta com o aumento do teor de areia fina. Considerando o intemperismo e a estabilidade dos minerais no ambiente do solo, não apenas os elevados teores de areia, mas também o tamanho destas partículas, devem ser considerados para explicar o comportamento destes íons em solução. No caso de fornecimento de silício via adubação, solos com maiores teores de areia (especialmente areia fina) podem ser menos responsivos à estas práticas, quando comparados com solos mais argilosos.

De acordo com o Quadro 4 o elemento potássio (K) apresentou maiores concentrações na solução do solo no período seco (primeira coleta) com redução em todos os pontos na coleta realizada no período chuvoso (segunda coleta). Os dados referentes aos solos argilosos, no geral, apresentaram concentrações menores de K^+ em relação às dos solos arenosos na época seca, exceto, parcialmente, o solo do ponto 1. A princípio, poder-se-ia considerar a possibilidade da influência da CTC desses solos nos resultados, pelo fato de que quando argilosos apresentam, em sua maioria, CTC maiores que em solos arenosos. O que de fato

ocorreu entre os pontos de amostragem, mas de forma muito discreta, segundo o Quadro 3. Porém, o K^+ é componente de minerais como as micas e o feldspato e através do intemperismo é liberado para a solução do solo (TROEH; THOMPSON, 2007). O feldspato é mais encontrado nas frações areia e silte dos solos, enquanto a mica na fração argila (TROEH; THOMPSON, 2007 e AMARAL, 2013), o que pode explicar o comportamento desse elemento na solução do solo (Quadro 4). Os solos arenosos (pontos 5, 6, 7 e 8) por possuírem maiores teores de feldspato e mica, principalmente nos pontos 5 e 6 com maiores teores de areia grossa e argila, além do silte em suas composições, e pelo K^+ ser uma base não fortemente retida, foi encontrada em maiores concentrações na solução dos solos arenosos. Enquanto os quatro primeiros pontos, apesar de terem mais silte, apresentam menos areia e menores quantidades do elemento em suas soluções em comparação aos solos arenosos, exceto pelo ponto 1, que apresentou maiores teores de silício e também o maior teor de silte entre todos os pontos (Quadro 2), o que pode explicar esse fato.

Por outro lado, trata-se de solos dessaturados de bases, virtualmente desprovidos de minerais primários facilmente intemperizáveis, fonte de nutrientes. Portanto, no que se refere às bases (Na, K, Ca e Mg), o que se constata a partir dos resultados apresentados no Quadro 4 é que houve diluição com o aumento do volume de água no lençol freático. Nos solos arenosos observa-se um aumento relativo dos teores de bases no período das chuvas, possivelmente devido à lixiviação a partir do horizonte A.

O elemento cálcio (Ca), conforme o Quadro 4, apresentou, no geral, maiores teores na solução dos solos arenosos, com exceção do ponto 5. As concentrações nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 foram muito baixas no período seco o que acarretou na não detecção do elemento na segunda coleta devido a diluição da solução do solo.

O maior teor de Al^{3+} no período chuvoso (Quadro 4) está associado à maior proximidade da coleta da solução em relação ao horizonte A rico em matéria orgânica em razão do hidromorfismo que gera menor flutuação do lençol freático e a água livre é menos oxigenada (RESENDE et al, 2014). Quanto maior o teor de argilas, maior será a interação desta com a fração coloidal orgânica. No ponto 4, onde há mais matéria orgânica (Quadro 2), o teor de Al^{3+} é 20,6 vezes superior àquele verificado na coleta efetuada no período seco. A favor do maior teor de Al^{3+} no período chuvoso é oportuno ressaltar que em ambiente mais redutor (mais OH^- e maior pH) a redução do Fe^{3+} é favorecida e, consequentemente há maior liberação de Al^{3+} que se encontra associado ao Fe. Segundo o Quadro 4 o alumínio não foi detectado nos pontos 1, 7 e 8 na época “seca”, e as maiores concentrações se deram nos pontos 2, 3 e 5, também na primeira coleta. Em todos os pontos, com exceção do 6, houve aumento na concentração de

Al^{3+} no período “das águas”, inclusive com detecção do elemento não detectado da primeira vez. Tal fato pode ser explicado pela mineralogia dos solos, pois o Al^{3+} é constituinte das camadas octaédricas dos filossilicatos (WEDLING, 2012) alguns presentes principalmente na fração areia, outros silte e argila. Sendo assim, no Quadro 2 podemos perceber que a soma das frações argila e silte dos solos argilosos é maior do que as somas entre areia e silte nos solos arenosos, o que pode explicar essa maior dissolução do alumínio, principalmente nos solos argilosos.

O elemento magnésio (Mg) segundo o Quadro 4 teve maiores concentrações na solução dos solos 6, 7 e 8, com redução do teor no período “das águas”, enquanto nos demais a quantidade foi baixa o suficiente na primeira coleta para não ser detectado na segunda pela diluição da solução do solo. Apresentou, portanto, um comportamento similar ao Ca^{2+} e K^+ .

Quadro 4. Teores de metais na solução do solo, em duas épocas (período de estiagem e chuvoso, respectivamente). São apresentados os elementos cujos teores foram significantes, em uma ou nas duas épocas de amostragem.

Elementos		mg L ⁻¹							
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8
Silício (Si)	Primeira Coleta *	1,29	1,44	0,81	1,01	2,17	1,29	1,42	2,40
	Segunda Coleta **	1,12	1,58	0,77	1,12	2,01	1,13	1,22	2,57
Sódio (Na)	Primeira Coleta *	6,07	1,89	2,08	1,84	6,41	3,36	3,00	4,20
	Segunda Coleta **	1,27	0,76	0,91	0,93	3,02	2,29	1,13	2,07
Potássio (K)	Primeira Coleta *	10,75	5,02	5,66	4,44	21,04	23,23	8,60	5,69
	Segunda Coleta **	5,45	2,28	2,50	2,67	10,35	6,81	9,16	14,33
Cálcio (Ca)	Primeira Coleta *	1,10	0,20	0,28	0,64	0,045	18,94	3,81	14,56
	Segunda Coleta **	nd	nd	nd	nd	nd	0,89	3,76	14,22
Alumínio (Al)	Primeira Coleta *	nd	5,26	1,84	0,33	2,44	0,48	nd	nd
	Segunda Coleta **	4,10	19,45	3,52	6,80	4,45	0,0075	2,50	0,0094
Magnésio (Mg)	Primeira Coleta *	0,10	0,06	0,09	0,11	0,0085	4,59	1,09	2,98
	Segunda Coleta **	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	1,16	2,32

*Coleta realizada no período “seco”. **Coleta realizada no período chuvoso. Obs.: Comprimentos de onda utilizados: Al 396,152 nm; Ca 393,366 nm; Na 588,995 nm; e Mg 280,270 nm.

nd: não detectado.

Quadro 5. Teor de silício no solo e na solução deste e pH da solução do solo nos períodos de estiagem (1) e chuvoso (2).

Ponto	Profundidade da amostra de solo	pH 1	pH 2	Silício na solução	Silício no solo CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹
	cm			mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹
1	456-476	6,63	6,91	1,29	6,7
2	270-290	6,84	6,48	1,44	6,2
3	103-123	6,06	6,48	0,81	5,7
4	88-108	6,96	6,38	1,01	5,6
5	187-207	6,93	6,82	2,17	9,1
6	178-198	6,91	5,80	1,29	5,6
7	215-235	7,13	7,40	1,42	5,2
8	267-287	5,95	6,70	2,39	3,1

Analisando o Quadro 6, pode-se concluir que não foi detectado interação entre os fatores textura e época da amostragem de solo, logo os mesmos podem ser analisados separadamente. Também não foi detectada diferença significativa para o efeito da época de amostragem em relação ao teor de Si. Logo, independente da época (estação chuvosa ou de estiagem) o teor médio de Si não se altera. No entanto foi detectado diferença significativa entre o efeito da textura do solo e o teor de Si na solução. Resultado este que, comprova a hipótese do trabalho: solos mais arenosos apresentam maiores teores de silício na solução. Os dados atenderam as preposições de normalidade e homogeneidade do grau de resíduos.

Quadro 6. Análise de variância para teor de silício na solução (mg L⁻¹), de um experimento instalado em delineamento em blocos ao acaso, onde se avaliou o efeito de dois níveis do fator A (solo arenoso e solo argiloso) e dois níveis do fator B (amostragem na estação de estiagem e amostragem na estação chuvosa).

FV	GL	SQ	QM	F	PROBABILIDADE (%)
A	1	1,60719	1,60719	8,79045	1,58064 *
B	1	0,00629	0,00629	0,03439	100,0 ^{ns}
AXB	1	0,00956	0,00956	0,0523	100,0 ^{ns}
TRATAMENTOS	3	1,62304	0,541013		
BLOCOS	3	1,22686	0,40895		
RESÍDUO	9	1,6455	0,18283		
TOTAL	15	4,4954			
CV (%)	29,29076				
Média (argiloso)	1,206				
Média (arenoso)	1,777				

Através do equilíbrio químico do quartzo é possível encontrar a atividade do Si nos oito pontos amostrais para análise e discussão dos resultados. O Si é constituinte básico da estrutura da maioria dos argilominerais, o óxido de silício (SiO_2) é tido como o mineral mais abundante nos solos. Porém, como consequência do acelerado grau de intemperismo dos solos tropicais, como os Latossolos do Brasil, o Si encontra-se, basicamente, na forma de opala e quartzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (MENEGALE, CASTRO & MANCUSO 2015).

O cálculo do ponto 1 de $10^{-4,34} \text{ mol L}^{-1}$ está um pouco abaixo do equilíbrio do quartzo, pois ele em condições de equilíbrio mantém $10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ de Si na solução do solo. Quando a atividade do íon se encontra abaixo daquela prevista pela equação de equilíbrio químico a tendência do mineral é de sofrer dissolução do equilíbrio (MELLO; PEREZ, 2009)

3.1 Cálculos

Os seguintes cálculos são referentes ao equilíbrio químico do quartzo com base na composição da solução do solo coletada neste trabalho.

Ponto 1

Antes do cálculo é necessário expor que quando em equilíbrio a reação de dissolução de hidratação do quartzo (“não” sofre hidrólise) é: $\text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{SiO}_4$ $\log K = -4,00$.

1,29 mg L^{-1} de silício na solução do solo conforme o Quadro 5.

1 mol Si ---- 28100 mg

x ----- 1,29 mg

$x = 4,59 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ aplica o log

$x = 10^{-4,34} \text{ mol L}^{-1}$.

Ponto 8 (amostra do solo com maior teor de areia fina)

2,40 mg L^{-1} de silício na solução do solo conforme o Quadro 5.

1 mol Si ---- 28100 mg

x ----- 2,40 mg

$$x = 8,5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

$$x = 10^{-4,06} \text{ mol L}^{-1}.$$

Nessa amostra de solo, mesmo sendo um sistema aberto, é possível concluir que o alto teor de quartzo está mantendo o teor de Si na solução do solo no seu equilíbrio, ou seja, a dissolução do quartzo e precipitação do Si em quartzo são iguais, portanto o fluxo de água combinado à presença de maior teor de areia fina, favorece o equilíbrio químico, o que levará, possivelmente à neoformação de quartzo na fração argila.

Também é possível descobrir, em função do pH da solução, qual a forma do ácido silícico que predomina naquela solução, sem carga ou desprotonada:

A reação de equilíbrio do ácido silícico é: $\text{H}_4\text{SiO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_3\text{SiO}_4^- + \text{H}^+ + \log K = -9,71$

$$K = (\text{H}_3\text{SiO}_4^-)(\text{H}^+)/(\text{H}_4\text{SiO}_4)$$

$$\log K = \log(\text{H}_3\text{SiO}_4^-)/(\text{H}_4\text{SiO}_4) + \log(\text{H}^+)$$

$$-9,71 = \log(\text{H}_3\text{SiO}_4^-)/(\text{H}_4\text{SiO}_4) - \text{pH}$$

$$\log(\text{H}_3\text{SiO}_4^-)/(\text{H}_4\text{SiO}_4) = -9,71 + \text{pH}$$

O pH de equilíbrio para o quartzo nestas concentrações seria de 9,71. Ou seja, os resultados indicam que está ocorrendo dissolução do mineral presente, principalmente, na fração areia fina. Por meio do exposto acima é possível concluir que os solos de textura arenosa apresentam maiores teores de Si na solução do solo. Isto ocorre porque, apesar do quartzo ser um mineral muito resistente ao intemperismo e ser encontrado em maiores concentrações em horizontes de solos em avançado estágio de intemperização, há a contínua dissolução deste em materiais de menores dimensões. Corrêa (1989) afirma que mesmo a hidrólise do quartzo nas frações areia e silte serem pequenas, ele sofre sim dissolução, principalmente quando presente em partículas menores como a areia fina. Assim é possível, afirmar que a areia fina está contribuindo mais para o tamponamento do Si na solução dos solos arenosos estudados.

Caso haja alguma perturbação nesses sistemas (solos) reduzindo a quantidade de Si na solução desses, por lixiviação, por exemplo, é possível que a concentração do elemento não atinja a atividade necessária para precipitar o quartzo. No solo ocorrem reações de dissolução dos minerais da fase sólida ou de precipitação de íons solúveis para formação de novos minerais. Geralmente, estas reações são reversíveis e o grau de reversibilidade pode ser avaliado pela constante de equilíbrio. A constante de equilíbrio termodinâmico descreve relações entre

as concentrações de produtos e reagentes das reações químicas na condição de equilíbrio, pois nas reações reversíveis existirá este estado de equilíbrio (MELLO; PEREZ, 2009).

Quanto mais efetiva for a “ação dissolvente” da água maior será a constante de equilíbrio e mais "solúvel" o mineral. Como o solo é um sistema aberto a dissolução de um mineral pode ser irreversível, desde que os produtos desta reação sejam retirados do meio, de modo que as atividades necessárias para reprecipitar o mineral original, nunca serão atingidas. Com relação à química do Si, de modo geral, a solubilidade do SiO₂ nos solos encontra-se entre a do quartzo e da sílica amorfa, porém nos solos altamente intemperizados, como em regiões de clima tropical úmido, o Si é lixiviado, além da lixiviação intensa de metais alcalinos e sílica. Nestas condições os solos são ácidos e as atividades de H₄SiO₄⁰ tendem para o valor de equilíbrio com o quartzo, que é o mineral primário mais estável nos solos. (MELLO; PEREZ, 2009). O que pode ser concluído através dos cálculos:

$$\text{Log } (\text{H}_3\text{SiO}_4)^-/(\text{H}_4\text{SiO}_4) = -9,71 + \text{pH}$$

$$\text{Log } (\text{H}_3\text{SiO}_4)^-/(\text{H}_4\text{SiO}_4) = -9,71 + 6,70$$

$$\text{Log } (\text{H}_3\text{SiO}_4)^-/(\text{H}_4\text{SiO}_4) = -3,01$$

Fazendo o inverso do log:

$$(\text{H}_3\text{SiO}_4)^-/(\text{H}_4\text{SiO}_4) = 0,001$$

Ou seja, no pH 6,70 (ponto 1) 0,1 % de Si está na forma desprotonada H₃SiO₄⁻ e 99,9% está na forma de H₄SiO₄. Através da estatística e dos Quadros 2 e 5, podemos concluir que o teor de Si na solução dos solos foi mais alto naqueles que apresentaram maiores frações de areia fina, que é composta basicamente por quartzo, que apesar de resistente ao intemperismo, em climas tropicais úmidos sofrem dissolução, principalmente quando presente em frações de areia fina (0,2-0,05 mm) e silte (0,05-0,002 mm). O ponto 6 representa o solo arenoso com maior teor de silte, ao realizarmos o cálculo acerca do equilíbrio químico do quartzo temos que:

1,29 mg L⁻¹ de silício na solução do solo conforme o Quadro 5.

$$1 \text{ mol Si} \text{ ---- } 28100 \text{ mg}$$

$$x \text{ ----- } 1,29 \text{ mg}$$

$$x = 4,59 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ aplica o log}$$

$$x = 10^{-4,34} \text{ mol L}^{-1}.$$

O resultado está um pouco abaixo do equilíbrio químico do quartzo, pois nesta condição manteria 10^{-4} mol L⁻¹ de Si na solução do solo. Quando a atividade do íon se encontra abaixo daquela prevista pela equação, a tendência do mineral é dissolver em busca do equilíbrio, como dito anteriormente, favorecendo assim a dissolução do quartzo neste caso. Tal dissolução pode acarretar na formação de outros minerais silicatados caso haja alguma perturbação nesse sistema em busca do equilíbrio com valores próximos ao equilíbrio químico do quartzo. Sendo assim, a hipótese de que os solos de natureza areno-quartzosa, com predomínio de areia fina, possuem maior disponibilidade de silício na solução em relação a solos argilosos foi comprovada pelo presente estudo.

4. CONCLUSÕES

Solos arenosos possuem maiores teores de silício na solução devido à solubilização de cristais de quartzo presentes na fração areia. Esta solubilização ocorre especialmente em frações mais finas, como partículas de tamanho 0,2 até 0,05 mm, mesmo que estes minerais sejam muito estáveis e pouco susceptíveis ao intemperismo químico.

De acordo com os resultados encontrados fatores climáticos, como a umidade, não exercem influência nestes processos, quando considerados cátions como o silício e metais de maior valência e menor raio iônico hidratado, como o alumínio. O oposto foi observado para os íons de maior mobilidade, como sódio, potássio, cálcio e magnésio, que, entretanto, sua cinética não influencia a susceptibilidade dos tectossilicatos ao intemperismo.

5. BIBLIOGRAFIA

AMARAL, F. H. C. Cinética de liberação de cálcio, magnésio e potássio e sua relação com a produtividade de eucalipto em solos do estado do Rio Grande do Sul. **Dissertação de mestrado, Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas** - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p.63, 2013.

BARBOSA FILHO, M. P.; PRABHU, A. S. Aplicação de Silicato de Cálcio na Cultura do Arroz. **Circular Técnica**, **51**. Concórdia: Embrapa Arroz e Feijão, p. 4, 2002.

BUSSOLARO, I.; ZELIN, E.; SIMONETTI, A. P. M. M. Aplicação de silício no controle de percevejos e produtividade da soja. **Cultivando O Saber**, Cascavel, v. 4, n. 3, p.9-19, 2011.

CAPPELLESSO, D. H. et al. Uso de silício na soja: parâmetros produtivos e incidência de percevejos. **Anais da X SEAGRO**, Cascavel, p.107-110, 2016.

CORRÊA, G. F. Les microrelief “murundus” et leur environnement pédologique dans l’ouest du Minas Gerais, région du plateau central brésilien. **Vandoeuvre-les-Nancy**, Université de Nancy I, p. 144, 1989.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, cap. 9, p.273-293, 2015.

DATNOFF, L.E., SNYDER, C.H., Korndorfer G.H. Silicon in Agriculture. **Elsevier**, Amsterdam, 2001.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. **Boletim de pesquisa nº 1**. Rio de Janeiro, p.526, 1982.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, p.212, 1997. Citação 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, p.356, 2018.

FERNANDES, A. L. T. et al. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. **Fazu em Revista**, Uberaba, v. 6, p.11-52, 2009.

FILGUEIRAS, Otto. Silício na Agricultura. **Pesquisa Fapesp**, v. 140, p.72-74, out. 2007.

FREITAS, L. M.; JUNQUEIRA, A. M. R.; MICHEREFF FILHO, M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p.8-13, jan. 2012.

FREITAS, L. M. Influência da adubação com nitrogênio, potássio e silício no ataque de traça-das-crucíferas e na produção do repolho. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 3, p.36-43, ago. 2014.

LEPSCH, I. F. 19 lições de Pedologia. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2011.

MOTA J.C.A.; JÚNIOR, R.N.A.; FILHO, J.A.; ROMERO, R. E.; MOTA, F.O.B. & PAULO, L.L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 445-454, 2007.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. F. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. eds. Química e mineralogia do solo. Viçosa: **SBCS**, p.151-249, 2009.

MILLOT, G. Géologie des argiles. Paris: Masson, p.4 ,1964.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1.931-1.935, 2006.

REIS, T. H. P. et al. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p.76-80, jan. 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. Pedologia: base para distinção. **UFLA**, 370p, 2014.

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

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T, J. F. Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitações ao uso. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, **Documentos Nº 7**, p. 48, 1999.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. Título: Solos e fertilidade do solo. São Paulo: **Andrei**, 6.ed, 2007.

VAN RAIJ, B.; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, Campinas, v. 32, n. 11, p.223-236, jul. 1973.

WENDLING, G. F. D. Formas de alumínio em solo submetido a diferentes manejos e rotações de culturas. **Dissertação de mestrado, Ciências do Solo** -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.84, 2012.