

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

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SILÍCIO EM TECIDOS
VEGETAIS**

LUIZ HENRIQUE SILVEIRA

**UBERLÂNDIA – MG
DEZEMBRO – 2017**

LUIZ HENRIQUE SILVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SILÍCIO EM TECIDOS
VEGETAIS**

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

Orientador: Professor Dr. Hamilton Seron
Pereira

Thiago Prudente Siqueira
Membro da banca

Camila de Andrade Carvalho Gualberto
Membro da banca

Profº Dr. Hamilton Seron Pereira
Orientador

**UBERLÂNDIA – MG
DEZEMBRO – 2017**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos que encontrei pelo caminho.

A minha filha, por ser minha grande motivação para sempre seguir adiante em busca dos nossos sonhos.

Aos meus pais, por não medirem esforços para que este sonho se tornasse realidade.

A minha esposa, por sempre me incentivar.

Ao meu irmão por sempre me apoiar e ser meu grande exemplo de profissional.

Ao professor Dr. Hamilton Seron Pereira, pela orientação e todos os ensinamentos passados durante os anos de convivência. Também por ter me dado a oportunidade de entrar para o Laboratório de Fertilizantes e ao Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (GPSi). Sem seu apoio este sonho seria muito mais difícil.

Ao Engenheiro Agrônomo Gustavo Santos, membro do GPSi, por ter aberto as portas do grupo de pesquisa.

A Engenheira Agrônoma Camila Carvalho, membro do GPSi, pela amizade e auxílio na confecção deste trabalho.

Aos amigos do GPSi: Antônio, Artur, Bárbara, Bruno Guimarães, Luiz Felipe e Thiago pela amizade e companheirismo.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVO.....	7
3. REFERENCIAL TEÓRICO	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
6. CONCLUSÃO	18
7. REFERÊNCIAS.....	19

Resumo

A análise foliar é capaz de fornecer informações adicionais ao manejo nutricional de uma lavoura, existindo uma relação entre o fornecimento de nutrientes para as plantas e os teores destes encontrados no tecido vegetal. A abertura de amostras em forno micro-ondas vem sendo cada vez mais utilizada por apresentar maior eficiência no uso dos reagentes, menor tempo de extração e maior segurança para o analista, uma vez que a digestão é realizada em ambiente fechado. Entretanto, ainda é pouco conhecida a eficiência deste método na abertura de amostras para a determinação dos teores de Silício (Si) em tecidos vegetais. Objetivou-se comparar dois métodos de extração de Si em tecidos vegetais, sendo a abertura de amostras utilizando o forno micro-ondas e o método convencional "banho maria + autoclave" já proposto na literatura. Assim, foram selecionadas vinte e uma amostras vegetais de diferentes culturas e concentrações de Si, cujos teores do elemento já são conhecidos. De modo geral, a abertura de amostras em forno micro-ondas apresentou boa correlação com o método convencional em amostras com baixos e médios teores de Si no tecido foliar. Em amostras com altos teores, o método convencional apresentou maior extração.

Palavras-chave: Foliar, elemento benéfico, micro-ondas, banho maria, autoclave.

1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e, atualmente, reconhece-se que a adubação com este elemento pode resultar em aumentos na produtividade de várias culturas (RORIGUES et al., 2011). No solo, o Si está disponível para as plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e é absorvido em conjunto com a água por fluxo de massa.

Após absorvido, o H_4SiO_4 , por sua vez, é depositado principalmente nas paredes das células da epiderme, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar a resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, além de diminuir a transpiração.

De modo geral, o Si está concentrado nos tecidos de suporte das plantas, como no caule e nas folhas, podendo, em alguns casos, ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos (KORNDÖRFER, 2007). Assim, os teores de silício nas raízes são menores quando comparados aos teores no caule e as folhas. Entretanto, a cultura da soja (*Glycine max*) é uma exceção, a qual apresenta maiores teores do elemento nas raízes em comparação às folhas (OLIVEIRA, 2004).

As primeiras pesquisas com a finalidade de identificar o papel fisiológico do Si foram baseadas na cultura do arroz, observando-se que as plantas que receberam doses do elemento apresentaram maiores teores de biomassa, bem como folhas mais eretas e maior rendimento de grãos (MA et al., 2001). Neste sentido, Epstein (1999) afirma que os benefícios do Si para as plantas de arroz estão relacionados à influência do elemento em proporcionar plantas mais eretas, intensificando o processo de fotossíntese e proporcionando uma melhor distribuição luminosa ao longo da copa.

Em suma, a utilização do Si na agricultura resulta em diversos benefícios para as plantas, como o aumento da produtividade, tolerância a ataques de pragas e doenças, diminuição dos efeitos de metais tóxicos e tolerância ao stress salino e hídrico (RODRIGUES et al., 2011). Ma et al. (2001) afirmam que algumas plantas são consideradas acumuladoras de Si, nas quais os efeitos da adubação silicatada são mais facilmente identificados. Em geral, essas plantas possuem teor de Si foliar acima de 1%, enquanto aquelas conhecidas como não acumuladoras possuem teores menores que 0,5% (Ma, et al., 2001)

Neste contexto, a análise química foliar é uma das formas de se avaliar a capacidade de absorção de Si pelas plantas. Malavolta (2006) afirma que a análise foliar é a principal

ferramenta para a avaliação e manejo do estado nutricional das plantas, uma vez que a folha é o órgão que melhor reflete o estado nutricional na maioria das culturas. Contudo, a análise dos teores deste elemento em tecidos vegetais ainda não é realizada na maioria dos laboratórios de análise foliar do Brasil, uma vez que muitos autores ainda não reconhecem a essencialidade deste elemento.

Em geral, muitos dos procedimentos para determinação de Si em plantas descritos na literatura são trabalhosos, bem como exigem protocolos de preparação de amostras relativamente complexos (SOUZA, 2012). Neste sentido, o desenvolvimento de novos métodos para determinação de Si em amostras vegetais torna-se necessário.

A digestão de amostras vegetais em forno micro-ondas é uma técnica que tem demonstrado vantagens em relação aos métodos de digestão tradicionais, uma vez que praticamente não existem perdas do analito por volatilização e permite um consumo mais eficiente dos reagentes.

2. OBJETIVO

Objetivou-se comparar a digestão de amostras de tecido foliar em forno micro-ondas (MO) para a determinação do teor de silício foliar em relação ao método convencional Banho Maria + Autoclave (BMA) (adaptado de Korndorfer et al., 2004).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Uso de silício na agricultura

Diversos estudos têm sido realizados a fim de comprovar o efeito benéfico do silício no manejo de diversas culturas, principalmente nas culturas acumuladoras de silício. A adubação com silício pode aumentar a produtividade, por proporcionar uma maior eficiência fotossintética e resistência ao ataque de pragas e doenças. Ressalta-se também a importância do elemento em aumentar a tolerância de plantas à falta de água durante os períodos de baixa umidade do solo (KORNDORFER et al., 2002).

O Si nos solos tropicais e subtropicais se apresenta basicamente na forma não solúvel, devido ao processo de ‘dessilicificação’ (MATICHENKOV; CALVERT, 2002). Em geral, os solos argilosos retratam uma maior quantidade de filossilicatos (minerais de argila que liberam Si e Al^{3+}) e maior disponibilidade de Si para a solução do solo, quando comparados com solos arenosos. Embora a fração areia seja constituída basicamente por quartzo (SiO_2),

este se trata de um mineral de difícil decomposição química, o que faz que os solos arenosos sejam mais responsivos à aplicação de silicatos (DEMATTE et al., 2011).

Para fornecimento de Si as culturas, alguns materiais podem ser utilizados, destacando-se as escórias de siderurgia, os silicatos de cálcio e magnésio e os metassilicatos de cálcio e sódio. Os silicatos promovem reações químicas semelhantes que resultam em aumento do pH, redução da saturação por Al^{3+} , precipitação de Al e Mn tóxicos, aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis e saturação de bases dos próprios teores de Si no solo (KORNDORFER et al., 2004). Prado et al. (2001) afirmam que não existem critérios para recomendação da dose de Si, entretanto, dados de estudos de calibração indicam que as doses devem variar de 3 a 6 toneladas por hectare de silicato.

Apesar de não ser considerado um nutriente essencial para as culturas, o Si proporciona aumento apreciável na produtividade, a exemplo da cana-de-açúcar (KORNDORFER, 2002). Souza (2012) afirma que, em alguns casos, a aplicação de fontes silicatadas aumentou a produtividade da cana planta e da cana soca de 145 para 161 e de 92 para 112 toneladas de cana por hectare ($t\ ha^{-1}$), respectivamente.

Santos et al. (2003), observaram aumentos significativos na produtividade da cultivar arroz so se aplicar doses crescentes de metassilicatos. Ademais, Pereira et al. (2004), trabalhando com doses crescentes de wollastonita (silicato de cálcio), também na cultura do arroz, obtiveram aumentos na produtividade de grãos de aproximadamente $10\ g\ vaso^{-1}$ ao se aplicar a $500\ kg\ ha^{-1}$ de Si.

3.2. Análise foliar

A análise foliar com a finalidade de avaliar o estado nutricional de plantas, foi proposto inicialmente por Lagatu e Maume (1934), se baseando na suposição de que, dentro de uma determinada faixa existe uma certa relação entre o fornecimento de nutrientes (solo ou adubo) e o teor foliar destes. Ademais, constata-se que quaisquer alterações destes teores estão relacionadas com produções mais altas ou mais baixas (BATAGLIA; SANTOS, 2001) e também pelo fato da própria planta ser um extrator de nutrientes do solo.

A análise foliar também é capaz de fornecer informações adicionais no manejo nutricional de uma lavoura. Dessa forma, são utilizadas para facilitar a tomada de decisão de algum desequilíbrio nutricional, agregando dados às tradicionais análises de solo. Para que isto seja possível, é necessário que as amostras obtidas sejam representativas dentro do talhão, observando-se o estágio fenológico da cultura, a variedade, o local e a data de coleta. É recomendável não realizar amostragem próxima a estradas e/ou carreadores, com a

finalidade de evitar a contaminação pela poeira, bem como observar plantas atacadas por doenças ou pragas e em áreas que receberam adubação foliar recentemente. Se no momento da amostragem, for observada alguma desordem nutricional no talhão a ser amostrado, orienta-se realizar a amostragem nas plantas normais e anormais, porém o armazenamento deve ser realizado em locais diferentes (OLIVEIRA, 2004).

Existe também uma correlação positiva entre o crescimento e a produtividade das culturas com a concentração de nutrientes nos tecidos foliares (PENA, 2009). Assim, ressalta-se que a análise foliar é uma importante ferramenta para avaliar o manejo adotado em uma determinada lavoura.

Neste contexto, para uma correta análise foliar, busca-se laboratórios capazes de gerar dados confiáveis e com agilidade na entrega dos resultados, considerando sempre o menor custo possível para o produtor rural (SANTOS, et al. 2010). Assim, o método de análise de tecidos vegetais ideal deve estar relacionado ao baixo custo para viabilizar a execução do método em escalas maiores, bem como ao menor tempo de execução para otimizar a rotina do laboratório e máxima confiabilidade nos resultados (SANTOS et al., 2010).

As metodologias normalmente empregadas para determinação de Si em plantas incluem métodos gravimétricos (YOSHIDA et al., 1976), fusão em alta temperatura e subsequente colorimetria (KILMER, 1965) e solubilização da planta com ácido fluorídrico seguida por análise em espectrofotômetro de absorção atômica ou método colorimétrico (NOVOZAMSKY et al., 1984; VORM, 1987). Dentre todas as metodologias empregadas, o método colorimétrico é o mais comumente aplicado. Contudo, com o passar dos anos, modificações foram realizadas principalmente com relação à abertura das amostras e a diminuição de interferências químicas (JANKOWIAK; LEVIER, 1971; ELLIOT; SNYDER, 1991). Elliot e Snyder (1991) comparando as aberturas de fusão com a digestão alcalina em autoclave, observaram que a abertura em autoclave se mostrou mais rápida, sendo uma alternativa para realização em análises de rotina, com baixo custo e necessitando de menor quantidade de reagentes perigosos.

Entretanto, a abertura das amostras em forno micro-ondas vem sendo cada vez mais utilizada devido às vantagens frente aos métodos de digestão tradicionais, pois praticamente não existem perdas de amostras por volatilização. Assim, este método permite um consumo mais eficiente dos reagentes, um menor tempo de digestão, a mínima contaminação externa e poucos gases e vapores tóxicos. Boaventura e Ribeiro (1996) afirmam que o uso de micro-ondas nos processos de abertura de amostras, inclusive para a digestão de silicatos, tem

despertado grande interesse para instituições que utilizam abertura de amostras em grande escala.

3.3. Calibração de métodos

A necessidade de demonstrar a qualidade de métodos químicos analíticos, através de sua comparabilidade, rastreabilidade e confiabilidade faz com que tais práticas sejam cada vez mais exigidas. Resultados de análises químicas não confiáveis conduzem o profissional a decisões equivocadas podendo gerar prejuízos financeiros irreparáveis. Visando assegurar que um novo método, pelo qual se obtenha resultados confiáveis, este deve passar por um conjunto de avaliações que são denominadas validação.

A validação se fundamenta em demonstrar que determinado método analítico é apropriado para tal propósito (WALSH 1999). Assim, a validação é realizada quando se desenvolve novas metodologias ou se deseja realizar alguma alteração em metodologias já validadas (HUBERT, et al., 1999).

Os critérios para validação de métodos analíticos estão relacionados à especificidade/seletividade, bem como ao intervalo de concentração trabalhada, linearidade, sensibilidade mínima, exatidão, precisão, limite de detecção, limite de quantificação e robustez.

Para diversos pesquisadores em nutrição de plantas, a avaliação do estado nutricional das plantas tem sido um grande gargalo, especialmente em áreas onde a produtividade está limitada pelo desequilíbrio nutricional. A contribuição da diagnose foliar tem estimulado o desenvolvimento de várias metodologias de interpretação de resultados de análise foliar, as quais apresentam alguns níveis críticos, a exemplo da concentração de determinado nutriente no tecido vegetal, acima do qual pequenos ou nenhum aumento de produção é esperado (ESCANO et. al., 1981). Orland filho e Zambello (1983) afirmam que existe uma relação direta entre o nutriente fornecido pelo solo e a sua concentração nas folhas, pois há uma relação direta entre a concentração do nutriente no tecido vegetal e a produtividade.

O método convencional de se obter níveis críticos se constitui na realização de ensaios de calibração da produtividade vegetal em função do teor deste nutriente no tecido vegetal. Walworth e Summer (1987) sugerem que muitos pesquisadores conduzam experimentos variando a dose de determinado nutriente no solo, obtendo assim a produtividade e a concentração do nutriente no tecido vegetal. O ajuste da concentração em função da produtividade é realizado através de métodos matemáticos, como Mitscherlich, quadrática, exponencial, dentre outros. A determinação destes níveis críticos para todos os

nutrientes é uma das fases da diagnose foliar que demanda grande esforço por parte da pesquisa (CFSEMG, 1989).

Existem também alguns métodos de interpretação foliar que não necessitam de calibração no campo. Wadt (1996) desenvolveu o método da chance matemática que tem como vantagem a possibilidade da utilização de dados provenientes do campo, e não somente de ensaios em casa de vegetação, onde o ambiente é controlado. Logo, algumas exigências do controle experimental podem ser desconsideradas, caso exista uma quantidade relativamente grande de informações sobre o fator analisado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Análises de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, Uberlândia - MG. Foram selecionadas 21 amostras de tecidos vegetais de diferentes culturas, cujos teores de Si são conhecidos (Tabela 1).

Tabela 1. Amostras selecionadas e seus respectivos teores de Si (%).

ID	Cultura	% Si*
1	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	0,59
2	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	0,44
3	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	1,52
4	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	0,88
5	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	3,48
6	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	1,64
7	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	0,53
8	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	0,49
9	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	0,68
10	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	2,99
11	Soja (<i>Glycine max</i>)	0,53
12	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	1,80
13	Casca de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	7,62
14	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	3,35
15	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	1,21
16	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	4,46

17	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	1,31
18	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1,94
19	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	3,67
20	Milho doce (<i>Zea mays</i> L. grupo saccharata)	0,04
21	Milho doce (<i>Zea mays</i> L. grupo saccharata)	4,92

* Metodologia proposta por Korndorfer et al. (2004).

Dessa forma, para a seleção das amostras, levou-se em consideração a variabilidade de culturas e seus teores de silício foliar, sendo que todas as amostras foram previamente analisadas pelo método convencional “BMA” (adaptado de KORNDORFER et al. 2004).

A extração "BMA" consiste na pesagem de 0,1 g do tecido vegetal seguida pela adição de 4 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), 3 mL de hidróxido de sódio 1:1 (NaOH) e 3 gotas de álcool octílico ($C_8H_{18}O$). O extrato então permanece em banho maria por uma hora – 90°C e, logo depois, em autoclave por uma hora – 121°C e 1 atm. Adiciona-se 3 gotas de álcool octílico ($C_8H_{18}O$) e 4 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguida por nova permanência em banho maria por uma hora – 90°C e em autoclave por uma hora – 121°C e 1 atm. Por fim, adiciona-se 44 mL de água destilada e 1 mL de fluoreto de amônio 5 mM (NH_4F). A determinação de Si é realizada retirando-se 2 mL do extrato e adicionando-se 18 mL de água destilada, 2 mL de ácido clorídrico 1:1 – (HCl); 1 mL de molibdato de amônio 0,26 M - $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$, 2 mL de ácido tartárico 20% - $C_4H_6O_6$ e 2 mL da solução ANSA + bissulfito de sódio. Esta última solução é preparada dissolvendo-se 1 g de 1-amino, 2-naftol-4-ácido sulfônico e 2 g de sulfito de sódio em 100 mL de água destilada e, em seguida, misturando-a em uma solução de 60 g de bissulfito de sódio dissolvido em 200 mL de água destilada, transpor as soluções para balão de 500 mL, agitar por 15 minutos e completar o volume. Aguarda-se 30 minutos para posterior quantificação em espectrofotômetro à 630 ou 670 nm. Para a curva de calibração, deve-se preparar soluções com 0; 7,5; 15; 30; 45; 60 mg dm^{-3} de Si, sendo que, a sequência das soluções é idêntica às demais amostras, com exceção do volume de água, que neste caso é de 19 mL água destilada e 1 mL de ácido clorídrico 1:1 - (HCl).

Para a digestão das amostras pelo método alternativo (MO), utilizou-se equipamento micro-ondas (Anton Paar®, modelo Multiwave 3000). O procedimento ocorreu pesando-se 0,1 g do tecido vegetal e adicionando-se 3 mL de ácido nítrico (HNO_3), 1 mL de ácido perclórico (HCl_4) e 0,5 mL de ácido fluorídrico (HF). Em seguida, as amostras são submetidas à digestão em equipamento micro-ondas – Multiwave 3000. Por fim, adicionou-

se 50 mL de ácido bórico 70 g L⁻¹ (H₃BO₃) e 45 mL de água destilada. Para a determinação dos teores de Si nas amostras, adotou-se o mesmo procedimento realizado no método convencional (KORNDORFER et al., 2004), exceto pela não adição de 2 mL de HCl 20%, uma vez que o pH do extrato já é ácido para tornar detectável a presença de Si.

Nas amostras selecionadas, adotou-se o critério de maior amplitude dos dados e variação de culturas disponíveis, sendo que estas foram analisadas em triplicata. As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste de T a 0,05 de significância, no software SPSS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)

Não foram observadas diferenças entre os métodos de extração "BMA" e "MO" quanto aos teores de Si em parte aérea de plantas de cana-de-açúcar (Tabela 2), demonstrando a boa correlação entre os métodos.

Em geral, pode-se notar que as amostras 3 e 12 apresentaram teores médios de Si superiores às demais, com valores iguais a 1,35% e 1,70% de Si, respectivamente. Korndorfer e Datnoff (1995) afirmam que as concentrações de Si na cana-de-açúcar, que é uma cultura considerada acumuladora de Si, podem variar desde valores muito baixos em folhas jovens (0,14%) até valores muito altos em folhas velhas (6,7%). Assim, Anderson e Bowen (1992) consideraram que, as concentrações foliares de Si tidas como adequadas para a obtenção de boas produtividades no cultivo da cana-de-açúcar são aquelas superiores a 1%, estando de acordo com os resultados obtidos nas amostras 3 e 12 neste estudo.

Tabela 2. Teores de Si em porcentagem na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar extraídos pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA				
	1	2	3	4	12
BMA	0,59 A	0,44 A	1,52 A	0,88 A	1,80 A
MO	0,49 A	0,33 A	1,28 A	0,76 A	1,60 A
Média	0,55	0,39	1,40	0,82	1,70

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.2. Arroz (*Oryza sativa*)

Diferentemente do que foi obtido nas amostras de cana-de-açúcar, os teores de Si na parte aérea de plantas de arroz variaram de acordo com o método de extração utilizado. Em geral, pode-se observar maiores teores em amostras submetidas à extração em "BMA" quando comparadas àqueles cujos teores foram extraídos pelo método "MO". Para a amostra 5, os teores de Si foram de 3,48% e 2,95% quando extraídos por "BMA" e "MO", respectivamente (Tabela 3). Os teores também variaram quando foram aplicados os diferentes métodos na amostra 19, sendo que o "BMA" extraiu 3,67% de Si e o método "MO", 2,38% de Si.

Por outro lado, os métodos não diferiram quando aplicados na amostra 18, a qual possui menores teores de Si na parte aérea. Tais resultados demonstram que os métodos possuem boa correlação quando utilizados em amostras que possuem níveis de Si foliar médios ou baixos.

Tabela 3. Teores de Si em porcentagem na parte aérea de plantas de arroz extraídos pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA		
	5	18	19
BMA	3,48 A	1,94 A	3,67 A
MO	2,95 B	1,71 B	2,38 B
Média	3,21	1,83	3,03

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.3. Trigo (*Triticum aestivum*)

Assim como observado nas amostras de parte aérea de plantas de arroz, os métodos de extração de Si apresentaram boa correlação em amostras que contêm menores teores do elemento. Por outro lado, em amostras com elevados teores de Si, a exemplo da amostra 10 (Tabela 4), o método "BMA" permitiu quantificar maiores teores do elemento. Dessa forma, sugere-se que o método "MO" não foi capaz de realizar a abertura da amostra de forma completa, não sendo eficiente em extrair todo o Si presente na amostra de tecido vegetal.

Pereira et al. (2008), avaliando eficiência do micro-ondas na abertura de amostras para dosagem de Si em tecido foliar de espécies florestais, observaram que, ao se utilizar 25 mg de amostra, parte do material utilizado na digestão encontrava-se aderido às paredes

laterais do frasco de micro-ondas, o que não propiciou um contato efetivo com a solução de abertura. Os autores afirmam que isto explicaria os baixos teores de Si em amostras de eucalipto observados em seus trabalhos, pois nem toda a amostra foi digerida durante o processo.

Tabela 4. Teores de Si em porcentagem na parte aérea de plantas de trigo extraídos pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA				
	6	7	8	9	10
BMA	1,64 A	0,53 A	0,49 A	0,68 A	2,99 A
MO	1,44 A	0,41 A	0,52 A	0,53 A	2,08 B
Média	1,54	0,47	0,50	0,60	2,53

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.4. Soja (*Glycine max*)

Os métodos de abertura de amostras para quantificação de Si apresentaram extração semelhante ao serem utilizados na determinação do elemento na parte aérea de plantas de soja (Tabela 5). Ressalta-se que as gramíneas e leguminosas diferem quanto à absorção de Si. Em geral, muitas leguminosas possuem maiores concentrações de Si nas raízes, apresentando baixos teores do elemento na parte aérea. (RAVEN, 2011). Dessa forma, conforme já mencionado, os métodos apresentaram boa correlação, uma vez que os teores de Si obtidos nessas amostras foram baixos.

Tabela 5. Teores de Si em porcentagem na parte aérea plantas de soja extraídos pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA
	11
BMA	0,53 A
MO	0,40 A
Média	0,47

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.5. Casca de arroz (*Oryza sativa*)

A casca do arroz é considerada um material com potencial de uso como fonte de Si na agricultura (CASTELLANO et al., 2016). Foletto et al. (2005) afirmam que a cinza de casca de arroz pode apresentar, em média, 92% de sílica em sua composição (SiO₂). Assim, conforme observado para outros materiais ricos em Si, os métodos para a análise do elemento apresentaram diferenças quantos à extração de Si. Em geral, o método "BMA" foi mais eficiente em extrair o elemento em amostras de casca de arroz, observando-se teores de Si 1,3 vezes maiores quando comparado ao método "MO" (Tabela 6). Por outro lado, deve-se ressaltar que o método "MO" apresenta a vantagem de reduzir a contaminação das amostras, bem como o menor consumo de reagentes, uma vez que a digestão é realizada em ambiente fechado e controlado.

Tabela 6. Teores de Si em porcentagem em amostra de casca de arroz pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA
	13
BMA	7,62 A
MO	5,76 B
Média	6,69

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.6. Sorgo (*Sorghum bicolor*)

Quanto à análise de Si em amostras da parte aérea de plantas de sorgo, observa-se que os teores do elemento variaram de acordo com o método de extração utilizado. Para as amostras 14 e 16 as quais possuem elevados teores de Si em sua composição, maior concentração do elemento foi determinada quando utilizou-se para a extração o método "BMA" (Tabela 7). Por outro lado, este resultado não foi observado nas amostras que apresentaram níveis médios de Si (amostras 15 e 17), reafirmando a boa correlação dos métodos quando utilizados em amostras cujos teores do elemento estão em níveis baixos ou médios.

Tabela 7. Teores de Si em porcentagem na parte aérea de plantas de sorgo extraídos pelo método "BMA"(adptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA			
	14	15	16	17
BMA	3,35 A	1,20 A	4,46 A	1,31 A
MO	2,28 B	1,07 A	1,99 B	1,17 A
Média	2,81	1,14	3,23	1,24

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

5.7. Milho-doce (*Zea mays* L. grupo *saccharata*)

O milho-doce é pertencente ao grupo das gramíneas, cujas características botânicas e de reprodução não diferem do milho comum (ARAGÃO et al., 2002). Dessa forma, a planta do milho-doce também é considerada acumuladora de Si (MA et al., 2001). Neste sentido, pode-se observar na amostra 21, a qual possui alto teor de Si em sua composição, que o método de análise foliar "BMA" foi mais eficiente em extrair Si quando comparado ao método "MO" (Tabela 8). Por outro lado, ao se avaliar os teores de Si quantificados na amostra 20, observa-se que os métodos apresentaram correlação, uma vez que a concentração do elemento nesta amostra é baixa (0,15% de Si).

Tabela 8. Teores de Si em porcentagem na parte aérea plantas de milho verde extraídos pelo método "BMA" (adaptado de Korndorfer et al., 2004) e "MO".

Método	AMOSTRA	
	20	21
BMA	0,14 A	4,92 A
MO	0,15 A	4,04 B
Média	0,15	4,48

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de T a 0,05 de significância.

6. CONCLUSÃO

O método "MO" é uma alternativa com potencial de uso na determinação de teores de Si em tecidos vegetais. Em geral, pode-se observar boa correlação entre o método "MO" e o método convencional proposto por Korndorfer et al. (2004), especialmente em amostras que apresentam baixos ou médios teores de Si na parte aérea. Ademais, o método possui a vantagem de reduzir a contaminação das amostras, bem como apresenta menor perda de elementos voláteis e menor consumo de reagentes.

Entretanto, ressalta-se que para análises de materiais cujos teores de Si são elevados, o método "MO" não se mostrou eficiente na digestão da amostra, apresentando baixos teores do elemento quando comparado ao método convencional. Dessa forma, novos testes devem ser realizados visando a obtenção de métodos eficazes para a determinação de Si em tecidos vegetais em amostras com diferentes concentrações do elemento.

7. REFERÊNCIAS

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana de açúcar**. Piracicaba: Potafós, 40 p. 1992.

ARAGÃO, C.A. Avaliação de híbridos simples braquíticos de milho super doce (*Zea mays* L.) portadores do gene *shrunken-2* (*sh2sh2*) utilizando o esquema dialélico parcial. 2002. 101p. **Tese (Doutorado)** - Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/100059>. Acesso: 18 de dezembro de 2017.

BOAVENTURA, G. R.; RIBEIRO, R. L. V. **Decomposição de silicatos usando forno de microondas**. *Geochimica Brasiliensis*, v. 10, p. 217-224, 1996.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4º aproximação**. Lavras, 176p, 1989.

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 2011.

ESCANO, C.R.; JONES, C.A.; UEHARA, G. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystrandepts: I. Optimum tissue nutrient concentrations. **Soil Science Society America Journal, Madison**, v.45, p.1135-1143, 1981.

Elliott, C.L.; Snyder, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, p.1118-1119, 1991.

FOLLETO, E. L.; Hoffman, R.; Hoffman, R. S.; Portugal Jr., V. L.; Jahn, S. L. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz**. *Química Nova*, v.28, p.1055-1060, 2005.

HUBERT, P. et al. The SFSTP guide on the validation of chromatographic methods for drug bioanalysis: from the Washington Conference to the laboratory. **Anal. Chim. Acta**, v. 391, p.135-139, 1999.

JANKOWIAK, M.E. and LeVier, R.R. Elimination of phosphorus interference in the colorimetric determination of silicon in biological material. **Analytical biochemistry**, 44(2), pp.462-472, 1971.

KILMER, V.J. Silicon. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965 p.959-962. (Monograph 9) 1965.

KORNDÖRFER, G. H. Uso de Silício na Agricultura. **Informações Agronômicas**. n. 117. p. 9- 11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante (**Boletim Técnico, 2**). Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 34 p. 2004.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura**. 2.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2002. 24 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 70, p. 1-3, 1995.

MA J. F., MIYAKE Y., TAKAHASHI E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in plant Science**, 31;8:17-39. 2001.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A., Avaliação do Estado Nutricional das Plantas (2a. edição), **Potafos**, Piracicaba, SP, 319p. 1997.

MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal of the American Society of Sugarcane Technologists**, Baton Rouge, v. 22, p. 21-30, 2002.

NOVOZAMSKY, I.; VANECK, R.; HOUBA, V. J. G. A rapid determination of silicon in plant material. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 205-211, 1984.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr., E. Diagnose foliar. In: Orlando Filho, J. (ed) **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, p.125-152. 1983.

PEREIRA, C. M. et al. Microondas como alternativa na abertura de amostras para dosagem de silício em tecido foliar de espécies florestais por determinação colorimétrica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 105, 2008.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. **Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro**. Revista Brasileira de Ciência de Solo, Viçosa, v.27, n.1, p.101-108, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

RAVEN JA. **The transport and function of silicon in plants**. Biol Rev 58:179–207, 1983.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**. n. 134. p. 14-20. 2011.

SANTOS, G. A.; SANTOS, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Sistema por infravermelho próximo (nir) para análise de nitrogênio foliar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 83-90, Mar. 2012.

SOUZA, P.F.D., Determinação direta de silício em folhas de cana-de-açúcar por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) (**Doctoral**

dissertation, Universidade de São Paulo), 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-22052013-100717/en.php>. Acesso: 18 de dezembro de 2017.

VORM, P. D. J. van der. Dry ashing of plant material and dissolution of the ash in HF for the colorimetric determination of silicon. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, p. 1181-1189, 1987.

WADT, P. G. S. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto, 123 f. **Tese (Doutorado em Agronomia)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1996. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000094&pid=S0100-0683200700010000700018&lng=en. Acesso: 18 de dezembro de 2017.

WALSH, M. C. Moving from official to traceable methods. **Trends in Analytical Chemistry**, v.18, p.616-623, 1999.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Sciences**, v. 6, p. 149-188, 1987.

YOSHIDA S, FORNO D, COCK J, GOMEZ K. Laboratory manual for physiological student of rice, **The international rice research institute**, Los banos, Laguna, 1976.