

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ANDREAS JANZEN

SILÍCIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE TRIGO

UBERLÂNDIA-MG
JULHO - 2019

ANDREAS JANZEN

SILÍCIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE TRIGO

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

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Mageste da
Silva

Coorientador: Dr. Vanderley José Pereira

UBERLÂNDIA-MG

JULHO - 2019

ANDREAS JANZEN

SILÍCIO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE TRIGO

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

Prof. Dr. José Geraldo Mageste da Silva
Orientador

Dr. Vanderley José Pereira
Coorientador

Ivair José de Moraes Júnior
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida que me deu, ao lar em que me inseriu, as conquistas que me capacitou a alcançar e as oportunidades oferecidas.

A minha mãe pelo exemplo de vida que ela é, por ter sozinha educado, sustentado e dado valores aos meus irmãos e a mim.

A Universidade Federal de Uberlândia, em foco ao Instituto de Ciências Agrárias, por tudo que eu aprendi acadêmica e profissionalmente.

Ao Vanderley por ser amigo e pela orientação, sem a sua ajuda não teria conseguido escrever esse trabalho.

Ao Professor Mageste por ser meu orientador e ao Ivair José por aceitar ser membro da banca.

RESUMO

O silício é um dos elementos de maior abundância no solo e benéfico em vários processos fisiológicos das plantas, inclusive do trigo, porém, a sua baixa solubilidade nos solos diminui a sua disponibilidade às plantas, apesar do seu teor no solo ser alto, sendo assim, a fertilização silicatada é uma importante ferramenta para ganhos de produtividade. O objetivo deste trabalho foi determinar a qualidade fisiológica de sementes de variedades de trigo frente à fertilização silicatada. Em campo foram montados dois experimentos independentes em diferentes ambientes. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, com duas cultivares de trigo (BRS 264 e BRS 394) e na presença ou ausência de Si, com seis repetições. Após colhidas e armazenadas, as sementes foram submetidas ao teste de germinação e desenvolvimento de plantas, teste de frio, determinação do peso de mil sementes, determinação do teor de água e teste de germinação por protrusão radicular. O local de produção de sementes tem influência sobre a cultivar, porém a resposta é constante para as cultivares. Independente do ambiente e da fertilização, a cultivar BRS 264 apresenta maior comprimento de parte aérea, embora a cultivar BRS 394 desenvolveu um maior comprimento total e radicular. A fertilização silicatada afetou as características da qualidade fisiológica das sementes de trigo avaliadas. As sementes da cultivar BRS 264 aumentou a qualidade fisiológica com a suplementação de silício, enquanto que as da cultivar BRS 394 teve um desempenho melhor na ausência de aplicação de silício.

PALAVRAS-CHAVE: *Triticum aestivum*, fertilização silicatada, produção de sementes.

Sumário

INTRODUÇÃO	6
REVISÃO DE LITERATURA	9
Trigo	9
Nutrição mineral do trigo.....	10
Silício com nutriente benéfico ao trigo.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
Cultivares estudadas	16
Produção de sementes.....	16
Teste de germinação e Teste de desenvolvimento de planta	17
Teste de frio	20
Determinação do peso de mil sementes.....	20
Determinação do teor de água.....	20
Teste de germinação por protrusão radicular	20
Análise estatística	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30

INTRODUÇÃO

Muitas das classes de solo sob áreas de Cerrado do Brasil, principalmente os Latossolos, são pobres em matéria orgânica e em silício solúvel (KORNDÖRFER et al., 1999; RAMOS et al., 2006), embora o principal fator limitante para a produção de trigo no Cerrado brasileiro seja a disponibilidade de água durante o ciclo da cultura. Neste sentido, a utilização de genótipos tolerantes ao estresse hídrico e com manejo adequado viabiliza o seu cultivo. Então, infere-se que, a fertilização silicatada pode ocasionar uma boa opção.

O silício (Si) é considerado um elemento benéfico às plantas porque não segue todos os critérios de essencialidade dos nutrientes. Elementos benéficos são vitais para algumas espécies de plantas em determinadas condições ambientais (BAKHAT et al., 2018; HAYNES, 2017).

O silício é um elemento de grande abundância no solo, pois é constituinte de material inerte de areias, quartzo, caulinita, mica, feldspato, entre outros (REIS et al., 2007). O principal fator que controla as concentrações de Si na solução do solo é a solubilidade dos minerais primários e secundários. Essa solubilidade é função de fatores como temperatura, tamanho de partícula, composição química, pH e potencial redutor. Outros fatores importantes que afetam as concentrações de Si na solução do solo, incluem reações de adsorção e dessorção com colóides do solo, lixiviação de Si solúvel e absorção de Si pela vegetação e microrganismos (HAYNES, 2017).

A forma assimilável do silício encontra-se principalmente como ácido monossilícico (H_4SiO_4) na forma não dissociada, sendo absorvido facilmente de forma passiva juntamente com a água. Após a absorção, é depositado na forma de sílica-gel nos tecidos das plantas, tornando-se imóvel no interior da planta (REIS et al., 2007; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O ácido silícico depositado é concentrado por perda de água pela transpiração e polimeriza como sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Como a transpiração é o principal responsável pelo transporte e deposição de Si, a duração do crescimento das plantas desempenha um papel importante no teor de Si nesta; folhas mais velhas de uma planta apresentam teores mais elevados de Si que as mais jovens (HAYNES, 2017).

Uma quantidade relativamente maior de Si é encontrado nas plantas do que muitos outros macronutrientes essenciais como o cálcio, magnésio e fósforo. As plantas da família *Poaceae* podem conter níveis mais elevados de Si do que quaisquer um dos outros nutrientes minerais inorgânicos. As concentrações de Si em várias plantas diferem dependendo do

genótipo e espécie de uma planta devido a diferenças no mecanismo de absorção de Si (BAKHAT et al., 2018). Embora toda e qualquer planta contenha silício (Si), nem todas produzem fitólitos. O Si depositado na forma de fitólitos pode ocorrer em muitos formatos e tamanhos. A forma e o tamanho geral dos fitólitos podem variar de espinhos silicificados a fitólitos em forma de leque nas folhas. Os fitólitos são comumente encontrados em plantas na epiderme foliar e cobertura externa de sementes e frutos, na epiderme das brácteas que envolvem e protegem as sementes de gramíneas e no tecido subepidérmico de folhas de orquídea e palma (HAYNES, 2017).

O silício aumenta a barreira física à medida que é depositado na superfície do tecido da planta. Muitos outros fatores que estão associados com o aumento da resistência fúngica promovido pelo silício, isto é, a membrana de celulose espessada, a densidade das células curtas e longas silicificadas existentes na epiderme das folhas, a camada cuticular dupla, a formação da papila e a espessa camada de sílica abaixo da cutícula. A penetração física de fungos patogênicos é evitada através do Si depositado na camada subcuticular, parede celular e espaços intercelulares, formando uma camada espessa sob a cutícula das folhas em arroz, tornando a parede celular de uma planta menos suscetível à degradação enzimática (BAKHAT et al., 2018).

O silício aumenta a tolerância da planta contra danos causados por insetos através de meios físicos e bioquímicos. A deposição de Si como fitólitos nas folhas aumenta a dureza dos tecidos e o enfraquecimento do aparelho bucal herbívoro e diminui a digestibilidade das folhas da planta, a sílica amorfa inerte causa dificuldades mecânicas na mastigação, penetração e digestão de tecidos vegetais em insetos. Além disso, o Si pode reduzir a digestibilidade através da restrição do acesso a nitrogênio e carboidratos durante a digestão. A presença de Si no tecido vegetal induz alterações bioquímicas responsáveis pela mitigação dos danos causados por insetos-praga (BAKHAT et al., 2018).

A deposição de Si em plantas pode aumentar a sua adaptabilidade a estresses bióticos através de defesas físicas e químicas. Deposição de sílica nas folhas da planta aumenta a aspereza e o número de espinhos e pelos em partes de plantas acima do solo promovendo um aumento da barreira mecânica, limitando os danos causados pelas pragas (BAKHAT et al., 2018). O silício depositado na folha faz com que a mesma fique mais ereta, resultando em maior área foliar exposta à luz contribuindo assim para uma maior taxa fotossintética (SÁVIO et al., 2011), além de também reduzir a transpiração e a severidade dos danos causados por pragas e doenças e, além disso, ao ser acumulado no caule o silício promove o fortalecimento

da estrutura prevenindo o tombamento da planta (REIS et al., 2007), o que resulta em produtividade.

A adição de Si pode aumentar a tolerância à seca em uma variedade de culturas, incluindo arroz, sorgo, trigo, milho, girassol, soja, pepino, pimenta, entre outros. Tal efeito é de significância considerável, uma vez que o estresse hídrico é o principal estresse abiótico demonstrado pelas plantas. Por outro lado, os rendimentos das culturas são frequentemente restringidos pela escassez de água (HAYNES, 2017).

Os danos por congelamento e radiação ultravioleta-B (UV-B) são outros estresses abióticos que podem ser amenizados pela absorção de Si. Adição de Si sob condições de congelamento pode aumentar o potencial osmótico da água e teor de água das plantas, particularmente naquelas suscetíveis a danos por congelamento. O UV-B afeta negativamente as células da planta, causando o acúmulo de peróxido de hidrogênio. A deposição de Si na camada de cutícula das folhas pode atuar como uma camada de vidro diminuindo as transmissões de radiação UV na epiderme. Além disso, sob luz UV-B, a adição de Si também causa aumento na atividade das enzimas antioxidantes com concomitante redução no acúmulo de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica (HAYNES, 2017).

Comumente, os efeitos observados do Si adicionado na presença de estresses diversos incluem estimulação e manutenção de um sistema ativo de defesa antioxidante, manutenção da integridade da membrana, manutenção do teor de clorofila e taxa fotossintética, e síntese de compostos orgânicos solúveis (por exemplo, ácidos orgânicos e polifenóis) (HAYNES, 2017).

Portanto, o silício pode beneficiar a produção de sementes de trigo de forma indireta proporcionando melhores condições para o desenvolvimento da planta genitora. Ainda que a produtividade não seja um elemento de qualidade fisiológica das sementes, esta serve de indicador para possíveis efeitos positivos.

Neste sentido, a adubação silicatada via solo em trigo propiciou incremento no número sementes por planta, massa, peso hectolítrico e na produtividade (TAVARES et al., 2014; TOLEDO et al., 2012), sem diminuir o vigor de sementes de trigo (TOLEDO et al., 2012). Em arroz, o tratamento de sementes com silício não afetou os componentes da produção e tampouco a germinação, mas fez com as sementes produzidas apresentassem mais resistente a estresse, apresentando maior vigor (OLIVEIRA et al., 2015). Para soja, cultura considerada não acumuladora deste elemento, a fertilização aumentou a massa de sementes por plantas e melhorou o vigor das mesmas (OLIVEIRA et al., 2015).

Neste escopo, ainda faltam evidências do papel bioquímico e fisiológico do Si na biologia vegetal (BAKHAT et al., 2018; HAYNES, 2017), embora saiba dos benefícios do elemento na resistência a estresses múltiplos.

O foco da fertilização silicatada seja no manejo de pragas e doença e na indução a resistência a estresses diversos, benefícios indiretos são recorrentes na literatura, sobretudo para as gramíneas (TOLEDO et al., 2012).

Assim, pergunta-se: o silício afeta a qualidade fisiológica ou somente as características tecnológicas das sementes de trigo? Se sim, existe dependência com a variação da cultivar? Neste sentido, tem-se como hipótese que o silício, por melhorar as características vegetativas e conferir maior resistência ao estresse, resulte em plantas mais saudáveis e consequentemente com prole mais vigorosa. Portanto, tem-se como objetivo determinar a qualidade fisiológica de sementes de variedades de trigo sob à fertilização silicatada.

REVISÃO DE LITERATURA

Trigo

Os cereais pertencentes ao gênero *Triticum*, tanto cultivados como silvestres, são chamados de trigo e pertencem à família das *Poaceae*. A origem do termo trigo se dá a partir do termo em latim *tritium*, que significa quebrado ou triturado, em referência ao processo necessário para separar o grão de trigo da casca (LÉON; ROSELL, 2007).

Credita-se a origem do trigo atual (*Triticum aestivum*) seja de gramíneas silvestres que cresciam no entorno dos rios Tigre e Eufrates (Oriente Médio) há mais de 10.000 anos atrás. Essa espécie é fruto do cruzamento natural entre *Triticum turgidum* ($2n = 28$), tetraploide, e *Aegilops squarrosa* ($2n = 14$), uma gramínea silvestre, resultando em uma planta hexaploide (BORÉM; SCHEEREN, 2015).

O trigo tem um vasto uso na alimentação humana, seja na forma de farinha ou grão laminado para panificação, além de ser utilizado como agente espessante de molhos, sopas, pudins, entre outros. Na alimentação animal pode ser utilizado como foragem para o pastejo direto e como componente de rações. O cereal ainda tem aplicações não alimentares, como misturas adesivas e colas, fármacos, cosméticos, produção de álcool, etc. O trigo também possui um papel importante na sucessão e rotação de sistemas de produção, contribuindo para o manejo de pragas, doenças e plantas invasoras (BORÉM; SCHEEREN, 2015).

O trigo é um dos cereais mais cultivados no mundo, junto com o milho e o arroz, sendo o mais consumido pelo homem no ocidente a milhares de anos (LEÓN; ROSSEL, 2007). Da área cultivável global mais de 17% está ocupado com trigo e representa aproximadamente 30% da produção mundial de grãos, além de possuir uma grande cadeia industrial, gerando valor agregado ao produto e postos de trabalho (BORÉM; SCHEEREN, 2015).

O Brasil não se destaca entre os maiores produtores e exportadores de trigo no mundo, a União Europeia, a China e a Índia são os atuais maiores produtores e consumidores do grão e Rússia, Canada, União Europeia são os países que mais exportam o grão (USDA, 2019).

Estima-se que o Brasil irá produzir entorno de 5,6 milhões de toneladas de trigo em 2019 com uma área plantada de pouco mais de dois milhões de hectares, sendo assim a principal cultura de inverno do país. O trigo é especialmente importante na região sul do país, responsável por cerca de 90% da produção e da área cultivada, porém, Minas Gerais hoje se encontra como o terceiro maior produtor (CONAB, 2019).

A importação de trigo brasileira deve passar dos sete milhões de toneladas esse ano, 7,2 milhões segundo a Conab e 7,5 milhões segundo a USDA, sendo que apenas nos três primeiros meses desse ano importou 1,89 milhão de toneladas de trigo, desses 1,74 milhão de toneladas oriundas da Argentina (CONAB, 2019; USDA, 2019).

A planta de trigo é formada por raízes, colmo, folhas e inflorescência. Fazem parte do sistema radicular as raízes seminais, vindas diretamente da semente, as raízes permanentes, que surgem entre 1-2 cm abaixo do solo e em sua maioria atinge 25 cm de profundidade, ocasionalmente surgem raízes adventícias a partir dos dois nós iniciais do caule da planta. O caule do trigo é uma haste oca, pouco ramificada, com quatro a sete nós que se estendem em direção ao topo, alcançando 0,5 a 2 metros de altura, variando conforme o genótipo e o clima. De cada nó surge uma folha composta de bainha, lâmina, lígula e duas aurículas dispostas alternadamente. A inflorescência é uma espiga composta de uma haste central de internódios curtos, nos quais está disposta 20 a 30 espiguetas alternadas, cada uma carregando nove flores cercado por glumas, a pálea e a lema (LEÓN; ROSSEL, 2007; BORÉM; SCHEEREN, 2015).

Nutrição mineral do trigo

Da emergência até à emissão da sétima folha é o período crítico de suprimento de nitrogênio em trigo. Neste período, o nitrogênio é necessário para potencializar o número máximo de espiguetas por espiga e para determinar o número de colmos por área (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2001). Durante o ciclo da cultura, deve ser aplicado entre 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, dependendo do teor de matéria orgânica do solo, da cultura precedente, do clima do local e da expectativa de produção da cultura. Desses, normalmente se aplica de 15 a 20 kg ha⁻¹ no sulco de semeadura (disposta 2,5 cm ao lado e abaixo da semente) e o restante são aplicados em cobertura nos estádios de perfilhamento e alongamento do colmo do trigo, a partir de 30 dias após a semeadura (BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

Para a cultura do trigo o segundo nutriente mais requerido pelas plantas é o potássio disponibilizado na semeadura junto com o nitrogênio e o fósforo, na formulação de NPK. Caso a necessidade de adubação seja maior que 100 kg ha⁻¹ de K₂O, o restante é aplicado em cobertura junto com o nitrogênio a partir do surgimento dos primeiros perfilhos (BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016). O fornecimento combinado de nitrogênio e potássio aumenta a produção de massa seca da parte aérea e teor de clorofila nas folhas de trigo (VIANA; KIEHL, 2010).

Como o fósforo está envolvido nos processos energéticos vitais das plantas, é imprescindível que a correção de deficiência de fósforo no solo seja corrigida para que ocorra o pleno estabelecimento da cultura do trigo, feita totalmente no sulco de semeadura (BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016). O fósforo é um nutriente primordial a produtividade de grãos, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiguetas e por espiga, massa da matéria seca de 100 grãos e comprimento da espiga (FREITAS et al., 1999).

A demanda do trigo pelos macronutrientes cálcio, magnésio e enxofre é menor se comparados ao N, P, K e tende a ser suprida com o uso de corretivo de acidez do solo como calcário dolomítico ou magnesiano, fontes de Ca e Mg, e de gesso agrícola, fonte de S (BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

A deficiência nutricional causada pela falta de micronutrientes é raramente vista em solos das regiões produtoras de trigo do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com exceção de solos muito arenoso. Já no caso dos solos do Cerrado, é mais comum apresentar baixa disponibilidade de alguns micronutrientes, em especial a deficiência de zinco em locais onde houve excesso de adubação fosfatada (BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

A disponibilidade de boro em quantidades adequadas para a cultura do trigo é fundamental para um bom rendimento da cultura, pois o boro afeta diretamente a viabilidade

dos grãos de pólen e no aumento, tanto em número quanto em peso, dos grãos da espiga, consequentemente, na determinação da produtividade e da qualidade da cultura colhida (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

Como nas lavouras é comum o uso de diversos adubos que contém cloro em sua composição, como, por exemplo, o cloreto de sódio e o cloreto de potássio, a disponibilidade desse elemento para as culturas agrícolas dificilmente se torna um problema e a quantidade do nutriente presente no conteúdo vegetal das plantas depende do ambiente e do manejo da cultura (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

A maior demanda de cobre pela cultura do trigo ocorre no pré-florescimento, pois esse elemento é fundamental para a formação do grão de pólen, além de atuar na biossíntese da clorofila e na lignificação da planta (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

A deficiência de ferro é muito rara de ser encontrada nos solos brasileiros, pois a maioria deles possui em sua composição grande quantidade de argilominerais ricos em ferro (por exemplo, óxidos de ferro: hematita, goethita), portanto, não é usual o uso de fertilização com esse nutriente, porém, o ferro tem papel fundamental na síntese de proteínas e nos processos fotossintéticos, causando perda de produtividade na carência do nutriente (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

Também, não muito comum nas regiões produtoras de trigo no Brasil, a deficiência de manganês pode ocorrer com maior regularidade em solos arenosos e/ou com pH alcalino, que favorecem a sua oxidação química ou microbiológica e a consequente impossibilitando a absorção do nutriente pela planta. O manganês atua diretamente em funções metabólicas na planta relacionadas à fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e ativação de hormônios (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

O molibdênio é um importante ativador enzimático e, portanto, tem papel fundamental em processos fisiológicos nas plantas, esse nutriente também conferem resistência contra estresses bióticos e abióticos, incluindo pragas e doenças, porém, sua deficiência é de difícil detecção no campo, pois os sintomas se assemelham à deficiência de nitrogênio, porém, como a planta de trigo requer baixos teores do nutriente ele pode ser suprido via adubação foliar ou tratamento de sementes (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

Nas áreas de Cerrado e nos solos com alto pH ou que receberam excesso de adubação fosfatada são onde mais comumente ocorre a baixa disponibilidade de zinco, importante catalisador de diversas reações enzimáticas nas plantas, portanto, é indicado a

fertilização com zinco no sulco de semeadura para a elevação dos teores do elemento no solo até níveis adequados (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; BONA; MORI; WIETHÖLTER, 2016).

No cerrado raramente são encontrados solos deficientes em silício, em virtude de serem, em sua maioria, de origem basáltica e essa rocha em condições de lixiviação libera grandes quantidades de Si, Fe, Ca, Mg e Na na solução do solo (REIS et al., 2007). Ainda neste contexto, diversos estudos apontam um crescimento na produtividade do trigo com o uso da fertilização silicatada (MENDONÇA et al., 2013; TAVARES et al., 2014; TOLEDO et al., 2012).

Silício com nutriente benéfico ao trigo

O silício foi incluído como micronutriente benéfico na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos, conforme Decreto Lei nº. 4.954, de 14 de janeiro de 2004, autorizando a sua comercialização de forma isolada ou em mistura com outros nutrientes (SENA; CASTRO, 2010). A Instrução Normativa nº. 5, de 23 de fevereiro de 2007, no anexo II, os produtos fertilizantes minerais contendo silício foram aprovados para comercialização (MAPA, 2013).

O silício está solúvel nos solos na forma de ácido silícico e monossilícico (H_4SiO_4) originário dos processos de intemperismo de minerais primários e secundários, sendo absorvido pelas raízes das plantas, de forma não seletiva, seguindo o fluxo de massa de água (HAYNES, 2017; EPSTEIN, 1999).

A baixa solubilidade do silício nos solos diminui a sua disponibilidade, apesar do seu teor no solo ser alto (KORNDÖRFER, 2006). Outro fator que pode diminuir a disponibilidade às plantas são os cultivos sucessivos nos solos tropicais e sub-tropicais, normalmente muito intemperizados, lixiviados, ácidos e com baixa saturação de bases, fazendo-se necessário a fertilização silicatada suplementar desses solos (DATNOFF et al., 2001).

O silicato de cálcio ($CaSiO_3$) e magnésio ($MgSiO_3$) apresentam reações semelhantes à do calcário no solo, promove a liberação de hidroxilas (OH^-), que neutraliza os íons H^+ presentes no solo elevando o pH. Como consequência, há a precipitação do alumínio, tóxico às plantas, na forma de hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$). Dessa forma, a quantidade de elementos como cálcio, magnésio e fósforo lábil irá aumentar, diminuindo também a toxidez de ferro e manganês (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2003).

As fontes mais comuns utilizadas na adubação silicatada são os silicatos de cálcio (CaSiO_3) e magnésio (MgSiO_3), além de fornecer cálcio, magnésio e silício ao solo, aumenta a eficiência da adubação de NPK, diminuindo a lixiviação de potássio e outros nutrientes móveis no solo (EPSTEIN, 1999).

Os resíduos siderúrgicos, subprodutos da indústria de ferro e aço, têm em sua composição principalmente os silicatos de ferro e magnésio, tornando-se assim uma fonte barata e abundante de silicatos, com os mesmos benefícios já mencionados (MALAVOLTA et al., 2002).

Nos ecossistemas naturais, o silício depositado como fitólito nas plantas é devolvido ao solo na serapilheira, onde é degradado por microrganismos e subsequentemente reabastece o silício na solução do solo. Nos sistemas agrícolas, muito destes fitólitos são removidos na colheita (HAYNES, 2017), tornando necessária a reposição do mesmo por meio da fertilização do solo.

Como as lavouras que crescem no campo estão constantemente sujeitas a uma série de estresses, a escassez de silício pode estar contribuindo para o declínio do rendimento global, que tem sido observado nos últimos tempos para muitas culturas (HAYNES, 2017).

Respostas positivas no rendimento do silício aplicado ocorrem particularmente em solos com baixo teor de silício extraível e as aplicações de fertilizante silicatado ao arroz e cana-de-açúcar estão se tornando cada vez mais comuns (HAYNES, 2017).

Diversos estudos apontam um crescimento na produtividade de trigo com o uso da fertilização silicatada. O acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas, utilizando-se caulim e cinzas de casca de arroz com fonte de silício, promoveu um aumento na produtividade de trigo até a dose de 1720 Kg ha^{-1} (MENDONÇA et al. 2013). Para o número de sementes por planta, peso hectolítrico e peso de mil sementes não houve diferenças significativas entre as fontes caulim e cinzas de casca de arroz (TAVARES et al., 2014). Inclusive em condições de hidroponia a fertilização silicatada melhorou o crescimento e produção de grãos de aveia branca e, principalmente, do trigo até a dose de $100 \text{ mg litro}^{-1}$ (LIMA FILHO; TSAI, 2007). A fertilização silicatada utilizando o silicato de potássio, em dose de $4,0 \text{ L/ha}$, possibilitou menor incidência e severidade da brusone (NEVES; AMARAL, 2017) e aumenta a resistência da folha bandeira de plantas de trigo à infecção por *B. sorokiniana* e ao mesmo tempo garantir uma maior produção dada à importância fisiológica dessa folha, em particular, em experimento realizado em vasos com dose de $0,3\text{g}$ de silício por quilograma de solo (DOMICIANO et al., 2010).

O trigo é considerado uma planta acumuladora de silício. A concentração de Si nas plantas varia de 0,1 a 10% em peso seco em diferentes espécies de plantas. As que possuem níveis de Si nas suas folhas superiores a 1,5% da biomassa seca são conhecidas como acumuladoras, e aquelas que têm níveis abaixo de 0,5% são conhecidas como não acumuladoras. Essas diferenças na absorção de Si dependem da capacidade de absorção de Si da planta e subsequentemente sua carga de xilema nas raízes (BAKHAT et al., 2018; HAYNES, 2017).

Estudos cinéticos para absorção de Si em arroz, pepino e tomate mostraram que a densidade dos transportadores na membrana plasmática é responsável pela variação na absorção de Si, sendo que o arroz é o mais alto e o tomate a menor densidade (BAKHAT et al., 2018).

A absorção de silício em arroz, trigo, milho, cevada e abóbora (*Cucurbita moschata*) têm sido demonstradas como sendo mediada por transportadores de proteínas de influxo (Lsi1) e efluxo (Lsi2) (HAYNES, 2017).

No arroz, Lsi1 funciona como um transportador de influxo para transportar Si da solução externa para as células exodermais e depois para as células endodérmicas, enquanto Lsi2 é um transportador de efluxo localizado na membrana plasmática que libera Si das células exodermais para o apoplasto e então a estela. O ácido silícico é transportado da solução externa para as células exodérmicas da raiz por Lsi1 e então liberado no apoplasto do córtex por Lsi2. Após o movimento através do córtex, é então transportado para as células endodérmicas por Lsi1 e liberado na estela por Lsi2 (HAYNES, 2017).

As plantas diferem em suas habilidades de absorção de Si e suas concentrações variam mesmo em diferentes genótipos pertencentes à mesma espécie em seus tecidos. Maiores concentrações de ácido silícico na seiva do xilema são transitórias e, uma vez que o Si é transportado do xilema para as bainhas foliares e lâminas foliares, ele começa a polimerizar em sílica amorfa. A sílica polimerizada é depositada na parede celular, no lúmen celular, nos espaços intracelulares e nos tricomas aumentam a resistência dos tecidos (BAKHAT et al., 2018).

A idade da planta, localização dos tecidos envolvidos e absorção através das raízes influenciam na deposição do silício absorvido, assim como a fisiologia de cada espécie e o ambiente em que se desenvolvem são as causas da grande variação no teor de silício no tecido vegetal (CHAGAS, 2004). O silício absorvido é depositado na parede celular, no lúmen e nos espaços intercelulares dos tecidos das raízes, caule e na camada extracelular da cutícula (SANGSTER, 2001).

A transpiração, o crescimento da planta de trigo e a disponibilidade do nutriente no solo são os fatores que definem a quantidade de silício que a planta irá absorver e acumular em seus tecidos (CHAGAS, 2004)

A silificação nas *Poaceae* ocorre ao longo de toda a planta, em especial nas inflorescências, o elemento é depositado nos tecidos estruturais, vasculares, de armazenamento e na epiderme. A silificação em plantas de trigo ocorre em sentido ascendente, começando rapidamente pelas paredes das células da endoderme das raízes e após para a parte aérea da planta (SANGSTER, 2001).

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivares estudadas

Foram utilizadas duas cultivares produzidas pelo programa de melhoramento genético da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) indicadas para o cultivo no Cerrado brasileiro: BRS 264 e BRS 394.

A cultivar BRS 264 apresenta um elevado potencial produtivo, ampla adaptabilidade, boa qualidade industrial e maturação precoce, maturando-se aos 110 dias após plantio. Lançada em 2006, a cultivar é recomendada para o plantio irrigado, na estação seca, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Mato Grosso e Distrito Federal. Podendo alcançar produtividades de até 7 t ha^{-1} , valor registrado em cultivo irrigado com boa fertilidade de solo no Distrito Federal (ALBRECHT et al., 2007).

A cultivar BRS 394 apresenta um elevado potencial produtivo, ampla adaptabilidade, boa qualidade industrial e maturação precoce levando entre 115 a 120 dias para maturar. Lançada em 2014, a cultivar é recomendada para o plantio irrigado, na estação seca, nos estados da Bahia, todos os estados da região Centro-oeste, Minas Gerais e São Paulo. Como características botânicas essa cultivar apresenta a posição da folha bandeira predominantemente ereta, as aurículas são incolores, as espigas são oblongas e de coloração clara, o grão é alongado de cor vermelho escuro, a altura média da planta é alta (102 cm) e possui o colmo largo (BRASIL, 2009).

Produção de sementes

Em campo foram montados dois experimentos: na fazenda experimental Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) (18° 52' 02,88"S; 48° 20' 33,65"W e 822 m de altitude) e outro na área experimental da Fazenda Sobradinho, do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) (18° 45' 59,20"S; 48° 17' 43,94"W e 642 m de altitude). A classificação climática de Uberlândia é Aw segundo Köppen, ou seja, clima tropical com estação chuvosa no verão e nítida estação seca no inverno, com precipitação superior a 780 mm anuais, atingindo 1800 (KÖPPEN, 1948).

As atividades de campo foram realizadas simultaneamente nas duas localidades. Para o preparo de solo foi realizado em 09/05/2017 a gradagem e no dia seguinte os tratamentos via solo, incorporados manualmente. Foi utilizado uma dose de 4.700 kg ha⁻¹ de AgroSilício Plus (35% CaO; 10% MgO; 10,5% SiO) para as parcelas com aplicação de Si resultando em 493,5 kg de Si por hectare e 4.700 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico Ercal (37-38% de CaO e 8-10% de MgO) para as parcelas sem aplicação de Si, visando equilibrar os teores de cálcio e magnésio.

Com a finalidade de permitir que os corretivos tivessem tempo de reagir adequadamente com o solo a semeadura foi realizada apenas 26 dias após a aplicação dos tratamentos, utilizando-se uma densidade de 80 sementes por metro linear. Foram realizadas mais duas fertilizações: 1 no momento do plantio de forma manual foi incorporado 500 kg ha⁻¹ do adubo formulado NPK 04-30-10 na linha de plantio e 2 20 dias após a semeadura com uma dose de 500 kg ha⁻¹ do adubo formulado NPK 04-30-10 na linha de plantio. Quando necessário as plantas eram irrigadas por aspersão.

O delineamento de cada experimento foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo duas cultivares de trigo (BRS 264 e BRS 394), indicada para o cerrado, na presença ou ausência de Si, com seis repetições. As sementes foram colhidas em cada parcela (Figura 1).

Teste de germinação e Teste de desenvolvimento de planta

Após colhidas e armazenadas as sementes foram submetidas ao teste de germinação. Para tal, utilizou-se papel germitest umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o seu peso como substrato (Figura 1). A semeadura foi realizada em quatro repetições com 50 sementes equidistantemente distribuídas pelo substrato. As sementes foram colocadas para germinar entre duas folhas de papel germitest, formando-se rolos, depois quatro desses rolos foram agrupados e envoltos em mais uma folha de papel germitest. Os rolos foram então

colocados no germinador na posição vertical, em uma temperatura em 20°C, com iluminação constante e após quatro dias foi feita a avaliação.

As plântulas foram classificadas em normais (total, fortes e fracas), anormais danificadas e deteriorada e sementes dormentes, duras e mortas. Das plantas consideradas normais foi medido o comprimento das raízes e da parte aérea, consequentemente obtendo o comprimento total em centímetros. Após seccionadas em parte aérea e radicular, as mesmas foram colocadas em sacos de papel. O peso das partes foi aferido após secagem por 24 horas em estufa a 65°C mensurando-se a massa seca da parte aérea, radicular e total em gramas. Estes pesos foram ponderados pela quantidade de plântulas normais obtidas para obter a massa média das plântulas, com precisão de três casas decimais.

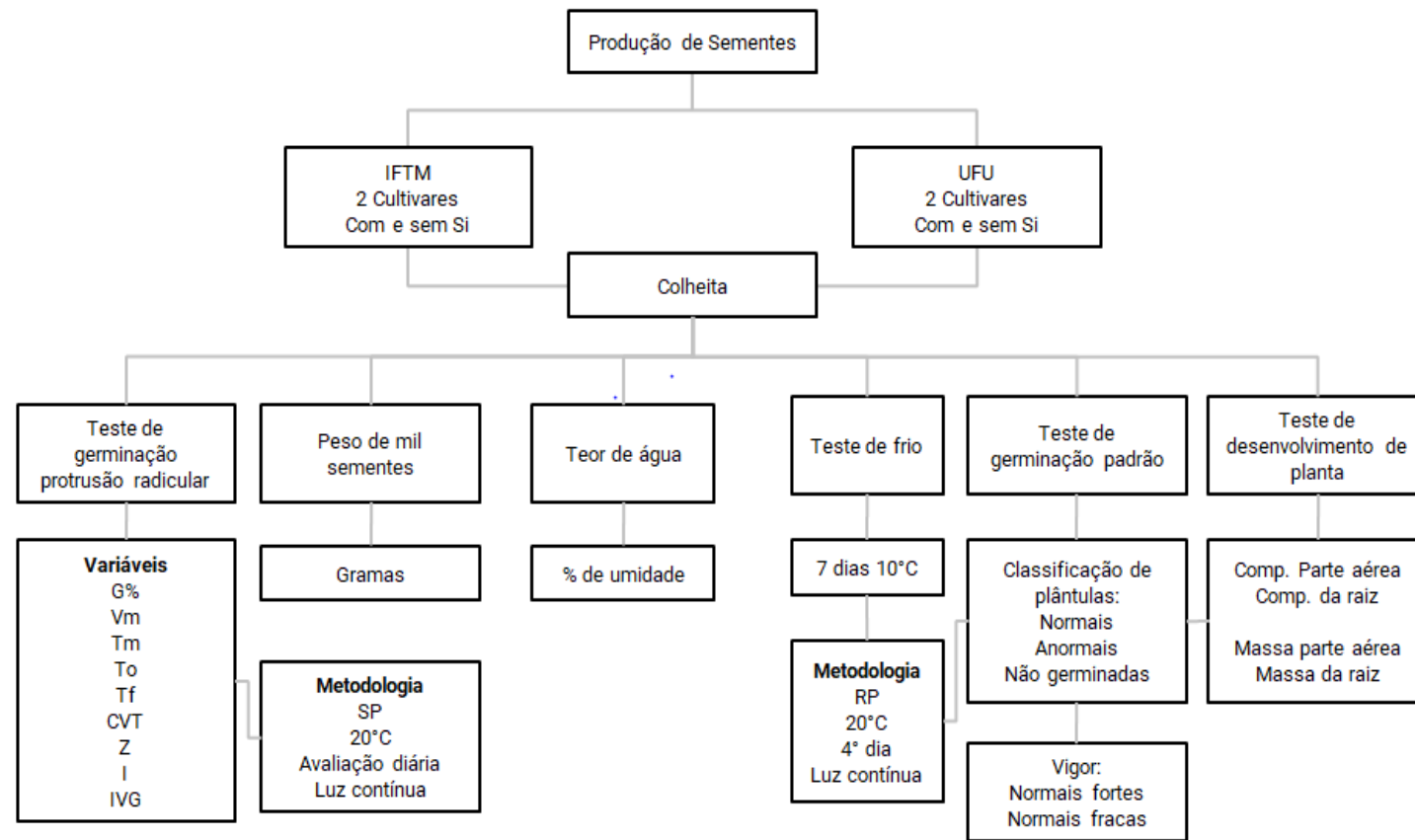


Figura 1. Diagrama da metodologia utilizada. ¹Si: Silício; G%: Porcentagem de germinação; Tm: Tempo médio de germinação; CVT: Coeficiente de variação do tempo; Vm: Velocidade média de germinação; To: Tempo inicial; Tf: Tempo final de germinação; I: Incerteza; Z: Sincronia; IVG: Índice de velocidade de germinação; SP: Sobre papel; RP: Rolo de papel; UFU: Fazenda Capim Branco; IFTM: Campus experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Uberlândia).

Teste de frio

Este teste seguiu a mesma metodologia que o teste de germinação, porém antes dos rolos serem acondicionados no germinador, os mesmos foram dispostos em sacos plásticos fechados e permaneceram na câmara fria por sete dias a uma temperatura de 10°C. Após serem postos para germinar, as plântulas foram classificadas em normais, anormais danificadas e deterioradas e as sementes em dormentes, duras e mortas (Figura 1).

Determinação do peso de mil sementes

Para determinar o peso de mil sementes das amostras foram pesadas oito repetições contendo 100 sementes cada e a média das repetições foi multiplicado por 10 (Figura 1) em cada repetição.

Determinação do teor de água

O teor de água das sementes foi determinado seguindo o método de estufa a 105°C descrito pela Regras para Análise de Sementes, com teores expressos na base úmida (BRASIL, 2009) (Figura 1).

Teste de germinação por protrusão radicular

Em caixas plásticas do tipo gerbox foram colocadas duas folhas de papel germitest umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o seu peso como substrato. Sobre o papel foram semeadas 50 sementes equidistantemente distribuídas pelo substrato e então postas no germinador a 20°C com iluminação constante. Cada parcela foi formada por quatro caixas gerbox (Figura 1).

A avaliação foi feita a cada 12 horas, com retirada das sementes germinadas. Utilizou-se como critério a protrusão do embrião. As avaliações perduraram até a estabilização do processo germinativo. Foram calculados a porcentagem de sementes germinadas, o tempo médio de germinação, o coeficiente de variação do tempo, a velocidade média de germinação, o índice de incerteza e a sincronia, além do tempo inicial e final de germinação e do índice de velocidade de germinação.

As expressões e autores dessas medidas podem ser consultados em Ranal & Santana (2006).

Análise estatística

Em laboratório os experimentos seguiram o mesmo delineamento do campo sendo um fatorial 2 x 2 com seis repetições, para cada fazenda (figura 1). Portanto, para análise estatística, visando verificar a reprodutibilidade desta tecnologia, utilizou-se a análise conjunta. Para tal, aplicou-se o Teste “*F*” máximo de Hartley e quando a relação dos quadrados médios dos resíduos fossem igual ou inferior a sete considerou-se as variâncias homogenias. Atendido este pressuposto aplicou-se a ANOVA do esquema fatorial 2 (fertilização com Si) x 2 (cultivares) x 2 (Fazenda) seguida de comparação das médias utilizou-se o teste de Tukey, todos 0,05 de significância, usando o software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram homogêneos entre si ($F_{\text{Hartley}} \leq 1,80$) para o teor de água e peso de mil sementes (tabela 1), o que permitiu a análise conjunta. Ao analisar o teor de água das sementes em cada local de forma independente, não foram encontradas diferenças significativas para a característica (Tabela 1).

Todavia, foram encontradas diferenças significativas para peso de mil sementes (Tabela 1). Em ambas as localidades a cultivar BRS 394 produziu sementes mais pesadas, porém, na fazenda do IFTM as cultivares apresentaram comportamentos diferentes frente à fertilização silicatada. A cultivar BRS 264 produziu sementes mais pesadas sem a adição de silício. As plantas diferem em suas habilidades de absorção de Si e suas concentrações variam mesmo em diferentes genótipos pertencentes à mesma espécie em seus tecidos (BAKHAT et al., 2018), o que explica as diferenças encontradas.

Tabela 1. Análise de variância do teor de água e peso de mil sementes e pressuposição de homogeneidade dos experimentos para análise conjunta.

Teor de água				Peso de 1000 sementes			
Causa de variação	Quadrado médio UFU	Quadrado médio IFTM	F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio UFU	Quadrado médio IFTM	F_{Hartley}
Si	73,36	1,06	-	Si	0,95	7,83	-
CULTIVAR	82,04	0,97	-	CULTIVAR	112,19**	57,50**	-
SI*CULT	11,90	79,28	-	SI*CULT	0,02	32,84*	-
BLOCO	50,73	24,29	-	BLOCO	8,62	5,98	-

RESÍDUO	33,24	27,11	1,23	RESÍDUO	7,26	4,03	1,80
---------	-------	-------	------	---------	------	------	------

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; UFU: Fazenda Capim Branco; IFTM: Campus experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Uberlândia); F_{Hartley} : teste “F” máximo de Hartley, em que é a relação entre os quadrados médios do resíduo; valores menores ou igual a sete indicam homocedasticidade. *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Ao realizar a análise conjunta das características de teor de água e peso de mil sementes, foi constatado que o teor de água das sementes cultivadas no IFTM foi maior independentemente da cultivar avaliada e da fertilização (Tabela 2), isso pode ter ocorrido devido ao período vegetativo das plantas terem sido 15 dias maior nesse local. As localidades também possuem solos com características físico químicas diferentes. Na UFU é caracterizado como Latossolo Vermelho e textura argilosa, com 580 g kg⁻¹ de argila (EMBRAPA, 2006) e no IFTM latossolo vermelho (LV) distrófico com textura franco-argilo-arenoso, com 21 g kg⁻¹ de argila, 71 g kg⁻¹ de areia e 8 g kg⁻¹ de silte na camada de 0 - 0,20 m (NEVES; AMARAL, 2017). Também foi constatado que independentemente do local e da fertilização, a cultivar BRS 394 resultou sementes mais pesadas (Tabela 2 e 3) demonstrando que essa pode ser uma característica genética da cultivar.

Tabela 2. Análise de variância das características de teor de água e peso de mil sementes de cultivares de trigo submetidas ou não a fertilizações silicatadas.

¹ Causa de variação	Teor de água	Peso de mil sementes
LOCAL	137,07**	2,60
Si	26,75	0,55
CULTIVAR (CULT)	30,84	175,26**
Si*LOCAL	48,18	4,49
Si* CULT	52,65	3,03
CULT*LOCAL	12,93	4,45
CULT*Si*LOCAL	71,81	13,15
BLOCO	37,36	7,11
RESÍDUO	29,54	5,98

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

A fertilização silicatada não interferiu no peso e no teor de água das sementes produzidas (tabela 3), embora há relatos que o silício aplicado via solo influencia positivamente a massa de mil sementes e o vigor de sementes de soja, trigo e aveia-branca (LIMA FILHO; TSAI, 2007; OLIVEIRA et al., 2015). Todavia, não é consenso, como Toledo et al. (2012) demonstraram, onde a fertilização silicatada não interferiu no teor de água de sementes de aveia branca.

Tabela 3. Análise de variância das características de peso de 1000 sementes e de teor de água para as fertilizações, os locais e as cultivares de trigo.

Causas de variação	Si		Local		Cultivares	
	C	S	IFTM	UFU	BRS 264	BRS 394

Peso 1000	31,07 a	31,28 a	30,94 a	31,41 a	29,26 b	33,08 a
Teor de água	8,85 a	10,34 a	11,29 b	7,91 a	10,40 a	8,80 a

*Si: Silício; Peso 1000: Peso de 1000 sementes; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha dentro de cada causa de variação difere pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os testes de germinação por protrusão radicular de cada experimento independente demonstram que o silício pouco afeta a qualidade das sementes germinadas para as diferentes cultivares (Tabela 4). Esses experimentos foram homogêneos entre si ($F_{\text{Hartley}} \leq 1,75$) para todas as variáveis, o que permitiu a análise conjunta (Tabela 4).

O local de semeadura não influenciou na germinação das sementes, da mesma forma também não influenciou no tempo, na velocidade e na dispersão da germinação entorno do tempo médio (CVt) que levaram para germinar. Porém, em ambos locais, a cultivar BRS 264 demonstrou germinar em um tempo médio menor e, portanto, com maior velocidade média (Tabela 4).

Sincronia (Z) foi utilizada para avaliar o grau de sobreposição de germinação de sementes e constatou-se que não foi influenciada nem pelas fertilizações, nem pelas cultivares e tão pouco pelo local de cultivo (Tabela 4), mesmo resultado obtido para a incerteza (I) da germinação.

Tabela 4. Análise de variância dos experimentos independentes e pressuposição de homogeneidade dos experimentos para análise conjunta.

Germinação				Tm			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	112,67	119,37	-	Si	0,00	0,00	-
CULTIVAR	150,00	119,37	-	CULTIVAR	0,01**	0,07**	-
SI*CULT	240,67	255,28	-	SI*CULT	0,00	0,00	-
BLOCO	145,20	140,84	-	BLOCO	0,01	0,01	-
RESÍDUO	151,24	163,36	1,08	RESÍDUO	0,01	0,01	1,03
CVt				Vm			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	34,54	72,97	-	Si	0,00	0,00	-
CULTIVAR	66,10	31,57	-	CULTIVAR	0,05**	0,04**	-
SI*CULT	0,01	12,46	-	SI*CULT	0,00	0,00	-
BLOCO	22,15	22,49	-	BLOCO	0,01	0,01	-
RESÍDUO	26,68	22,64	1,18	RESÍDUO	0,00	0,00	1,02
Tf				IVG			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	0,18	1,35*	-	Si	48,76	46,78	-
CULTIVAR	0,15	0,12	-	CULTIVAR	345,35*	266,42*	-
SI*CULT	0,69	0,28	-	SI*CULT	87,21	81,19	-

BLOCO	0,42	0,39	-	BLOCO	35,03	35,12	-
RESÍDUO	0,48	0,28	1,75	RESÍDUO	42,04	47,38	1,13
I				Z			
Causa de variação	Quadrado médio UFU	Quadrado médio IFTM	$F_{Hartley}$	Causa de variação	Quadrado médio UFU	Quadrado médio IFTM	$F_{Hartley}$
Si	0,01	0,05	-	Si	0,00	0,01	-
CULTIVAR	0,03	0,01	-	CULTIVAR	0,01	0,01	-
SI*CULT	0,01	0,03	-	SI*CULT	0,00	0,00	-
BLOCO	0,01	0,02	-	BLOCO	0,00	0,00	-
RESÍDUO	0,03	0,02	1,60	RESÍDUO	0,01	0,01	1,24

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; Tm: Tempo médio de germinação; CVT: Coeficiente de variação do tempo; Vm: Velocidade média de germinação; Tf: Tempo final de germinação; IVG: Índice de velocidade de germinação; UFU: Fazenda Capim Branco; IFTM: Campus experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Uberlândia); $F_{Hartley}$: teste “F” máximo de Hartley, em que é a relação entre os quadrados médios do resíduo; valores menores ou igual a sete indicam homocedasticidade. *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Ao realizar a análise conjunta dos dados, a velocidade média e o tempo médio de germinação foram influenciados apenas pela variação da cultivar (Tabela 5), sendo que a BRS 264 apresentou um melhor desempenho em ambos. Apesar das diferenças não terem sido significativas para o tempo final de germinação, a média para BRS 264 foi ligeiramente menor, o que contribuiu para a maior velocidade média e o menor tempo médio de germinação, já que o tempo inicial de germinação de ambas as cultivares foi igual.

Os resultados obtidos para o IVG foram semelhantes ao da velocidade média e do tempo médio (Tabela 5) já que as cultivares não tiveram diferenças significativas no número de plântulas normais germinadas, assim, a influência no resultado ficou por conta do tempo médio menor da BRS 264.

Como é desejável que em espécies agrícolas, no caso o trigo, apresentem a germinação o mais uniforme num tempo possível, o CVt foi influenciado positivamente pela fertilização onde houve adubação silicatada, apresentando valores menores do que na ausência do silício (Tabela 5), apesar do valor obtido ainda ser considerado alto (19,35%) (Tabela 6).

Tabela 5. Análise de variância das características de germinação de cultivares de trigo submetidas ou não a fertilização silicatada.

¹ Causa de variação	Germinação	Tm	CVt	Vm	I
LOCAL	< 0,00	0,00	2,52	0,00	0,00
Si	243,00	0,01	102,40*	0,00	0,05
CULTIVAR (CULT)	280,33	0,17**	93,90	0,10**	0,02
Si*LOCAL	0,33	0,00	3,26	0,00	0,01
Si* CULT	481,33	0,00	2,14	0,00	0,02
CULT*LOCAL	0,33	0,00	3,26	0,00	0,01

CULT*Si*LOCAL	< 0,00	0,00	2,52	0,00	0,00
BLOCO	44,00	0,01	20,84	0,01	0,01
RESÍDUO	51,69	0,01	24,74	0,00	0,03
¹ Causa de variação	To	Tf	IVG	Z	
LOCAL	< 0,00	0,02	1,17	0,00	
Si	< 0,00	1,10	114,44	0,01	
CULTIVAR (CULT)	< 0,00	0,33	648,13**	0,02	
Si*LOCAL	< 0,00	0,20	0,68	0,00	
Si* CULT	< 0,00	0,79	147,02	0,00	
CULT*LOCAL	< 0,00	0,00	0,68	0,00	
CULT*Si*LOCAL	< 0,00	0,08	1,17	0,00	
BLOCO	< 0,00	0,34	37,42	0,00	
RESÍDUO	< 0,00	0,40	42,76	0,01	

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; Tm: Tempo médio de germinação; CVT: Coeficiente de variação do tempo; Vm: Velocidade média de germinação; Tf: Tempo final de germinação; IVG: Índice de velocidade de germinação; Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha dentro de cada característica difere pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A fertilização com silício não prejudicou a velocidade média de germinação, assim como o tempo médio e o índice de velocidade de germinação também não foram prejudicados, e ainda contribuiu para que a germinação fosse menos dispersa em relação ao tempo médio (Tabela 6), indicando que deve ser indicada para o cultivo de trigo.

A localidade para produção de sementes não interferiu em nenhuma característica de germinação do trigo e foi demonstrado que a cultivar BRS 264 possui a característica genética de germinar com uma maior velocidade e, conseqüentemente, em menor tempo do que a cultivar BRS 394 (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância para as características de germinação: tempo médio (Tm), o coeficiente de variação do tempo (CVt), a velocidade média (Vm) e o índice de velocidade de germinação (IVG) de cultivares de trigo submetidas ou não a fertilização silicatada em diferentes locais.

	Si		Locais		Cultivar	
	C	S	IFTM	UFU	BRS 264	BRS 394
Tm	1,16 a	1,13 a	1,15 a	1,14 a	1,08 a	1,20 b
CVt	19,35 a	22,27 b	20,58 a	21,04 a	22,21 a	19,41 a
Vm	0,87 a	0,89 a	0,88 a	0,87 a	0,92 a	0,83 b
IVG	43,02 a	46,11 a	44,41 a	44,72 a	48,24 a	40,89 b

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha dentro de cada característica difere pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os experimentos foram homogêneos entre si ($F_{\text{Hartley}} \leq 4,39$) para as características do teste padrão de germinação e de vigor por classificação de plântulas (tabela 7), o que permitiu a análise conjunta. O vigor das sementes produzidas não foi impactado pela fertilização

silicatada (Tabela 7), assim como pelo local de produção e pela variação da cultivar utilizada. Tavares et al. (2014) observou que as fontes caulim e cinza de casca de arroz, via solo, até a dose de $2500 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ de silício, não afetaram significativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas, visto que não influenciaram a germinação e o vigor das sementes. Ao contrário, Tunes et al. (2014) e Oliveira et al. (2016) demonstraram que sementes de arroz e soja obtiveram maior vigor em doses crescentes de silício.

Tabela 7. Análise de variância das características de vigor e pressuposição de homogeneidade (análise conjunta).

NORMAIS FORTES				NORMAIS FRACAS			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	0,00	13,49	-	Si	0,00	13,49	-
CULTIVAR	3,21	13,56	-	CULTIVAR	3,21	13,56	-
SI*CULT	56,27	10,82	-	SI*CULT	56,27	10,82	-
BLOCO	24,67	9,78	-	BLOCO	24,67	9,78	-
RESÍDUO	27,16	12,45	2,18	RESÍDUO	27,16	12,45	2,18
SEMENTES NORMAIS TOTAIS				SEMENTES DANIFICADAS			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	<0,00	1,67	-	Si	0,17	2,32	-
CULTIVAR	<0,00	0,76	-	CULTIVAR	0,17	0,48	-
SI*CULT	<0,00	0,42	-	SI*CULT	0,17	0,74	-
BLOCO	0,97	0,36	-	BLOCO	3,10	2,24	-
RESÍDUO	0,83	1,76	2,11	RESÍDUO	1,50	2,15	1,43
SEMENTES INFECCIONADAS				SEMENTES DURAS			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
Si	0,17	1,43	-	Si	0,17	0,19	-
CULTIVAR	0,17	1,43	-	CULTIVAR	0,17	0,16	-
SI*CULT	0,17	1,57	-	SI*CULT	0,17	0,14	-
BLOCO	0,17	0,75	-	BLOCO	0,17	0,17	-
RESÍDUO	0,17	0,73	4,39	RESÍDUO	0,17	0,18	1,07

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; UFU: Fazenda Capim Branco; IFTM: Campus experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Uberlândia); F_{Hartley} : teste “F” máximo de Hartley, em que é a relação entre os quadrados médios do resíduo; valores menores ou igual a sete indicam homocedasticidade. *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Ao realizar a análise conjunta dos experimentos verifica-se que a fertilização silicatada não causou um efeito negativo na qualidade fisiológica das sementes de trigo (Tabela 8), portanto, pode ser recomendada para cultivos comerciais como uma alternativa aos corretivos de solo tradicionais.

Tabela 8. Análise de variância das características de vigor de plantas de cultivares de trigo submetidas ou não a fertilizações silicatadas.

¹ Causa de variação	Normais Fortes	Normais Fracas	Normais
--------------------------------	----------------	----------------	---------

LOCAL	0,88	0,88	< 0,00
Si	10,83	10,83	0,75
CULTIVAR (CUL)	4,14	4,14	0,33
Si*LOCAL	10,87	10,87	0,75
Si* Cul	20,86	20,86	0,33
CUL*LOCAL	7,09	7,09	0,08
CUL*Si*LOCAL	63,15	63,15	0,08
BLOCO	14,83	14,83	0,66
RESÍDUO	20,40	20,40	1,26

¹ Causa de variação	Anormais Danificadas	Anormais Inf,	Duras	Embebidas
LOCAL	< 0,00	0,33	< 0,00	0,08
Si	0,33	1,33	< 0,00	0,08
CULTIVAR (CUL)	< 0,00	1,33	< 0,00	0,08
Si*LOCAL	1,33	0,33	0,33	0,75
Si* Cul	0,33	0,33	0,33	0,75
CUL*LOCAL	< 0,00	1,33	0,33	0,75
CUL*Si*LOCAL	0,33	0,33	< 0,00	0,75
BLOCO	2,70	0,43	0,16	0,61
RESÍDUO	1,85	0,43	0,16	1,06

¹Si: Silício; *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Os experimentos foram homogêneos entre si ($F_{\text{Hartley}} \leq 1,43$) para as características de comprimento radicular, altura da parte aérea e total das plântulas de trigo (tabela 9), o que permitiu a análise conjunta.

Em ambas as localidades, UFU e UFTM, a cultivar BRS 394 apresentou maior crescimento radicular, mas não foi influenciado pela adição de silício. Ao contrário das médias de comprimento radicular obtidas pela BRS 264, que foram maiores com a suplementação de silício na fazenda do IFTM.

Apenas na fazenda do IFTM foi observada diferença significativa para o comprimento de parte aérea. A cultivar BRS 264 obteve médias maiores e seu crescimento foi maior com a adição de silício. Em ambas localidades a cultivar BRS 394 foi indiferente a fertilização silicatada para essa característica.

A BRS 394 apresentou médias de comprimento total maiores na fazenda da UFU. Apesar da interação dessa cultivar com o silício não tenha sido significativa, é interessante observar que o comprimento total, nos dois locais, foi maior sem a fertilização silicatada. Novamente, o desempenho da cultivar BRS 264, para a característica citada, foi melhor com a fertilização silicatada, mesmo que apenas no IFTM tenha sido significativo.

Tabela 9. Análise de variância das características de comprimento de plântula e pressuposição de homogeneidade dos experimentos para análise conjunta.

COMPRIMENTO TOTAL				COMPRIMENTO DE RAÍZ			
Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}	Causa de variação	Quadrado médio		F_{Hartley}
	UFU	IFTM			UFU	IFTM	
SI	0,53	0,09	-	SI	0,11	0,06	-
CULTIVAR	3,13**	0,00	-	CULTIVAR	3,90**	1,38*	-
SI*CULT	0,94	2,43**	-	SI*CULT	0,69	1,07*	-

BLOCO	0,69	0,56	-	BLOCO	0,39	0,22	-
RESÍDUO	0,31	0,27	1,14	RESÍDUO	0,21	0,19	1,11
COMPRIMENTO PARTE AÉREA							
Causa de variação	Quadrado médio						
	UFU	IFTM	F_{Hartley}				
SI	0,16	0,00	-				
CULTIVAR	0,04	1,23**	-				
SI*CULT	0,02	0,29*	-				
BLOCO	0,05	0,12	-				
RESÍDUO	0,04	0,05	1,43				

¹Si: Silício; Cult: Cultivar; UFU: Fazenda Capim Branco; IFTM: Campus experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Uberlândia); F_{Hartley} : teste “F” máximo de Hartley, em que é a relação entre os quadrados médios do resíduo; valores menores ou igual a sete indicam homocedasticidade. *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Ao realizar a análise conjunta dos experimentos verifica-se que o desempenho das cultivares foi melhor no IFTM, como já mencionado anteriormente uma explicação para esse resultado pode ter sido devido ao período vegetativo das plantas terem sido 15 dias maior nesse local, além das características de solo distintas entre as fazendas, como em ambos locais foi utilizada irrigação por aspersão a disponibilidade de água não foi um fator limitante.

As cultivares tiveram resultados diferentes para as características de comprimento radicular e de parte aérea. A cultivar BRS 394 possui raízes maiores, e a cultivar BRS 264 a parte aérea é maior, resultado observado nos dois locais, isso explica porque o comprimento total de ambos é semelhante.

O silício de forma isolada não interferiu no crescimento das plantas de trigo, porém, influenciou positivamente no crescimento total da cultivar BRS 264. A cultivar BRS 394 apresentou melhores médias de comprimento de parte aérea sem a fertilização silicatada.

Tabela 10. Análise de variância das características de comprimento de plantas de cultivares de trigo submetidas ou não a fertilizações silicatadas.

¹ Causa de variação	Comprimento Radicular	Comprimento de Parte Aérea	Comprimento Total
LOCAL	13,10**	2,24**	26,16**
Si	0,00	0,04	0,04
CULTIVAR (CULT)	5,19**	0,75**	2,00
Si*LOCAL	0,22	0,14	0,71
Si* CULT	0,26	0,33*	1,19*
CULT*LOCAL	1,72**	0,30*	3,47**
CULT*Si*LOCAL	0,02	0,13	0,25
BLOCO	0,31	0,09	0,65
RESÍDUO	0,19	0,05	0,28

¹Si: Silício; *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

As cultivares BRS 264 e BRS 394 tiveram um maior comprimento total e de parte aérea na fazenda do IFTM (Tabela 11). Embora as plântulas da cultivar BRS 394 produzidas no IFTM apresentaram com maior comprimento de parte aérea, no crescimento total não

houve diferença. Comportamento inverso para sementes produzidas na fazenda da UFU, nesta foi observado um maior comprimento total de plântulas para a cultivar BRS 394 (Tabela 11).

Com a aplicação de Silício a cultivar BRS 264 apresentou um maior comprimento de parte aérea, radicular e também total que a cultivar BRS 394 (Tabela 11). Sabe-se que a cultivar BRS 264 apresenta um alto potencial produtivo mesmo em ambientes desfavoráveis, com ampla adaptabilidade (ALBRECHT et al., 2007), o que explica a melhor resposta a fertilização silicatada. Na ausência de Silício a cultivar BRS 394 obteve um maior crescimento radicular, de parte aérea e consequentemente total (Tabela 11); demonstrando que esse material pode ser utilizado em solos pobres neste elemento por ser mais eficiente, o que o coloca como material passível a ser utilizado em programa de melhoramento.

Tabela 11. Comprimento de plântulas de variedades de trigo conduzidas em diferentes ambientes ou fertilizações silicatadas.

Locais	Cultivar			
	BRS 264	BRS 394	BRS 264	BRS 394
	Comprimento Total (cm)		Comprimento da parte aérea (cm)	
IFTM	14,65 aA	14,75 aA	5,91 aA	5,50 aB
UFU	12,86 bB	13,58 bA	5,31 bA	5,23 bA

Si	Cultivar					
	BRS 264	BRS 394	BRS 264	BRS 394	BRS 264	BRS 394
	Comprimento Total (cm)		Comprimento da parte aérea (cm)		Comprimento Radicular (cm)	
C	14,00 aA	13,87 bA	5,66 aA	5,26 bB	8,33 aA	8,61 bA
S	13,51 bA	14,46 aA	5,56 aA	5,47 aA	7,95 bB	8,98 aA

¹Si: Silício; C: Com fertilização silicatada; S: Sem fertilização silicatada; *: Significância no teste de Tukey a 0,05. **: Significância no teste de Tukey a 0,01.

Para produção de sementes de trigo de alta qualidade não é necessário a fertilização silicatada, visto que todas as características tecnológicas do teste de germinação foram não significativas, apenas foi observado que o silício melhorou o tempo final de germinação de forma significativa somente na fazenda do IFTM.

CONCLUSÕES

O ambiente teve influência sobre a cultivar, porém a resposta é fixa para ambas as cultivares utilizadas. Independente do ambiente e da fertilização com silício, a cultivar BRS 264 apresenta maior comprimento de parte aérea, embora a cultivar BRS 394 maior comprimento total e radicular.

A fertilização silicatada afetou a qualidade fisiológica das sementes de trigo, variando entre as cultivares. As sementes da cultivar BRS 264 aumentou a qualidade

fisiológica com a suplementação de Silício, enquanto que as da cultivar BRS 394 teve um desempenho melhor na ausência de suplementação.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, J. C.; SÓ e SILVA, M.; ANDRADE, J. M. V. de; SCHEEREN, P. L.; TRINDADE, M da G.; SOARES SOBRINHO, J.; SOUSA, C. N. A. de; BRAZ, A. J. B. P.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; SOUSA, M. A. de; FRONZA, V.; YAMANAKA, C. H. Trigo **BRS 264**: Cultivar precoce com alto rendimento de grãos indicada para o Cerrado do Brasil Central. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006a. 18p.
- ALBRECHT, J. C.; VIEIRA, E. A.; SILVA, M. S.; ANDRADE, J. M. V. A.; SCHEEREN, P. L.; TRINDADE, M. G.; SOBRINHO, J. S.; SOUSA, C. N. A.; REIS, W. P.; JUNIOR, W. Q. R.; FRONZA, V.; CARGNIN, A.; YAMANAKA, C. H. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1727- 1734, 2007.
- BAKHAT, H. F.; BIBI N.; ZIA Z.; ABBAS S.; HAMMAD H. M, FAHAD S.; ASHRAF M. R.; SHAH G. M.; RABBANI F.; SAEED S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, n. October 2017, p. 21–34, 2018.
- BONA, F. D.; MORI, C.; WIETHÖLTER, S. **Manejo nutricional da cultura do trigo**. Embrapa Trigo, Informações agronômicas, Nº 154, Junho 2016.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. Registro Nacional de cultivares. Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> Acessado em: 24 Janeiro 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. Regras para análise de sementes. 2009.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 25, n. 2, p. 317-323, (2001).
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo do plantio à colheita**. [s.l.] Ed. UFV, 2015.
- CHAGAS, R. C. S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho**. Piracicaba, 280p. Tese (doutorado) Centro de Energia Nuclear na agricultura, Universidade de São Paulo. 2004.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, V.6, Safra 2018/19 , n. 7, Abr. 2019.
- DOMICIANO, G. P.; RODRIGUES, F. A.; MOREIRA, W. R.; OLIVEIRA, H. V.; VALE, F. X. R.; FILHA, M. S. X. Silício no progresso da mancha marrom na folha bandeira do

- trigo. *Tropical Plant Pathology*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 186-189, maio/jun. 2010.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 306 p. Rio de Janeiro, 2006.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, V. 50, p. 641-664, 1999.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas. **Editora Planta**, 2006.
- FREITAS, J. D.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C. D. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; FELICIO, J. C.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; RAMOS, V. Efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nos cultivares de trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 375-386, 1999.
- HAYNES, R. J. Significance and Role of Si in Crop Production. In: **Advances in Agronomy**. ed. D. L. Sparks (San Diego, CA: Elsevier Academic Press Inc.), v. 146, p. 83-166.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition Institute**. Informações agronômicas, n. 118, v. 2, p. 1-24, 2007.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México. Fondo de Cultura Económica, 1948, 478 p.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de.; **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 2. ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2003. 22 p. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 1).
- LÉON, A. E. ; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica**. ISEKI-FOOD, , 2007.
- LIMA FILHO, O. F. DE; TSAI, S. M. Crescimento e Produção do Trigo e da Aveia Branca Suplementados com Silício. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste**, p. 38, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229260>> Acessado em: 16/05/2019.
- MENDONÇA, A. O. DE et al. Acúmulo De Silício E Compostos Fenólicos Na Parte Aérea De Plantas De Trigo Após a Adubação Silicatada. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1154-1162, 2013.

- NEVES, J. C. B.; AMARAL, D. USO DE SILICATO DE POTÁSSIO NO MANEJO DE BRUSONE NO TRIGO. **Anais do Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica-SEPIT**, v. 1, n. 1, p. 1–6, 2017.
- OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; MENEGHELLO, G. E.; TAVARES, L.C.; BARROS, A. C. S. A. Aplicação de silício via solo no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Semina:Ciencias Agrarias*, v. 36, n. 5, p. 3029–3042, 2015.
- RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.
- RANAL, M. A.; SANTANA, D. G.; FERREIRA, W. R.; MENDES-RODRIGUES, C. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 4, p. 849–855, 2009.
- REZENDE, G. F. et al.; Atividade de silício na produtividade e na indução de resistência de gramíneas ao ataque de pragas. 2018.
- REIS, T. H. P. et al.; O silício na nutrição e defesa de plantas. Belo Horizonte. EPAMIG, 2007.
- RIBEIRO JUNIOR, W. Q. et al.; Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento do trigo no cerrado. *Circular Técnica Embrapa Trigo*, v. 21, p. 24 p., 2006.
- SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; PARRY, D. W. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence bracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to carcinogenesis. *New Phytologist*. v. 93. p. 105-122, 2001.
- SANTANA, D. G. D. E.; RANAL, M. A. Análise estatística na germinação. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 12, n. 4, p. 205–237, 2000.
- SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.da; TEIXEIRA, I. T.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 32, n. 1, p. 103–110, 2011.
- SENA, M. C., CASTRO, S. H. Legislação e fiscalização do uso de silício na agricultura. **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**, 5., 2010, Viçosa. **Anais...**, Viçosa, MG: UFV, DFP, 2010. p. 183-202.
- TAVARES, L. C.; FONSECA, D. Â. R.; RUFINO, C. A.; OLIVEIRA, S. D.; BRUNES, A. P.; VILLELA, F. A. Adubação silicatada em trigo : rendimento e qualidade de sementes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 113, n. 1, p. 94–99, 2014.
- TOLEDO, M. Z.; CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; ISHIZUKA, M. S.; PICOLI, L. B. Silicon leaf application and physiological quality of white oat and wheat seeds. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 33, n. 5, p. 1693–1702, 2012.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Foreign Agricultural Service. **Office of Global Analysis**. April 2019.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, Brasil, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.