

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DOSES DE FÓSFORO COMBINADAS COM CALCÁRIO E
SILICATO DE MAGNÉSIO PARA A AVEIA BRANCA**

**JAQUELINE MARONEZ ROSA
PEDRO JOSÉ DE SOUZA COMPARIN**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

DOSES DE FÓSFORO COMBINADAS COM CALCÁRIO E SILICATO DE MAGNÉSIO PARA A AVEIA BRANCA

JAQUELINE MARONEZ ROSA
PEDRO JOSÉ DE SOUZA COMPARIN

ORIENTADORA: PROF^a.DR^a.ELISÂNGELA DUPAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Curso de
Agronomia, para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

DOSES DE FÓSFORO COMBINADAS COM CALCÁRIO E SILICATO DE MAGNÉSIO PARA A AVEIA BRANCA

Por

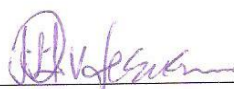
Jaqueline Maronez Rosa
Pedro José de Souza Comparin

Trabalho de conclusão de apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção do
título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 15/12/2017


Prof^a. Dr^a. Elisângela Dupas
Orientadora - UFGD/FCA


Prof^a. Dr^a. Eloise Mello Viana de Moraes
UFGD/FCA


Mailson Vieira Jesus
Doutorando UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa jornada.

Eu, Jaqueline Maronez Rosa, agradeço esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais (David Rosa e Zelma Maronez Rosa) pelo apoio e por tudo que sempre fizeram por mim, pela simplicidade, exemplo, amizade, e carinho, fundamentais na construção do meu caráter, minha irmã (Juliana Maronez Rosa) e à toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu namorado (Alvaro Diego Becegato), pela compreensão nos momentos que precisei abdicar da sua atenção para dedicar-me às pesquisas e aos estudos. Ensinando que por mais difícil que pareça o caminho no final tudo é recompensado, obrigada por sempre estar ao meu lado me dando forças, conselhos e coragem.

Agradeço minhas amigas, Nathalia Marinho Pereira, Bruna Neves, Rudimara Ferreira Grafen e Laryssa Xavier pela ajuda e em especial ao meu querido amigo Pedro José de Souza Comparin pela dedicação e companheirismo ao decorrer dessa longa jornada.

Enfim, Agradeço à minha orientadora Doutora Elisângela Dupas por sempre estar ao nosso lado e pela sua grande ajuda e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Eu, Pedro José de Souza Comparin, gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela vida e oportunidade de realizar este trabalho.

Agradeço também a minha companheira, Mariluci Pinto da Costa pelo auxílio direto e indireto na condução do experimento.

Agradeço à minha família, Isabela de Souza Comparin, Isadora de Souza Comparin, Claudia Cristiane de Souza Comparin pelo apoio e incentivo, especialmente meu pai, Ivair Luiz Comparin, pela aquisição das sementes de aveia branca.

Agradeço aos meus parentes, Nicolla Candia Scaffa, Amauri Viana Nunes e meu padrasto José Afonso de Oliveira egresso dessa instituição.

Agradeço minhas amigas, Nathalia Marinho Pereira, Bruna Neves e Rudimara Ferreira Grafen e meu amigo Oscar Batista de Araujo pela ajuda.

Agradeço a todo corpo de técnicos administrativos e docentes desta instituição que colaboraram para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora Doutora Elisângela Dupas pela ajuda, compreensão e conhecimentos transmitidos em todo o experimento.

Enfim, agradeço a minha companheira de TCC, Jaqueline Maronez Rosa pela parceria e cooperação para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

PÁGINA

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultura da aveia	3
2.2 Ecofisiologia da aveia branca	4
2.2.1 Morfologia e desenvolvimento	4
2.2.2 Fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas	5
2.3 Silicato e Calcário	6
2.3.1 Silício no Solo.....	7
2.3.2 Silício na Planta	8
2.4 Fósforo	9
2.4.1 Fósforo no Solo.....	9
2.4.2 Fósforo na Planta	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local de condução do experimento, escolha e coleta do solo	12
3.2 Delineamento experimental	12
3.3 Execução do experimento	12
3.4 Avaliações.....	13
3.4.1 Índice de clorofila foliar (Valor SPAD)	13
3.4.2 Avaliações agrônômicas, nutricionais e dos atributos químicos do solo.....	14
3.5 Estatística	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5 CONCLUSÕES	22
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

RESUMO

Doses de fósforo combinadas calcário e silicato de magnésio para a aveia branca

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma planta pertencente a família Poacea sendo um dos cereais de inverno mais cultivados, pois possui grande importância e diversas funções na alimentação humana, animal e cobertura de solo. Assim como outras culturas, necessita de suporte nutricional e aspectos químicos do solo para seu desenvolvimento. Neste sentido, objetivou-se com esse trabalho avaliar cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³) combinadas com dois corretivos de acidez do solo (silicato de magnésio e calcário) nos vasos das unidades experimentais. O delineamento experimental foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2, com 10 tratamentos e 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O trabalho foi desenvolvido em condições controladas de reposição hídrica (80% da capacidade de campo) em casa de vegetação localizada no campus da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Foram quantificados os atributos agronômicos e químicos do solo, determinadas as concentrações de nitrogênio e fósforo das raízes e parte aérea, e o valor SPAD. Os valores de pH, H⁺Al e Al⁺³ foram melhores com o uso do calcário. Os teores de Al⁺³ e K no solo diminuíram e o teor de P aumentaram com as doses de P. O número de perfilhos, a altura de plantas, a PMS da raiz, a PMS da parte aérea, o número de panículas, o comprimento das panículas e o número de espiguetas por panícula aumentaram com as doses de P. O número de perfilhos e o número de panículas foram maiores quando utilizou-se o calcário. Pelo efeito diluição as concentrações de nitrogênio e fósforo diminuíram com as doses de P, já a concentração de fósforo nas raízes aumentou. Opta-se pelo uso do calcário como corretivo de acidez do solo pela melhoria nos atributos químicos do solo o que refletiu nos atributos agronômicos. Levando em consideração aos atributos agronômicos recomendam-se doses de P maiores que 200 mg dm⁻³.

Palavras-chave: acidez do solo, *Avena sativa* L., cereal, corretivos de acidez, silício

ABSTRACT

Rates of phosphorus combined with limestone and magnesium silicate for white oats

The white oats (*Avena sativa* L.) is a plant belonging to the family Poaceae being the most cultivated winter cereals, because it has great importance and several functions in human food, animal and soil cover. Like other crops, it needs nutritional support and soil chemical aspects for its development. In this sense, the objective of this work was to evaluate five rates of phosphorus (0, 50, 100, 150 and 200 mg dm⁻³) combined with two soil correctives (magnesium silicate and limestone). The experimental design was a completely randomized factorial (DIC) with 10 treatments and 4 replications totaling 40 experimental units. The work was developed under controlled conditions of water replenishment (80% of the field capacity) in a greenhouse located on the campus of the Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). The agronomic and soil attributes were determined the nitrogen and phosphorus concentrations of the roots and aerial part, and the SPAD value. The values of pH, H+Al and Al⁺³ were better with the use of limestone. The levels of Al⁺³ and K in the soil decreased and the P content increased with the P rates. The number of tillers, plant height, root PMS, shoot PMS, number of panicles, length of panicles and number of spikelets per panicle increased with rates of P. The number of tillers and number of panicles were higher when limestone was used. By the dilution effect the concentrations of nitrogen and phosphorus decreased with the rates of P, whereas the phosphorus concentration in the roots increased. The use of limestone as corrective soil acidity was improved by improving soil chemical attributes, which reflected the agronomic attributes. Taking into account the agronomic attributes, rates of P higher than 200 mg dm⁻³ are recommended.

Keywords: Soil acidity, *Avena sativa* L., cereal, correctives of acidity, silicon

1 INTRODUÇÃO

A aveia é uma planta pertencente a família Poaceae e gênero *Avena*. Atualmente é um dos cereais cultivados de inverno mais importantes da agricultura. Tal importância decorre da utilização dos grãos para alimentação humana, principalmente, pela aveia branca (*Avena sativa* L.), como também para cobertura do solo e alimentação animal como ocorre com as outras espécies de aveia. No Brasil, o cultivo de aveia é concentrado na região Centro sul do país devido, principalmente, a fatores climáticos.

A produção de aveia branca está submetida a condições e fatores intrínsecos ao seu desenvolvimento. Um dos fatores para seu desenvolvimento está relacionado à demanda hídrica, principalmente, em certos estádios, como o início da formação de grãos, germinação e florescimento. Outro fator é sua nutrição mineral e atributos químicos do solo, onde não se desenvolvem ambientes extremos quanto à acidez, e necessita de certa quantidade de macro e micronutrientes, principalmente, adubação fosfatada no início de seu desenvolvimento, sendo o fósforo, o principal responsável pelo crescimento do sistema radicular.

O fósforo representa um grande gargalo na produção agrícola nacional. Isso deve-se pois, em solos de alto grau de intemperismo, ou seja, alta remoção de bases e pH naturalmente ácido, há comportamento do mesmo como dreno deste elemento. Que por sua vez, devido à composição química eletronegativa do nutriente na solução do solo, fazendo com que haja uma predisposição forte a ligações químicas com constituintes do solo como sesquióxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica do solo (MOS) e argilas silicatadas, tornando-o indisponível à absorção pelas plantas.

Tendo em vista este grande desafio, torna-se necessário o uso de fontes para corrigir a acidez natural do solo. Essas fontes devem possuir compostos químicos específicos que atuam nesse sentido como os óxidos, carbonatos e silicatos. Portanto, o uso de calcário (calagem) e de silicatos (silicatagem) possuem tais constituintes e por conseguinte atuam no sentido de elevar o pH do solo. A partir dessa correção, há uma série de outros benefícios proporcionados pelos efeitos diretos e indiretos do pH, favorecendo o desenvolvimento da planta.

Dentre esses corretivos, tem-se destacado o silicato, por algumas vantagens adicionais ao uso do calcário. Os silicatos de cálcio e magnésio também possuem baixo custo devido a serem subprodutos de processos industriais. Esses corretivos têm sido utilizados pelo seu poder corretivo, como de precipitar o alumínio no solo, e ainda fornecer cálcio, magnésio e, principalmente, silício para as plantas.

O silício é um elemento não essencial para a nutrição das plantas. No entanto, as gramíneas em geral possuem a característica de ser acumuladora de silício, essa característica traz alguns benefícios para as plantas. Uma característica desejada é a maior resistência a veranicos, devido à menor evapotranspiração pela ação do silício na disposição foliar.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar o desenvolvimento inicial da aveia branca (*Avena sativa* L.), submetida às doses de fósforo combinadas aos corretivos de acidez (calcário e silicato de magnésio) no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da aveia

A aveia é uma gramínea que pertence à família Poacea e gênero *Avena*. A verdadeira origem do cultivo de aveia se perdeu no tempo devido à demora de seus primeiros registros, pois sua utilização deu-se como fundamental cultura para os primeiros povos da humanidade. Porém, Vavilov (1926) determinou o centro de origem de diversas espécies como trigo (*Triticum aestivum*), centeio (*Secale cereale*) e aveia (*Avena spp*). Segundo esse autor, o local de origem da aveia seria próximo a região da Ásia menor e norte da África. Todavia, constatou-se a presença de cultivo de aveia na Europa em torno do início do primeiro milênio antes de Cristo (a.C.) no centro europeu (ZANETTINI e CARVALHO, 1993; COFFMAN, 1977).

A cultura da aveia foi cada vez mais sendo inserida em ambientes de temperaturas amenas e locais úmidos. A partir desse fato, constatou-se que a planta se modificou geneticamente quanto à debulha natural do grão e sua dormência. Essas vantagens tornaram-na importante para o cultivo em clima mediterrâneo e consolidaram sua importância para os sistemas de produção de cereais (ZANETTINI e CARVALHO, 1993).

A constatação da cultura de aveia no Brasil é incerta. O registro da cultura data desde o século XV, sendo as áreas de cultivo encontradas mais ao sul do país, também registros no estado de Mato Grosso do Sul e poucos registros nos estados de Mato Grosso, Bahia, São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal a partir de 1980 (MORI et al.,2012).

A sua produção é estimulada por diversas finalidades. O objetivo final de sua produção é tanto para o consumo humano, bem como para o consumo animal. No que tange a importância na alimentação humana, está fortemente relacionada com a produção industrial de aveia em flóculo, bem como derivados, a exemplo do pão de aveia. Na alimentação animal, relaciona-se com a produção de pastagem com elevado valor nutritivo em épocas de escassez produtiva de espécies nativas, podendo também ser na forma de conservação como feno e silagem ou ainda possuir função de cobertura do solo com efeito sobre recuperação e conservação do solo (CARVALHO et al., 1987).

Atualmente, as áreas de produção de aveia no Brasil estão em crescimento, e a produção se concentra na região Centro Sul do país e poucos registros no estado de

Mato Grosso do Sul. A previsão de cultivo para o ano de 2017 é de quase trezentos mil hectares da área plantada, apresentando acréscimo de quase oito mil hectares em relação a 2016, sendo que essas áreas cultivadas se concentram nos estados de Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2017).

Além do aumento da área plantada, houve também acréscimo de produção ao longo dos últimos anos em todos os estados produtores (Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul). Com base no montante nacional, a produção foi de 708,2 mil toneladas em 2016 para previsão de 827,8 mil toneladas em 2017, representando aumento de 16,9%. Com base nesses dados calculou-se acréscimo de produtividade previsto de 13,6% (CONAB, 2017).

2.2 Ecofisiologia da aveia branca

2.2.1 Morfologia e desenvolvimento

Algumas características ecofisiológicas da aveia branca são altamente estudadas baseadas em informações de cereais com grau de parentesco como o trigo e a cevada. O sistema radicular é basicamente composto por raízes seminais e adventícias, onde as raízes seminais desenvolvem-se oriundas da raiz primordial a partir da radícula do embrião. Porém, as raízes adventícias desenvolvem-se a partir do nó principal ou de perfilhos (CASTRO et al., 2012).

Em relação às hastes o número é variável. O caule da aveia dito como haste pode variar em número de acordo com cada indivíduo, sendo que a partir da primeira haste formam-se perfilhos nas axilas de folhas mais velhas. Enquanto que os afilhos surgem somente a partir da emissão da terceira folha expandida e assim sucessivamente. Segundo Davidson e Chevalier (1990), o número de afilhos é fundamental para produção do grão, por justamente afetar o número de panículas por unidade de área (CASTRO et al., 2012).

Em relação às folhas, possuem filotaxia de alternas e duas filas seguindo o caule. O órgão foliar é constituído de basicamente duas partes, a bainha que envolve o entre nó e o limbo foliar. Esse processo de crescimento vegetativo como o perfilhamento e o alongamento do caule cessa quando ocorre o florescimento (WELCH, 1995).

A estrutura floral é formada por espiguetas combinadas em forma de panícula. Larcher (2000) relatou que o desenvolvimento do pólen é altamente sensível ao estresse hídrico e altas temperaturas quando em estágio de meiose. Já Fulcher (1986)

determinou que aproximadamente duas semanas após a fecundação a temperatura e o estresse hídrico influenciam o aumento da massa do grão (CASTRO et al., 2012).

O fruto da aveia é classificado como cariopse de formato semi-cilíndrico. Sua classificação deve-se ao fato por ser fruto do tipo seco e deiscente, ou seja, que se abre constituído ainda da lema e pálea e duas glumas que recobrem a semente (LUIZ, 1999).

2.2.2 Fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas

A cultura da aveia branca possui certa demanda nos atributos químicos do solo, tolerando valores de pH na faixa de 4,5 a 8,5, porém a faixa ótima é entre 5,0 e 6,0. Em relação aos solos ácidos um aspecto limitante para produção é a alta concentração do íon alumínio (Al^{+3})(CASTRO et al.,2012).

Como alternativa para incremento de produtividade da aveia é a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio. Segundo relatou Castro (2009), quando aplicados os silicatos de cálcio e magnésio como corretivos do solo em Sistema Plantio Direto (SPD), houve incremento de produtividade em relação ao número de panículas por metro quadrado, aumento da produtividade de grãos em relação á testemunha.

O fósforo exerce papel vital no metabolismo dos vegetais. Desse modo, o fósforo desempenha nas plantas diversas funções, como induzir a formação de sistema radicular mais longo e com raízes mais finas, que seriam mais eficientes na absorção de nutrientes e água do solo. Desempenha função estrutural, faz parte de compostos orgânicos como a Adenosina Tri Fosfato (ATP), aminoácidos, todas as enzimas, participa de diversos processos metabólicos, especialmente no processo de transferência e de armazenamento de energia (MALAVOLTA et al., 1997).

Prado et al. (2006), estudando doses de fósforo (25, 50, 75, 150 e 300 mg dm^{-3}) e doses de nitrogênio (100 e 300 mg dm^{-3}) para a aveia preta (*Avena strigosa*), observaram que a aplicação de fósforo na dose de 200 mg dm^{-3} promoveu melhoria no estado nutricional e maior desenvolvimento da aveia preta,além da maior produção de massa seca esteve associada a dose de fósforo, próxima a 100 mg dm^{-3} e, na parte aérea, de 2,7g kg^{-1} de fósforo.

De acordo com Cantarella et al. (1997), a faixa adequada para a concentração de fósforo na aveia estaria entre 2,0 a 5,0 g kg^{-1} e, que para produzir 1 tonelada de grãos são exportados 3 kg de fósforo.

2.3 Silicato e Calcário

Um dos maiores problemas da agricultura tropical é a acidez do solo. Disto decorre naturalmente pelo material de origem (rocha) e/ou pela intensificação de agentes do intemperismo como o clima com altas temperaturas e precipitações e ação de organismos. Durante esse processo ocorre lixiviação de nutrientes básicos como: cálcio, magnésio e potássio deixando o solo com concentração maior de íons H^+ , que confere maiores índices de acidez e Al^{+3} . Ou seja, conforme se intensifica a acidez do solo, há, por conseguinte intensificação nos teores deste elemento no solo (ECHART e CAVALLI, 2001; SOUSA et al., 2007).

Essa limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas deve-se, sobretudo aos efeitos diretos e indiretos do pH. Destes destacam-se a menor disponibilidade de nutrientes essenciais à nutrição vegetal como o fósforo, e aumento da solubilidade de elementos potencialmente tóxicos como o Al^{+3} (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

O Al^{+3} é, em geral, o metal de maior presença nos solos tropicais. Sendo fator de extremo prejuízo à produção de cereais como a aveia branca. Segundo CASTRO (2009), o Al^{+3} é o principal elemento prejudicial ao desenvolvimento da planta afetando principalmente o seu desenvolvimento radicular, tendo como principais sintomas de toxicidade o engrossamento das raízes, tornando-as curtas, com aspecto quebradiço, podendo desenvolver coloração castanha. (SILVA et al., 2006)

Portanto, a correção do pH do solo é de suma relevância para o sucesso na agricultura. Dentre os benefícios da mesma, podem-se destacar desde a maior disponibilidade de nutrientes como o fósforo, bem como corrigir a toxidez principalmente do alumínio pela precipitação desse elemento. Importante ressaltar também os outros efeitos como gerar as maiores cargas negativas no solo aumentando a Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC_e), aumentar atividade biológica, importante para fixação biológica do N_2 atmosférico e propiciar melhores condições para o desenvolvimento radicular (SOUSA et al., 2007).

Desse modo, devem-se utilizar os corretivos de acidez do solo. Esses são materiais que possuem constituintes neutralizantes ou princípios ativos que são óxidos, como óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), carbonatos como, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$) e silicatos como, silicato de cálcio ($CaSiO_3$) e silicato de magnésio ($MgSiO_3$). Desse modo os corretivos mais utilizados na

agricultura têm sido o calcário e as escórias de siderurgia - silicatos, que tem como vantagem a presença do silício (ALCARDE, 1985).

O silício é o segundo maior elemento abundante na composição da crosta terrestre, representando 27,7%. Porém, esse elemento não é encontrado sozinho, geralmente está na composição de certos minerais em combinação com alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio e ferro formando silicatos. Como também pode ser encontrado em águas naturais, na atmosfera e tecidos orgânicos (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

A sua utilização na agricultura tem se intensificado nos últimos anos devido a diversas propriedades e vantagens as plantas cultivadas. Outro fator importante para o aumento de sua utilização é o baixo custo devido a abundância do mesmo encontrado em escórias de siderurgia (FILGUEIRAS, 2007).

Essas escórias básicas de siderurgia possuem certa variação quanto a sua composição e são constituídas principalmente, por silicatos de cálcio e magnésio podendo ainda conter traços de outros elementos como impurezas, tais como: fósforo, enxofre, ferro, zinco, cobre entre outros. O Brasil se destaca na produção de alguns materiais que geram silício na forma de silicatos como o ferro-gusa (silicato de cálcio), o termofosfato obtido pela rocha fosfatada com serpentinito (silicato de magnésio) (PEREIRA et al., 2003).

Relata-se de muito tempo, a interação entre o silício e fósforo nos trabalhos de pesquisas. Desde a década de 1920, há conhecimento dos efeitos do silício na planta por estar associados às reações e interações deste com o fósforo. Disto deve-se principalmente pela grande semelhança química de suas composições sendo o silício presente na forma de H_3SiO^- e o fósforo na forma de H_2PO_4^- (TOKURA et al., 2007).

2.3.1 Silício no Solo

O silício pode ser encontrado naturalmente no solo, porém nos solos com alto grau de intemperismo como os tropicais, a concentração desse elemento é baixa devido a pequena proporção de minerais primários na textura do solo (PEREIRA et al., 2003).

O silício possui funções importantes na dinâmica dos solos agrícolas e, destas funções, destacam-se a aplicação de silício no solo para competir pelo mesmo sítio de adsorção do fósforo nas argilas oxídicas, sesquióxidos de ferro e alumínio, com

aplicações antes de fosfatagem, principalmente em solos intemperizados. Outra função muito importante está relacionada a seu poder corretivo, pois atua na elevação do potencial hidrogeniônico (pH) e pode precipitar o alumínio tóxico presente no solo que é prejudicial às plantas (CARVALHO et al., 2001).

Dentre os corretivos silicatos utilizados na agricultura, destacam-se dois basicamente: os silicatos de cálcio (CaSiO_3) e os silicatos de magnésio (MgSiO_3), que por, sua vez, apresentam diversos benefícios relacionados aspectos químicos do solo.

Dentre esses benefícios, evidencia-se a disponibilidade do próprio silício no solo, cálcio e magnésio trocável e a correção da acidez do solo. Encontra-se ainda na literatura, benefícios como redução da toxicidade de ferro e manganês, quando em níveis tóxicos para as plantas (KORNDÖRFER et al., 2002; PULZ et al., 2008).

2.3.2 Silício na Planta

Sendo o silício considerado um elemento não essencial para a nutrição de plantas, mas como elemento benéfico, é crescente o estudo da sua dinâmica tanto no solo quanto na planta. Com isso, sua utilização na agricultura tem aumentado, principalmente, nas plantas cultivadas da família Poacea como a aveia branca (TOLEDO et al., 2012). A absorção de silício pelas gramíneas ocorre por fluxo de massa, como ocorre com a maioria dos nutrientes, onde as raízes absorvem esse elemento na forma de ácido silícico (H_4SiO_4), presente no solo (RAIJ, 1991; TISDALE et al., 1993).

Os benefícios do silício na planta são diversos, tais como, o acúmulo de silício diminui a transpiração e a absorção de água, sendo essa uma importante estratégia de sobrevivência em ambientes de estresse hídrico (MELO et al., 2003). Outro benefício está diretamente ligado ao posicionamento da folha, pois ao passo que ocorre o acúmulo de silício na epiderme, as folhas tendem a ficar mais eretas favorecendo a área de incidência luminosa e com isso, há também menor taxa de transpiração e menor tendência ao acamamento (LIMA FILHO e TSAI, 2007).

Outro atributo do silício na planta está relacionado com a produtividade. O acréscimo desse elemento para planta pode ocasionar incremento de produção de massa seca e maior produtividade, sendo esses benefícios observados geralmente, em gramíneas acumuladoras de silício, nas quais se observa teores de aproximadamente 10 g kg^{-1} nas folhas (MA et al., 2001).

2.4 Fósforo

2.4.1 Fósforo no Solo

O fósforo está fortemente presente no ambiente de produção agrícola. Sua presença na litosfera é de $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P_2O_5 . Este elemento encontra-se de diversas maneiras no solo podendo apresentar-se em composição de rochas como no caso das apatitas, minerais, plantas e animais. (NOVAIS et al., 2007).

A principal forma de fósforo no solo é o fósforo orgânico, que possui balanço muito importante para a agricultura tropical. A sua origem se dá pelo aporte de resíduos vegetais, tecidos microbianos e posterior produto das reações bioquímicas. Sendo que pode ser encontrado na forma de fosfolipídios, ácidos nucleicos e fosfatos de inositol, sendo essa fração orgânica, representante de 15 a 80% do total no solo. Assim sendo, a disponibilidade do fósforo para o solo dependem do balanço da mineralização e imobilização que é realizada pelos microrganismos do solo (RHEINHEIMER et al., 2000; CONTE et al., 2002 e 2003; MARTINAZZO et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Essa diferenciação nos teores das frações do fósforo no solo deve-se a sua idade geológica. Visto que, o grau de intemperismo dos solos jovens é menor e há predominância da fração orgânica (Po). Em contrapartida, nos solos com elevado grau de intemperismo, como os Latossolos, há predominância de fósforo na forma inorgânica (Pi) (SANTOS et al., 2008).

O Pi constitui grande desafio para a agricultura tropical. Disso decorre que grande parte do Pi está ligado aos sesquióxidos de ferro e alumínio, disponibilizando para a solução do solo. Pode-se comparar para o melhor entendimento, como uma relação fonte-dreno, onde o solo que apresentar quantidades não satisfatórias do elemento, pode se justificar como dreno do mesmo. Um dos fatores fundamentais para essa determinação é a fração argila, sendo fator determinante para o caráter do solo (NOVAIS et al., 2007).

O fósforo possui certa complexidade em suas reações nos solos. Após sua entrada nas formas orgânicas e inorgânicas, sua forma predominante na solução do solo são os fosfatos H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} que reagem através do processo de troca de ligante com os sesquióxidos de ferro e alumínio que possuem radicais OH^{+2} . Isso ocorre, pois os sesquióxidos de ferro e alumínio predominantes nos solos intemperizados possuem o ponto de carga zero (PCZ) maiores que o pH do solo, determinando assim o processo de

protonação com cargas positivas resultantes (PARFITT et al., 1975; NOVAIS et al., 2007).

Após essa ligação inicial, pode ocorrer um processo quase irreversível denominado fixação do fósforo. Esse processo decorre do “envelhecimento” desse elemento nas ligações vistas, sendo que conforme o tempo há a formação de ligação de elevada energia, onde passa caráter de adsorção por ligação eletrostática para absorção no interior dos minerais e/ou a ocorrência de ligações binucleadas. Disso resulta quase indisponibilidade para a solução de solo (dessorção) e seguidamente para a nutrição da planta (influxo) (NOVAIS et al., 2007).

Além da fixação, há outra reação danosa do fósforo no solo para a nutrição de plantas. Essa reação denomina-se precipitação, tendo sua ocorrência fortemente relacionada com a reação do solo (pH), onde que quando em solos ácidos reage com ferro e alumínio nas formas iônicas formando composto como o $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$. Em contrapartida nos solos de reação básica, $\text{pH} > 7,0$; pode haver essa precipitação com íons cálcio (Ca^{+2}): $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Esses processos denominam “retrogradação” e insolubilizam para a solução do solo e posterior influxo das plantas (NOVAIS et al., 2007).

2.4.2 Fósforo na Planta

O fósforo (P), diferente do Silício (Si), constitui-se de um elemento classificado como essencial à nutrição das plantas. Disto decorre por respeitar os três critérios de essencialidade, dos quais, o primeiro dispõe que sem o mesmo a planta não complete seu ciclo de vida, o segundo diz que não pode ser substituído por outro elemento, mesmo que tenha propriedades similares. Por fim, o terceiro e último critério a ser respeitado, é que ele deve participar diretamente do metabolismo vegetal e promover efeitos benéficos às características do solo como crescimento da microflora (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

Esse nutriente é absorvido diretamente da solução do solo nas formas de ortofosfato biácido (H_2PO_4^-) e também em menor proporção como ânion bivalente (HPO_4^{2-}) pelo sistema radicular da planta. Sendo este, importante fator para o sucesso na absorção, pois pela problemática da disponibilidade do fósforo discutida no item anterior, ressalta-se a relevância de abrangente crescimento radicular (RAIJ, 1983).

A absorção iônica dá-se pelo tipo simporte, pela movimentação da proteína e da substância na mesma direção da membrana celular. Após a absorção, o mesmo é incorporado sob diversas formas como açúcares fosfatados, fosfolipídeos e nucleotídeos. Considera-se a principal entrada de P na via metabólica pela fosforilação da Adenosina Di-Fosfato (ADP) resultando em ATP, molécula de energia muito importante para o metabolismo vegetal (TAIZ e ZEIGER, 2006).

Dentre as funções do P na planta destacam-se muitas ligadas ao metabolismo do vegetal. A participação desse elemento é essencial no processo fotossintético pela constituição das moléculas de Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato (NADP), agente redutor no ciclo de Calvin-Benson. Outra importância está diretamente relacionada com o processo respiratório pela constituição do ATP, no armazenamento e transferência de energia. O P está presente também em enzimas como a ATPase responsável pelo transporte ativo de substâncias pela membrana celular (TAIZ e ZEIGER, 2006).

O P também se apresenta como importante nutriente envolvido nos processos de desenvolvimento dos tecidos e órgãos vegetais. Nesse sentido, destaca-se o crescimento e divisão celulares resultando numa notável participação e melhoria no desenvolvimento de sementes, raízes e frutos. Tavares et al. (2015) estudaram os efeitos da adubação fosfatada sobre a germinação de sementes de aveia branca e concluíram que a aplicação de fontes de fitina e fosfato natural de Arad promoveram incremento nos índices de germinação (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de condução do experimento, escolha e coleta do solo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados - MS (22° 12' S, 54° 49' W e 430 m) no período de junho de 2017 a setembro de 2017. O solo utilizado foi coletado em maio de 2017 no pomar da unidade 2 da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) na camada de 0-20 cm e classificado como: LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico (SANTOS et al., 2013) que possuiu as seguintes características químicas e granulométricas: pH (CaCl₂)=4,20; M.O.=31,61 g dm⁻³; P (Melich) e S= 4,14 e 2,25 mg dm⁻³; Ca, Mg, K, Al, SB e CTC=1,40; 0,43; 0,12; 2,23 e 13,21 cmol_c dm⁻³; B, Cu, Fe, Mn e Zn=0,29; 13,93; 74,82; 97,34 e 1,01 mg dm⁻³; V%=14,76%; m%=53,25%; areia, silte e argila=17,50; 16,25 e 66,25%.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado num esquema fatorial 2 x 5, totalizando 10 tratamentos e 04 repetições, perfazendo total de 40 unidades experimentais, sendo: dois corretivos de acidez do solo (calcário e silicato de magnésio) e cinco doses de fósforo (0; 50; 100; 150; 200 mg dm⁻³).

As doses de calcário (79,8% de PRNT) e silicato de magnésio (72,5% de PRNT) foram mensuradas para elevar a saturação de bases do solo (V%) para 70% (CANTARELLA et al., 1997). Como os teores de cálcio e magnésio desses corretivos de acidez são diferentes eles foram ajustados com o uso de outros fertilizantes (CaCl₂ e MgCl₂) para que se igualassem.

Foram utilizadas cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³) na forma de superfosfato simples (SS) (18% de P₂O₅). Com auxílio de balança analítica foram pesadas as cinco doses de SS (0; 1,91; 3,82; 5,73 e 7,64 g por vaso) referente respectivamente, aos tratamentos (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³). As doses de fósforo (P) foram aplicadas em uma única vez no momento da semeadura, que foi realizada no dia 21 de junho de 2017.

3.3 Execução do experimento

O solo foi incubado por 20 dias e mantidos irrigados com 80% da capacidade máxima de retenção de água para que os corretivos de acidez do solo (calcário e silicato de magnésio) pudessem reagir e fazer a correção do pH. Após o período de incubação foram semeadas 15 sementes de aveia branca (*Avena sativa*), da cultivar URS TAURA[®], por vaso contendo 3,8 kg de solo. Os desbastes periódicos foram realizados até permanecerem cinco plantas bem desenvolvida por vaso.

A reposição hídrica foi feita com a escolha ao acaso de cinco unidades experimentais aferidas sua massa em balança analítica calibrada. Isto ocorreu de modo que a média aritmética dos valores de massa foi descontada de 80% da massa total, resultado que representa valores de 80% da capacidade de campo previamente estabelecido.

As adubações com nitrogênio e potássio foram realizadas parceladas em três aplicações iguais. Sendo uma no momento da semeadura, no dia 21 de junho de 2017 e duas em cobertura, nos dias 14 de julho e 9 de agosto de 2017. De maneira que o cálculo baseou-se na recomendação e densidade do solo (Ds) de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$. No caso do N, foi utilizado ao total 300 mg dm^{-3} , sendo a fonte utilizada o Sulfato de Amônio (SA) (21% de N). Com auxílio de balança analítica foi pesado $4,5 \text{ g}$ (100 mg dm^{-3}) de SA para cada unidade experimental. Enquanto que com o K, foram aplicado um total de 150 mg dm^{-3} . A fonte utilizada foi o Cloreto de Potássio (KCl) (60% de K_2O). Com auxílio de balança analítica foi pesado $0,3 \text{ g}$ (50 mg dm^{-3}) de KCl para cada unidade experimental (CANTARELLA et al., 1997).

A adubação de micronutrientes foi realizada em dose única de 20 mg dm^{-3} no momento da semeadura. A fonte utilizada foi o FTE-BR12 e com auxílio de balança analítica foi pesado $0,061 \text{ g}$ dessa fonte que contém: 9,0% de Zinco (Zn), 1,8% de Boro (B), 0,8% de Cobre (Cu), 3,0% de Ferro (Fe), 2,0% de Manganês (Mn) e 0,1% de Molibdênio (Mo) (CANTARELLA et al., 1997; GALRÃO., 2002 citado por ABREU et al., 2007).

3.4 Avaliações

3.4.1 Índice de clorofila foliar (Valor SPAD)

A determinação indireta da concentração de clorofila foliar em valor SPAD foi realizada nos terços médios das folhas bandeiras de todos os perfilhos do vaso, quando as plantas estavam no estágio de pleno florescimento, com de leituras utilizando o Chlorophyll Meter SPAD-502, (Soil-Plant Analysis Development Section,

MinoltaCameraCo., Osaka, Japan).

3.4.2 Avaliações agronômicas, nutricionais e dos atributos químicos do solo

No dia 28 de setembro de 2017 foram quantificados: a altura de plantas na maturação fisiológica, definida como sendo à distância (m) do nível do solo ao ápice do pendão, o número de perfilhos por vaso e o número de panículas por vaso de todas as unidades experimentais.

A colheita foi realizada, na mesma data referida anteriormente, quando os grãos atingiram a maturidade fisiológica. No momento da colheita as panículas de dez plantas foram colhidas para quantificação: do número de espiguetas por panículas e o comprimento médio das espiguetas.

No referido momento, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando-se parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas em água destilada sobre uma peneira. Para a quantificação da massa seca do sistema radicular e da parte aérea, tanto as raízes quanto a parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa para secagem a 65 °C, por 72 horas. Posteriormente esse material foi pesado em balança semi-analítica. Para as concentrações de macronutrientes (nitrogênio e fósforo) nos tecidos vegetais (parte aérea total e raízes), seguiu-se metodologia descrita em Cantarella et al. (1997).

Após o corte das plantas, o solo foi coletado em recipientes identificados e levados ao laboratório de fertilidade do solo para determinação dos atributos químicos do solo.

3.5 Estatística

Os resultados foram analisados pela análise de variância, bem como submetidos ao teste de comparação de médias Tukey para os corretivos de acidez, e realizado regressão dos dados para as doses de fósforo. Foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação corretiva de acidez do solo x doses de fósforo não foi significativa para os atributos químicos do solo, apenas ocorreu o efeito isolado das fontes de variação (QUADRO 1).

QUADRO 1. Médias, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV), teste de Tukey e equações de regressão relacionada aos atributos químicos do solo: pH (CaCl_2), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al^{+3}), fósforo (P) e potássio (K) após o corte da aveia branca utilizando corretivos de acidez e doses de fósforo (P)

Corretivos de Acidez	pH CaCl_2	H + Al	Al^{+3}	K^+	P Melich1
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$					mg dm^{-3}
Calcário	4,3 a	11,03 b	0,48 b	0,21 b	12,56 a
Silicato	3,7 b	17,34 a	1,36 a	0,26 a	18,80 a
DMS (5%)	0,07	0,83	0,13	0,04	7,57
Doses de P					
(mg dm^{-3})					
0	3,9	14,57	1,04 ¹	0,29 ³	2,37 ²
50	3,9	14,38	0,98	0,26	8,31
100	3,9	14,19	0,92	0,23	14,97
150	3,9	14,00	0,86	0,21	22,33
200	4,0	13,80	0,80	0,18	30,41
CV (%)	2,91	9,09	21,25	25,22	29,56

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹ $Y = 1,0853 - 0,0032x + 0,00001 \quad R^2 = 0,99;$

² $Y = 2,3616 + 0,119x - 0,0001x^2 \quad R^2 = 0,97;$

³ $Y = 0,3290 - 0,0020x + 0,000007x^2 \quad R^2 = 0,90.$

Os corretivos de acidez influenciaram o pH, a H+Al, o Al^{+3} e o potássio. Apesar dos dois corretivos possuírem a mesma função de corrigir a acidez ativa do solo, constatou-se maior valor de pH quando utilizou-se calcário (4,3) em relação ao silicato (3,7). Esses resultados corroboraram com os resultados encontrados por Prado et al. (2002) quando utilizaram escória de siderurgia obtiveram menor resposta na elevação

do pH em relação aos calcários (magnesiano e dolomítico). Esse fato pode ser explicado pela menor solubilização dos silicatos, ou seja, no mesmo período de tempo a velocidade de reação do calcário foi maior. Já para as doses de fósforo não se observou efeito com relação ao pH do solo.

Foi observado menor valor de acidez potencial ($H+Al$) quando se utilizou o calcário ($11,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em comparação ao silicato ($17,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e maior valor de potássio quando utilizou-se o silicato. Prado et al. (2002) trabalhando com escória de siderurgia e calcários (magnesiano e dolomítico) encontraram resultados mais eficientes da diminuição da acidez potencial pela ação do calcário relacionada com a fonte de silício. Brasil et al. (2009) também encontraram resultados de diminuição da acidez do solo, do Al^{+3} e pH quando utilizado as escórias de siderurgia. Estes mesmos autores encontraram doses maiores de potássio no solo pelo fato do material utilizado na pesquisa possuir resquícios desse elemento.

Nota-se que não houve diferença para o teor de fósforo no com relação aos corretivos de acidez (QUADRO 1). Pulz et al. (2008) observaram que houve diferença na disponibilidade de fósforo favorável ao silicato em relação ao calcário no cultura da batata (*Solanum tuberosum*). Todavia, pode-se inferir que um dos fatores que pode explicar o resultado não significativo é justamente a possível a liberação lenta do silicato de magnésio.

O resultados obtidos em relação às doses de fósforo com o pH do solo e a acidez potencial não foram significativos. Disto pode-se explicar pelo não efeito direto do fósforo sobre a reação do solo (pH) e a acidez potencial ($H + Al$), sendo estes afetados principalmente pelos efeitos dos corretivos de solo como o calcário e silicato de magnésio.

Em relação ao aumento dos teores de fósforo do solo acompanhou, concomitantemente, com o aumento das doses de fósforo. Segundo Corrêa et al. (2004), encontraram resultados semelhantes com o fósforo inorgânico em maiores teores acompanhados das maiores doses.

A interação corretivos de acidez x doses de fósforo para o número de perfilhos, altura de plantas, PMS da raiz, PMS da parte aérea e relação parte aérea/raiz não foi significativa (QUADRO 2). O número de perfilhos e a PMS da parte aérea foram influenciadas pelos corretivos de acidez. Com exceção da relação parte aérea/raiz, ocorreu diferença para as doses de fósforo.

QUADRO 2. Médias, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV), teste de Tukey e equações de regressão relacionados ao número de perfilhos, altura de plantas, produção de massa seca (PMS) da raiz, produção de massa seca (PMS) da parte aérea e relação parte aérea/raiz da aveia branca utilizando corretivos de acidez e doses de fósforo (P)

Corretivos de Acidez	Nº de Perfilhos por vaso	Altura de Plantas (cm)	PMS da Raiz (g por vaso)	PMS Parte Aérea (g por vaso)	Relação Parte Aérea/Raiz
Calcário	14,15 a	54,72 a	1,55 a	6,52 b	6,16 a
Silicato	10,95 b	55,43 a	1,54 a	8,00 a	4,40 a
DMS (5%)	1,65	3,93	0,42	0,71	1,84
Doses de P (mg dm⁻³)					
0	9,58 ¹	45,69 ²	0,93 ³	3,60 ⁴	4,82
50	11,06	50,38	1,24	5,43	5,05
100	12,55	55,08	1,55	7,26	5,28
150	14,04	59,77	1,85	9,10	5,51
200	15,53	64,46	2,16	10,93	5,75
CV (%)	20,37	11,04	42,25	15,04	53,93

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$^1 Y = 9,5750 + 0,0298x \quad R^2 = 0,95;$$

$$^2 Y = 39,1709 + 0,3546x - 0,0013x^2 \quad R^2 = 0,88;$$

$$^3 Y = 0,7523 + 0,0133x - 0,000036x^2 \quad R^2 = 0,95;$$

$$^4 Y = 2,3345 + 0,0872x - 0,0003x^2 \quad R^2 = 0,97.$$

Com relação ao número de perfilhos por vaso foi observado efeito para os corretivos e doses de fósforo. Para os corretivos observou-se maior número de perfilhos quando se utilizou com o calcário e à medida que se aumentaram as doses de fósforo, aumentaram-se o número de perfilhos. Isso pode ser explicado, pois, um dos fatores essenciais para o fator produção da cultura da aveia branca é a reação do solo e sua nutrição.

O perfilhamento, dentre outros fatores, é influenciado pela presença do alumínio tóxico, sendo este mais solúvel conforme a diminuição do pH do solo. Conforme resultados do QUADRO 1, no tratamento com calcário houve diferença significativa para valores de pH e teores de Al^{+3} , apresentando maior valor de pH e

menor valor de Al^{+3} , influenciando positivamente o perfilhamento no tratamento com calcário.

Segundo Floss et al. (2007) houve correlação positiva entre os fatores de matéria seca e altura de planta, de modo que justifica a não diferença da aveia branca na avaliação de altura de plantas visto que também não houve diferença na relação parte aérea/raiz.

Em relação à Produção de Massa Seca (PMS) da parte aérea houve diferença correlacionado com um dos efeitos do silício nas plantas referentes ao acúmulo de massa seca, sendo um diferencial em relação ao tratamento envolvendo calcário podendo estar relacionado com os resultados superiores de potássio, pois segundo Primavesi et al. (2004) encontraram resposta na PMS pelo efeito dos crescentes teores de potássio na aveia branca. Disso explica-se também pela função do K na planta pelo transporte de substâncias no floema e importante função no crescimento celular. (DECHEN e NACHTIGALL, 2007)

Em relação às doses de fósforo o ajuste foi linear positivo correlacionando-se com o perfilhamento, a altura de plantas e a PMS conforme se aumentou as doses de fósforo. Isso ocorre devido aos efeitos essenciais desse macronutriente à planta como nos processos de fotossíntese, respiração e crescimento celular promovendo assim aumento do porte da planta e acúmulo de massa seca (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

De acordo com os dados do QUADRO 3, pode-se observar que em relação às médias do comprimento das panículas e o número de espiguetas por panícula da aveia branca, não ocorreu diferença para as características citadas acima em função dos corretivos de acidez. Disto explica-se que destes indicadores de produtividade são fortemente relacionados com os teores de nutrientes na planta, principalmente o nitrogênio (CASTRO et al., 2012). Portanto não se encontrou a diferença apenas pelos corretivos de solo utilizados, visto que as concentrações de nitrogênio na parte aérea também não houve diferença.

QUADRO 3. Médias, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV), teste de Tukey e equações de regressão relacionada ao número de panículas por vaso, média da altura das panículas e o número de espiguetas por panícula da aveia branca utilizando corretivos de acidez e doses de fósforo (P)

Corretivos de Acidez	Nº de Panículas por vaso	Comprimento de Panículas (cm)	Nº de espiguetas por panícula
Calcário	8,80 a	15,70 a	16,17 a
Silicato	7,65 b	16,27 a	17,54 a
DMS (5%)	0,88	0,86	2,21
Doses de P (mg dm⁻³)			
0	5,65 ¹	15,01 ²	9,87 ³
50	6,94	15,50	13,36
100	8,23	15,99	16,86
150	9,51	16,48	20,36
200	10,80	16,96	23,85
CV (%)	16,57	8,30	20,34

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹ $Y = 4,8465 + 0,0579x - 0,0002x^2$ $R^2 = 0,95$;

² $Y = 14,1983 + 0,04246x - 0,0002x^2$ $R^2 = 0,94$;

³ $Y = 8,3357 + 0,1312x - 0,0003x^2$ $R^2 = 0,99$.

O número de panículas obteve resultado significativo, comparando com os dois tipos de corretivos utilizados, o calcário foi o que demonstrou melhor desempenho apresentando média de (8,8) panículas por vaso, comparado com o silicato onde a média foi de (7,7) panículas por vaso. Segundo Mundstock e Bredemeier (2001) o número de panículas por determinada unidade de área está relacionado com o número de afilhos, e para a aplicação de calcário houve maior produção de perfilhos.

Observou-se diferença para os três componentes agronômica com relação às doses de fósforo. Nakawaga e Rosolem (2005) observaram em aveia preta que com aumento das doses de fósforo, houve aumento de nitrogênio na folha bandeira. Portanto, com o aumento dos teores de nitrogênio na planta, há consequência direta e positiva sobre os componentes agronômicos.

Observou-se diferença para os corretivos de acidez com relação à concentração de nitrogênio na raiz (QUADRO 4). A raiz apresentou maior concentração de nitrogênio quando se utilizou silicato de magnésio (9,56 g kg⁻¹) quando comparado ao calcário (8,09 g kg⁻¹).

QUADRO 4. Médias, diferença mínima significativa (DMS), coeficientes de variação (CV), teste de Tukey e equações de regressão relacionada à concentração de nitrogênio (N) e fósforo (P) das raízes e da parte aérea e valor SPAD da aveia branca utilizando corretivos de acidez e doses de fósforo (P)

Corretivos de Acidez	Nitrogênio (g kg ⁻¹)		Fósforo (g kg ⁻¹)		Valor SPAD
	Raiz	Parte Aérea	Raiz	Parte Aérea	
Calcário	8,09 b	16,84 a	0,63 a	0,32 a	39,02
Silicato	9,56 a	18,48 a	0,64 a	0,30 a	35,32
DMS (5%)	1,40	2,26	0,14	0,12	3,09
Doses de P (mg dm⁻³)					
0	9,63	21,75 ¹	0,46 ²	0,41 ³	40,27
50	9,22	19,71	0,55	0,36	38,72
100	8,82	17,68	0,63	0,31	37,17
150	8,42	15,61	0,72	0,26	35,62
200	8,02	13,56	0,81	0,21	34,07
CV (%)	24,46	19,80	33,16	25,00	12,89

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹ $Y = 23,2275 - 0,0999x + 0,003x^2 R^2 = 0,98$;

² $Y = 0,4685 + 0,0018x R^2 = 0,81$;

³ $Y = 0,5474 + 0,0066x + 0,000036x^2 R^2 = 0,94$.

A concentração de nitrogênio na parte aérea não foi influenciada pelos corretivos de acidez, somente pelas doses de fósforo, e à medida que se aumentaram as doses de fósforo diminuíram-se as concentrações de nitrogênio, indicando assim o efeito diluição, pois à medida que ocorreu aumento nas doses de fósforo aumentaram-se a PMS da parte aérea (QUADRO 2). Prado e Fernandes (2001), estudando corretivos de solo (calcário e escória de siderurgia) para a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), observaram menores concentrações de nitrogênio encontraram como explicação para uma hipótese dos resultados encontrados nas análises foliares da cultura da cana-de-açúcar onde houve diferença na produtividade dos tratamentos sobre diferentes corretivos de solo.

Não se observou diferença para as concentrações de fósforo na raiz e parte aérea com relação aos corretivos de acidez do solo, somente para as doses de fósforo (QUADRO 4). Para a concentração de fósforo na raiz à medida que se aumentaram as doses de fósforo, aumentaram as concentrações de fósforo. Já para a concentração de fósforo na parte aérea ocorreu diminuição das concentrações à medida que se aumentaram as doses de fósforo, explicado pelo efeito diluição (JARREL e BEVERLY, 1981).

Garcia et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação de doses de silicato de potássio no solo no desenvolvimento da aveia branca e na disponibilidade de fósforo, e uma das conclusões obtidas foi que ao aplicar o silício, consequentemente aumentou-se o teor de silício no solo o que contribuiu para a maior disponibilidade de fósforo. De acordo com os resultados analisados pelos autores a aplicação de silício ajudou a aumentar a disponibilidade de fósforo no solo para a planta. Além do aumento do teor do silício no solo, os autores observaram aumentos nas concentrações de silício na palha das panículas, folhas + colmos e grãos.

Para o valor SPAD ocorreu interação dos corretivos de acidez do solo x doses de fósforo (QUADRO 5). Observou-se que para dose de 200 mg dm^{-3} o silicato apresentou o menor valor SPAD, e tanto para o calcário quanto para o silicato as doses de fósforo interferiram no valor SPAD. Para o silicato à medida que aumentou as doses de fósforo diminuíram-se os valores SPAD, pois o índice SPAD (Soil plant Analysis Development) está diretamente relacionado com os teores de nitrogênio (GIL et al., 2002).

Observou-se que houve diferença entre os corretivos de acidez na dose de 200 mg dm^{-3} , onde o calcário (41,78 a) obteve maior índice SPAD, comparado ao silicato (29,08 b). Isso pode ser explicado pelo fato de que em outros atributos agronômicos como perfilhos e panículas por vaso, vide QUADROS 2 e 3, refletiu o melhor estado nutricional dessa planta, pelo fato de responder melhor na produção de clorofila quando submetidas em condições melhores de reação do solo, propiciadas pelo calcário como consta dados no QUADRO 1.

QUADRO 5. Desdobramento da interação corretivos de acidez de solo com doses de fósforo (P) relacionados ao valor SPAD da aveia

Doses de Fósforo (mg dm⁻³)	Corretivos de Acidez	
	Calcário	Silicato
0	42,58 ¹ a	42,13 ² a
50	35,35 a	39,73 a
100	36,30 a	33,03 a
150	39,10 a	32,65 a
200	41,78 a	29,08 b
DMS	6,92	
CV	12,89	

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$^1 Y = 41,6829 - 0,1194x + 0,0006x^2 \quad R^2 = 0,83;$$

$$^2 Y = 41,9550 - 0,0664x \quad R^2 = 0,94.$$

Koetz et al. (2012), pesquisando doses de P com interação com índice SPAD na cultura da rúcula (*Eruca sativa*), encontraram correlação positiva. Disto, segundo os autores, resultam da importância de outros nutrientes como o fósforo e suas funções metabólicas na planta para a absorção de nitrogênio, e posterior produção de clorofila. Pode-se correlacionar ainda, que a assimilação de nitrogênio é altamente exigente em energia, necessitando assim da molécula com fósforo constituído como o ATP (BLOMM et al., 1992).

5 CONCLUSÕES

Opta-se pelo uso do calcário como corretivo de acidez do solo pela melhoria nos atributos químicos do solo como o pH, acidez potencial e saturação de alumínio, e o que refletiu nos atributos agronômicos como, o número de panículas e perfilhos por vaso. Levando em consideração aos atributos agronômicos não se atingiu valor de máximo desempenho em relação às doses de P, havendo a necessidade de mais pesquisas no sentido de mensurar esse valor.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S. e SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 11, p. 702.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargil, 1985. cap.3. p.97-117.

BLOOM, A. J., SUKRAPANNA, S. S., WARNER, R. L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiology*, v. 99, n. 4, p. 1294-1301, 1992.

BRASIL, E.C.; DO NASCIMENTO, E.V.S.; ALENCAR SOBRINHO, R.J. Produção de grãos de milho e atributos químicos de solo influenciados pela aplicação de escória de siderurgia em um Latossolo Amarelo Distrófico. In: **Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza: SBCS, 2009.

CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. -274. (Boletim Técnico, 100).

CARVALHO, F. I. F.; BARBOSA, J. F.; FLOSS, E. L.; FERREIRA-FILHO, A. W.; FRANCO, F. A.; FEDERIZZI, L. C.; NODARI, R. O. Potencial genético da aveia como produtora de grãos no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 71-82, 1987.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; DOS SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 557-565, 2001.

CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. Botucatu, 2009. 135 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas.

CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; NETO, J.F. Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 3, p. 1-15, 2012.

COFFMAN, F.A. **Oath history, identification and classification**. Washington: United States Department Agriculture, 1977. 364p. (Technical Bulletin, 1516).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 27 mai . 2017.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.925-930, 2002.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumulada em Latossoloargiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.893-900, 2003.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

DAVIDSON, D.J.; CHEVALIER, P.M. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. **Crop Science**, v.30, n.4, p.832-836, 1990.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos a nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 3, p. 96-99.

ECHART, C.L.; CAVALLI, S.S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, vol. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRAS, O. **Silício na agricultura**. PESQUISA FAPESP, n. 140, p. 72-74, 2007.

FLOSS, E.L.; PALHANO, A.L.; SOARES FILHO, C.V.; PREMAZZI, L.M. Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia branca. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2007.

FULCHER, R.G. Morphological and chemical organization of the oat kernel. In: **Oats Chemistry and Technology**, ed. Webster, F. American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, pp.47-74, 1986.

GARCIA, R.A., MERLIN, A., TOLEDO, M.Z., FERNANDES, D.M., CRUSCIOL, C.C. A., BÜLL, L.T. Desenvolvimento da aveia branca e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 831-837, 2011.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. Eds. Cerrado – Correção do solo e adubação. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. P. 185-226

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, v.34, n. 1, p.197-224, 1981.

KOETZ, M.; CARVALHO, K.; BONFIM-SILVA, E. M., REZENDE, C. G. e SILVA, J. Rúcula submetida a doses de fósforo em Latossolo Vermelho do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera, Goiânia-GO**, v. 6, n. 15, p. 1554-1562, 2012.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: GPSi – ICIAG – UFU, 2002. 23p. (Boletim Técnico).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 1.ed. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2000. 531p.

LIMA FILHO, O.F.; TSAI, S.M. **Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício**. Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2007.

LUIZ, V. **Estudo dos parâmetros ecofisiológicos para avaliação da qualidade de sementes de aveia branca (*Avena sativa* L.) produzidas na região sul do Brasil**. Florianópolis, 1999. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39.

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

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 563-568, 2007.

MELO, S.P.D., KORNDÖRFER, G.H., KORNDÖRFER, C.M., LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G.D. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.

MORI, C.; FONTANELI, R.S.; DOS SANTOS, H.P. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da aveia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil, 2012.

MUNDSTOCK, C.M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 205-211, 2001.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, vol. 64, n. 3, p. 441-445, 2005.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 8, p. 472-502.

PARFITT, R.L.; ATKINSON, R.J.; SMART, R.StC. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. **Soil Science Society of American Journal**, v. 39, n. 5, p. 837-841, 1975.

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 do Solo**, v. 27, n. 1, p. 101-108, 2003.

PIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CANTARELLA, H.; GODOY, R. Resposta da aveia branca à adubação em latossolo vermelho-amarelo em dois sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 79-86, 2004.

PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M.; VALE, D.W. Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 527-533, 2006.

PRADO, R.M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1651-1659, 2008.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. São Paulo; Campinas. **Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**. 2 ed. 1983. cap. 7. p. 95-100

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

SANTOS, H.G.; ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, J.B.; LUMBRERAS, J.F.; ANJOS, L.H.C.; COELHO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, V.A. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

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

SILVA, G.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A.; FINATTO, T. Parâmetros de avaliação da tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 4, p. 401-404, 2006.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 5, p. 211-233.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: 2006. 3 ed. cap. 12, p. 300-301

TAVARES, L. C.; LEMES, E. S.; FONSECA, D. Â. R.; OLIVEIRA, S.; GADOTTI, G. I. e PEDROSO, C. E. S. Desempenho de sementes de aveia branca recobertas com fontes e doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, 2015.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D.; HAULIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillan, 1993, p.634.

TOKURA, A.M.; NETO, F.A.E.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F.; ALOVISI, A.A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

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: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1693-1702, 2012.

VAVILOV, N. I. Centers of origin of cultivated plants. **NI Vavilov origin and geography of cultivated plants**, 1926.

WELCH R.W. **The oat crop: production and utilization**. Chapman & Hall. London, p. 584, 1995.

ZANETTINI, M.H.B.; DE CARVALHO, F.I.F. Origem e evolução do gênero *Avena*: suas implicações no melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 499-507, 1993.