

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE
FERTILIZANTES NA CULTURA DA SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Toigo Vogel

Santa Maria, RS, Brasil

2014

ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE FERTILIZANTES NA CULTURA DA SOJA

Pedro Toigo Vogel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

Orientador: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Vogel, Pedro Toigo

Estratégias de aplicação e fontes de fertilizantes na cultura da soja. / Pedro Toigo Vogel.-2014.

56 p.; 30cm

Orientador: Jackson Ernani Fiorin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Fósforo 2. Modo de Colocação 3. Potássio
I. Fiorin, Jackson Ernani II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©2014

Todos os direitos autorais reservados a Pedro Toigo Vogel de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

End. Eletrônico: pedro_vogel@hotmail.com

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE
FERTILIZANTES NA CULTURA DA SOJA**

Elaborada por
Pedro Toigo Vogel

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jackson Ernani Fiorin, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Luciano Zucuni Pes, Prof. Dr. (UFSM)

Jardes Bragagnolo, Prof. Dr. (URI - Erechim)

Santa Maria, 06 de Agosto de 2014.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por oportunizar-me mais esta conquista.

À Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar o curso de Mestrado Profissional nos moldes que foram desenvolvidos.

Ao Colégio Politécnico da UFSM, por disponibilizar a estrutura necessária para a execução e conclusão do curso.

Ao professor Jackson Fiorin, o qual coube a tarefa de orientar e supervisionar a condução deste trabalho.

Aos demais professores que foram fundamentais na construção do conhecimento e formação profissional.

Aos colegas do mestrado.

À CCGL TEC, pela condução conjunta dos experimentos.

À empresa Mosaic Fertilizantes, pela oportunidade e parceria nesta caminhada.

Agradeço e dedico a toda minha família, meus pais Antônio e Sandra, meu irmão Eduardo, à minha esposa Cássia, pela compreensão e paciência que demonstraram comigo na realização de mais esta etapa na minha vida.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE FERTILIZANTES NA CULTURA DA SOJA

Autor: Pedro Toigo Vogel

Orientador: Prof Dr. Jackson Ernani Fiorin
Santa Maria, 06 de Agosto de 2014.

O aumento da demanda por produtos agrícolas torna imprescindível o uso de ferramentas de Agricultura de Precisão e de fertilizantes de maneira adequada permitindo a otimização do espaço produtivo e a obtenção de altas produtividades. Vários fertilizantes são ofertados no mercado, com diferentes nutrientes, formas químicas, granulometria e eficiência. Aliar o aspecto operacional, agrônômico e econômico também exige estudos das estratégias de aplicação dos fertilizantes, visando dar suporte na tomada de decisão da utilização de novas tecnologias. O estudo tem como objetivo: avaliar a eficiência de fontes de fertilizantes e de estratégias de aplicação na soja, comparando a aplicação a lanço e na linha de semeadura. O estudo foi conduzido com a cultura da soja sob plantio direto, nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014, num Latossolo Vermelho Distrófico, em Cruz Alta, RS. Os tratamentos foram constituídos de quatro fontes de fertilizantes (Fator A) em duas estratégias de aplicação (Fator B), no delineamento experimental em blocos ao acaso com 4 repetições. As fontes fertilizantes são: Microessentials S9 09-46-00; Microessentials S9 07-34-12; Fosfato Monoamônico (MAP); Fórmula 00-20-20, sendo as doses ajustadas de maneira a ser mantida a mesma relação nutricional em 92 kg ha⁻¹ para P₂O₅ e K₂O, com a utilização de KCl (00-00-60) a lanço. As diferentes fontes foram aplicadas a lanço e na linha de semeadura. As maiores produtividades de soja estão associadas à utilização dos fertilizantes diferenciados, tanto em mistura a outras matérias-primas (S9 07-34-12) como quando puro (S9 09.46.00), tanto aplicado na linha de semeadura como a lanço. Na safra 2013/2014, houve interação significativa dos fatores. Observou-se efeito significativo às diferentes fontes de fertilizantes somente quando aplicado na linha de semeadura. A maior produtividade de soja está associada à utilização da fórmula da linha S9 07-34-12 na linha de semeadura. Nesta fórmula, a dose utilizada fornece quantidade de nutrientes diferenciada, em especial, quanto ao potássio (K), com aproximadamente 30 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de semeadura. A menor produtividade de grãos de soja está associada à utilização da Fórmula 00-20-20, em especial, quando aplicados na linha de semeadura, provavelmente associado ao efeito salino devido às altas doses de K na linha de semeadura.

Palavras-chave: Fósforo. Modo de colocação. Potássio.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

APPLICATION STRATEGIES AND SOURCES FERTILIZERS IN SOYBEAN

Author: Pedro Toigo Vogel
Adviser: Jackson Ernani Fiorin
Santa Maria, August 06th, 2014.

The increased demand for agricultural products necessitates the use of precision farming tools and fertilizers properly allowing the optimization of the production space and obtaining high yields. Various fertilizers are offered in the market with different nutrients, chemical forms, particle size and efficiency. Combine operational, agronomic and economic aspect also requires studies of the strategies of fertilizer application, in order to support decision making on the use of new technologies. The study aims to evaluate the efficiency of fertilizer sources and application strategies in soybean comparing the broadcast application in surface and in the row. The study was conducted with soybean under no-tillage in crop years 2012/2013 and 2013/2014, a Oxisol in Cruz Alta, RS. The treatments were four fertilizer sources (Factor A) and two implementation strategies (Factor B), the experimental design in randomized blocks with 4 replications. The fertilizer sources are: Microessentials S9 09-46-00; Microessentials S9 07-34-12; Monoammonium Phosphate (MAP); Formula 00-20-20, with doses adjusted so as to be maintained at the same nutritional ratio at 92 kg ha⁻¹ for P₂O₅ and K₂O, with the use of KCl (00-00-60) casting on the surface. The different sources were applied to the surface and haul in the row. The highest soybean are associated with the use of different fertilizers, both in the mix other materials (S9 07-34-12) as when pure (S9 9:46:00), both applied in the row as the surface haul. In 2013/2014 harvest, significant interaction of the factors. A significant different sources of fertilizers only when applied in the row effect. The higher productivity of soybean is associated with the use of the formula of S9 07-34-12 line in the row. In this formula, the dose provides differentiated amount of nutrients, in particular as to potassium, with approximately 30 kg ha⁻¹ of K₂O in the row. The lower productivity of soybeans is associated with the use of Formula 00-20-20, especially when applied in the row, probably associated with the salt effect due to high levels of potassium in the row.

Keywords: Phosphorus. Placement mode. Potassium.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, na condição inicial da área experimental. Cruz Alta, RS. 2013.....	26
Tabela 2 – Descrição das diferentes fontes que compõem os tratamentos aplicados na linha de semeadura e a lanço. Cruz Alta, RS. 2013.....	27
Tabela 3 – Doses de nutrientes aplicados em cada tratamento.....	27
Tabela 4 – Garantias químicas das fontes de fertilizantes. Cruz Alta, RS. 2013.	28
Tabela 5 – Resultados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}), peso de 100 sementes (PCS), teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.....	33
Tabela 6 – Produtividade de grãos em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.....	34
Tabela 7 – Teores de nitrogênio e enxofre no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.	36
Tabela 8 – Resultados de análise de solo em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação, amostrados na camada de 0 a 20 cm, após a colheita da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.....	37
Tabela 9 – Resultados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}), peso de 100 sementes (PCS), teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.....	40
Tabela 10 –Produtividade de grãos e peso de 100 sementes em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.	41
Tabela 11 –Resultados de análise de solo em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação, amostrados na camada de 0 a 20 cm, após a colheita da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.....	44
Tabela 12 –Teores de enxofre no solo amostrados na camada de 0 a 20 cm após a colheita da soja 2013/2014, em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação. Cruz Alta, RS. 2014.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação pluviométrica diária e acumulada no período experimental nas safras 2012/2013 e 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.	29
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Eficiência da adubação fosfatada aplicada a lanço e na linha de semeadura.....	13
2.2 Adubação potássica na cultura da soja	17
2.3 Enxofre e a importância para a cultura da soja	20
2.4 Nitrogênio na semeadura da cultura da soja	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Local e solo	26
3.2 Tratamentos	27
3.3 Instalação e condução do experimento	28
3.4 Avaliações e análise estatística.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Soja 2012/2013 (1º cultivo)	32
4.2 Soja 2013/2014 (2º cultivo)	38
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção de alimentos, frente ao aumento expressivo da população mundial nos últimos anos, torna necessária uma reflexão acerca do modo de produzir alimentos. Considerando que, o aumento da demanda por produtos agrícolas é imprescindível para que o aumento da produtividade nos sistemas de produção ocorra sem que haja, necessariamente, um aumento de área. Desse modo, as práticas da Agricultura de Precisão permitem a otimização do espaço produtivo, tornando o ambiente do solo e planta favorável para atingirmos altas produtividades e preservando os recursos naturais.

Referente ao tema: Agricultura de Precisão, a aplicação de seus conceitos teóricos exige um conhecimento técnico e prático necessários para alcançar os objetivos da prática, os quais visam o aumento da produtividade com o aproveitamento máximo dos recursos disponíveis para a produção.

A Agricultura de Precisão é um sistema de manejo agrícola que reconhece a existência da variabilidade no campo, onde a prática da semeadura, o nível de aplicação de fertilizantes e pesticidas varia dentro do campo (VALENCIA et al., 2003). A aplicação é diferenciada entre zonas de manejo, áreas consideradas homogêneas que recebem o mesmo tratamento em toda sua extensão.

Dentre as várias etapas envolvidas no sistema Agricultura de Precisão, uma das fases mais importantes envolve o fator solo, desde a sua amostragem e análise de nutrientes até sua correção ou manutenção via calagem e/ou adubação (MIRANDA et al., 2005; SOUZA, 2006). A variabilidade de atributos de solo em uma área agrícola influencia diretamente na produtividade das culturas. Se for constatada a variabilidade espacial destes atributos e da produtividade das culturas, a localização das regiões de alto e baixo potencial produtivo pode trazer benefício pela adoção de estratégia de manejo localizado.

A utilização de calcários e fertilizantes de maneira adequada, em quantidade e maneira de aplicação, se faz necessária. Estas práticas, quando mal feitas podem gerar altos custos, acarretando em prejuízos ao produtor e ao meio ambiente.

No Brasil, os solos em que a soja é cultivada, geralmente, apresentam alta capacidade de fixação de fósforo (P). Aliado a isso, há alta exigência dessa cultura

pelo nutriente, sendo de fundamental importância o estabelecimento das fontes e formas de aplicação deste nutriente para obtermos altos rendimentos da cultura.

Com o mapeamento da área, análise de solo e recomendação de adubação em mãos, os produtores adquirem seus fertilizantes visando à nutrição de sua safra. Porém, no momento da aplicação do insumo na lavoura, surgem dúvidas de como e quando aplicar o mesmo no solo. Os nutrientes possuem diferenças quanto à mobilidade e comportamento no solo. Neste sentido, a adubação fosfatada exige certos cuidados, devido à baixa mobilidade do P no solo. A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (CHIEN & MENON, 1995; CORREA et al., 2004).

Devido à praticidade de aplicação, muitos agricultores vêm utilizando fertilizantes a lanço, o que favorece a operação de semeadura, com menos paradas para abastecimento e uso de semeadoras mais leves, além de permitir, com certa facilidade, a aplicação à taxa variável, seguindo os conceitos da Agricultura de Precisão. A aplicação de fertilizante à taxa variável no sulco de semeadura também é possível. Hoje, já existe no mercado semeadora com sistema de adubação à taxa variada na linha. No entanto, esta situação não é uma realidade muito frequente nas propriedades. Segundo Souza; Lobato (2002), quando o teor de P no solo encontrasse na faixa considerada adequada ou alta, o fertilizante fosfatado pode ser aplicado tanto no sulco como a lanço, sem afetar a produtividade.

O uso de fertilizantes nos sistemas agrícolas inovou a produção de alimentos no mundo moderno e proporcionou aumentos de produtividade inatingíveis, sem o uso desse recurso. Diversos produtos fertilizantes são ofertados no mercado atualmente, com diferentes nutrientes, formas químicas, granulometria e eficiência. A Mosaic Fertilizantes do Brasil oferece ao mercado a linha MicroEssentials (S9 e S15), produtos que têm apresentado diversas vantagens aos produtores como: alta concentração de nutrientes, eficiência de aplicação, elevada qualidade física, além de alto rendimento das culturas (MOSAIC, 2014).

Aliar o aspecto operacional, agronômico e econômico na hora de adubar a lavoura exige um estudo dos fatores que envolvem as práticas de aplicação do fertilizante. Desta forma, torna-se importante desenvolver e validar estratégias que visam melhorar a eficiência da adubação das culturas em sistemas produtivos. Com base no exposto, a resposta das culturas aos nutrientes está associada às

condições em que os estudos são desenvolvidos. A tomada de decisão da utilização de novas tecnologias nas culturas deve ser suportada por resultados de pesquisa, conduzidos em áreas manejadas sob plantio direto, representativo da maioria das lavouras no Brasil.

A escolha dos fertilizantes adequados e a sua maneira correta de aplicação poderão definir o sucesso do manejo dentro da Agricultura de Precisão.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi:

- Avaliar a eficiência agronômica de fontes de fertilizantes na produtividade de grãos de soja;
- Comparar diferentes estratégias de aplicação de fertilizantes na cultura da soja, avaliando a aplicação a lanço e na linha de semeadura, considerando o cenário de Agricultura de Precisão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soja é uma cultura muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Para que os nutrientes possam ser eficientemente aproveitados pela cultura, devem estar presentes no solo em quantidades suficientes e, em relações equilibradas. A insuficiência ou o desequilíbrio entre os nutrientes pode resultar numa absorção deficiente de alguns e excessiva de outros nutrientes. Para que esse equilíbrio seja alcançado e mantido, é necessário que certas práticas, como calagem e adubação, sejam empregadas de maneira racional. Em várias regiões do país, essas práticas têm sido satisfatórias, quando embasadas em análise do solo e todas as operações que as complementam, seguidas à risca e bem executadas (SFREDO, 2008).

A maneira de como é feita a prática de adubação, com a escolha certa do produto, dose, local e momento correto de aplicação, pode determinar o sucesso ou fracasso do cultivo. Com o aumento da tecnologia e emprego de ferramentas como: a agricultura de precisão, a determinação do modo de aplicação dos fertilizantes corretivos e de manutenção tem apresentado diversos resultados. Ao se escolher a forma de aplicação dos fertilizantes, a lanço ou na linha de semeadura devemos considerar alguns fatores, tais como: nutriente a ser utilizado, cultura a ser implantada e a respectiva análise de solo. Com base nisso, pode-se prever o comportamento de alguns nutrientes no solo e a resposta da cultura ao uso do fertilizante.

2.1 Eficiência da adubação fosfatada aplicada a lanço e na linha de semeadura

Os modos de adubação mais discutidos na literatura são a aplicação a lanço e a localizada no sulco de semeadura. A adubação a lanço faz com que, praticamente, 100% do fertilizante fosfatado entre em contato com o solo, possibilitando elevada adsorção de P e reduzindo o aproveitamento desse elemento pela planta. Por outro lado, para diminuir a adsorção, utiliza-se a aplicação localizada do adubo fosfatado

e, como consequência, pequena porção do sistema radicular entra em contato com o P proveniente do adubo (MALAVOLTA, 1981).

O P e o K são nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plântulas e aqueles usados em maior quantidade, devido à grande quantidade exigida pelas culturas e baixa mobilidade no solo, principalmente, no caso do P (BARBER, 1984).

O plantio direto, embora tenha sido introduzido na década de 1970, teve grande expansão no Rio Grande do Sul e no Brasil, somente na primeira metade da década de 90, proporcionando diminuição acentuada na erosão, favorecendo assim a construção da fertilidade dos solos. Alta disponibilidade de nutrientes, principalmente P, pode ocorrer em camadas mais superficiais do solo sob plantio direto. Isso ocorre, principalmente, pela aplicação dos fertilizantes em superfície ou em pequenas profundidades, do calcário em superfície, da ausência de revolvimento do solo, da manutenção e ciclagem de nutrientes através de resíduos culturais e das menores perdas de nutrientes por erosão (PAVINATO & CERETTA, 2004).

No sistema plantio direto (SPD), os fertilizantes são aplicados na superfície do solo sem a posterior incorporação, o que tem aumentado grandemente os teores de P total da camada superficial. No entanto, o aumento nas formas orgânicas não acompanha o rápido incremento no P total (RHEINHEIMER et al., 1998). Os solos das regiões tropicais quase sempre apresentam elevada capacidade de adsorção e baixos teores de P, o que torna a nutrição fosfatada, fator limitante à obtenção de rendimentos agrícolas economicamente satisfatórios. A disponibilidade do P aplicado como fertilizantes é, em geral, limitada, em razão da abundância de óxidos de ferro e de alumínio nesses solos. Várias reações estão envolvidas nesta limitação de disponibilidade, como a precipitação (formação de nova fase ou composto definido), a adsorção (reação na interface sólido/solução) e a difusão nas imperfeições dos cristais (ALMEIDA et al., 2003).

Em geral, são registrados valores muito baixos de transporte de P, em razão de sua forte interação com os colóides do solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados (AZEVEDO et al., 2004). Assim, a baixa mobilidade do nutriente se tem constituído num problema para a nutrição fosfatada das culturas.

O P é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, o que é consequência de sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral por este elemento, retirando-o da solução (adsorção/precipitação) e fazendo com que a concentração de equilíbrio seja muito

baixa, tornando-se um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais. Portanto, a adubação fosfatada é imprescindível para a obtenção de produções satisfatórias das diversas culturas (CORREA et al., 2004). O P, devido a sua baixa mobilidade no solo tem a característica de estar presente em maior quantidade na camada superior do solo.

Devido às características dos solos brasileiros, verificou-se a grande resposta da fertilização fosfatada na produtividade de grãos, de maneira que sua utilização tornou-se essencial para as plantas responderem em altas produtividades. A soja absorve cerca de 8,4 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, sendo a cultura mais exigente em relação às culturas de trigo e milho (MALAVOLTA, 1980).

O principal mecanismo de transporte deste nutriente no solo é a difusão, que é influenciada por vários fatores, tais como: o conteúdo volumétrico de água no solo, a interação fósforo-colóide do solo, a distância a percorrer até as raízes, o teor do elemento e a temperatura do solo. Em geral, são registrados valores muito baixos de transporte de P, em razão de sua forte interação com os colóides do solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados; assim, a baixa mobilidade do nutriente se tem constituído num problema para a nutrição fosfatada das culturas (KAMPF & CURY, 2003).

O método de aplicação interfere na eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente, em solos com baixo teor de P e que possuem alta capacidade de fixação do nutriente (NOVAIS & SMYTH, 1999). As formas de fosfatos (fontes solúveis, fosfato natural, termofosfatos) possuem características distintas e comportamentos diferentes no solo, o que interfere na disponibilidade do nutriente no sistema. De um lado, têm-se variações quanto à natureza e à solubilidade de fosfatos naturais e industrializados e, de outro, a interação com os componentes edáficos, que influenciam fortemente a disponibilização do P às plantas (PROCHNOW et al, 2003).

O manejo da fertilização é capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo, e a consequente disponibilidade dos minerais para as plantas. Desta forma, o modo de aplicação poderia alterar a velocidade e a capacidade do fertilizante em reagir no solo, como consequente solubilização e disponibilização do P na solução do solo, determinando o grau de eficiência da adubação fosfatada (BREVILIERI, 2012). As plantas apresentam mecanismos que auxiliam na aquisição de P, seja pela modificação na solubilização-adsorção, seja na

difusão do nutriente no solo. Estas estratégias se manifestam pela maior relação raiz/parte aérea e pelo aumento da superfície radicular, pela maior taxa de absorção por unidade de raiz, pelo aumento da exsudação radicular de fosfatases e outros compostos orgânicos, e pela alteração do grau de micotrofismo (LAJTHA & HARRISON, 1995).

Bray (1954) evidenciou superioridade da aplicação do adubo fosfatado de manutenção em sulco duplo, indicando que, utilizando esse modo de aplicação da adubação fosfatada, em solos com baixo teor de P disponível e nos solos. Neste caso, a adsorção do P é minimizada e, ao mesmo tempo, o contato do adubo fosfatado com o sistema radicular das plantas é maximizado. Ressalta-se que o volume de solo explorado pelas raízes de uma planta é, em média, 1% do volume do solo. Resultados semelhantes com aplicação do P pelo modo intermediário foram obtidos (VASCONCELLOS et al., (1986); ANGHINONI (1992).

Segundo Barber (1995), com a aplicação localizada do adubo fosfatado no milho, ocorre maior desenvolvimento radicular na área adubada, e o grau de proliferação depende da quantidade de P aplicada e do seu nível inicial no solo.

De acordo com Goedert, Sousa (1986), as fontes solúveis, geralmente, apresentam desempenho similar para ambas as formas de aplicação, podendo a aplicação a lanço promover maiores rendimentos em relação à aplicação localizada em função de déficit hídrico, cuja ocorrência é frequente em condições de campo. Já os termofosfatos, fosfatos reativos e fosfatos naturais brasileiros aplicados a lanço apresentam maior eficiência. Outros pesquisadores, entretanto, têm relatado resultados indicando recomendações de adubação contrárias a essas sugestões (NOVAIS & SMYTH, 1999). Hansel (2013) observou que as fontes fertilizantes consideradas de alta solubilidade, entre as quais, as fórmulas da linha S9, apresentaram maior produtividade de soja, em especial, no manejo a lanço.

De certa forma, todas as fontes fosfatadas solúveis são rapidamente solubilizadas no solo disponibilizando P para a absorção pelas plantas. No entanto, o P solúvel em água na forma de ortofosfato pode ser rapidamente convertido em formas não solúveis através de reações com minerais (RHEINHEIMER et al., 2003; BASTOS, 2006). Devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências sob condições adversas, também dependentes das características texturais e mineralógicas do solo (CHIEN et al., 2011).

Em trabalho realizado por Carvalho et al. (2005), na cultura do algodoeiro, não houve diferença de produtividade quando o fertilizante fosfatado foi aplicado a lanço, no sulco de semeadura, ou metade a lanço e metade no sulco. Para Silva (1999) e Souza; Lobato (2002), quando o teor de P no solo encontra-se na faixa considerada adequada ou alta, o fertilizante fosfatado pode ser aplicado tanto no sulco como a lanço, sem afetar a produtividade.

De maneira geral, em estudos com P são utilizadas fontes superfosfatadas como padrão experimental (NUNES, 2010), não sendo considerada a variabilidade existente nas características estruturais da molécula do fertilizante fosfatado e as possíveis interações com o modo de aplicação (HANSEL, 2012). A existência da variabilidade na composição de fontes fosfatadas pode resultar em conclusões equivocadas em estudos com fertilizantes (CHIEN et al., 2011).

Devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo, diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências sob condições adversas, também dependentes das características texturais e mineralógicas do solo (CHIEN et al., 2011). As raízes absorvem íons P nas formas aniônicas de H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} , comumente encontradas nas faixas de pH entre 4,0 a 8,5 dos solos brasileiros (BARBER, 1984). A habilidade das plantas em absorver o P do solo irá depender da concentração dos íons em solução na superfície das raízes e da área da superfície radicular em contato com a solução (JONES & JACOBSEN, 2001).

O pH do solo é outro fator que modifica o coeficiente de difusividade do fosfato no solo, de maneira que o mesmo induz mudanças nas espécies iônicas de H_2PO_4^- para HPO_4^{2-} , o qual irá, provavelmente, resultar no decréscimo da mobilidade do fosfato (LEWIS & QUIRK, 1967).

2.2 Adubação potássica na cultura da soja

O K é o segundo nutriente mais exigido e exportado pela soja, ficando somente abaixo do nitrogênio (N). A baixa disponibilidade de K no solo pode causar a gradativa diminuição na safra após safra, sem os sintomas típicos da deficiência, a chamada fome oculta, com redução da taxa de crescimento e produtividade da soja

(BORKERT et al., 1994). Devido a sua importância e uso em grandes quantidades, o K merece uma atenção quanto ao modo de aplicação.

A mobilidade do K no perfil do solo, ao longo dos anos é influenciada por inúmeros fatores, o que torna difícil a distinção e importância de cada um deles (KAYSER & ISSELSTEIN, 2005). A textura do solo, assim como a CTC, influencia a redistribuição do K no sistema, sendo que, em solos arenosos a mobilidade do K é maior (JOHNSTON, 2002). Em áreas sob sistema de plantio direto (SPD) consolidado, tem sido verificado um acúmulo de K na camada superficial do solo (0–5 cm) (KETCHESON, 1980; ELTZ et al., 1989).

O modo de aplicação de fertilizantes potássicos merece especial atenção devido à suscetibilidade do K a perdas por processos erosivos (MIELNICZUK, 2005), e também ao elevado grau de salinidade do cloreto de K (KCl), principal fonte de K utilizada na agricultura (BEVILAQUA et al., 1996). Os cuidados ao utilizar o KCl como fonte de K se justificam, pois aplicações a lanço podem não fornecer a quantidade de nutrientes necessária ao desenvolvimento inicial das plantas, ao passo que aplicações na linha, em doses elevadas, podem resultar em danos ao sistema radicular. A água disponível no solo, que deveria ser utilizada no processo de germinação das sementes, é desviada por causa da elevada concentração salina nas proximidades. Este processo ocorre quando a semeadura é realizada em condições de baixa umidade do solo (SALTON et al., 2002).

A posição inadequada dos fertilizantes em relação à semente, em diversas espécies, tem sido relacionada a problemas na germinação de sementes, devido ao efeito salino a ela ocasionado. A resistência ou tolerância à salinidade varia com a espécie e cultivar e, com o estágio da planta (BARBER, 1984). O dano que o fertilizante acarretaria sobre a semente, traduz-se mais intensamente sobre o sistema radicular das plântulas e o dano é dependente da dose e posição do fertilizante no solo (BEVILAQUA et al., 1996). Malavolta (1982) alerta sobre a alta solubilidade do KCl que, aplicado no sulco de semeadura pode prejudicar a germinação das sementes ou o desenvolvimento das plântulas, em decorrência da alta concentração salina.

Os compostos químicos usados como adubo têm potencial de salinização variável em função das solubilidades e natureza química. O cloreto de K, por exemplo, tem um índice salino 1,93 por unidade de K, enquanto o do superfosfato triplo é de 0,21, por unidade de P (OSAKI, 1991).

Segundo Lasca (1986), doses elevadas de K podem causar uma redução na produção. A aplicação de doses altas de K no sulco de plantio deve ser evitada devido ao seu efeito salino e, em alguns casos, para reduzir perdas por lixiviação, principalmente, para solos arenosos. O excesso de sais próximo às sementes e plântulas pode causar-lhes a morte ou prejudicar seu desenvolvimento. A alta concentração do elemento em uma área limitada aumenta a possibilidade de perdas por lixiviação e eleva seu efeito salino (OLIVEIRA et al., 2007). Para Malavolta (1980) a melhor alternativa é a aplicação do K como adubação de correção, distribuído a lanço, antes do plantio e incorporado.

Moraes e Menezes (2003), trabalhando com estresse hídrico em sementes de soja observaram que o aumento da concentração salina com KCl ocasionou redução na germinação e vigor das sementes. De acordo com Marschner (1997), a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o KCl compromete o crescimento e distribuição das raízes, assim como a absorção de água e nutrientes, porque diminui o potencial osmótico próximo à rizosfera, dificultando o caminhamento dos íons até as raízes. Por outro lado, de acordo com Raij (1991), a posição do fertilizante, em relação à semente, é importante do ponto de vista nutricional, pois a plântula, no início do seu desenvolvimento, necessita com grande rapidez dos nutrientes e, estes devem estar próximos da raiz, diminuindo com isso perdas de nutrientes por percolação através do perfil do solo.

Em trabalho realizado por Bevilaqua et al. (1996), a posição do fertilizante que propicia maior percentagem e velocidade de emergência, peso de matéria seca em milho foi entre 4,5 e 6,0 cm ao lado e abaixo das sementes. O fertilizante potássico mostra efeito mais prejudicial às plântulas de milho, principalmente nas posições mais próximas da semente. Salton et al. (2002) verificou uma redução acentuada tanto da parte aérea quanto no sistema radicular, a partir da dose de 30 kg ha^{-1} , na altura das plantas e no comprimento do sistema radicular. Nesta situação, é previsível a redução na população de plantas e na produtividade das lavouras.

Em trabalho com soja no cerrado, Guareschi (2008), observou que não houve diferença entre a adubação fosfatada e potássica em semeadura e a lanço antecipada, para a cultura da soja cultivada em solo de cerrado.

2.3 Enxofre e a importância para a cultura da soja

As exigências de enxofre (S) pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada. No grupo das culturas de média/alta exigência incluem-se as leguminosas, que de um modo geral, são mais exigentes que as gramíneas, em função de seu teor mais elevado de proteínas (ALVAREZ et al., 2007).

A soja é uma cultura exigente neste nutriente, e há possibilidade de resposta à adubação com S. A deficiência de S pode ser observada em algumas regiões do Brasil, especialmente em solos sob cerrado, em razão da baixa fertilidade do solo, associada à pequena quantidade de MO, ao aumento da exportação de S pelos grãos, causados por produtividades elevadas, e à lixiviação de sulfato, acentuada pela aplicação de calcário e P (VITTI et al., 2007). O enxofre (S) pode ser comparado com o P, em exigências das culturas observadas que necessitam dos dois elementos mais ou menos nas mesmas quantias. O enxofre (S) no solo encontra-se, na sua maioria, na forma orgânica, por via microbiana, sendo convertido em produtos disponíveis às plantas (MALAVOLTA, 1980). A forma orgânica constitui importante reserva de S do solo, representando mais de 90% do total desse nutriente na maioria dos solos (SOLOMONS et al., 2005).

Entre os nutrientes, o enxofre aproxima-se funcionalmente do nitrogênio. Embora a quantidade de S nas plantas seja de 3 a 5% da quantidade encontrada de nitrogênio, esses nutrientes compartilham grande versatilidade em reações de oxidação-redução, atributo esse que os torna fundamentais no metabolismo das plantas, além do mais, o enxofre é constituinte de alguns aminoácidos e de várias coenzimas. As assimilações de N e S são bem coordenadas, ou seja, a deficiência de um elemento reprime a via assimilatória do outro (EPSTEIN & BLOOM, 2006). De acordo com EMBRAPA (2001), a recomendação para a cultura da soja, para a região Central do Brasil, é de 15 kg para cada 1.000 kg de grãos produzidos. O S é absorvido na forma de sulfato e, além de ser um componente essencial das proteínas, ele ajuda a manter a cor verde das folhas, promove a nodulação nas fabáceas, estimula a formação das sementes, estimula o crescimento das plantas.

O enxofre na planta é encontrado, principalmente, nas proteínas, pois todas as proteínas vegetais apresentam esse elemento, tem como sua principal origem a

matéria orgânica e, em fertilizantes a base de sulfato (PRIMO et al., 2012). Malavolta (1989) destaca que o enxofre na vida das plantas é devido à presença desse elemento na composição de todas as proteínas vegetais.

A deficiência de enxofre ocorre em algumas regiões do Brasil devido a baixa fertilidade do solo associada à pequena quantidade de matéria orgânica, aumento de exportação dos nutrientes pelos grãos causados por produtividades elevadas, uso de fertilizantes que contêm pouco ou nenhum S em sua composição, lixiviação de sulfato e também a redução do uso de produtos fitossanitários que apresentam enxofre (MALAVOLTA, 1982; TISDALE et al., 1995).

Pelo fato de ser um nutriente bastante dinâmico nos solos, existem algumas divergências acerca da sua disponibilidade e deficiência. Segundo Filho et al. (2007), são poucos relatos na literatura de ocorrência de deficiência em solos agrícolas. Isto se atribui à utilização de fertilizantes que contêm S, como os superfosfatos simples e sais de sulfatos com micronutrientes ou de amônio, além de que, no solo, a maior fonte é a matéria orgânica do solo (MOS), que garantiria o fornecimento gradual dessas plantas por causa da mineralização. Entretanto, com o uso mais frequente de fertilizantes fosfatados e nitrogenados concentrados, como superfosfato triplo ou ureia, há uma diminuição no seu fornecimento, tornando provável a necessidade de adições de S para corrigir possíveis deficiências. Para Primo et al. (2012), a falta de enxofre é devido ao uso de adubos concentrados que não possuem enxofre, os quais podem ser substituíveis por fontes tradicionais como superfosfato simples e o sulfato de amônio.

Considerando o teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a 10 mg dm^{-3} (COMISSÃO..., 2004), baseado em um diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas em implantação de Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul, Silva et al. (2013), constataram que 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas à aplicação de fertilizantes contendo enxofre. Segundo os autores, a alta frequência de análises com os teores de enxofre extraível abaixo do crítico, pode estar associada às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vêm sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliadas à utilização frequente de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre.

Aliado a isto, resultados de pesquisa com enxofre não são muito frequentes no Brasil, pois para se conseguir isolar o efeito deste nutriente é preciso trabalhar

com produtos puros e, muitas vezes, o enxofre é ou foi aplicado nas áreas cultivadas via fertilizantes compostos, como nutriente secundário, caso dos sulfatos e superfosfatos simples.

A soja consegue aproveitar o enxofre somente na forma de sulfato (SO_4^{-2}), a qual está presente em alguns fertilizantes e também no gesso agrícola. De acordo com Raij et al. (1996) o sulfato de amônio (22 a 24% de enxofre), o superfosfato simples (10 a 12% de enxofre), gesso agrícola (15 a 18% de enxofre), o sulfato de K (15 a 17% de enxofre), o sulfato de K e magnésio (22 a 24% de enxofre), o sulfato de cálcio (13% de enxofre) são as fontes mais comuns desse nutriente.

Outra fonte que vem sendo utilizada é o enxofre na forma elementar (S^0). Esta fonte destaca-se por apresentar, 99% de S, que pode possibilitar a obtenção de fertilizantes com alta concentração de nutrientes NPK e com alto teor de enxofre. Porém, para que o S-elementar possa se tornar disponível para as plantas, ele deve ser oxidado a S-sulfato (JANZEN & BETTANY, 1987), que é a forma que as plantas absorvem este nutriente. A oxidação do S-elementar é realizada, principalmente, por microrganismos específicos do solo. Segundo Richart et al. (2006), têm sido estudadas alternativas para se estimular a solubilização dos fosfatos, como a adição de S elementar (S^0), o qual é oxidado no solo por microrganismos do gênero *Thiobacillus*, favorecendo a solubilização dos fosfatos naturais reativos, bem como fornecendo S, originalmente insolúvel na forma de S-elementar. Segundo Horowitz; Meurer (2006), as plantas somente conseguem absorver o S elementar aplicado no solo, depois de sua oxidação a sulfato, oxidação esta catalisada por enzimas produzidas, principalmente, por microrganismos.

Resultados obtidos por Rheinheimer et al., (2005), evidenciaram que o uso de doses de SO_4^{-2} de até 60 kg ha^{-1} , via superfosfato simples, não afetam a produtividade das culturas, as quais foram cultivadas na sequência: nabo forrageiro/milho/trigo/soja/ canola/milho. Resultados semelhantes foram observados por onde não houve resposta da soja a doses de fertilizantes sulfatados. A ausência de resposta ao enxofre adicionado ao solo pode estar relacionada com o aporte de enxofre atmosférico pela água da chuva, mesmo quando se trata de culturas mais exigentes deste nutriente (OSORIO FILHO et al., 2007).

Em trabalho de Primo et al. (2012), a aplicação das diferentes doses de enxofre, sendo os tratamentos compostos de doses de enxofre elementar (0, 30, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}), não influenciou no aumento da produtividade da soja. Segundo

Broch et al. (2011), a cultura da soja responde à aplicação de fontes solúveis de enxofre, mas a resposta normalmente se limita a solos pobres neste nutriente. A grande maioria das fontes de S utilizadas foi eficiente em fornecer este nutriente para a soja, porém o enxofre elementar não foi eficiente em disponibilizar S para a cultura. No entanto, dentro do cenário atual, com o surgimento de novos cultivares, com alta produtividade, com ciclo relativamente mais curto, associado aos teores de S no solo mais baixo existe uma probabilidade de respostas ao uso do nutriente.

2.4 Nitrogênio na semeadura da cultura da soja

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é muito exigente em nitrogênio (N), o qual se constitui o elemento mineral requerido em maior quantidade pela cultura (EMBRAPA, 2001). Quantidades médias de 80 kg ha⁻¹ de N são requeridas para a produção de uma tonelada de soja em grãos, em que aproximadamente 50 kg ha⁻¹ são alocados para os grãos e 30 kg ha⁻¹ ficam nos restos culturais (HUNGRIA et al., 2001). No solo, a matéria orgânica é a principal fonte de N para as culturas, contendo em média 5% de N, constituindo um reservatório de nutrientes para as plantas (PETTER et al., 2012). De acordo com Hungria et al. (2007), os solos brasileiros, em geral, são muito pobres em N, sendo capazes de fornecer, em média, apenas 10 a 15 kg de N ha⁻¹. A capacidade de suprimento de nitrogênio pelo solo é diretamente proporcional à presença de matéria orgânica (CANTARELLA, 2007).

Dentre todos os nutrientes exigidos pela cultura, o nitrogênio (N) merece destaque pelo fato da soja obter a maior parte do que necessita por meio da sua associação simbiótica com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum*, sendo capaz de formar uma estrutura especializada (nódulo) nas raízes, onde capta o nitrogênio atmosférico que, após a sua transformação é utilizado pela planta (CAMPO & HUNGRIA, 2002). Em troca, a planta fornece à bactéria energia obtida através da fotossíntese, formando assim, uma perfeita associação, onde planta e bactéria são mutuamente favorecidas.

Dentre as mudanças atuais, em se tratando de novos cultivares, mais precoces, aliados a solos mais pobres em matéria orgânica e situações de deficiência hídrica, existe a possibilidade de haver incrementos na produtividade da

soja, quando trabalhamos com doses médias de N na semeadura. Apesar de diversos trabalhos comprovarem que a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é suficiente para suprir a demanda da cultura em N, ainda persistem situações em que se aplica este nutriente na adubação de base, com o objetivo de promover um “arranque” na cultura, até que a fixação torne-se eficiente. Seja por questões culturais ou econômicas, alguns produtores utilizam N mineral na semeadura da cultura referindo-se a pequenas doses de N junto com a adubação fosfatada e potássica na semeadura (ROCKEMBACH, 2005).

A utilização de adubação de “arranque” com nitrogênio na semeadura da soja surgiu como relatam MENDES; HUNGRIA (2000), para superar possíveis problemas com imobilização e competição com ervas daninhas no período inicial da cultura. Todavia, a adubação nitrogenada de plantio pode inviabilizar, economicamente, a cultura, sendo muitas vezes, prejudicial à fixação simbiótica do nitrogênio. A adubação mineral nitrogenada na soja requer cuidados especiais visando não prejudicar a fixação biológica de nitrogênio (THOMAS & COSTA, 2010). A recomendação é que não sejam aplicados mais do que 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura (REUNIÃO..., 2012).

Mesmo na presença de adequada inoculação, Vasconcelos et al. (1978), evidenciaram a importância do suprimento de N no solo para o crescimento inicial da soja. A aplicação de até 40 kg de N ha⁻¹ na semeadura da soja não afetou a nodulação e a produtividade da cultura (ROCKEMBACH, 2005). As condições sazonais são fatores importantes para o controle das respostas ao N e seu efeito não é tão simplesmente compreendido. Hinson (1974) relatou que, respostas ocasionais a fertilizantes nitrogenados em soja, não devem ser consideradas como regra geral. Para Vargas et al. (1982), não há evidências de benefícios da adubação nitrogenada para a cultura da soja cultivada em solos de cerrados, com exceção nos casos em que não ocorra nodulação.

A maioria dos trabalhos envolvendo adubação nitrogenada na cultura da soja foi realizada em boas condições de cultivo, porém, quando se tem algum fator diferenciado como época de semeadura tardia, cultivares de ciclo muito curto, temperaturas baixas, estresse hídrico, entre outros, podem fazer com que a adubação nitrogenada possa ter efeito positivo sobre a produtividade, já que a FBN não inicia junto com a emergência, demorando alguns dias até ocorrer a simbiose e o desenvolvimento dos nódulos (UHRY 2010).

A aplicação de nitrogênio na chamada adubação de arranque mostrou seu efeito significativo sobre a altura das plantas, o mesmo não ocorrendo com os demais parâmetros avaliados (PEREIRA et al, 2010). Portanto, mesmo as plantas crescendo mais, não houve acréscimo na produtividade das mesmas, o que levaria a inferir que a adubação nitrogenada no plantio não se justificaria. Quando o suprimento se dá em quantidade excedente às necessidades para o crescimento das plantas, pode haver interferência do N na eficiência da fixação simbiótica (WEBER, 1966).

A utilização de doses de N na semeadura da soja acelera a produção de raízes. Em lavouras de campo nativo sugere-se aplicar até 30 kg de N na semeadura para suprir as necessidades da planta e dos microrganismos decompositores de palha e raízes (GASSEN, 2002). Segundo Aratani (2008), a adubação nitrogenada na cultura da soja, independente da época de aplicação, não proporciona aumento de produtividade em relação ao tratamento sem N. Bergamin et al. (2007), afirmam que o nitrogênio na forma mineral aplicado no sulco de semeadura não contribui para o aumento significativo da produtividade da cultura da soja, além de prejudicar a nodulação e o processo de fixação biológica de nitrogênio, podendo inclusive causar redução na produtividade e aumentar os custos de produção.

Em trabalho de Osborne & Riedell (2006) com experimentos realizados em Dakota (EUA), trabalhou com doses de 0, 8, 16, e 24 kg de N aplicados na semeadura de soja precoce durante 3 safras (2002, 2003 e 2004) e, observou que a dose de 16 kg de N ha⁻¹ elevou a produtividade média de grãos em 6%. Já doses mais elevadas (próximo a 25 kg de N ha⁻¹) reduziram a produtividade. Crispino et al. (2001), também relata que doses acima de 30 kg de N ha⁻¹ não resultam em incremento na produtividade, podendo até reduzir drasticamente esta variável.

Com base no exposto, percebe-se claramente que, fertilizantes que contemplem os aspectos citados, possibilitando o incremento de S, N na semeadura, parcelamento do K, assim como P mais eficiente tendem a um provável resultado superior em produtividade e qualidade, garantindo que o manejo da adubação com ferramentas de Agricultura de Precisão seja mais eficiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e solo

O trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em uma área manejada no sistema plantio direto, localizada na área experimental do Convênio FUNDACEP/CCGL e UNICRUZ (Universidade de Cruz Alta), situada na Rodovia Jacob Della Méa, S/N Parada Benito, município de Cruz Alta, RS. O clima dominante é do tipo Cfa 1 da Classificação de Koeppen (MORENO, 1961). A temperatura média anual é de 18°C e a precipitação normal é de 1700 mm, apresentando períodos de deficiência hídrica durante o verão. Coordenadas do local Latitude 28° 34' 04,80"S e longitude 53°27' 20,27" W.

O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2013), pertencente à Unidade de Mapeamento de Passo Fundo (BRASIL, 1973). As características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, para a caracterização da condição inicial da área experimental, são apresentadas na Tabela 1. As amostragens foram realizadas com a ferramenta pá de corte de acordo com as recomendações (COMISSÃO..., 2004).

Tabela 1 – Características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, na condição inicial da área experimental. Cruz Alta, RS. 2013.

Camada	Argila	pH	Índice	P ¹	K ²	MO ³	Al ⁴	Ca ⁵	Mg ⁶	CTC ⁷	S ⁸	Zn ⁹	Cu ¹⁰	Mn ¹¹	B ¹²
Cm	%	H ₂ O	SMP	. mg dm ⁻³.	%	.....	.....	cmol _c dm ⁻³	.....	.....	.....	mg dm ⁻³	.....	.....	.....
0 a 20	46	5,3	6,0	6,6	190	3,2	0,2	5,5	1,2	11,6	8,6	5,3	8,8	106	0,6
20 a 40	54	5,4	6,0	1,4	44	1,8	0,2	5,0	1,1	10,6	7,4	2,3	9,9	63	0,5

¹ Fósforo; ² Potássio; ³ Matéria Orgânica; ⁴ Alumínio; ⁵ Cálcio; ⁶ Magnésio; ⁷ Capacidade Troca Cátions; ⁸ Enxofre; ⁹ Zinco; ¹⁰ Cobre; ¹¹ Manganês; ¹² Boro.

3.2 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de quatro diferentes fontes de fertilizantes e duas estratégias de aplicação. A descrição dos tratamentos encontra-se na Tabela 2, e na Tabela 3 as doses de nutrientes aplicados em cada tratamento, as quais foram definidas com base em uma alta expectativa de produtividade de grãos numa rede de pesquisas na região sul.

O delineamento experimental foi o bi-fatorial em blocos ao acaso com 4 repetições. As parcelas foram constituídas por 7 fileiras espaçadas de 0,50m e com comprimento de 10 metros (35 m²).

Tabela 2 – Descrição das diferentes fontes que compõem os tratamentos aplicados na linha de semeadura e a lanço. Cruz Alta, RS. 2013.

Tratamento	Estratégia Aplicação	09.46.00 ⁽¹⁾	07.34.12 ⁽¹⁾	MAP ⁽²⁾	00.20.20	KCl ⁽³⁾
		kg ha ⁻¹				
1	Linha	200				153
2	Linha		249			104
3	Linha			170		153
4	Linha				460	0
5	Lanço	200				153
6	Lanço		249			104
7	Lanço			170		153
8	Lanço				460	0

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio; ⁽³⁾ Cloreto de Potássio.

Tabela 3 – Doses de nutrientes aplicados em cada tratamento.

Tratamentos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O plantio	K ₂ O cobertura	K ₂ O total	Enxofre
1 e 5	18	92	0	92	92	18
2 e 6	17,4	92	29,88	62,12	92	17,43
3 e 7	17	92	0	92	92	0
4 e 8	0	92	92	0	92	18,4

As garantias químicas dos fertilizantes utilizados são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Garantias químicas das fontes de fertilizantes. Cruz Alta, RS. 2013.

Fonte Fertilizante	Nitrogênio	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potássio (K ₂ O)	Cálcio (Ca)	Enxofre (S)
 %				
S9 09.46.00 ⁽¹⁾	09	46	--	--	9
S9 07.34.12 ⁽¹⁾	07	34	12	2	7
MAP ⁽²⁾	10	54	--	--	--
NPK 00-20-20	--	20	20	10	4
KCl ⁽³⁾	--	--	60	--	--

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio; ⁽³⁾ Cloreto de Potássio. Fonte Mosaic Fert.

3.3 Instalação e condução do experimento

O trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, com a cultura da soja, sob condições não irrigadas. A precipitação pluviométrica, diária e acumulada, ocorrida no período experimental é apresentada na Figura 1. A área foi utilizada com a cultura do trigo em semeadura direta no período de inverno de 2012 e 2013. Imediatamente antes da semeadura da soja, a área foi dessecada utilizando-se o herbicida Glyphosate na dose de 1440 g i.a.ha⁻¹ (3,0 L ha⁻¹ do produto comercial).

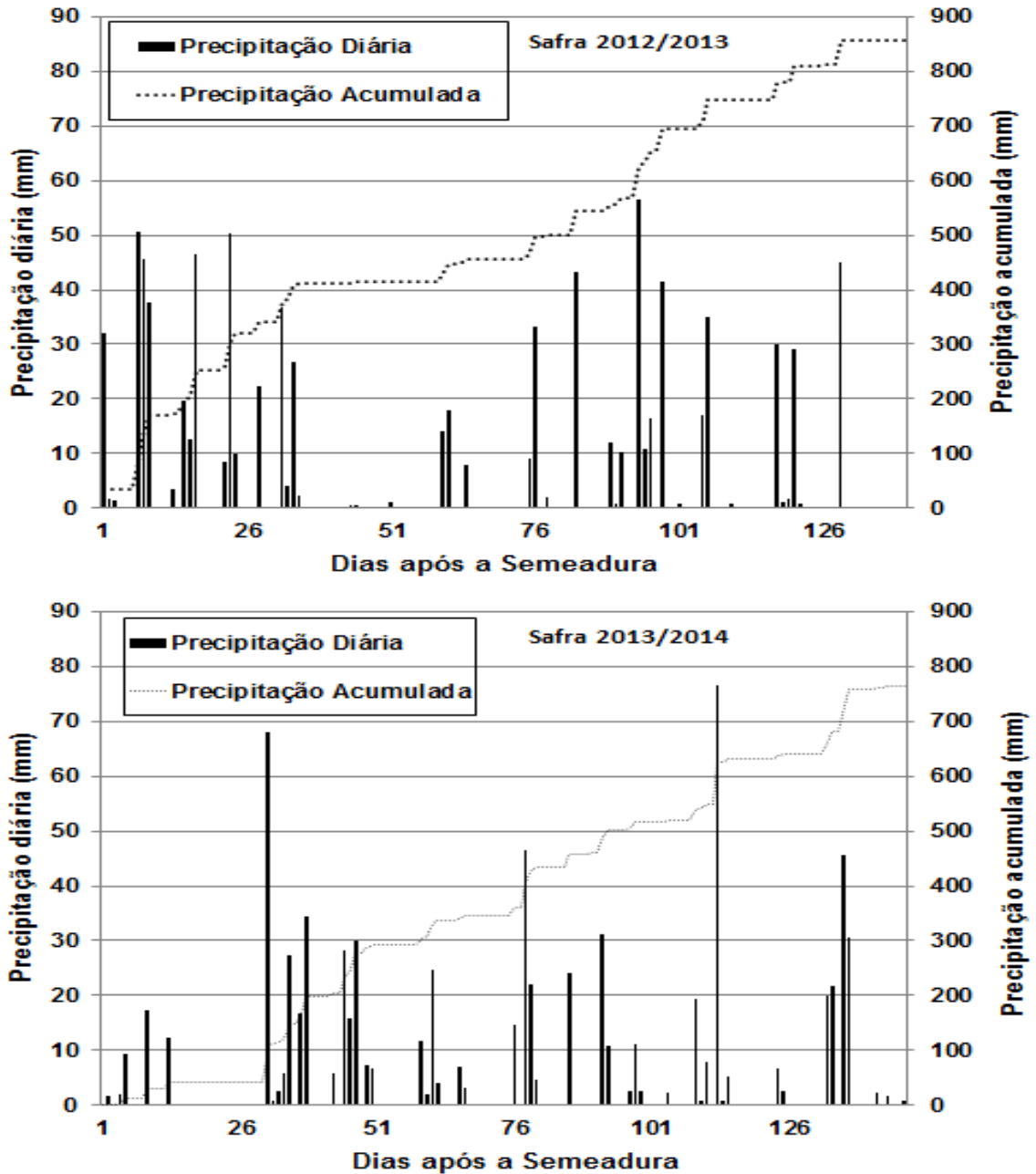


Figura 1 – Precipitação pluviométrica diária e acumulada no período experimental nas safras 2012/2013 e 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.

A sementeira da cultura da soja realizou-se em 27 de novembro de 2012 e 04 de dezembro de 2013. Utilizou-se a cultivar FUNDACEP 61RR e TEC 5936 IPRO, com densidade de 14 sementes aptas por metro linear. Aplicou-se inoculante líquido, 1 dose de 100 mL por 40 kg de semente, de forma semelhante em todos os tratamentos.

A forma de aplicação dos tratamentos na linha foi realizada no momento da semeadura, regulando a semeadora em cada fonte objetivando atingir a dose desejada. A respectiva aplicação dos tratamentos a lanço, foi realizada manualmente, aplicando em cada fonte a quantidade correspondente à área da parcela, em superfície, imediatamente antes da semeadura. Em todos os tratamentos que receberam cloreto de potássio (KCl), nas quantidades descritas no Tabela 2, foi aplicado de forma manual na área correspondente a cada parcela, a lanço, imediatamente, antes da semeadura.

No tratamento de sementes com inseticida e fungicida, utilizou-se Standak Top (Piraclostrobina+Tiofanato Metílico+Fipronil) na dose de 200 mL/100 kg semente. O controle de plantas daninhas foi realizado aproximadamente 30 e 45 dias após a emergência, utilizando-se o herbicida Glyphosate na dose de 960 g i.a.ha⁻¹ (2,0 l ha⁻¹ do produto Roundup Original). No controle da lagarta e percevejos foram utilizadas 2 e 5 aplicações, respectivamente, dos inseticidas Dimilin (Diflubenzuron) e Engeo Pleno (Tiametoxam+Lambdacialotrina), nas doses de 60 g ha⁻¹ e 300 ml ha⁻¹ de produto comercial. O controle de doenças na parte aérea foi realizado utilizando-se de 02 aplicações do fungicida Fox (Trifloxistrobina+Protioconazol), intercalado com 02 aplicações do fungicida PrioriXtra (Azoxistrobina+Ciproconazol) e 01 aplicação do fungicida Opera (Piraclostrobina+Epoxiconazole), nas doses de 400, 350 e 500 mL ha⁻¹ do produto comercial, respectivamente.

Na aplicação dos produtos fitossanitários, via foliar, foi utilizado pulverizador costal, com um volume de calda de 100 L ha⁻¹. Os demais tratamentos culturais foram realizados segundo as Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e, em Santa Catarina 2012/2013 e 2013/2014 (REUNIÃO..., 2012), respeitando as condições descritas nos tratamentos.

3.4 Avaliações e análise estatística

Realizou-se no estádio R2 (florescimento pleno) a análise de tecido foliar, coletando o 3º trifólio na haste principal de cima para baixo, em 30 plantas por parcela, visando à determinação de teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio,

magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995). A avaliação da produtividade de grãos da soja foi realizada colhendo-se uma área útil de 5 linhas de 5,0 metros de comprimento em cada parcela (12,5 m²), expressando em kg ha⁻¹ a 13% de umidade. Amostras de sementes de cada parcela colhida de soja foram submetidas à análise de peso de 100 sementes, seguindo metodologia específica (BRASIL, 1992).

Para a caracterização do efeito residual dos tratamentos, após a colheita da soja, realizou-se a coleta de amostra de solo na camada 0 a 20 cm de profundidade, compostas de 4 sub-amostras por parcela. A amostragem foi realizada com pá de corte, utilizando-se em cada ponto de uma trincheira transversal a linha de semeadura, do centro de uma entrelinha ao centro da outra entrelinha. A análise aconteceu conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995).

Os resultados foram submetidos à análise da variância e quando os valores de F (Tratamento) foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, submeteu-se ao Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), usando o pacote estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Soja 2012/2013 (1º cultivo)

Os resultados de produtividade de grãos, massa de 100 sementes, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na soja 2012/2013, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}), peso de 100 sementes (PCS), teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.

Fonte de Fertilizante	Estratégia Aplicação	Produti-vidade	PCS g	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
				----- % -----						----- mg kg^{-1} -----				
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Linha	2465	16,9	3,6	0,26	2,4	1,04	0,31	0,20	8	32	131	59	67
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Linha	2415	16,9	3,6	0,25	2,5	1,05	0,30	0,19	7	30	123	57	67
3. MAP ⁽²⁾	Linha	2407	17,3	3,6	0,25	2,2	1,10	0,31	0,20	8	34	131	67	67
4. NPK 00-20-20	Linha	1984	16,7	3,8	0,27	2,2	1,18	0,33	0,22	8	37	140	72	68
5. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Lanço	2267	16,3	3,9	0,25	2,4	1,09	0,31	0,21	8	33	140	61	71
6. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Lanço	2313	17,1	3,8	0,24	2,2	1,08	0,30	0,20	8	33	134	71	68
7. MAP ⁽²⁾	Lanço	2192	16,8	3,9	0,24	2,2	1,10	0,31	0,21	8	36	122	77	68
8. NPK 00-20-20	Lanço	2044	16,3	3,9	0,25	2,2	1,09	0,31	0,22	8	37	135	72	69
Média		2261	16,8	3,7	0,25	2,3	1,09	0,31	0,20	8	34	132	67	68
F Tratamento (Fertilizante)		8,90 *	1,38 ns	0,40 ns	1,03 ns	1,45 ns	0,60 ns	1,85 ns	3,81 *	2,59 ns	1,23 ns	2,55 ns	1,42 ns	0,33 ns
F Tratamento (Estratég. Aplicação)		4,11 ns	1,99 ns	7,84 *	2,46 ns	1,59 ns	0,01 ns	1,98 ns	1,10 ns	0,12 ns	0,79 ns	0,52 ns	3,81 ns	1,78 ns
F Interação (Fertiliz. x Estr. Aplic.)		1,26 ns	0,46 ns	0,41 ns	0,26 ns	0,82 ns	0,54 ns	0,39 ns	0,70 ns	1,35 ns	0,33 ns	2,56 ns	0,83 ns	0,44 ns

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

* – significativo ao nível de 5% de probabilidade

A produtividade média de grãos de soja foi de 2261 kg ha⁻¹. Considerando as condições do ano agrícola, houve um período de déficit hídrico sem ocorrência de precipitação. É provável que esta situação tenha limitado a expressão do potencial produtivo da cultura. Nas condições deste estudo, não houve interação significativa entre os fatores estudados. Isto mostra que o comportamento das diferentes fontes de fertilizantes é semelhante nas duas estratégias de aplicação da adubação.

Observa-se que houve efeito significativo das fontes de fertilizantes na produtividade de grãos e no teor de enxofre foliar das estratégias de aplicação no teor de nitrogênio no tecido foliar (Tabela 5). Nos demais atributos não houve diferença estatística significativa.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de produtividade de grãos de soja, objetivando avaliar os efeitos dos fatores estudados, através do comportamento das diferentes fontes de fertilizantes nas duas estratégias de aplicação. Na média das estratégias de aplicação, as maiores produtividades de soja estão associadas à utilização de MicroEssentials S9 (T1 e T2) que não diferiu, estatisticamente, da utilização do Fosfato Monoamônio (T3). As menores produtividades de grãos de soja estão associadas à utilização da Fórmula 00-20-20 (T4), estatisticamente inferior às demais fontes fertilizantes.

Tabela 6 – Produtividade de grãos em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.

Fontes de Fertilizante	Estratégia de Aplicação		
	Linha	Lanço	Média
		kg há ⁻¹	
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	2465	2267	2366 a
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	2415	2313	2364 a
3. MAP ⁽²⁾	2407	2192	2300 a
4. NPK 00-20-20	1984	2044	2014 b
Média	2318	2204 ns	

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott (P<0,05)

Considerando a média das fontes de fertilizantes, embora a aplicação na linha de semeadura apresentasse uma tendência de superioridade, mostrou-se estatisticamente semelhante à aplicação a lanço (Tabela 6).

Várias pesquisas com adubação fosfatada em solos com teores médios de P, semelhantes à condição desta pesquisa, mostram que a aplicação na linha de semeadura foi mais eficiente na produtividade (PRADO et al., 2001; MOTERLE et al., 2009; POTTKER, 1999). Entretanto, devido à variabilidade dos produtos das reações do P no solo (HEDLEY & MCLAUGHLIN, 2005), diferentes fontes fosfatadas solúveis poderiam apresentar diferentes eficiências (CHIEN et al., 2011). Motomiya et al. (2004), sugerem que a fonte utilizada possa influenciar na eficiência da fertilização, apresentando resultados distintos, dependendo da fonte e manejo adotados. Neste sentido, alguns pesquisadores têm sugerido que a nitrificação do $\text{NH}_4^+\text{-N}$, presente em fontes como o MAP e DAP, para $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (acarretando na diminuição do pH em volta do grânulo fertilizante no solo) e a absorção de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (a qual aumenta a acidez da rizosfera) poderia aumentar a dissolução de precipitados compostos Ca-P (CHIEN et al., 2011), desta forma, aumentando a disponibilidade de P às plantas e conseqüente aumento da eficiência fertilizante. Avaliando a eficiência agrônômica de diferentes fontes fosfatadas solúveis em um Argissolo Bruno-Acinzentado no RS, aplicadas a lanço e na linha de semeadura sob plantio direto, Hansel (2013), observou que as fontes fertilizantes consideradas de alta solubilidade, entre as quais, as fórmulas da linha S9, apresentaram maior produtividade de soja, em especial, no manejo a lanço.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos teores de nitrogênio e enxofre foliar, objetivando avaliar os efeitos dos fatores estudados, através do comportamento das diferentes fontes de fertilizantes nas duas estratégias de aplicação. Na média das fontes de fertilizantes, os maiores teores de nitrogênio foliar são observados na estratégia a lanço (Tabela 7). Este comportamento pode estar associado, provavelmente, à utilização das fontes de fertilizantes da linha MicroEssentials S9 (09.46.00 e 07-34-12) e Fosfato Monoamônio, que pela maior eficiência, promoveram um maior crescimento vegetativo e produtividade da soja (Tabela 6), induzindo um efeito de diluição e, conseqüentemente, resultando em menores teores de nitrogênio no tecido vegetal. Isso pode ser corroborado pelo maior teor de nitrogênio foliar, embora não significativo, pela utilização da Fórmula NPK 00-20-20, em especial, quando aplicado na linha de semeadura.

Tabela 7 – Teores de nitrogênio e enxofre no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.

Fonte de Fertilizante	Teor de Nitrogênio Foliar (%)			Teor de Enxofre Foliar (%)		
	Estratégia de Aplicação			Estratégia de Aplicação		
	Linha	Lanço	Média	Linha	Lanço	Média
 %					
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	3,58	3,90	3,74 ns	0,198	0,205	0,201 b
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	3,55	3,78	3,66	0,188	0,200	0,194 b
3. MAP ⁽²⁾	3,55	3,90	3,73	0,200	0,210	0,205 b
4. NPK 00-20-20	3,75	3,85	3,80	0,223	0,215	0,219 a
Média	3,61 B	3,86 A		0,202	0,208 ns	

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott (P<0,05)

Com relação aos teores de enxofre foliar, observa-se efeito significativo das diferentes fontes de fertilizantes (Tabela 7). Na média das estratégias de aplicação, percebe-se maior teor de enxofre foliar na utilização da Fórmula 00-20-20. Isto está associado ao fornecimento de 18,4 kg ha⁻¹ de S, na forma de S-SO₄⁻², prontamente disponível para a cultura da soja. É oportuno informar, que a Tecnologia MicroEssentials (T1 e T2) adiciona, respectivamente, 18,0 e 17,4 kg há⁻¹ de S, no entanto, 80% deste, encontram-se na forma elementar. Para que o S elementar possa se tornar disponível para as plantas, ele deve ser oxidado a S-SO₄⁻² (JANZEN & BETTANY, 1987), que é a forma que as plantas absorvem este nutriente. A oxidação do S elementar é catalisada por enzimas produzidas, principalmente, por microrganismos do gênero Thiobacillus presentes no solo (HOROWITZ & MEURER, 2006). Isto demanda um período de tempo, o que tornou, provavelmente, o enxofre aplicado na forma elementar ainda não totalmente disponível para este cultivo.

Os resultados de análise de solo, amostrado na camada de 0 a 20, após a colheita da soja 2012/2013 são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados de análise de solo em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação, amostrados na camada de 0 a 20 cm, após a colheita da soja 2012/2013. Cruz Alta, RS. 2013.

Fonte de Fertilizante	Estratégia Aplicação	pH	Índice	P ³	K ⁴	MO ⁵	Al ⁶	Ca ⁷	Mg ⁸	CTC ⁹	S ¹⁰	Zn ¹¹	Cu ¹²	Mn ¹³	B ¹⁴
		H ₂ O	SMP	.. mg dm ⁻³ ..	%	..... cmol _c dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Linha	5,3	5,9	10,5	224	2,7	0,2	4,8	1,2	11,7	9,6	5,7	8,2	133	0,4
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Linha	5,3	5,9	10,1	215	2,6	0,2	4,8	1,3	11,9	9,1	5,3	9,6	117	0,4
3. MAP ⁽²⁾	Linha	5,3	5,9	10,6	162	2,6	0,2	4,7	1,3	11,4	7,7	4,7	9,2	112	0,4
4. NPK 00-20-20	Linha	5,2	5,8	11,8	160	2,7	0,2	4,8	1,3	11,8	9,6	4,9	8,4	114	0,3
5. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Lanço	5,4	5,9	10,2	243	2,8	0,2	4,9	1,3	11,8	8,9	4,9	8,8	121	0,4
6. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Lanço	5,3	5,8	11,4	218	2,7	0,2	4,9	1,3	12,2	8,5	5,5	9,6	126	0,4
7. MAP ⁽²⁾	Lanço	5,2	5,8	12,5	153	2,6	0,3	4,3	1,2	11,7	9,1	4,6	8,8	118	0,4
8. NPK 00-20-20	Lanço	5,3	5,8	11,9	176	2,7	0,3	4,6	1,2	11,9	9,5	4,6	9,0	125	0,3
Média		5,3	5,8	11,1	194	2,7	0,2	4,7	1,3	11,8	9,0	5,0	9,0	121	0,4
F Tratamento (Fertilizante)		1,60ns	1,70ns	1,70ns	1,89ns	0,75ns	1,75ns	0,80ns	0,49ns	1,14ns	1,08ns	1,33ns	2,84ns	0,55ns	1,45ns
F Tratamento (Estratég. Aplicação)		0,05ns	3,02ns	2,04ns	0,16ns	0,35ns	1,44ns	0,17ns	0,72ns	0,86ns	0,01ns	0,54ns	0,49ns	0,22ns	0,01ns
F Interação (Fertiliz. x Estr. Aplic.)		1,46ns	2,03ns	0,90ns	0,14ns	0,04ns	1,44ns	0,49ns	1,50ns	0,13ns	0,97ns	0,37ns	0,77ns	0,66ns	0,01ns

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio. ³ Fósforo; ⁴ Potássio; ⁵ Matéria Orgânica; ⁶ Alumínio; ⁷ Cálcio; ⁸ Magnésio; ⁹ Capacidade Troca Cátions; ¹⁰ Enxofre; ¹¹ Zinco; ¹² Cobre; ¹³ Manganês; ¹⁴ Boro.
ns – não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

Não houve efeito residual significativo dos tratamentos aplicados nos atributos relacionados à fertilidade do solo. É oportuno relatar que a área experimental, pelo seu histórico de fertilidade, associado às quantidades de nutrientes aplicados nesse 1º cultivo e exportados através dos grãos, não foi suficiente para interferir, de maneira significativa, nesses atributos. Nesse sentido, é provável que, ao longo da sucessão de cultivos estes efeitos se mostram mais pronunciados.

4.2 Soja 2013/2014 (2º cultivo)

Os resultados de produtividade de grãos, massa de 100 sementes, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na soja 2013/2014, são apresentados na Tabela 9.

A produtividade média de grãos de soja foi de 2997 kg ha⁻¹, considerada ótima para as condições do ano agrícola. Observa-se que houve efeito significativo das fontes de fertilizantes na produtividade de grãos de soja e peso de 100 sementes (Tabela 9). No entanto, nos demais parâmetros analisados não houve diferença estatística significativa.

Nas condições deste estudo, houve interação significativa dos fatores estudados na produtividade de grãos, indicando que o comportamento das fontes de fertilizantes responde diferentemente nas duas estratégias de aplicação da adubação. Este comportamento das diferentes estratégias de aplicação e as fontes de fertilizantes, incluindo misturas e matérias-primas das linhas MicroEssentials, sobre a produtividade de grãos de soja, pode ser melhor visualizado na Tabela 10, que apresenta o desdobramento do efeito da interação dos fatores estudados. Observa-se efeito significativo às diferentes fontes de fertilizantes somente quando aplicado na linha de semeadura. A maior produtividade de soja está associada à utilização da fórmula S9 07-34-12 (T2) na linha de semeadura. Nesta fórmula, a dose utilizada fornece quantidade de nutrientes diferenciada, em especial, quanto ao K, com aproximadamente 30 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de semeadura. O comportamento de superioridade do MicroEssentials, quando associado ao uso de quantidade mínima de K na linha de semeadura (S9 07-34-12), também tem se

verificado em algumas situações em nível de produtor. É provável que isto esteja associado à dinâmica do K, em especial, em anos com certa limitação de disponibilidade hídrica na fase do desenvolvimento inicial da soja. Este enfoque é amplamente discutido por ESCOSTEGUY (2012), que aborda a ocorrência frequente de sintomas visuais de deficiência de K em lavouras no plantio direto, na região do Planalto do RS, na fase inicial do desenvolvimento da soja.

A menor produtividade de grãos está associada à utilização da Fórmula 00-20-20 (T4), aplicada na linha de adubação sendo, estatisticamente inferiores aos demais tratamentos (Tabela 10). As fontes fertilizantes constituídas de MicroEssentials puro (S9 09.46.00) Fosfato Monoamônio (MAP) quando aplicados na linha, mostram respostas intermediárias na produtividade de grãos. No entanto, quando a aplicação foi realizada a lanço, não foram observados efeitos significativos com as diferentes fontes de fertilizantes utilizados.

Tabela 9 – Resultados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}), peso de 100 sementes (PCS), teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.

Fonte de Fertilizante	Estratégia Aplicação	Produti-vidade	PCS g	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
				----- % -----						----- mg kg^{-1} -----				
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Linha	3094	17,7	5,0	0,40	2,6	0,98	0,34	0,25	9	57	110	72	73
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Linha	3276	17,5	5,2	0,39	2,6	1,00	0,36	0,24	9	55	116	72	77
3. MAP ⁽²⁾	Linha	2993	17,7	5,0	0,38	2,3	0,96	0,37	0,24	9	60	123	82	91
4. NPK 00-20-20	Linha	2759	16,9	5,0	0,41	2,5	1,10	0,38	0,23	9	62	126	96	72
5. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Lanço	3022	17,9	4,9	0,41	2,4	0,99	0,35	0,28	9	62	126	81	78
6. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Lanço	3050	17,4	4,8	0,38	2,5	1,02	0,36	0,23	8	54	114	73	77
7. MAP ⁽²⁾	Lanço	2933	17,8	5,1	0,41	2,5	0,99	0,36	0,24	9	61	115	86	79
8. NPK 00-20-20	Lanço	2940	17,0	4,8	0,39	2,7	1,03	0,36	0,20	9	58	119	83	74
Média		2949	17,4	4,9	0,40	2,5	1,02	0,36	0,24	9	59	121	83	78
F Tratamento (Fertilizante)		11,47 *	4,05 *	0,15 ns	0,71 ns	0,77 ns	2,08 ns	1,07 ns	2,81 ns	1,26 ns	2,26 ns	0,48 ns	2,63 ns	2,86 ns
F Tratamento (Estratég. Aplicação)		1,26 ns	0,07 ns	1,30 ns	0,04 ns	0,02 ns	0,01 ns	0,30 ns	0,01 ns	0,51 ns	0,04 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,20 ns
F Interação (Fertiliz. x Estr. Aplic.)		4,55 *	0,06 ns	0,51 ns	0,91 ns	0,72 ns	0,60 ns	0,57 ns	1,57 ns	0,21 ns	0,90 ns	1,61 ns	0,94 ns	1,56 ns

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

* – significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10 – Produtividade de grãos e peso de 100 sementes em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação na cultura da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.

Fonte de Fertilizante	Produtividade de Grãos (kg ha ⁻¹)			Peso 100 Sementes (g)		
	Estratégia de Aplicação			Estratégia de Aplicação		
	Linha	Lanço	Média	Linha	Lanço	Média
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	3094 bA	3022 aA	3058	17,73	17,89	17,81 a
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	3276 aA	3050 aA	3163	17,48	17,40	17,44 a
3. MAP ⁽²⁾	2993 bA	2933 aA	2963	17,71	17,81	17,76 a
4. NPK 00-20-20	2753 cB	2940 aA	2847	16,92	16,96	16,94 b
Média	3029	2986 ns		17,46	17,51 ns	

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott (P<0,05)

Este comportamento de superioridade pela utilização dos produtos diferenciados sobre a produtividade de grãos de soja, tanto em mistura a outras matérias-primas (S9 07-34-12) como quando puro (S9 09.46.00), manifesta-se de forma semelhante no peso de 100 sementes (Tabela 10). Os menores valores de peso de 100 sementes de soja são observados quando da utilização da fórmula 00-20-20 (T4), associado também ao efeito salino, devido às altas doses de K na linha de semeadura. Nesta fórmula, a quantidade de K utilizada na linha de semeadura é de, aproximadamente, 92 kg ha⁻¹ de K₂O. Salton et al. (2002) verificou-se uma redução acentuada tanto da parte aérea, quanto no sistema radicular a partir da dose de 30 kg ha⁻¹, na altura das plantas e no comprimento do sistema radicular.

O efeito salino promovido pela aplicação de altas doses de K na linha de semeadura e sua influência sobre o desenvolvimento e produtividade das culturas é amplamente discutido na literatura (SALTON et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007).

Considerando o elevado grau de salinidade do cloreto de K (KCl), principal fonte de K utilizada na agricultura (BEVILAQUA et al., 1996), estratégias de aplicação da adubação potássica mostram-se grande importância no manejo de alta produtividade de grãos das culturas. No entanto, em muitos casos, aplicações a lanço podem não fornecer a quantidade de nutriente necessária ao desenvolvimento inicial das plantas, ao passo que, aplicações na linha, em doses elevadas, podem resultar em danos ao sistema radicular (SALTON et al., 2002). Apesar da resistência

ou tolerância, a salinidade varia com a espécie e cultivo e, com o estágio da planta (BARBER, 1984), a resposta das estratégias de aplicação, tem uma dependência com o teor do nutriente no solo e à condição climática, em especial, quando a semeadura é realizada em condições de baixa umidade do solo (SALTON et al., 2002), e/ou se esta situação persiste durante a fase inicial do desenvolvimento da cultura da soja.

Na soja 2012/2013 não houve diferenciação da linha S9 enquanto produto puro (S9 09.46.00) ou em mistura (S9 07-34-12). A maior eficiência destas fontes de fertilizantes na produtividade deve-se ao efeito combinado da superioridade das fontes de fósforo amoniacais, que também adicionam uma quantidade mínima de N na semeadura, associado às estratégias de aplicação, que minimizam o efeito salino na linha de semeadura, e que podem, quando em misturas com outras matérias-primas (S9 07-34-12), garantirem uma quantidade mínima de K na linha de semeadura. Esta superioridade, também observada em algumas condições em nível de produtor, demonstra que a retirada de toda adubação potássica da linha de semeadura, poderá estimular a ocorrência de sintomas visuais de deficiência de K, especialmente, na fase inicial do desenvolvimento da soja (ESCOSTEGUY, 2012).

Com relação à aplicação de nitrogênio na semeadura, embora tenha sido abordada como positiva por acelerar a produção de raízes e estimular um arranque no desenvolvimento inicial da soja (PEREIRA et al, 2010), até que a fixação torne-se eficiente (ROCKEMBACH, 2005), normalmente não contribui para o aumento significativo da produtividade da cultura da soja (BERGAMIN et al., 2007). No entanto, a adubação mineral nitrogenada na soja requer cuidados especiais visando não prejudicar a fixação biológica de nitrogênio (THOMAS & COSTA, 2010; CAMPOS & HUNGRIA, 2002). A recomendação é que não sejam aplicados mais do que 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura (REUNIÃO..., 2012). Neste sentido, a utilização das linhas MicroEssentials no presente estudo, contemplam este limite de N na semeadura da soja (Tabela 3).

Os resultados das análises de solo em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação, amostrados na camada de 0 a 20 cm, após a colheita da soja 2013/2014 são apresentados na Tabela 11. Houve efeito residual significativo das fontes de fertilizantes utilizadas nos parâmetros relacionados à fertilidade do solo somente para os teores de enxofre. É oportuno relatar que a área experimental, pelo seu histórico de fertilidade, associado às quantidades de

nutrientes aplicados e exportados através dos grãos nos dois cultivos de soja, não foram suficientes para interferir de maneira significativa nos outros atributos do solo.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados dos teores de enxofre no solo, objetivando avaliar os efeitos dos fatores estudados, através do comportamento das diferentes fontes de fertilizantes nas duas estratégias de aplicação. Na média das estratégias de aplicação, os maiores teores de enxofre são observados nas linhas diferenciadas, tanto em mistura a outras matérias-primas (S9 07-34-12) como quando puro (S9 09.46.00), e na fórmula 00-20-20 (T4). Este comportamento sobre os teores de enxofre no solo, provavelmente esteja associado às doses de enxofre aplicadas junto às fórmulas (S9 09.46.00 e S9 07-34-12), Fosfato Monoamônio e Fórmula 00-20-20, acumulados nos dois cultivos, que foram, respectivamente, 36,0; 34,86; zero; 36,8 kg ha⁻¹ de enxofre. Convém ressaltar que, os teores de enxofre no solo, na condição inicial e, após a colheita da soja, em ambas as safras, situam-se próximo e/ou abaixo do teor crítico de enxofre no solo adotado no RS e SC, equivalente a 10 mg dm⁻³ (COMISSÃO..., 2004). Isso pode estar associada à utilização frequente de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre e às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vêm sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos (SILVA et al., 2013).

Tabela 11 – Resultados de análise de solo em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação, amostrados na camada de 0 a 20 cm, após a colheita da soja 2013/2014. Cruz Alta, RS. 2014.

Fonte de Fertilizante	Estratégia Aplicação	pH	Índice	P ³	K ⁴	MO ⁵	Al ⁶	Ca ⁷	Mg ⁸	CTC ⁹	S ¹⁰	Zn ¹¹	Cu ¹²	Mn ¹³	B ¹⁴
		H ₂ O	SMP	.. mg dm ⁻³ ..	%	..... cmol _c dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Linha	5,3	5,8	8,0	212	2,8	0,3	4,9	1,4	12,3	10,1	4,2	8,8	123	0,5
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Linha	5,3	5,8	7,8	179	2,9	0,3	5,0	1,4	12,3	9,5	4,6	9,2	121	0,6
3. MAP ⁽²⁾	Linha	5,3	5,8	7,1	201	2,7	0,3	4,5	1,5	12,3	7,3	4,0	8,6	119	0,5
4. NPK 00-20-20	Linha	5,3	5,9	8,3	167	2,7	0,4	4,3	1,4	11,3	9,6	3,7	9,0	115	0,5
5. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	Lanço	5,3	5,8	7,7	213	2,9	0,3	4,9	1,4	12,4	8,0	4,8	9,3	107	0,6
6. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	Lanço	5,3	5,8	8,5	184	3,0	0,4	4,5	1,4	11,9	8,6	4,8	9,8	131	0,5
7. MAP ⁽²⁾	Lanço	5,2	5,8	8,0	168	2,7	0,4	4,4	1,4	12,1	7,0	3,7	8,7	133	0,5
8. NPK 00-20-20	Lanço	5,3	5,8	7,7	208	2,7	0,4	4,4	1,4	11,8	10,3	4,0	9,5	125	0,6
Média		5,3	5,8	7,9	191	2,8	0,3	4,6	1,4	12,0	8,8	4,2	9,1	121	0,5
F Tratamento (Fertilizante)		1,40ns	0,94ns	0,63ns	0,89ns	1,29ns	0,55ns	2,23ns	0,41ns	1,64ns	5,96 *	2,24ns	1,06ns	0,67ns	0,44ns
F Tratamento (Estratég. Aplicação)		0,01ns	0,15ns	0,19ns	0,06ns	0,18ns	1,58ns	0,29ns	0,41ns	0,01ns	1,69ns	0,25ns	1,37ns	0,55ns	0,84ns
F Interação (Fertiliz. x Estr. Aplic.)		1,02ns	0,15ns	1,39ns	1,02ns	0,01ns	0,38ns	0,62ns	0,32ns	0,65ns	1,54ns	0,39ns	0,10ns	1,16ns	1,53ns

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio. ³ Fósforo; ⁴ Potássio; ⁵ Matéria Orgânica; ⁶ Alumínio; ⁷ Cálcio; ⁸ Magnésio; ⁹ Capacidade Troca Cátions; ¹⁰ Enxofre; ¹¹ Zinco; ¹² Cobre; ¹³ Manganês; ¹⁴ Boro.
ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

As adições de enxofre, através das diferentes fontes fertilizantes têm contemplando somente em parte a demanda do nutriente pela cultura da soja, que é de 15 kg para cada 1.000 kg de grãos produzidos (EMBRAPA, 2001). Desta forma, a utilização da linha S9 que contempla o fornecimento de enxofre, sendo parte na forma de sulfato (SO_4^{-2}) e parte S elementar (S^0), garante o suprimento imediato e residual do nutriente, respectivamente. Essa situação é muito importante, visto que, baseado em diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas em implantação de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, Silva et al. (2013), 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas à aplicação de fertilizantes contendo enxofre.

Tabela 12 – Teores de enxofre no solo amostrados na camada de 0 a 20 cm após a colheita da soja 2013/2014, em resposta às diferentes fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação. Cruz Alta, RS. 2014.

Fonte de Fertilizante	Estratégia de Aplicação		
	Linha	Lanço	Média
	..... mg dm ⁻³		
1. S9 09.46.00 ⁽¹⁾	10,1	8,0	9,0 a
2. S9 07.34.12 ⁽¹⁾	9,5	8,6	9,0 a
3. MAP ⁽²⁾	7,3	7,0	7,1 b
4. NPK 00-20-20	9,6	10,3	10,0 a
Média	9,1	8,5 ns	

⁽¹⁾ MicroEssentials S9; ⁽²⁾ Fosfato Monoamônio.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

5 CONCLUSÃO

- Nas condições do experimento, as maiores produtividades de soja estão associadas à utilização dos fertilizantes S9 07-34-12 e S9 09-46-00, tanto aplicados na linha de semeadura como a lanço. A menor produtividade de grãos de soja está associada à utilização da Fórmula 00-20-20, em especial, quando aplicados na linha de semeadura, provavelmente associado ao efeito salino devido às altas doses de potássio na linha de semeadura;
- Quando aplicados a lanço, não houve resposta de produtividade de grãos entre as fontes de fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRON, V. **Química de solos com carga variável**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 50p.

ALVAREZ, V. H. et al. Enxofre. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:349-353, 1992.

ARATANI, R. G. et al. **Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto**. Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 31-38, Julho/Setembro, 2008.

AZEVEDO, W. R. et al. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 995-1004, 2004.

BARBER, S. A. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL, 1. Belo Horizonte. 1992, **Anais...** Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p. 233-237.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**. Nova York: John Willey & Sons, 1984. 398p.

BASTOS, A. L. **Fluxo difusivo, desenvolvimento de milho e atributos do solo influenciados por doses de fósforo em solos do Estado de Alagoas**. 125f. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Paraíba. 2006.

BERGAMIN, A. C. et al. Resposta de cultivares de soja à inoculação de sementes e adubação nitrogenada em Rolim de Moura – RO. 2007. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais eletrônicos**. Disponível em: www6.ufrgs.br/cbcs/trabalhos/trabalhos/trab_8893-795.pdf.

BEVILAQUA, G. A. P.; BROCH, D. L.; POSSENTI, J. C. & VILLELA, F. A. Posição do fósforo e potássio na adubação da semente e no crescimento de plântulas de milho. **R. Bras. Agroci.**, 2:87-92, 1996.

BORKERT, C. M. et al. Seja doutor da sua soja. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 66, 16 p., jun. 1994.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul**. Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Departamento Nacional de Defesa Vegetal, Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992. 365p.

BRAY, R. H. Anutrient mobility concept of soil-plant relationships. **Soil Sci.**, 78:9-22, 1954.

BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo Vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 2012. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal). Campo Grande, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2012.

BROCH, D. L. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 791-796, jul-set, 2011.

CAMPOS, R. J.; HUNGRIA, M. Soja: importância dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. 2002. **Informações Agrônômicas**, 98: 6-9, 2002. Disponível em: <http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf>. Acesso em 10 jan. 2014.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: SBCS, p. 375-470, 2007.

CARVALHO, M. C. S.; BARBOSA, K. A.; LEANDRO, W. M. Resposta do algodoeiro a doses e modos de aplicação de fósforo em sistemas de plantio direto e convencional no cerrado. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 5., **Anais...** Bahia, agosto, 2005.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 89:229–255, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

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

CRISPINO, C. C. et al. **Adubação nitrogenada na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 6p (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 75).

ELTZ, F. L. F et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologia de produção de soja Região Central do Brasil – 2001/2002**. 267 p. Londrina: Embrapa Soja, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo** – 3. ed. ver. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013, 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

ESCOSTEGUY, P. A. V. Deficiência de potássio em lavouras de soja do Planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo. Ed. 127, Jan-Fev. 2012.

FILHO, B. D. O. et al. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 712-719, mai-jun, 2007.

GASSEN, D. **A necessidade de nitrogênio em soja**. 2002. Disponível em: <http://agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=403>. Acesso em 12 jan. 2014.

GOEDERT, W. J. & SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVA NA AGRICULTURA. 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo, MANAH, 1986. p. 21-53.

GUARESCHI, R. et al. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 769-774, out./dez. 2008.

HANSEL, F. D. **Eficiência de fontes fosfatadas aplicadas a lanço e em linha na cultura da soja manejada sob semeadura direta**. 2013. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

HEDLEY, M.; MCLAUGHLIN, M. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: SIMS, J. T. & SHARPLEY, A. N. (Ed.) **Phosphorus: agriculture and the environment**. Agronomy Monograph no 46, ASA-CSSA-SSSA, Madison, 2005, p. 181–252.

HINSON, K. Nitrogen fertilization of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) in Peninsular Florida. **Soil and Crop Sci. Soc. of Florida**, 24: 97-101, 1974.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 822-828, 2006.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa soja: Embrapa Cerrados, 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. (Circular Técnica, 35).

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 144, n. 2, p. 81-89, 1987.

JOHNSTON, A. M. Fertility issues and long-term no-till. Direct seeding advantage-Reduced Tillage Linkages. **Proceedings of Alberta Reduced**, TL. Alberta, 2002.

JONES, C.; JACOBSEN, J. Plant nutrition and soil fertility. In: **Nutrient Management Module**, n. 2. Nutrient Management a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, 2001. 12p.

KAMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J. G. S. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Eds.) **Temas em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2003. p. 1-54.

KAYER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. **Grass and Forage Science**, v. 60, p. 213-224, 2005.

KETCHESON, W. J. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. **Agron. J.**, 72:540-542, 1980.

LAJTHA, K.; HARRISON, A. F. **Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plants species and communities**. In: TIESSEN, H. (Ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. Chichester: Wiley, 1995. p.139-146.

LASCA, D. H. C. **Amendoim. Manual técnico das culturas**. Campinas, 1986. 298. 518 p.

LEWIS, D. G.; QUIRK, J. P. Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. **Plant and soil**, 1:99-118, 1967.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Ceres, 1989.304p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. 300 Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1982. 59p.

MALAVOLTA, E. **O fósforo na agricultura brasileira**. In: IPT. Tecnologia de fertilizantes fosfatados. São Paulo, p. 189-206, publicação especial, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. **Resposta de soja a adubação nitrogenada na semeadura**. 2000. Disponível em: <http://www.fesbe.org.br/v3/?page=informacoes/ler&tipo=informacao_a&id=18>. Acesso em 10 Jan. 2014.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 165-178.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S.; LEVIEN, S. L. A.; SOUZA, E. R. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 242-249, 2005.

MORAES, G. A. F.; MENEZES, N. L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 219-226, 2003.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

MOSAIC. Disponível em: http://www.mosaicco.com.br/products/micro_essentials.htm
Acesso em: 20 maio de 2014.

MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 256-265, UFC, Fortaleza, CE. 2009.

MOTOMIYA, W. R. et al. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 04, p. 307-312, 2004.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NUNES, R. S. **Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada**. 2010. 88p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2010.

OLIVEIRA, A. P. de et al. Rendimento de feijão-vagem em função de doses de K₂O. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, 2007.

- OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola. 2. ed., 1991. 503p.
- OSBORNE, S. L.; RIEDELL, W. E. Starter Nitrogen Fertilizer Impact on Soybean Yield and Quality in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 1569-1574, 2006.
- OSÓRIO, F. B. D. et al. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37:712-719, 2007.
- PAVINATO, P.; CERETTA, C. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, nov-dez, 2004.
- PEREIRA, V. J. et al. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida à Adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 6, n. 10, p. 3, 2010.
- PETTER, F. A. et al. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 67-72, jan.-mar., 2012.
- PÓTTKER, D. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 32p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 2).
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:83-90, 2001.
- PRIMO, J. P.; SILVA, C. A.; FERNANDES, F. C. Efeito da adubação com enxofre na cultura da soja. **Cascavel**, v. 5, n. 3, p. 74-80, 2012.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira, Piracicaba, 2003. **Anais...** Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 67p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. In: MASCARENHAS, A. A.; TANAKA, R. T.; **Boletim Técnico 100**. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. FUNDAG, 2. ed., p. 202-203, 1996.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (39.:2012:Passo Fundo, RS). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina safras 2012/2013 e 2013/2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142p.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solos provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 6, p. 1053-1059, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

RICHART, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. L.; Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-705, 2006.

ROCKENBACH, A. P.; CAMPOS, B. C. **Influência de diferentes doses de nitrogênio sobre nodulação e produtividade de grãos de soja**. XIII Mostra de iniciação científica da Unicruz, Cruz Alta, RS, 2005.

SALTON, J. C. et al. **Cloreto de Potássio na linha de semeadura pode causar danos à soja**. Comunicado técnico. ISSN 1679-0472. Dourados, MS. Novembro, 2002.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.305).

SILVA, A. N.; FIORIN, J. R.; REBELATO, S. DA S.; NOWICKI, A.; COLLING, A. Diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. **Anais...** SBCS: 28 de julho a 02 de agosto de 2013. Florianópolis, SC.

SILVA, F. A. S. & AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance.** In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, N. M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. (Ed.) **Cultura do algodoeiro.** Piracicaba: Potafos, 1999. p. 57-92.

SOLOMONS, D. et al. Sulphur apéciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and SK-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soils Science**, v. 56, p. 621-634, 2005.

SOUZA, C. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional.** Jaboticabal São Paulo Brasil, 2006.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, planta e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico 5).

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos.** Porto Alegre, Editora Evangraf, 2010, 243 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers.** 4. ed. New York: Macmilillan, 1995.

UHRY, D. **Adubação nitrogenada e densidade de semeadura em soja.** 2010. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Santa Maria, 2010.

VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S.; FUKS, S. D. **Métodos geoestatísticos para análise e avaliação de riscos em Agricultura de Precisão**. In: www.ic.unicamp.br/~cmbm/geoinfo/papers/138ivanluis.pdf. 2003.

VARGAS, M. A. T.; PERES, J. R. R.; SUHET, A. R. Fixação de nitrogênio atmosférico pela soja em solos de cerrado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 94, 1982, p. 20-23.

VASCONCELLOS, C. A.; SANTOS, H. L.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. & PITTA, G. V. E. Doses, modos de aplicação e fontes de fosfatos na produção de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 21:245-254, 1986.

VASCONCELOS, I.; PAIVA, J. B.; FONTANA, J. N. E. Efeito da interação rizóbio - adubação nitrogenada em soja, *Glycine max* (L) Merrill. In: REGO, G. M.; RIBEIRO, Z. M. A.; PINTO, A. A.; KUNIHARA, M. L. **Soja: Resumos Informativos**. Brasília: EMBRAPA/CNPQ, p. 222-223, 1978.

VITTI, G. et al. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 02, p. 225-229, 2007.

WEBER, C. R. Nodulation and non-nodulation soybeans isolines. I Agronomic and chemical attributes. **Agron. J.**, 58:43-46, 1966.