

FERNANDO MARCOS BRIGNOLI

**AVALIAÇÃO DA NODULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA (*Glycine max*)
EM FUNÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DE DIFERENTES DOSES DE CLORETO
DE POTÁSSIO**

Rio do Sul

2016

FERNANDO MARCOS BRIGNOLI

**AVALIAÇÃO DA NODULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA (*Glycine max*)
EM FUNÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DE DIFERENTES DOSES DE CLORETO
DE POTÁSSIO**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Rio do Sul para obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Prof. Fernando F. Dillmann Pajara.

Rio do Sul

2015

FERNANDO MARCOS BRIGNOLI

**AVALIAÇÃO DA NODULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA (*Glycine max*)
EM FUNÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DE DIFERENTES DOSES DE CLORETO
DE POTÁSSIO**

Este Trabalho de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia e aprovado em sua forma final pelo curso de Agronomia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Rio do Sul.

Rio do Sul (SC), 12 de julho de 2016

Prof. e orientador Fernando F. Dillmann Pajara
Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul

BANCA EXAMINADORA

Claudinei Kurtz, Dr.
EPAGRI

Prof. André da Costa, Dr.
Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom de vida que me concedeu e por ter iluminado o meu caminho durante toda essa trajetória.

À minha família, por todo amor, apoio e compreensão.

Aos meus avós paternos (*in memoriam*), por todo carinho e amor concedido.

Aos colegas de curso, André, Alan e Bruna, pela amizade e por toda a ajuda durante a execução do trabalho.

Ao orientador e professor Fernando F. Dillmann Pajara, por todo auxílio, conselhos e ensinamentos passados.

Aos professores do curso, pelos conhecimentos repassados durante a graduação.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram nesse período.

RESUMO

A soja é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, tendo uma importante contribuição para a economia do país. Para que a planta cresça e desenvolva é necessário que um conjunto de fatores contribua no processo. Em termos de fertilidade do solo, vários são os fatores que influenciam o pleno desenvolvimento das plantas. Dentre eles, um bom manejo da fertilidade, iniciado pela correção do solo através da calagem, além de uma adubação mais equilibrada, o que contribuirá tanto para a cultura, como para a sustentabilidade do solo. O trabalho teve como objetivos principais avaliar o efeito do pH do solo e de doses crescentes de cloreto de potássio no desenvolvimento e nodulação da soja. Foi constituído em dois experimentos, o primeiro em relação ao pH do solo, realizado em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, onde solos incubados em vasos com doses equivalentes a 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da quantidade recomendada pelo método oficial foram cultivados com soja. A metodologia de cultivo em vasos foi incapaz de detectar as diferenças significativas de desenvolvimento da soja, porém as maiores médias foram obtidas na faixa de pH entre 5,2 e 6,3, indicando esta como adequada para obter os melhores resultados. O segundo experimento foi realizado à campo em um Cambissolo Háplico delineamento de blocos casualizados, onde foi realizado o cultivo de soja com diferentes doses de cloreto de potássio (0, 25, 50, 75, 100 Kg ha⁻¹ de K₂O) como potenciais causadoras de salinidade. Apesar de não ter ocorrido diferença estatística observou-se a tendência de as maiores doses apresentarem as piores médias, embora não se tenha constatado efeito direto da salinidade. A mineralogia do solo pode ter contribuído para a fixação de potássio, interferindo nos resultados obtidos.

Palavras-chave: Correção do solo. Salinidade. Fixação de K.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da fixação de K em minerais do tipo 2:1.....	15
Figura 2 – Adubação do solo com superfosfato simples e cloreto de potássio	19
Figura 3 – Semeadura da soja nos vasos	19
Figura 4 – Controle de mosca-branca com <i>Beauveria bassiana</i>	20
Figura 5 – Correção do solo e incorporação do calcário no solo.....	21
Figura 6 – Representação da área experimental	22
Figura 7 – Aplicação de fertilizantes no sulco de semeadura.....	22
Figura 8 – Coleta de plantas para análise	23
Figura 9 – Colheita das parcelas do experimento	24
Figura 10 – Desfolhamento causado pelo ataque da ferrugem.....	29
Figura 11 – Formação de uma camada salina na linha de semeadura.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos.....	17
Tabela 2 – Valores de pH em H ₂ O e pH _{SMP} obtidos 90 dias após a incubação	18
Tabela 3 – Valores médios de massa fresca e seca de raízes, nódulos, vagens, parte aérea e número de vagens	26
Tabela 4 – Número de vagens, valores médios de massa fresca de nódulos e vagens, massa seca da parte aérea, de raízes e nódulos e massa de grãos.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CE – Concentrado Emulsionável

DAS – Dias Após a Semeadura

FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio

IFC – Instituto Federal Catarinense

KCl – Cloreto de Potássio

pH – Potencial Hidrogeniônico

PRNT – Poder Relativo de Neutralização Total

UFC – Unidade Formadora de Colônia

® - Marca Registrada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 A CULTURA DA SOJA	12
2.2 IMPORTÂNCIA DA CORREÇÃO DO SOLO NA CULTURA DA SOJA	13
2.3 CLORETO DE POTÁSSIO E SALINIDADE DO SOLO.....	13
2.4 DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO.....	14
3. OBJETIVOS.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 EXPERIMENTO 1: CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO.....	17
4.2 EXPERIMENTO 2: EFEITO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 EXPERIMENTO 1: CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO.....	25
5.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIA DO CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA.....	27
6. CONCLUSÕES	31
EXPERIMENTO 1 - CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO.....	31
EXPERIMENTO 2 - EFEITO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA.....	31
APÊNDICE A - PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA DOSE DE KCl.....	34
ANEXO A - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO	35

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais geralmente são ácidos e apresentam altos teores de alumínio trocável, elemento tóxico para a maioria das plantas, o que acaba prejudicando o desenvolvimento vegetativo e reduzindo os rendimentos, além de afetar os microrganismos do solo.

A cultura da soja é atualmente uma das principais “commodities” que contribuem para a economia brasileira. As altas produtividades atingidas nas mais diversas regiões do país são obtidas devido a uma interação positiva entre os fatores de produção da cultura. Para que a planta possa expressar o seu potencial produtivo é necessário que o manejo do solo seja realizado de maneira correta, o que influenciará na produtividade final.

Entre as principais práticas realizadas para uma melhor adequação do solo ao desenvolvimento da soja e as demais culturas está a correção do pH do solo, feita através da calagem, prática muitas vezes ignorada pelos produtores. A partir dela, as reações químicas do solo como a neutralização do alumínio trocável (tóxico) e o aumento da disponibilidade de nutrientes são melhoradas. Em relação à soja, isso reflete não somente na interação planta-solo, mas também no desenvolvimento e atividade das bactérias fixadoras de nitrogênio, que formam nódulos nas raízes e são sensíveis a níveis de acidez do solo mais elevados.

Além disso, um problema encontrado em muitas lavouras são as doses de fertilizantes aplicadas em excesso na linha de semeadura no solo, seja devido à má regulação da semeadora ou à velocidade de semeadura, provocando perdas na produção. Um dos nutrientes mais requeridos pela soja, principalmente nos estádios iniciais de crescimento, é o potássio (K), fornecido principalmente pelo fertilizante cloreto de potássio (KCl). Este fertilizante apresenta como principal entrave para seu uso o alto índice salino, fazendo com que o mesmo não possa ser fornecido em altas doses, por risco de causar salinidade no solo, ainda que restrita à linha de semeadura, afetando o desenvolvimento das raízes da planta e a nodulação dos organismos fixadores de nitrogênio.

Considerando isso, este trabalho teve o propósito de avaliar o efeito de níveis de acidez do solo e de doses crescentes de KCl no desenvolvimento e nodulação da cultura da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta oleaginosa da família Fabaceae. É originária da China e chegou ao Brasil por volta de 1882, onde foi cultivada primeiramente na Bahia, onde não obteve boa adaptação (SEDIYAMA et al., 2009). Mais tarde foi introduzida em São Paulo por imigrantes japoneses, entretanto foi no Rio Grande do Sul que a soja encontrou condições favoráveis para o seu desenvolvimento.

Como característica geral é uma planta herbácea anual, apresenta caule ereto, ramificado e piloso, com altura variando de 30 a 150 cm. Suas folhas primárias são unifolioladas e as demais trifolioladas. As flores são reunidas em inflorescências curtas de coloração branca, rosada ou violácea que originam vagens oblongas e pilosas, com uma a cinco sementes. As sementes são lisas, ovóides ou globosas, com hilo quase sempre castanho. O sistema radicular é de crescimento pivotante (BIZARRO, 2008).

Devido à sua expansão e consolidação, a sojicultura é atualmente uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, assumindo grande importância na economia por conta de suas múltiplas utilizações, principalmente a produção de óleo para alimentação humana e farelo para fabricação de rações. Além disso, a soja é matéria-prima para a produção de produtos alternativos como o biodiesel, fabricação de lubrificantes, plásticos e outros (SEDIYAMA et al., 2015). Com uma produção de 96,2 milhões de toneladas na safra 2014/2015 e uma área de 32,09 milhões de hectares, atualmente o Brasil ocupa o segundo lugar entre os maiores produtores de soja do mundo (CONAB, 2016).

Para Freitas (2011), os investimentos e avanços no manejo do solo, como correção da acidez, inoculação das sementes para a FBN (fixação biológica de nitrogênio) e a adubação balanceada, permitiram à cultura expressar a sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro.

2.2 IMPORTÂNCIA DA CORREÇÃO DO SOLO NA CULTURA DA SOJA

A limitação do desenvolvimento radicular das plantas muitas vezes está relacionada à quantidade de alumínio trocável e conseqüente aumento da concentração de íons de hidrogênio na solução do solo, comprometendo inclusive a eficiência dos fertilizantes. Como regra, a calagem é a primeira atividade a ser executada no manejo da fertilidade, promovendo diminuição nos teores de alumínio trocável (OLIVEIRA et al., 2008). O termo calagem significa a adição de qualquer composto contendo Ca ou Mg que seja capaz de diminuir a acidez do solo (ROSSA, 2006). Teores elevados de alumínio trocável e íons de hidrogênio afetam negativamente o desenvolvimento das raízes, o crescimento e a infecção radicular pelos rizóbios (SILVA et al., 2002).

Para seu melhor desenvolvimento, a cultura da soja exige correção do solo, não só para diminuição de concentração de alumínio e elevação do pH, mas também para aumentar a disponibilidade de P, Mo, Ca e Mg, essenciais para o crescimento da planta, infecção pelos rizóbios e para a fixação biológica do N₂ (GRAHAM et al., 1982 apud SILVA et al., 2002). Em um experimento avaliando o efeito de diferentes níveis de calagem sobre o crescimento de nódulos de rizóbios na soja, Silva et al. (2002) constataram que a massa de nódulos é menor na ausência de corretivo da acidez quando em comparação com a sua aplicação.

A acidez do solo causa efeitos negativos principalmente em plantas dependentes da FBN, afetando a simbiose e a formação de nódulos (FIGUEIREDO et al., 2008). Para Hungria e Vargas (2000), poucas estirpes de rizóbios toleram altos níveis de acidez, sendo que o pH ideal varia entre 6,0 e 7,0. Sendo assim, o calcário é um insumo de importância primária para a agricultura, contribuindo para a melhoria das condições químicas do solo necessária para o bom desenvolvimento da cultura e de microrganismos. Entretanto, o seu uso muitas vezes é negligenciado, resultando em produtividades abaixo do potencial das culturas.

2.3 CLORETO DE POTÁSSIO E SALINIDADE DO SOLO

Atualmente nota-se que algumas práticas culturais agrícolas estão sendo alteradas. Nesse contexto, percebe-se um acréscimo da dose média de fertilizantes na adubação, acreditando que tal prática corresponderá proporcionalmente ao

aumento de produtividade da soja. Salton et al., 2002, relatam que técnicos e agricultores estão com dificuldades na obtenção da população adequada de plantas em lavouras de soja, atribuindo o fato a uma série de fatores, entre eles, a salinidade.

Para Malavolta (1982), o KCl aplicado no sulco de semeadura pode prejudicar a germinação das sementes ou o desenvolvimento das plântulas, em decorrência da alta concentração salina, pois a água que seria usada pela planta acaba sendo desviada para as proximidades do fertilizante. Oliveira et al. (2008) não recomenda a aplicação de doses de K_2O maiores que 50 kg ha^{-1} na forma de KCl no sulco de semeadura, a fim de diminuir o efeito salino sobre as sementes. Segundo Marschner (1997), a alta salinidade do KCl compromete o crescimento e distribuição das raízes, bem como a absorção de água e nutrientes, pois o deslocamento de íons até as raízes é dificultado por conta da diminuição do potencial osmótico próximo à rizosfera. Alcarde et al. (1998) apresentando diversos fertilizantes, cita que o cloreto de potássio é o fertilizante mineral com maior índice salino (116) quando em comparação com os demais.

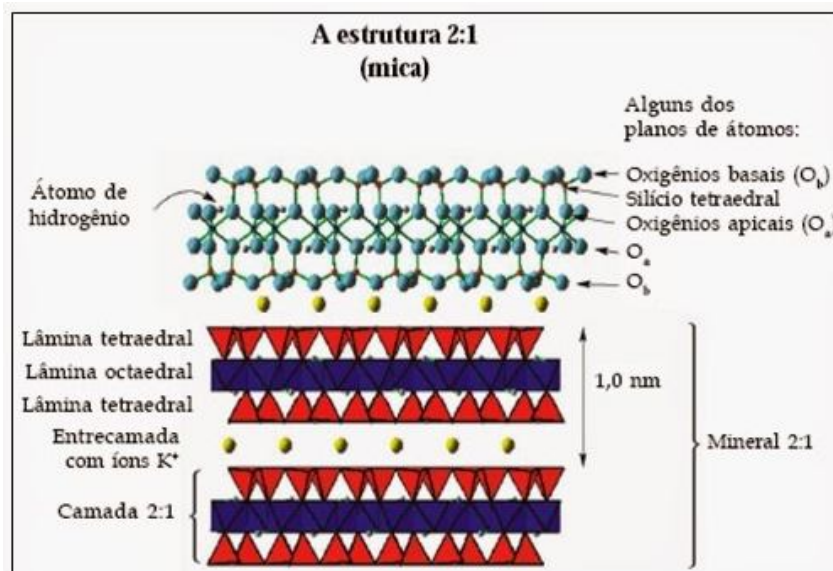
Salton et al. (2002) em um experimento conduzido em casa de vegetação, aplicando doses crescentes de cloreto de potássio (30 a 150 kg ha^{-1}), verificou uma redução tanto no comprimento do sistema radicular quanto na altura das plantas, ambas causadas pela salinidade do adubo. Apesar de poucos trabalhos abordarem o efeito da salinidade na cultura da soja, sabe-se que este é um problema contribuinte para perdas na cultura. Para Freire et al. (2009), a salinidade do solo pode afetar a FBN dependendo da espécie e estirpe de rizóbio. O mesmo autor, em um experimento conduzido com leucena (*Leucaena leucocephala*), constatou que algumas estirpes são sensíveis à salinidade, promovendo redução no teor de nitrogênio da planta.

A localização espacial inadequada dos fertilizantes pode comprometer o desenvolvimento das plantas em função do efeito salino, pois na semeadura mecanizada a velocidade de operação do conjunto trator-semeadora-adubadora e a profundidade de colocação do adubo no solo podem definir o estabelecimento da população inicial de plantas (RINALDI, 2008).

2.4 DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO

A fixação e a disponibilidade de K no solo podem ser explicadas em função da reatividade dos argilominerais (JOHNSTON; TOMBÁ CZ, 2002 apud YAMADA; ROBERTS, 2005). Nos minerais do tipo 2:1 expansivos, em especial as vermiculitas e esmectitas, a alta capacidade de troca de íons e a grande área superficial específica fazem com que cátions de baixa energia de hidratação provoquem a desidratação das intercamadas e a sua fixação ao formarem complexos de esfera-interna em alguns casos (MEURER, 2012). O processo é mais comum nas vermiculitas, onde ocorre o aprisionamento temporário de K^+ , tornando-o pouco disponível, denominado de K fixado (ERNANI, 2008). Nas esmectitas esse fenômeno também pode acontecer, porém em menor escala devido à carga menor nas camadas. Entretanto, em solos com presença de esmectita, a redução de Fe^{3+} a Fe^{2+} aumenta a carga da camada de esmectitas, favorecendo a fixação de K (YAMADA; ROBERTS, 2005). Segundo os autores, em solos com a presença desses minerais, parte do K adicionado pelos fertilizantes pode não ficar disponível às plantas em função de sua migração aos espaços intercamadas dos minerais 2:1 expansivos, conforme representado na Figura 1.

Figura 1. Representação da fixação de K em minerais do tipo 2:1



Fonte: Melo e Alleoni, 2009.

3. OBJETIVOS

Objetivo geral: avaliar o efeito de níveis de acidez do solo e de doses crescentes de KCl no desenvolvimento e nodulação da cultura da soja.

Objetivos específicos: quantificar o desenvolvimento e nodulação da soja em função de níveis de acidez do solo e avaliar indiretamente efeito da salinidade do KCl no desenvolvimento da cultura da soja.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na unidade sede do Instituto Federal Catarinense Campus Rio do Sul (Latitude 27° 11'17.02", Longitude 49° 39'19.02" e altitude de 668 m). Dividido em dois experimentos, sendo o primeiro o cultivo de soja em casa de vegetação em solos incubados com carbonato de cálcio (CaCO₃), em que se avaliou o efeito do pH do solo no desenvolvimento da cultura e o segundo experimento realizado a campo, onde verificou-se o efeito de doses de cloreto de potássio aplicado no sulco de semeadura da cultura da soja.

4.1 EXPERIMENTO 1: CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO

Foi coletada a camada de 0-20 cm de um Cambissolo háplico sob pastagem natural no Campus do IFC. Depois de tamisada em peneira de malha 5 mm e seca sobre uma lona plástica, a amostra foi levada ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo para a montagem dos tratamentos. Cada unidade experimental consistiu de 3 kg de solo acondicionados em vasos plásticos de 4,8 litros. As características químicas dos solos utilizados nos experimentos 1 (vasos) e 2 (campo) são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos

Solo	pH H ₂ O	pH SMP	Ca	Mg	Al	H+Al	T
			-----cmolc dm ⁻³ -----				
Vasos	4.7	5.2	1,7	0,7	2,2	10,9	13,5
Campo	5.3	5.6	5,2	2,8	0,6	6,9	15,1
	m	V	M.O	Argila	P _{Mehlich I}		K
	-----%-----					-----mg dm ⁻³ -----	
Vasos	45,7	19,2	3,1	19	1,5		80
Campo	6,8	54	2,9	20	0,7		44

Fonte: Laudo de análise de solo – EPAGRI, 2015.

Para a recomendação da necessidade de calagem foi feita em laboratório a determinação dos valores de pH em água e pH SMP (4,6 e 5,1 respectivamente) segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Na aplicação das doses,

adotou-se a recomendação de calagem de acordo com CQFS (2004) para o valor de pH 6,0, ideal para o desenvolvimento da cultura da soja. A dose recomendada para atingir pH 6,0 correspondeu a 9,1 ton ha⁻¹ de calcário. Para a correção da acidez do solo utilizou-se o reagente analítico CaCO₃ (PRNT 100%) e para o cálculo da dose considerou-se a massa de solo na camada de 0 a 20 cm de um hectare igual a 2,0 x 10⁶ kg e dimensionando-se as doses em relação à massa de solo de cada unidade experimental (3 kg). As doses foram adicionadas ao solo, homogeneizadas manualmente e em seguida acondicionadas nos vasos plásticos, sendo umedecidas até aproximadamente a capacidade de campo.

Os tratamentos consistiram da testemunha sem correção e 25%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da quantidade de calcário recomendada. Cada tratamento foi composto de quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. O delineamento utilizado foi o de inteiramente casualizado. Para a manutenção da umidade do solo próxima a 70% da capacidade de campo, os tratamentos receberam reposição de água semanalmente, pesando-se os mesmos e repondo o volume de água evapotranspirado, quando necessário. Com a finalidade de evitar a perda excessiva de umidade, os vasos foram cobertos por um filme plástico na superfície do solo. Após 90 dias de incubação, os vasos foram desmontados e o solo homogeneizado, sendo coletadas 50 gramas de amostra para determinação do pH (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de pH em H₂O e pH_{SMP} obtidos 90 dias após a incubação

Tratamentos*	CaCO ₃ (ton/ha)	pH _{H₂O}	pH _{SMP}
0	0	4,0	4,9
0,25	2,3	4,2	5,3
0,50	4,6	4,6	5,8
0,75	6,8	5,2	6,2
1	9,1	5,7	6,5
1,25	11,4	6,3	6,8
1,50	13,7	6,8	7,1

*Baseados em frações da dose recomendada para atingir pH_{H₂O} 6,0.

Após a desmontagem do solo, os vasos foram adubados com superfosfato simples na dose de 67,33 mg de P kg⁻¹ de solo (equivalente a 308,4 kg P₂O₅ ha⁻¹) e KCl na dose de 41,67 mg de K kg⁻¹ de solo (equivalente a 100 kg K₂O ha⁻¹). Antes

de ser adicionados ao solo os fertilizantes foram finamente moídos e passados por uma peneira de 1 mm (Figura 2).

Figura 2. Adubação do solo com superfosfato simples e cloreto de potássio



Fonte: Do autor, 2015.

Após a adubação, foram semeadas 5 sementes de soja da variedade BMX Potência RR (Figura 3). As sementes foram tratadas com uma solução contendo molibdato de sódio e sulfato de cobalto como fonte de Co e Mo, com doses proporcionais às recomendadas para um hectare. Após a secagem da solução, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando para isso um inoculante turfoso (Micro Xisto) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, com garantia de 5×10^9 UFC/g. Foi aplicado o dobro da dose proporcional para um hectare.

Figura 3. Semeadura da soja nos vasos



Fonte: Do autor, 2015.

Os vasos foram transferidos para a casa de vegetação, onde foram irrigados a cada dois dias. Após a plena germinação das sementes, efetuou-se o desbaste, deixando duas plantas por vaso. Após o desenvolvimento inicial, as plantas foram tutoradas com hastes metálicas a fim de evitar o tombamento.

Durante o desenvolvimento vegetativo a cultura foi atacada severamente por mosca-branca (*Bemisia tabaci*) nas folhas. Aos 51 dias após a semeadura foi feita uma aplicação de *Beauveria bassiana* (Figura 4). O mesmo não demonstrou resultados eficientes de controle. Assim, uma semana após a aplicação do produto biológico, procedeu-se o controle com inseticida piretróide (Decis 50CE).

Figura 4. Controle de mosca-branca com *Beauveria bassiana*



Fonte: Do autor, 2016.

Aos 74 dias após a semeadura (estádio R4), a parte aérea das plantas foi coletada, retirando-se as vagens. As raízes foram separadas do solo, e foi feita a remoção e catação manual dos nódulos das duas plantas cultivadas em cada tratamento, que foram analisadas conjuntamente. As avaliações realizadas neste ensaio foram: massa fresca e seca das raízes, massa seca da parte aérea, massa fresca de vagens, número de vagens e massa fresca de nódulos. A massa fresca foi seca em estufa a 65 °C até que a massa permanecesse constante. Com o auxílio do programa Assistat[®] os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 EXPERIMENTO 2: EFEITO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA

A área destinada à implantação do experimento era coberta por pastagem natural com predominância de plantas gramíneas. Antes da correção foi preparada mecanicamente com uma aração e duas gradagens. As doses de corretivos seguiram a recomendação para a cultura da soja segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004). A calagem foi realizada em 14/09/2015 de forma manual, e posteriormente a incorporação foi realizada com enxada rotativa (Figura 5). As características químicas do solo estão descritas na Tabela 1.

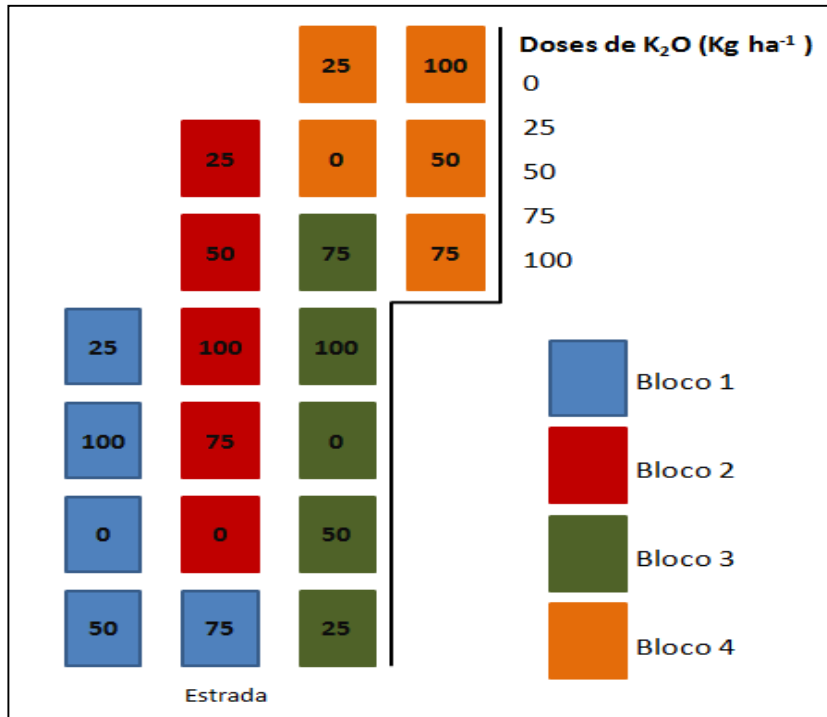
Figura 5. Correção do solo e incorporação do calcário no solo



Fonte: Do autor, 2015.

Em 06/01/2016 foi realizada a semeadura da soja. O pH do solo na área experimental era 5,5. As sementes utilizadas foram da variedade BMX Potência RR sendo inoculadas da mesma forma que no experimento 1. Os tratamentos utilizados consistiram das doses de 0 (testemunha sem aplicação), 25, 50, 75, 100 Kg ha⁻¹ de K₂O. Cada tratamento teve quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por cinco linhas de 4 metros com espaçamento de 0,45 m entrelinhas. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados. O croqui da área experimental é apresentado na Figura 6.

Figura 6. Representação da área experimental



Para a semeadura os sulcos foram abertos a uma profundidade de 7 cm, onde foi depositada a mistura de grânulos composta por KCl e superfosfato simples ($19,8\ kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$) (Figura 7). Posteriormente os sulcos foram parcialmente fechados e sobre eles as sementes posicionadas a 2 cm de profundidade, mantendo o espaçamento em torno de 13 sementes por metro linear. Em seguida o sulco de semeadura foi coberto com solo, tampando as sementes.

Figura 7. Aplicação de fertilizantes no sulco de semeadura



Fonte: Do autor, 2016.

Os tratamentos fitossanitários iniciaram aos 41 DAS (dias após a semeadura), (estádio V6) quando foi aplicado herbicida glifosato (Roundup) para o controle das plantas daninhas. Uma solução de cálcio e boro (fosfato de cálcio bibásico e borato de sódio) foi aplicada aos 50 DAS no estágio R2 (pleno florescimento) com o objetivo de melhorar a retenção das flores na planta. As pulverizações de fungicidas nas parcelas iniciaram aos 58 DAS com o produto Fox[®] (trifloxistrobina + proticonazol), sendo a segunda aplicação realizada 15 dias depois com o mesmo produto. A última aplicação de fungicida ocorreu aos 90 DAS com o produto Priori Xtra[®] (azoxistrobina + ciproconazol).

A primeira análise das parcelas foi realizada aos 88 DAS, no estágio R5 (início da formação da semente). Foram coletadas duas plantas inteiras nas linhas centrais de cada parcela dos tratamentos (Figura 8).

Figura 8. Coleta de plantas para análise



Fonte: Do autor, 2016.

No laboratório foram separadas manualmente a biomassa da parte aérea das raízes, as vagens da haste e os nódulos das raízes. Para cada tratamento foram avaliados os parâmetros massa fresca de vagens, número de vagens, massa seca da parte aérea, massa seca de raízes e nódulos e massa fresca de nódulos. A segunda análise ocorreu aos 113 DAS (estádio R8). Nessa etapa foram colhidas as plantas inteiras das três linhas centrais, descartando uma bordadura de 0,75 metros da extremidade de cada linha, sendo a área total útil das parcelas 3,375 m². Após a colheita, as plantas foram amarradas em feixes (Figura 9), sendo estes identificados e levados à trilhadora para retirada dos grãos.

Figura 9. Colheita das parcelas do experimento



Fonte: Do autor, 2016.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5% com o auxílio do programa Assistat®.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO 1: CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO.

Após o período de incubação do solo nos vasos observou-se um decréscimo no valor de pH em água da testemunha (pH 4,0). Nota-se também que foi necessária uma dose de metade da recomendação (50%) para que o pH do solo se equivalesse ao valor de pH antes da incubação (pH 4,6) (Tabela 2). A queda no valor de pH no tratamento sem correção pode estar ligada à liberação de H^+ e Al^{+3} provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008 apud SANTOS, 2010) que se acentuou por conta da permanência do solo próximo à capacidade de campo, a temperatura ambiente e o revolvimento antes da incubação potencializaram a decomposição da matéria orgânica.

Observa-se na Tabela 3 que os resultados obtidos em pH 4,0 corresponderam aos menores valores, indicando que o baixo pH do solo influenciou o desenvolvimento das plantas, muito embora os resultados tenham diferença significativa somente em pH 5,2 em relação à testemunha para massa fresca de raízes e massa seca da parte aérea. Segundo Eichler et al. (1994) apud Silva et al. (2002), teores de alumínio acima de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo provocam efeito tóxico sobre as leguminosas, afetando o crescimento das raízes e a sobrevivência do rizóbio.

Além disso, a disponibilidade de alguns nutrientes pode ser prejudicada em função da acidez do solo, principalmente o fósforo, nutriente que estimula o crescimento, a nodulação das raízes e aumenta a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (TANAKA; MASCARENHAS, 1992 apud SEDIYAMA et al., 2015).

Tabela 3. Valores médios de massa fresca e seca de raízes, nódulos, vagens, parte aérea e número de vagens

Tratamento		Massa Fresca		
pH _{H2O}	Raízes	Nódulos	Vagens	
-----gramas vaso ⁻¹ -----				
4,0	11,23 b	0,88 a	10,15 a	
4,2	19,87 ab	1,66 a	13,15 a	
4,6	14,93 ab	1,87 a	15,20 a	
5,2	22,32 a	2,39 a	15,63 a	
5,7	19,32 ab	1,82 a	14,50 a	
6,3	18,72 ab	2,41 a	15,88 a	
6,8	21,08 ab	2,04 a	12,71 a	
CV (%)	26,08	44,65	20,08	
Tratamento		Massa Seca		
pH _{H2O}	Vagens	Raízes	Parte Aérea	
-----nº-----				
-----gramas vaso ⁻¹ -----				
4,0	24,25 a	1,85 a	12,10 b	
4,2	24,25 a	2,67 a	16,10 ab	
4,6	28,25 a	2,22 a	15,89 ab	
5,2	34,50 a	3,01 a	20,00 a	
5,7	34,75 a	2,77 a	18,34 ab	
6,3	32,00 a	2,55 a	16,18 ab	
6,8	30,75 a	2,96 a	17,09 ab	
CV (%)	16,01	20,74	16,56	

O tratamento que proporcionou um pH 5,2 se destacou com as maiores médias para massa fresca de raízes e massa seca da parte aérea com diferença estatística em relação à testemunha, inferindo-se assim que o pH em torno de 5,2 durante o desenvolvimento da cultura contribuiu para um melhor incremento de biomassa nas plantas. Observou-se também que a massa fresca de nódulos e massa fresca de vagens apresentaram maiores médias quando cultivadas em pH 6,3, demonstrando que a formação de nódulos foi favorecida em pH mais elevado.

A mesma tendência foi obtida no trabalho de Silva, et al. (2002), cujas maiores médias para biomassa seca de nódulos e atividade da enzima nitrogenase também foram alcançadas no tratamento com maior dose de calcário. Em um estudo desenvolvido em casa de vegetação, Miguel e Moreira (2001) verificaram que estirpes de *Bradyrhizobium* tiveram melhor desenvolvimento quando cultivadas em meio de cultivo com pH 6,0. Ademais, a média de massa fresca de vagens superior também no tratamento equivalente ao pH 6,3 pode ter sido atingida devido uma maior atividade metabólica da planta em relação à fixação biológica de nitrogênio, visto que neste tratamento houve a maior massa fresca de nódulos.

5.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIA DO CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA

Conforme descrito na Tabela 4, o tratamento equivalente a dose de 75 kg ha^{-1} de K_2O apresentou as maiores médias em grande parte das avaliações, apesar de somente uma com diferença significativa.

Os maiores valores de massa fresca de nódulos e massa de grãos foram obtidos no tratamento testemunha. A massa fresca superior de nódulos nesse caso pode estar relacionada a um melhor desenvolvimento dos rizóbios que nas parcelas sem aplicação de KCl encontraram um meio mais adequado de se desenvolverem. Para os demais tratamentos, por consequência da concentração do fertilizante no sulco e um possível efeito salino do mesmo, o desenvolvimento dos rizóbios e incremento de massa dos nódulos podem ter sido afetados.

Embora existam poucos trabalhos na literatura que avaliaram o efeito da salinidade do solo na cultura da soja, assim como na sua nodulação, Xavier et al. (2007), verificou que para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), mesmo as estirpes de rizóbios tolerantes apresentaram baixo crescimento em meio de cultura quando submetidas a um meio salino.

Tabela 4. Número de vagens, valores médios de massa fresca de nódulos e vagens, massa seca da parte aérea, de raízes e nódulos e massa de grãos

Tratamento		Massa Fresca		
K ₂ O	Vagens	Nódulos	Vagens	
Kg/ha	-----nº-----	-----gramas-----		
0	114,00 a	8,21 a	78,59 ab	
25	119,00 a	6,06 a	81,99 ab	
50	113,25 a	5,90 a	75,33 ab	
75	127,00 a	6,81 a	89,12 a	
100	85,50 a	6,03 a	50,56 b	
CV(%)	22,31	36,61	20,64	
Tratamento		Massa Seca		
K ₂ O	Parte aérea	Raízes e Nódulos	Grãos	
Kg/ha	-----gramas-----			
0	66,42 a	5,45 a	781,4 a	
25	68,68 a	4,84 a	700,9 a	
50	61,29 a	4,79 a	678,9 a	
75	74,90 a	5,84 a	757,4 a	
100	48,69 a	4,08 a	744,9 a	
CV(%)	22,17	19,94	17,24	

O tratamento equivalente à dose 100 kg de K₂O ha⁻¹ apresentou os menores valores para massa fresca de vagens, número de vagens, massa seca de raízes e nódulos e massa seca da parte aérea. Uma hipótese seria de que a saturação da solução do solo pelo KCl dificultou o crescimento das plantas, interferindo no crescimento das raízes, além de diminuir o potencial osmótico, por conta da salinidade, afetando a absorção e distribuição de nutrientes na planta, com isso resultando em uma baixa massa seca da parte aérea, apesar de não poder se afirmar com certeza que tais valores baixos ocorreram devido à salinidade.

Os resultados obtidos não demonstraram um comportamento “lógico” em função da aplicação de doses crescentes de KCl. Esperavam-se menores valores nas doses mais baixas, assim como nas doses mais altas, em função da falta de nutriente para suprimento da planta e o excesso do fertilizante como causador de salinidade.

A ausência de diferença significativa nas análises, com exceção da massa fresca de vagens do tratamento 75 kg de K₂O ha⁻¹ em relação ao de 100 kg de K₂O

ha⁻¹, pode indicar que a aplicação de KCl seja desnecessária para Cambissolo Háplico. Reforça-se ainda que o maior valor para massa de grãos foi obtido no tratamento testemunha, onde o K proveniente da estrutura dos minerais do solo foi suficiente para suprir a necessidade nutricional das plantas, embora segundo a análise de solo o teor de potássio tenha sido interpretado como baixo para o cultivo de soja (CQFS, 2004). Além disso, as plantas presentes nas parcelas deste tratamento não demonstraram sintomas de deficiência de potássio durante o período de cultivo. Alguns estudos realizados com os solos da região indicam a presença de argilominerais do tipo 2:1 expansivos (vermiculita e esmectita). Com base nisso, supõe-se que o K trocável proveniente do fertilizante tenha migrado para o espaço intercamadas dos minerais, ficando fixado e que o K trocável nativo dos minerais possa ter se disponibilizado devido sua saída. Neste raciocínio, a análise de solo deste experimento, que apresentou níveis baixos de K (44 mg dm⁻³ de solo) pode não ter computado todo o K disponível do solo, pois uma parte poderia estar fixado nas intercamadas resultando em baixos teores do nutriente, mascarando os teores reais presentes no solo.

Os baixos valores de produtividade obtidos nos tratamentos, com média equivalente a 36,18 sacos ha⁻¹ (Apêndice A) podem ser justificados pelo atraso na implantação da cultura, que foi realizada cerca de vinte dias após o limite tolerado, devido às condições climáticas não favorecerem a prática de semeadura, bem como aos danos do ataque da ferrugem nos tratamentos (Figura 10), que causou desfolhamento precoce, comprometendo o enchimento dos grãos.

Figura 10. Desfolhamento causado pelo ataque da ferrugem



Fonte: Do autor, 2016.

Ainda, durante o crescimento inicial das plantas, o local de cultivo passou por momentos de déficit hídrico. Conforme a Figura 11, referente à parte da linha de

plântio de um tratamento com aplicação de 100 kg ha^{-1} de K_2O , observa-se uma possível camada na superfície do solo formada pela ascensão dos sais de K causada pela excessiva evaporação de água e acúmulo de sais na região rizosférica. Este efeito poderia potencializar o provável efeito salino do KCl no solo e também prejudicar o desenvolvimento das plantas. Entretanto não foram notados efeitos expressivos de tal problema, pois o K fornecido pelo fertilizante talvez tenha se fixado na intercamadas dos minerais, mitigando o seu efeito salino no solo, não chegando a afetar as plantas.

Figura 11. Formação de uma camada salina na linha de semeadura



Fonte: Do autor, 2016.

6. CONCLUSÕES

EXPERIMENTO 1 - CULTIVO DE SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO

A metodologia de cultivo em vasos foi incapaz de detectar as diferenças de desenvolvimento e nodulação da soja nos níveis de acidez avaliados, porém as maiores médias foram obtidas na faixa de pH entre 5,2 e 6,3, sugerindo que este intervalo de níveis de acidez do solo potencializa os melhores resultados.

EXPERIMENTO 2 - EFEITO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO APLICADO NO SULCO DE SEMEADURA

Não houve diferença significativa entre as doses aplicadas e os parâmetros avaliados. Não ocorreram indícios de salinidade do solo como fator limitante, porém, existe a tendência de a maior dose de K apresentar efeitos negativos ao desenvolvimento da cultura. No solo avaliado a aplicação da dose integral de potássio apenas no sulco de semeadura não é vantajosa em função da possibilidade de efeito salino em linha e a fixação do K aplicado pelos minerais do solo.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S.. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo, SP: Anda, 1998. 43 p. (Anda. Boletim Técnico, 3). Disponível em:< http://www.anda.org.br/multimidia/boletim_03.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2016.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. Origem da soja. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. Cap. 1. p. 20.
- BIZARRO, M. J. **Simbiose e variabilidade de estirpes de *Bradyrhizobium* associadas à cultura da soja em diferentes manejos do solo**. 2008. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília: CONAB, n. 3, mar. 2016, p. 01-124.
- CQFS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ª Ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.
- ERNANI, P.R. **Química de solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, Paulo Ernani, 2008. 230p.
- FIGUEIREDO, M. V. B.; JUNIOR, M. A. L.; ARAÚJO, A. S. F.; MARTINEZ, C.R. Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N₂. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba, RS: Ed. Agrolivros, 2008. Cap. 2. p. 55.
- FREIRE, A. L. O.; RODRIGUES, T. J. D. **A salinidade do solo e seus reflexos no crescimento, nodulação e teores de N, K E Na em leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Vit.)**. Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v.6, p.163-173, 2009.
- FREITAS, M. de C. M. **A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, vol.7, n.12, p. 1-12. 2011.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. **Environmental factors affecting N2 fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil**. Field Crops Research, 65: 151-164. 2000.
- JUNIOR, A. V. I.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamento de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. p. 29-60.
- MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Piracicaba: POTAFOS, 1982. 61 p. (POTAFOS. Boletim Técnico, 1).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo, Parte I - Conceitos básicos**. Viçosa, SBCS, 2009, 695p.

MIGUEL, D.L.; MOREIRA, F.M.S. **Influência do pH do meio de cultivo e da turfa no comportamento de estirpes de Bradyrhizobium**. R. Bras. Ci. Solo, 25:873-883, 2001.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; JUNIOR, A. de O. **Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja**. Londrina: Embrapa soja, 2008. 08 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 62).

RINALDI, P. C. N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 80 f. Dissertação de mestrado (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ROSSA, U.B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. 2006. 150 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; TIRIONI, C. E GANCEDO, M. **Cloreto de potássio na linha de semeadura pode causar danos a soja**. Dourados, Embrapa, 2002. (Comunicado Técnico, 64).

SANTOS, T. B. D. **Incubação de um solo de região canavieira com doses crescentes de calcário**. Rio Largo, AL, 2010. 30 f. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; BARROS, H.B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T (Ed.). **Tecnologias de produção e uso da soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2009. P. 1-5.

SILVA, A.F. FREITAS, A.D.S.; STAMFORD, N.P. **Efeito da inoculação da soja (cv. Tropical) com rizóbios de crescimento rápido e lento em solo ácido submetido à calagem**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1327-1333, 2002.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico nº 5).

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M.; RUMJANEK, N. G.; NEVES, M. C. P. **Tolerância de rizóbio de feijão-caupi à salinidade e à temperatura em condição in vitro**. Caatinga (Mossoró, Brasil), v. 20, n. 4, p. 01-09, 2007.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

APÊNDICE A - PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA DOSE DE KCl

Tratamento (kg ha⁻¹)	Sacos ha⁻¹
0	38,59
25	34,61
50	33,52
75	37,40
100	36,78
Média	36,18

ANEXO A - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO



Laboratório de Análise de Solos
 Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos
 e de Tecido Vegetal dos Estado do RS e SC - Rolas

Relatório de Análise de Solo

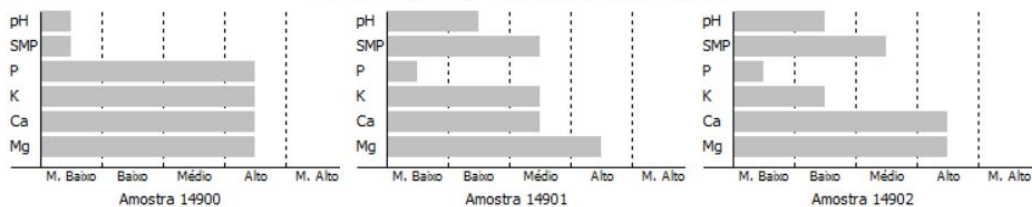
Produtor...: IFC - Prof. Fernando Pajara
 Localidade...:
 Município...: RIO DO SUL/SC
 Remetente...: IFC - Rio do Sul
 Município...: RIO DO SUL/SC

Nº do Relatório: 40399
 Data Entrada: 10/09/2015
 Data Emissão: 24/09/2015
 Análise.....: Particular
 Cópias.....: 2

Nº da Amostra	Ref.	Área (ha)	Mat.Org.	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al cmolc/dm ³	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³
14900	01 - Gilmar/faz.	--		24	4,1	4,4	13,1	126,0	2,3	3,8	4,5	2,7
14901	02 tifton	--		20	5,1	5,6	1,7	56,0	2,4	1,0	3,5	2,4
14902	03 - Jéssica 0/20	0,5		20	5,3	5,6	0,7	44,0	2,9	0,6	5,2	2,8

Nº da Amostra	Ref.	Área (ha)	Mat.Org.	H + Al cmolc/dm ³	CTC pH7.0 cmolc/dm ³	% Saturação na CTC			Relações		
						Al	V	S	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
14900	01 - Gilmar/faz.	--		27,4	34,92	33,56	21,54	7,52	1,67	13,96	8,38
14901	02 tifton	--		6,9	12,94	14,20	46,70	6,04	1,46	24,44	16,76
14902	03 - Jéssica 0/20	0,5		6,9	15,01	6,89	54,05	8,11	1,86	46,21	24,88

Interpretação dos Resultados das Análises



CRISTIANO MORA -MSc
 QUÍMICO CRQ XIII 13100823
 Responsável Técnico