



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

**CALIBRAÇÃO DE METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO E
DETERMINAÇÃO DE POTÁSSIO FOLIAR COM MEDIDOR
PORTÁTIL DE ÍONS NA CULTURA DA SOJA**

Londrina
2018

SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

**CALIBRAÇÃO DE METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO E
DETERMINAÇÃO DE POTÁSSIO FOLIAR COM MEDIDOR
PORTÁTIL DE ÍONS NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Guimarães.

Co orientador: Dr. Adilson de Oliveira Junior.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Ceccatto, Smaylla.

Calibração de metodologia de extração e determinação de potássio foliar com medidor portátil de ions na cultura da soja / Smaylla Ceccatto. - Londrina, 2018.
39 f. : il.

Orientador: Maria de Fatima Guimarães.

Coorientador: Adilson de Oliveira Junior.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Análise foliar - Tese. 2. Medidor portátil de ions Horiba Laqua twin® - Tese. 3. Glycine max - Tese. 4. Diagnóstico nutricional - Tese. I. Guimarães, Maria de Fatima. II. de Oliveira Junior, Adilson. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

**CALIBRAÇÃO DE METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO E
DETERMINAÇÃO DE POTÁSSIO FOLIAR COM MEDIDOR PORTÁTIL
DE ÍONS NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para à obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Prof^a. Dr^a. Maria de Fatima
Guimarães
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia - UNIFIL

Prof^a. Dr^a. Marla Alessandra de Araújo
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 23 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina, por meio do Programa de Pós Graduação em Manejo Sustentável do Solo e Engenharia Rural pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Guimarães e Dr. Adilson de Oliveira Júnior, pelos ensinamentos e confiança.

Aos funcionários da Embrapa Soja pelo apoio na condução das atividades, especialmente à Mariana Germano e Joviano Kleinert e a todos os estagiários pelo auxílio nas análises de laboratório.

À minha família, pelo apoio, paciência e incentivo.

Aos amigos do mestrado pelo convívio e apoio.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e aos membros da banca.

MUITO OBRIGADA

CECCATTO, S. E. K. **Calibração de metodologia de extração e determinação de potássio foliar com medidor portátil de íons na cultura da soja**, 2017. 39 f. Dissertação de em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O potássio (K^+) é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das plantas. A relevância do K na agricultura brasileira é inquestionável, e na cultura da soja não é diferente. O objetivo do trabalho foi calibrar a metodologia de determinação de potássio hidrossolúvel em folhas de soja, através do medidor portátil de íons. O trabalho foi estruturado em duas fases, sendo a primeira para ajuste da metodologia em casa de vegetação, e a segunda para calibrar a interpretação dos resultados do potássio hidrossolúvel a campo. Foram realizadas de três a quatro coletas de folha durante o ciclo de desenvolvimento da soja, nos estádios fenológicos de V4 à R6. Após cada amostragem, cerca de 10 trifólios foram utilizados para determinação do teor de K, sendo que, deste total, de quatro a cinco folíolos foram destinados à determinação do K hidrossolúvel e leitura no medidor de íons Horiba Laqua twin[®], sendo o restante do material destinado à determinação do K por meio do método padrão. Os resultados foram comparados, primeiramente, por meio da matriz de correlação. Essas análises estatísticas foram realizadas por meio do software Statistica. Na sequência, as variáveis que apresentaram correlações significativas foram ajustadas a partir de modelos de regressão. Os teores de K hidrossolúvel obtidos com o medidor de íons para a cultura da soja apresentaram correlação altamente significativa com os teores de K pela análise foliar e com a produtividade relativa de grãos. No estágio R4 e R5.1, o teor de K hidrossolúvel correlacionou-se positivamente com a produtividade relativa da soja, possibilitando a determinação do nível crítico. Foi possível elaborar uma tabela para fornecer aos usuários do medidor de íons, parâmetros para tomada de decisão a campo e de forma rápida quanto a aplicação de potássio. A análise através do medidor de íons, apresentou boa correlação com o método padrão, permitindo o seu uso para o monitoramento da deficiência do potássio na cultura da soja.

Palavras-chave: Análise foliar. *Glycine max*. Diagnóstico nutricional.

CECCATTO, S. E. K. **Calibration of extraction methodology and determination of leaf potassium with portable ion meter in soybean**, 2017. 39 p. Dissertação de em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

Potassium (K^+) is the second most absorbed nutrient in most plants. The relevance of K in brazilian agriculture is unquestionable, and in soybean culture it is no different. The objective of this work was to calibrate the methodology of determination of water soluble potassium in soybean leaves, through the portable ion meter. The work was structured in two phases, the first one to adjust the methodology in greenhouse, and the second to calibrate the interpretation of the results of the hydrosoluble potassium to the field. Three to four leaflets were collected during the soybean development cycle, at the phenological stages from V4 to R6. After each sampling, about 10 trifolia were used to determine the K content, of which four to five leaflets were used to determine the water soluble K and read on the Horiba Laqua twin® ion meter, the remainder being material for the determination of K by the standard method. The results were compared, first, through the correlation matrix. These statistical analyzes were carried out using Statistica software. Subsequently, the variables that showed significant correlations were adjusted from regression models. The water soluble K contents obtained with the ion meter for the soybean crop showed a highly significant correlation with the contents of K by foliar analysis and with the relative grain yield. At the R4 and R5.1 stages, the water soluble K content correlated positively with the soybean relative productivity, allowing the determination of the critical level. It was possible to elaborate a table to provide users of the ion meter, parameters for field decision making and fast as potassium application. The analysis using the ion meter showed good correlation with the standard method, allowing its use for the monitoring of potassium deficiency in the soybean crop.

Keywords: Leaf analysis. *Glycine max*. Nutritional diagnosis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA	11
2.2	ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA CULTURA DA SOJA	12
2.3	POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO DA CULTURA DA SOJA	13
2.4	ADUBAÇÃO POTÁSSICA DA CULTURA DA SOJA	14
2.5	DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES A CAMPO	15
3	ARTIGO: DETERMINAÇÃO E CALIBRAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE POTÁSSIO HIDROSSOLÚVEL NA CULTURA DA SOJA	17
3.1	INTRODUÇÃO	17
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.2.1	AJUSTE DA METODOLOGIA EM CASA DE VEGETAÇÃO	18
3.2.2	CALIBRAÇÃO DA METODOLOGIA	19
3.2.3	DETERMINAÇÃO DO K NAS FOLHAS DE SOJA	21
3.2.4	Análise estatística	21
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.3.1	AJUSTE METODOLOGIA EM CASA DE VEGETAÇÃO	23
3.3.2	CALIBRAÇÃO DA METODOLOGIA	24
4	CONCLUSÃO	31
5	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O potássio (K^+) é o segundo elemento mais absorvido pela maioria das plantas, sendo um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento das culturas.

A relevância do K^+ na agricultura brasileira é inquestionável, e na cultura da soja não é diferente. É o segundo nutriente mais exigido e exportado pela cultura, ficando abaixo apenas do nitrogênio (BACKES; TRENTO, 2007). A baixa disponibilidade de K^+ no solo pode reduzir a produtividade de uma safra para outra (LOPES, 2007; BORKERT et al., 2004).

A soja é a cultura de maior importância econômica no Brasil: a produção nacional na safra 2016/17 foi de 114 milhões de toneladas e uma produtividade média de 3.362 kg ha^{-1} (CONAB, 2017). É uma *commoditie* de alto valor lucrativo, visto que a produção da soja é determinada pela utilização comercial de seus subprodutos (farelo e óleo) que, respectivamente, representam cerca de dois terços e um terço do valor econômico da safra.

A adubação potássica da soja é importante para o correto manejo nutricional desta oleaginosa, pois, além de influenciar a produtividade e a qualidade dos grãos, as quantidades de K^+ absorvidas pela soja são expressivas ao longo da sua fase vegetativa, e a exportação via colheita de grãos é considerável, podendo levar as reservas do nutriente do solo à exaustão no decorrer dos anos de cultivo (FOLONI, 2003; FIRMANO, 2017).

O método mais amplamente utilizado para determinação do estado nutricional da planta é a diagnose foliar, através da determinação da concentração total de K^+ nas folhas. Entretanto, pode ocorrer certo descompasso entre a amostragem, o preparo da amostra no laboratório e a emissão do resultado, dificultando a identificação de desordens nutricionais e a tomada de decisão ainda dentro do próprio ciclo de desenvolvimento da cultura, o que, em muitos casos, inviabiliza a correção imediata da deficiência.

Para dar maior agilidade a esse processo, faz-se necessário o uso de ferramentas práticas que apresentem correlação com o método já consagrado. Nesse sentido, uma das opções é o medidor portátil de íons Horiba Laqua twin[®], (Horiba, Ltda, Kyoto, Japão), que tem sido utilizado para avaliar de maneira rápida

os teores de NO_3^- , Na^+ e K^+ em diversas culturas agrícolas: arroz (DUNN et al., 2003), tomate (BLANCO, 2004), manjeriço (HOCHMUTH et al., 2003) e algodão (ZOCA et al. 2007).

O trabalho foi estruturado em duas fases, sendo a primeira para ajuste da metodologia em casa de vegetação, e a segunda para calibrar a interpretação dos resultados do potássio a campo.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi calibrar a metodologia de determinação de potássio hidrossolúvel em folhas de soja, através do medidor portátil de íons.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA

Originária da China, a soja (*Glycine Max* (L.) Merr.) é pertence à família das fabáceas (leguminosas) e foi introduzida no Brasil via Estados Unidos, em 1882 (MISSÃO, 2006).

O cultivo se iniciou no estado do Rio Grande do Sul (RS). Em meados da década de 70, a área cultivada abrangia somente a região Sul do país, entretanto, com o desenvolvimento de cultivares adaptadas às baixas latitudes, a partir da década de 80 a área de cultivo da soja foi se expandindo para o Brasil Central (Cerrados) e atualmente se verifica áreas de produção de soja em todas as regiões geográficas do país, desde o RS até Roraima e Amapá no sentido Sul-Norte e desde Rondônia até os tabuleiros costeiros dos estados de Sergipe e Alagoas, no sentido Oeste-Leste (CASTRO et al., 2015).

Através da cultura da soja e toda a sua cadeia produtiva desenvolve-se uma rede que gera empregos e pesquisas, impulsionando a economia do país e tendo como consequência o reconhecimento internacional pelo avanço alcançado nas últimas décadas (BONATO e BONATO, 1987).

Dentro do agronegócio mundial, a produção de soja está entre as atividades econômicas que nas últimas décadas, apresentaram crescimentos mais expressivos. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, como: estruturação de um grande mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo soja, consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, especialmente para atender demandas crescentes dos setores ligados à produção de produtos de origem animal e maiores desenvolvimento e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da cultura para diversas regiões do mundo (HIRAKURI et al., 2008).

No contexto mundial e nacional a soja está inserida economicamente como um dos principais produtos agrícolas. No Brasil, ela é a principal cultura em extensão de área e volume de produção. O volume de produção alcançado foi de 114,04 milhões toneladas na safra 2016/17. Cinco estados localizados nas Regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil (Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul) concentram 75% da área cultivada com

soja (25,8 milhões de hectares) e 77% da produção nacional 79,25 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

2.2 ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA CULTURA DA SOJA

A fenologia das plantas refere-se ao estudo das suas fases de desenvolvimento e permite compreender a relação entre as características morfológicas e fisiológicas das plantas e os fatores do ambiente (VENTURA et al., 2009).

A classificação dos estádios de desenvolvimento da soja, proposta por Fehr e Caviness (1977), identifica precisamente o estágio de desenvolvimento em que se encontra uma planta.

O sistema estabelecido divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são designados pela letra "V" e os reprodutivos pela letra "R". Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases do desenvolvimento da planta.

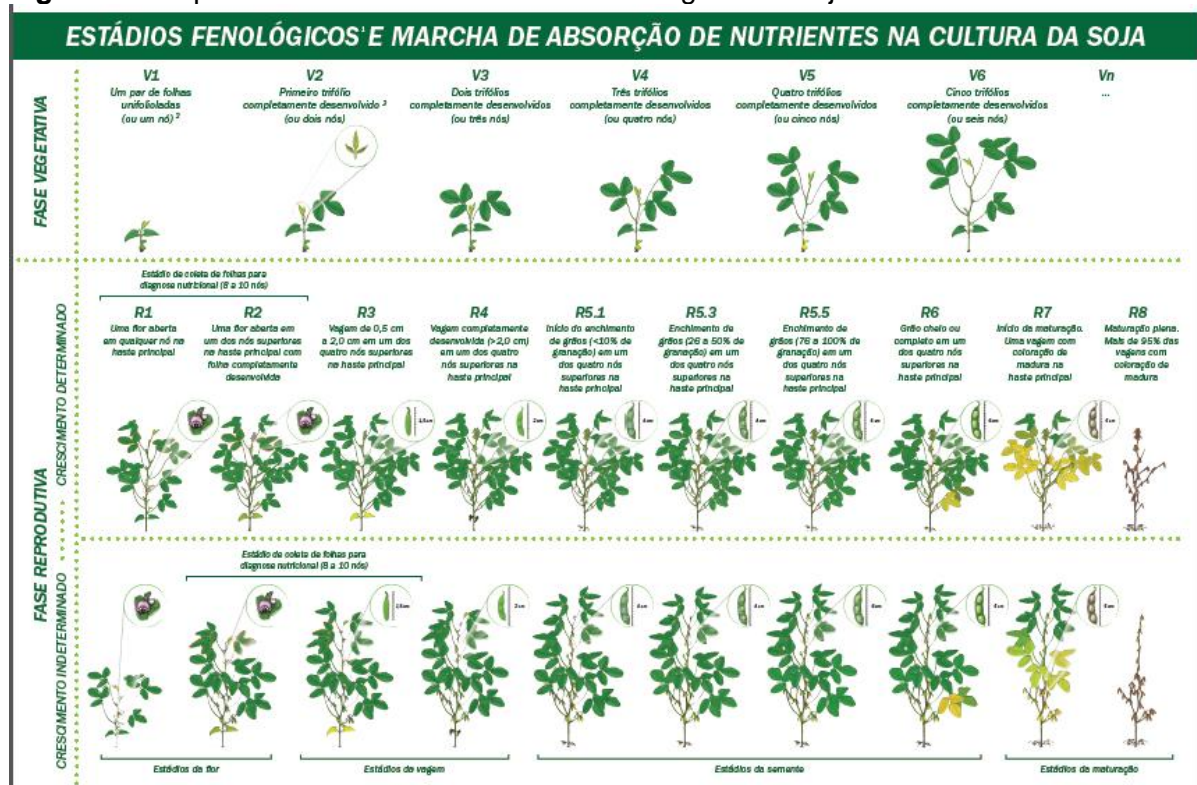
Segundo Brasil (2009), o tipo de crescimento é caracterizado, principalmente, pelo crescimento da haste principal e pelo florescimento da planta. Em relação a este caráter, as plantas de soja são classificadas como de crescimento determinado e indeterminado.

Plantas com tipo de crescimento determinado praticamente completam o ciclo vegetativo antes do início da floração. As plantas determinadas podem crescer aproximadamente 10% a 13% de sua altura após o florescimento. Com a paralização do crescimento em altura, ocorre o engrossamento da haste principal (SEDIYAMA et al., 1996). Nessas plantas, a haste principal possui gema terminal com inflorescência racemosa, gerando vagens. Geralmente, em cada nó, existe uma ramificação de comprimento variável (SEDIYAMA et al., 2009).

As cultivares com tipo de crescimento indeterminado desenvolvem simultaneamente as suas fases vegetativa (crescimento) e reprodutiva (florescimento). Ou seja, continuam a aumentar sua altura por período relativamente longo após ter iniciado o florescimento. Geralmente duplicam a sua altura em

relação àquela manifestada no aparecimento da primeira flor, também apresentam haste afunilada, com pouco ou nenhum crescimento lateral secundário (ramificações) perto do topo da haste principal (SEDIYAMA et al., 1996). Na Figura 1 está ilustrado os estádios de desenvolvimento da soja, detalhando as diferenças nos estádios reprodutivos em função do Tipo de Crescimento.

Figura 1 - Esquema ilustrativos dos estádios fenológicos da soja.



Fonte: Fotgreen e Embrapa Soja.

2.3 POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO DA CULTURA DA SOJA

Segundo Sacramento e Rosolem (1998), é clara a importância do potássio na nutrição mineral da soja, sendo um dos macronutrientes mais absorvidos e exportados pela cultura. Em média, 33 kg de K são extraídos do solo para se produzir 1000 kg de grãos e 20 kg de nutriente são exportados com os grãos (PAULETTI, 2004).

De acordo com Marchner (1986) o K^+ não faz parte de nenhum composto orgânico, portanto, não desempenha função estrutural na planta. No floema, o K^+ é o cátion mais abundante, está envolvido na abertura e fechamento

dos estômatos, transporte de carboidratos, sínteses e produção de clorofila, sendo um nutriente altamente demandado pelas culturas e de grande importância para a tolerância aos estresses bióticos e abióticos (MYERS et al., 2005).

Segundo Cakmak (2005), o potássio tem atuação em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida das plantas. Além da produtividade, a suplementação adequada contribui no reforço estrutural, tornando mais difícil a penetração de patógenos e deixando a planta menos suscetível ao acamamento.

A aplicação de K^+ em doses inferiores às exportadas (balanço negativo) leva à redução gradual na disponibilidade desse nutriente no solo, com consequente aparecimento de sintomas de deficiência de K^+ nas plantas. Na soja, esta deficiência causa o amarelecimento dos bordos foliares, presença de sementes chochas e retenção foliar, permanecendo as plantas com hastes verdes e vagens secas (MASCARENHAS et al., 1990).

Tem sido observado que plantas consideradas normais em áreas adjacentes às com deficiência, também estão apresentando redução da produtividade, sem expressar metabolicamente os sintomas de deficiência, processo conhecido como fome oculta (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014).

2.4 ADUBAÇÃO POTÁSSICA DA CULTURA DA SOJA

Na cultura da soja as respostas à adubação potássica, podem ser expressas sob vários tipos de manejo, desde que o solo possua baixa disponibilidade do nutriente (PETTIGREW, 2008).

Bharati et al. (1986), citam que essa resposta na produtividade de grãos com a adubação potássica pode ser atribuída a um aumento nos componentes de produção. O número de vagens por plantas e o peso das sementes aumentam de acordo com a resposta à essa adubação.

Assim, o manejo da adubação potássica, no que diz respeito às quantidades de fertilizantes, pode reduzir as perdas deste nutriente, o que é importante do ponto de vista econômico e ambiental. Porém, se a aplicação de K for subestimada, pode haver esgotamento das reservas do nutriente do solo após alguns anos de cultivo (ROSOLEM, 1997).

Como já citado, o K^+ apresenta alta mobilidade na planta, tanto no xilema, quanto no floema. Assim, após a colheita ou senescência das plantas, o K^+ presente na fitomassa é liberado rapidamente ao solo sendo prontamente disponível para as culturas (RAIJ et al., 1997). Trabalhos sobre modos de aplicação de fertilizantes são comuns, visando principalmente reduzir as perdas por lixiviação e aumentar a eficiência de uso nas culturas aplicando doses parceladas de KCl. (FOLONI; ROSOLEM, 2008).

Silva e Lazarini (2014) avaliaram a produtividade da soja submetida a diferentes doses e épocas de adubação com K_2O de (0; 50 e 100 $kg\ ha^{-1}$), com tratamentos adubados na semeadura e tratamentos adubados no estágio V6. Concluíram que nem sempre a aplicação de determinado nutriente no solo, resulta em retorno de produtividade, entretanto, é importante a realização da adubação de manutenção, pois ao longo dos anos sem a aplicação dessa adubação e com a exportação desse nutriente pela semente juntamente com as perdas por lixiviação há um decréscimo do mesmo no solo.

Em experimentos de longa duração com adubação potássica na cultura da soja, Borkert et al. (1997) também observaram que houve redução nos teores de K trocável de diferentes tipos de solo ao longo de dez anos de cultivo de soja, e constataram ser necessárias adubações potássicas relativamente altas para evitar o esgotamento das reservas de K^+ do solo, com doses de 80 a 150 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O aplicadas anualmente, dependendo do tipo de solo, para evitar o decréscimo na produção a longo prazo.

2.5 DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES A CAMPO

A produtividade da cultura da soja possui ligação direta com a quantidade de nutrientes absorvida. Sendo assim, a análise química foliar é uma ferramenta que pode ser utilizada de forma complementar na obtenção de dados para avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo, com o intuito de realizar um diagnóstico nutricional e auxiliar na decisão sobre a recomendação de adubação (OLIVEIRA et al., 2008).

A diagnose foliar consiste em uma análise química das folhas e sua interpretação. Para isso, é realizada a coleta dos trifólios, entre o terceiro ou quarto

nó a partir do ápice da planta, sendo coletadas amostras de no mínimo 40 plantas no talhão, buscando coletar um número de plantas bem distribuídas na lavoura (ARANTES; SOUZA, 1993).

O uso da análise foliar na diagnose do estado nutricional das plantas baseia-se no fato de existir uma correlação entre sua taxa de crescimento ou de produção e o teor de nutrientes nos seus tecidos. A partir dessa correlação são estabelecidos pontos limites dos teores de nutrientes, correspondentes às mudanças na resposta das plantas em termos de produção. Tais teores são considerados “níveis críticos” e delimitam faixas de teores relacionados às deficiências nutricionais, aos níveis adequados ou à toxidez de minerais (BENTON JONES et al., 1990).

Para a interpretação dos resultados da análise foliar, normalmente é feita a comparação dos teores de nutrientes em amostras coletadas nas lavouras, com valores padrões estabelecidos para a espécie vegetal, denominados de faixas de suficiência. Porém, outros métodos também podem ser utilizados como alternativa ou como complemento ao critério das faixas de suficiência, sendo que, alguns destes apresentam diferenças conceituais por abranger as relações de equilíbrio existentes entre os nutrientes (MARTIN-PREVEL et al., 1984).

Métodos práticos têm sido avaliados para o monitoramento do nível nutricional das plantas. Zoca et al. (2007) avaliaram níveis de K^+ na cultura do algodão com uso do medidor de íons Horiba Laqua twin[®], comparando com análises de tecido vegetal padrão, para a determinação de K^+ , onde verificaram coeficiente de correlação de 0,92. Segundo Blanco (2004), as concentrações de NO_3^- , K^+ e Na^+ no solo e em pecíolos de tomateiro, apresentaram uma correlação satisfatória, o que foi verificado também por Hochmuth et al. (2003), estudando plantas de manjeriço.

3. ARTIGO: CALIBRAÇÃO DE METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE POTÁSSIO FOLIAR COM MEDIDOR PORTÁTIL DE ÍONS NA CULTURA DA SOJA

3.1 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura de maior importância econômica no Brasil: a produção nacional na safra 2016/17 foi de 114 milhões de toneladas, com produtividade média de 3.362 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

A relevância do K⁺ na agricultura brasileira é inquestionável, e na cultura da soja não é diferente. É o segundo nutriente mais exigido e exportado pela cultura, ficando abaixo apenas do nitrogênio (BACKES; TRENTO, 2007).

A adubação potássica da soja é importante para o correto manejo nutricional desta oleaginosa, pois, além de influenciar a produtividade e a qualidade dos grãos, as quantidades de K⁺ absorvidas pela soja são expressivas ao longo da sua fase vegetativa, e a exportação via colheita de grãos é considerável, podendo levar as reservas do nutriente do solo à exaustão no decorrer dos anos de cultivo (FOLONI, 2003; FIRMANO, 2017).

O método padrão para determinação do estado nutricional da planta é a diagnose foliar, (MALAVOLTA, 1997). Entretanto, pode ocorrer certo descompasso entre a amostragem, o preparo da amostra no laboratório e a emissão do resultado, dificultando a identificação de desordens nutricionais e a tomada de decisão ainda dentro do próprio ciclo de desenvolvimento da cultura, o que, em muitos casos, inviabiliza a correção da deficiência.

Assim, para dar maior agilidade a esse processo, faz-se necessário o uso de ferramentas práticas que apresentem boa correlação com o método padrão. Nesse sentido, uma das opções é o medidor portátil de íons específico c que tem sido utilizado para avaliar de maneira rápida os teores de NO₃⁻, Na⁺ e K⁺ em diversas culturas agrícolas, arroz (DUNN et al., 2003), tomate (BLANCO, 2004), manjeriço (HOCHMUTH et al., 2003) e algodão (ZOCA et al. 2007), a partir da determinação destes íons em extratos líquidos (DUNN et al., 2003).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi calibrar a metodologia de determinação de potássio hidrossolúvel em folhas de soja, através do medidor portátil de íons.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi estruturado em duas fases, sendo a primeira para ajuste da metodologia em casa de vegetação, e a segunda para calibrar a interpretação dos resultados do potássio a campo.

3.2.1 AJUSTE DA METODOLOGIA (REALIZADA EM CASA DE VEGETAÇÃO)

Para ajustar a metodologia de determinação do K^+ hidrossolúvel para a soja foi conduzido um experimento em casa de vegetação na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Soja, localizada no município de Londrina, PR.

O solo utilizado, um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2013), foi coletado em uma área com baixa disponibilidade de K, no município de Alvorada do Sul, PR. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com arranjo fatorial 2 x 3 com cinco repetições, totalizando 30 vasos (5L). O primeiro fator foi composto por duas cultivares de soja (BRS-1010Ipro e BRS-1001Ipro), e o segundo fator por três doses de potássio (0, 100 e 200 mg kg^{-1} de K). Cada vaso recebeu 220 mg kg^{-1} de fósforo, na forma de Superfosfato Simples (18% de P_2O_5). Foram semeadas cinco sementes em cada vaso (20/10/2016), efetuando-se, posteriormente, o desbaste, deixando apenas três plantas por vaso.

No estádio R3 (22/11/2016) foi realizada a coleta da terceira folha completamente expandida, contando-se a partir do ápice das plantas. Três trifólios foram utilizados para determinação do teor de K, sendo que, deste total, de quatro a cinco folíolos foram destinados à determinação do K por meio da leitura no medidor de íons Horiba Laqua twin[®], sendo o restante do material destinado à determinação do K através da análise padrão de tecido vegetal (MALAVOLTA, 1997).

Após o corte das plantas, no estádio R8 (maturação fisiológica) foi realizada a contagem e pesagem dos grãos de soja para correlacionar estas variáveis com a concentração de K^+ nas folhas.

3.2.2 CALIBRAÇÃO DA METODOLOGIA

Para calibração da metodologia (medidor de íons Horiba Laqua twin[®]), foram utilizadas amostras de folhas provenientes de dois experimentos de campo conduzidos com objetivo de avaliar a resposta da soja à aplicação de diferentes doses de K.

3.2.2.1 EXPERIMENTO 1: LONDRINA, PR

O estudo foi realizado em um campo experimental instalado na fazenda da Embrapa Soja, localizada na cidade de Londrina, PR (23°11'01"S, 51°10'36"O). O clima predominante na região é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, segundo Köeppen. A média anual da temperatura é de 20,9 °C e da precipitação 1.615 mm. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis doses de K: 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O. A fonte de K utilizada foi o cloreto de potássio (60% K₂O). O experimento foi conduzido sob sistema de semeadura direta desde 1995. Entre 2008 e 2015, houve interrupção da adubação potássica nas parcelas para se avaliar o efeito residual do potássio no solo. A partir da safra 2015/16, as doses de K voltaram a ser aplicadas em metade das parcelas, mantendo a outra metade sob efeito residual das doses de K.

Dessa forma, o delineamento experimental passou a ser blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelo residual das doses de K aplicadas até 2008 e, as subparcelas correspondendo à reaplicação ou não de K⁺. A área total das parcelas era de 40 m² (5 m x 8 m) e as subparcelas de

20 m² (2,5 m x 8 m). O experimento foi cultivado predominantemente com soja no verão, trigo, milho, girassol ou aveia preta no inverno.

O plantio foi realizado em 02/11/2016. A cultivar de soja utilizada foi a BRS-1010Ipro. Foram realizadas três coletas durante o desenvolvimento da cultura, sendo amostrada a terceira folha, a partir do ápice das plantas. As datas e estádios das coletas foram: 13/12/2016 (V4); 03/01/2017 (R3) e 19/01/2017 (R4).

A colheita foi realizada em 25/02/2017, utilizando como área útil 3 linhas de 6 m de comprimento (área útil de 9 m²). A partir da massa de grãos, obteve-se a produtividade, em kg ha⁻¹, com umidade corrigida para 13%.

3.2.2.2 EXPERIMENTO 2: ALVORADA DO SUL, PR

O estudo foi realizado em uma propriedade rural situada no município de Alvorada do Sul, PR (22°48'46,9" S, 51°11'23,5" O). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo é Aw, tropical. A média anual da temperatura é de 22,2 °C e da precipitação 1.295 mm. O experimento foi implantado em 19/10/2016 sob sistema de semeadura direta, utilizando-se a cultivar BRS-1003 Ipro. A área foi cultivada predominantemente com soja no verão e milho safrinha no inverno. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de três doses de K no sulco de semeadura: 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de K₂O e quatro doses em cobertura: 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O. A área total das parcelas foi de 28 m² (4 m x 7 m).

Foram realizadas quatro coletas de folha durante o ciclo de desenvolvimento da soja, nas seguintes datas/estádios fenológicos: 29/11/2016 (V8); 15/12/2016 (R3); 11/01/2017 (R5.1) e 06/02/2017 (R6).

A colheita da soja foi realizada no dia 22/02/2017, utilizando como área útil 2 linhas de 5 m de comprimento (área útil de 5 m²). A partir da massa de grãos, obteve-se a produtividade, em kg ha⁻¹, com umidade corrigida para 13%.

3.2.3 DETERMINAÇÃO DO K NAS FOLHAS DE SOJA

Após cada amostragem, cerca de 10 trifólios eram utilizados para determinação do teor de K, sendo que, deste total, de quatro a cinco folíolos foram destinados à determinação do K⁺ hidrossolúvel e leitura no medidor Horiba Laqua twin[®], sendo o restante do material destinado à determinação do K por meio do método padrão (MALAVOLTA, 1997).

Os folíolos utilizados para determinação do teor de K⁺ hidrossolúvel foram pesados para obter a massa fresca da amostra, macerados com água deionizada por cerca de 1 minuto, usando um triturador manual de plástico. Na sequência foi realizada a filtragem da amostra com água deionizada e papel de filtro qualitativo, sendo o filtrado recolhido em tubo Falcon até atingir volume final de 25 mL.

A partir da massa da amostra e do volume final do filtrado foi calculada a diluição utilizada (massa da amostra e volume final), valor este que foi utilizado para calcular a concentração final de K⁺, em g kg⁻¹ (base úmida).

Adicionalmente, foi realizada a secagem com posterior pesagem do material vegetal retido nos filtros para calcular a concentração de K hidrossolúvel, em base seca. Nesse material foi realizada a determinação do teor de K pelo método padrão (MALAVOLTA, 1997), e quantificação no espectrofotômetro de emissão atômica de plasma acoplado (ICP-OES). Isto possibilitou aferir se as concentrações extraídas com água e as retidas no filtro foram equivalentes.

As medidas foram realizadas utilizando, como ponto de partida, o método para extração adaptado de Dunn et al., 2003. Algumas gotas do filtrado obtido foram depositadas no sensor do Horiba Laqua twin[®]. Este equipamento determina a concentração do íon K⁺, através da diferença de potencial de eletrodos contidos no sensor, e o resultado é expresso em mg L⁻¹.

3.2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram comparados, primeiramente, por meio da matriz de correlação, o que possibilita fazer uma análise exploratória do grau de

associação entre as variáveis. Essas análises estatísticas foram realizadas por meio do software Statistica (Statsoft.com, 2016). Na sequência, as variáveis que apresentaram correlações significativas foram modeladas a partir de modelos de regressão.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 AJUSTE DA METODOLOGIA (REALIZADA EM CASA DE VEGETAÇÃO)

Os teores de K^+ hidrossolúvel obtidos com o medidor de íons para a cultura da soja apresentaram correlação significativa com os teores de K pela análise foliar (Figura 1a) e com a produtividade relativa de grãos (Figura 1b).

Outros autores, também verificaram a eficiência do medidor de íons Horiba Laqua twin[®] na cultura do arroz, comparando com análises em tecido seco, para a determinação de K, onde verificou coeficiente de correlação de 0,66 (DUNN et al., 2003). Segundo Blanco (2004), as concentrações de NO_3^- , K^+ e Na^+ no solo e em pecíolos de tomateiro, apresentaram correlação, o que foi verificado também por Hochmuth et al. (2003) estudando plantas de manjeriço.

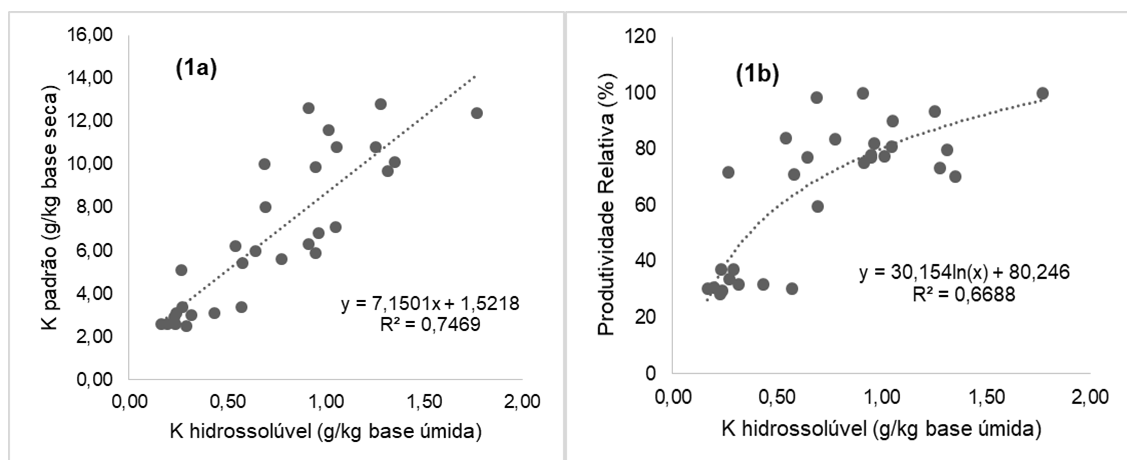


Figura 1. Modelos de regressão que relacionam a concentração de K^+ padrão (1a) e produtividade relativa (1b) em função do teor hidrossolúvel de K nas folhas de soja.

Neste experimento, para a produtividade, as doses de K^+ apresentaram efeitos significativos sobre as cultivares de soja avaliadas (Tabela 1), porém, não houve efeito significativo para a interação entre as cultivares e doses de K^+ .

De acordo com Oliveira Junior et. al (2013), tem sido observado que diversas cultivares de soja apresentam aumento da produtividade em função não

somente do potencial produtivo, mas também de técnicas de manejo e adubação utilizadas.

Scherer (1998) e, mais recentemente Serafim et al. (2012) notaram que os teores de K^+ no tecido foliar são afetados pela disponibilidade do nutriente no solo, portanto existe relação entre os teores de K^+ no solo (Mehlich-1) e na folha, bem como entre eles e a produção de grãos.

Tabela 1. Análise de Variância para o efeito de doses potássio em plantas de soja, casa de vegetação, Londrina PR.

Fonte de variação	QM	F	Pr>F
Cultivares	90970,133	1,59	0,2197 ^{ns}
Tratamentos	1869687,1	32,64	<0001*
Cultivares x Tratamentos	3076	0,05	0,0995 ^{ns}
C.V= 32,77%			

*significativo a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo.

3.3.2 Calibração da metodologia

3.3.2.1 EXPERIMENTO 1: LONDRINA, PR

RESPOSTA À APLICAÇÃO DE K^+

Os resultados para a produtividade da soja, em função das doses de K^+ (Figura 2) ocorreram até configurarem o modelo Linear-plateau, e ambos os modelos ajustados apresentaram a estagnação no incremento da produtividade em aproximadamente 3.100 kg ha^{-1} . Nas parcelas com reaplicação de K^+ , a fase linear do modelo ocorreu até a dose de 73 kg ha^{-1} de K_2O , ao passo que, sob efeito residual, a fase linear de aumento ocorreu até a dose de 121 kg ha^{-1} K_2O .

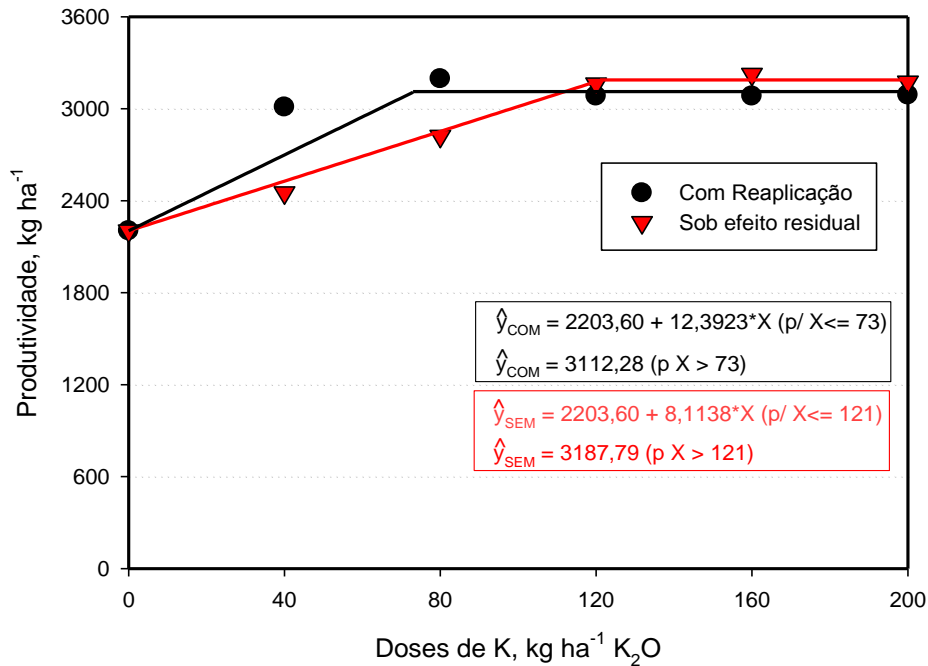


Figura 2. Produtividade de plantas de soja safra 2016/2017, em função de doses de potássio com reaplicação e sob efeito residual.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lana et al. (2002), que verificaram maior produtividade da soja em solos de cerrado com baixo teor de K^+ , com a aplicação de 90 kg ha^{-1} de K_2O . Foloni e Rosolem (2008) verificaram também maiores produtividades de soja com aplicações de 90 kg ha^{-1} de K_2O em solo com médio teor de K^+ . Gonçalves Júnior et al. (2010) verificaram maior produtividade da soja com aplicação de 120 kg ha^{-1} de K_2O em solos com médio teor de K^+ . No entanto, Bernardi et al. (2009) não verificaram efeito da aplicação de K_2O em solo com teor de K^+ classificado de médio a alto.

Trabalhos realizados na região Sul do Brasil têm-se encontrado baixas respostas das culturas à adição de fertilizantes, mesmo em solos com teor de K^+ trocável considerado médio ou baixo (BRUNETTO et al., 2005).

Isso tem sido atribuído ao aporte de formas não-trocáveis de K^+ (MELO et al., 2004), pois, os mecanismos que controlam a absorção de K^+ nas plantas são eficientes, principalmente em baixas concentrações na solução do solo, resulta em forte gradiente químico em direção à rizosfera, criando um ambiente favorável à liberação do K^+ de formas não-trocáveis (GOMMERS et al., 2005).

CALIBRAÇÃO DO TEOR DE K⁺ HIDROSSOLÚVEL

Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações médias de K⁺ obtidas com a extração em água (expresso em base úmida) e total. Observa-se, que a concentração total foi a metodologia mais sensível em demonstrar o efeito das doses de K⁺, comparada ao K⁺ hidrossolúvel, independente da reaplicação ou não do nutriente.

Conforme Malavolta (2006), a análise química foliar é a principal ferramenta para a avaliação e manejo do estado nutricional das plantas, já que a folha é o órgão que melhor reflete o estado nutricional da maioria das culturas, isto é, responde às variações no suprimento de nutrientes, por se tratar do centro das atividades fisiológicas das plantas.

Tabela 2. Concentração de K⁺ hidrossolúvel em base úmida e total em base seca.

Doses de K ⁺ kg ha ⁻¹ K ₂ O	Concentração de K ⁺ (g kg ⁻¹) ⁺			
	Hidrossolúvel (Base úmida)		Total (Base seca)	
	Com Reaplicação	Sem Reaplicação	Com Reaplicação	Sem Reaplicação
	----- V4 -----			
0	0,8	0,9	12,5	11,6
40	0,6	0,7	22,0	13,0
80	0,9	0,7	24,0	16,8
120	0,8	0,7	25,8	23,0
160	1,0	0,7	25,7	25,3
200	0,7	0,6	28,6	31,4
	----- R3 -----			
0	1,1	0,7	12,1	15,3
40	0,9	0,8	18,0	16,0
80	0,9	1,0	22,8	17,3
120	1,1	1,0	23,4	21,7
160	0,4	0,4	24,8	25,0
200	1,0	0,5	26,4	25,5
	----- R4 -----			
0	0,9	0,6	10,9	11,2
40	1,1	0,9	14,1	12,5
80	1,5	0,8	17,1	12,6
120	1,0	0,9	18,7	15,2
160	1,6	1,5	18,3	18,4
200	1,1	1,1	19,6	18,6

Os coeficientes de correlação entre os teores de K⁺ total e hidrossolúvel estão apresentados na Tabela 3, sendo observada correlação

significativa entre os resultados das determinações somente no estágio R4, com coeficiente de 0,485. Nesse estágio, o teor de K^+ hidrossolúvel também correlacionou-se positivamente com a produtividade relativa da soja, possibilitando a determinação do nível crítico (Figura 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação¹ linear entre os teores de potássio na folha pelos métodos hidrossolúvel e padrão – experimento Londrina, PR.

	PR	Khs			KP		
		V4	R3	R4	V4	R3	R4
PR	1,0	0,009 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	0,515 ^{**}	0,731 ^{**}	0,768 ^{**}	0,696 ^{**}
Khs	V4	1,0	----	----	-0,044 ^{ns}	----	----
	R3		1,0	----	----	-0,256 ^{ns}	----
	R4			1,0	----	----	0,485 ^{**}

PR = Produtividade relativa (%); Khs= Potássio hidrossolúvel; KP= Potássio padrão.

** Significativo a 1%, ns: não significativo.

O nível crítico de K^+ hidrossolúvel foi de 1,5 g kg^{-1} em base úmida (Figura 3A), pois se trata da concentração que leva a 90% da produtividade máxima.

A Figura 3B demonstra que 1,5 g kg^{-1} (base úmida) correspondeu a 18 g kg^{-1} de K^+ total, sendo essa concentração o nível crítico de K no estágio R4 (Figura 3B.1).

Bataglia e Dechen (1986) definiram como nível crítico para a soja uma concentração de 17 g kg^{-1} no tecido foliar. Malavolta et al. (1989) estabeleceram, para o ótimo desenvolvimento da cultura, concentrações entre 17 e 25 g kg^{-1} de K^+ na folha. Esses autores constataram deficiências severas de K^+ nas plantas, quando os teores estavam abaixo de 12 g kg^{-1} .

Segundo Sacramento e Rosolem, (1998), plantas nutridas com K^+ apresentam maior eficiência de absorção, já, a eficiência na conversão de nutriente em matéria seca, é mais notória em plantas deficientes em potássio. Por isso, a resposta de produtividade em relação à acumulação de potássio segue uma progressão não linear, sendo possível também o estabelecimento de faixas de suficiência, acima das quais o consumo de potássio por parte das plantas não garante aporte produtivo proporcional, caracterizando o “consumo de luxo” (MARSCHNER, 1998; GOMMERS et al., 2005; MEURER, 2006).

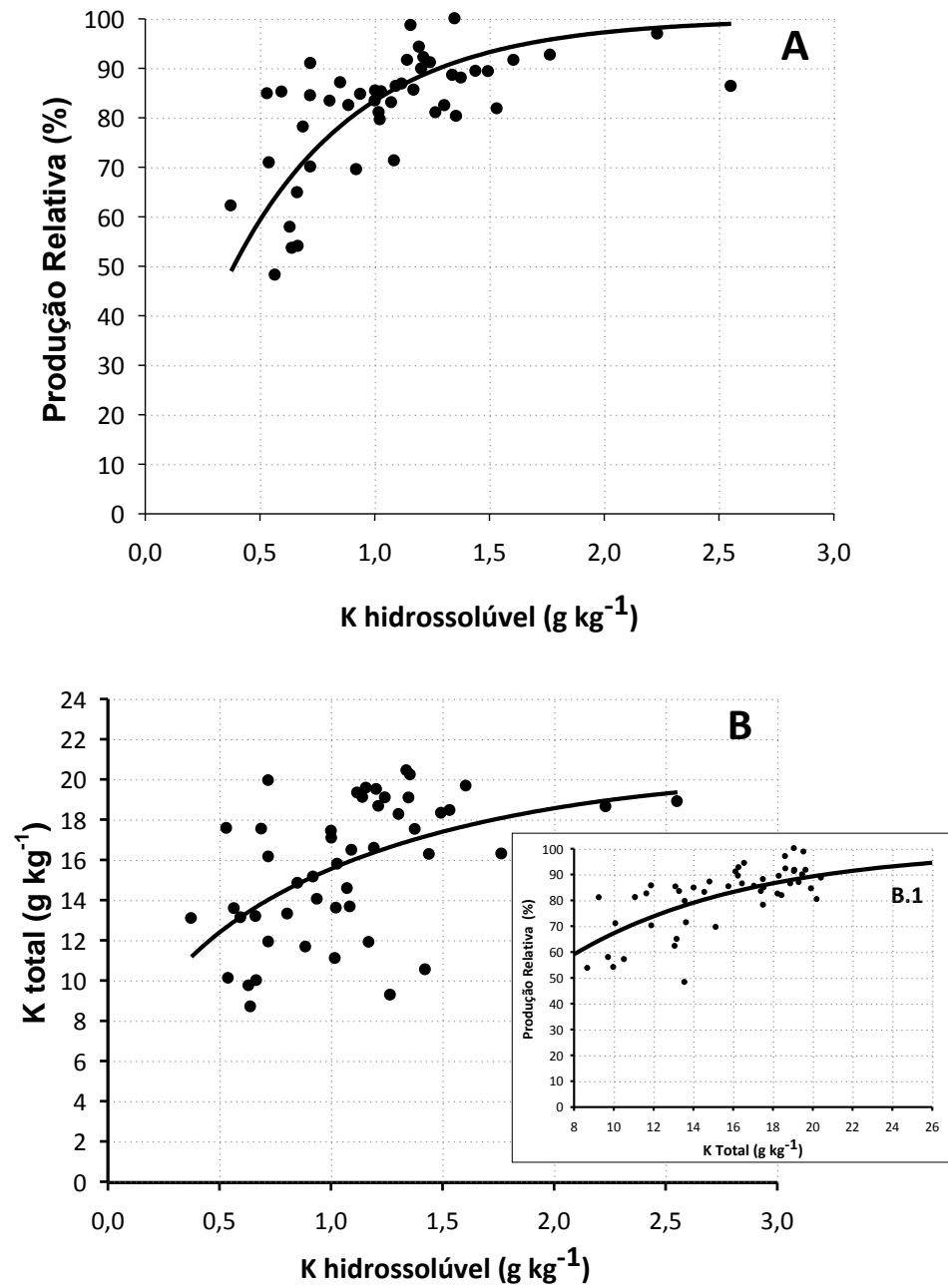


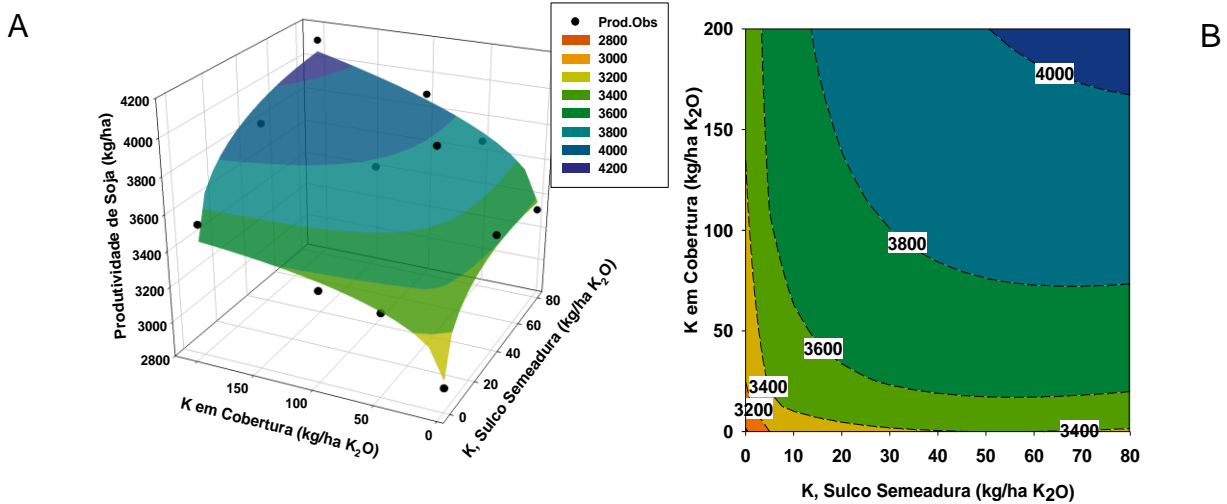
Figure 3. Modelos de regressão ajustados ao rendimento relativo de soja (A) e ao teor de K total (B) em função do teor de K⁺ hidrossolúvel (base úmida) em folhas de soja no estágio R4. Calibração do nível crítico (18 g kg⁻¹) de K⁺ no estágio R4 (B.1). Londrina, PR.

3.3.2.2 EXPERIMENTO 2: ALVORADA DO SUL, PR

RESPOSTA À APLICAÇÃO DE K^+

Observou-se resposta crescente da produtividade de soja em função do aumento das doses de K_2O no sulco de semeadura e em cobertura. (Figura 4A). Pelas isolinhas do modelo ajustado (Figura 4B) observa-se que a aplicação localizada do K^+ é fundamental para o aumento da eficiência da adubação potássica em áreas com baixa disponibilidade do nutriente. Ou seja, a aplicação de K^+ somente em cobertura resultou em produtividades na faixa de 3400 kg ha^{-1} , ao passo que produtividades acima de 3600 kg ha^{-1} só foram obtidas com a associação da aplicação de K^+ no sulco e em cobertura.

Nesse sentido, quanto maior a dose aplicada no sulco de semeadura, dentro do intervalo avaliado (0 a 80 kg ha^{-1} de K_2O), menor é a quantidade necessária de K^+ a ser aplicada em cobertura para se obter o mesmo nível de produtividade, ou seja, considerando a produtividade de 3.800 kg ha^{-1} de grãos, este valor foi obtido com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de semeadura e 80 kg ha^{-1} de K_2O em cobertura, totalizando 140 kg ha^{-1} de K_2O , ou ainda, com a aplicação de 20 e 200 kg ha^{-1} de K_2O , no sulco de semeadura e em cobertura, respectivamente, totalizando assim, 220 kg ha^{-1} de K_2O . Isto evidencia a maior eficiência da adubação com o aumento da dose aplicada de forma localizada (menor dose total de K^+ para a mesma produtividade).



$$Z = 2977,22 + 116,541X^{0,5} + 51,379Y^{0,5} - 8,003X - 1,293Y + 0,0129*(X*Y); R^2 = 0,93$$

Z = Produtividade; X = Doses de K no Sulco de Semeadura; Y = Doses de K em Cobertura;

Figura 4. Produtividade de soja em resposta a aplicação de K^+ no sulco de semeadura e em cobertura (A) e as isolinhas ajustadas a partir da equação do modelo (B).

Borkert et al. (1993) constataram alta correlação na produção de grãos de soja, em função de doses crescentes de K_2O aplicadas a lanço e ou no sulco de semeadura. Enquanto Gonçalves Júnior et al. (2010) verificaram maior produtividade da soja com aplicação de 120 kg ha^{-1} de K_2O em solos com médio teor de K.

O K^+ é considerado indispensável para obter-se altas produtividades na cultura da soja, não só pela manutenção de melhores condições para o crescimento da planta, mas principalmente para a fixação biológica de N (BORKERT; YAMADA, 2000), além de contribuir para a maior resistência das plantas ao ataque de doenças (MASCARENHAS et al., 2000)

CALIBRAÇÃO DO TEOR DE K^+ HIDROSSOLÚVEL

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações médias de K hidrossolúvel e total, nos estádios avaliados. Verifica-se repetidamente a melhor sensibilidade do teor de K^+ total nas folhas para o efeito de doses, independente da forma de aplicação. Conforme observado e discutido no item 3.3.2.1 para o experimento de Londrina, PR.

As correlações indicaram maior significância para a metodologia de extração de K^+ hidrossolúvel com o método padrão nos estádios V8, R5.1 e R6 (Tabela 5). A exemplo do que foi verificado nos itens 3.3.1 em casa de vegetação e 3.3.2.1 no experimento de Londrina, PR.

O nível crítico de K^+ hidrossolúvel foi de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ na base úmida (Figura 5A), ou seja, a concentração que leva a 90% da produtividade máxima.

Na figura 5B observa-se que $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ (base úmida) corresponde a 14 g kg^{-1} de K^+ total, sendo essa concentração o nível crítico de K^+ no estágio R5.1 (Figura 5B.1).

O nível crítico tem sido estabelecido como o teor do nutriente na folha associado à 90 ou 95% da produção ou crescimento máximo da cultura, em resposta a doses crescentes de dado nutriente (ALVAREZ et al., 1988).

Tabela 4. Concentração média de K⁺ hidrossolúvel (K⁺-HS, base úmida) e total (K⁺-T, base seca).

Doses de K ⁺	Concentração de K ⁺ (g kg ⁻¹)					
	0		40		80	
Cob.	K-HS	K-Total	K-HS	K-Total	K-HS	K-Total
kg ha⁻¹ K₂O	----- V8 -----					
0	0,63	9,72	0,77	12,82	0,60	14,22
50	0,80	8,41	0,80	17,51	1,09	18,38
100	0,65	6,35	1,18	16,16	0,68	16,97
200	0,49	3,73	1,06	15,99	0,87	17,19
	----- R3 -----					
0	1,04	15,46	0,99	17,57	0,66	19,67
50	0,85	17,49	0,96	20,77	0,73	23,92
100	0,87	17,92	1,27	20,74	1,02	21,83
200	0,77	18,92	0,79	23,67	0,69	23,70
	----- R5.1 -----					
0	1,16	10,39	1,27	10,53	1,27	10,53
50	1,39	11,48	1,16	13,93	1,16	13,93
100	1,29	12,43	1,69	12,64	1,69	12,64
200	1,25	14,09	1,76	14,83	1,76	14,83
	----- R6 -----					
0	0,73	5,63	0,47	4,41	0,74	4,09
50	0,70	5,75	0,79	7,47	1,12	9,85
100	0,81	6,06	0,89	7,97	0,87	7,96
200	0,98	6,72	1,30	9,05	0,72	8,56

Tabela 5. Coeficientes de correlação¹ linear entre os teores de K⁺ na folha pelos métodos hidrossolúvel e padrão – experimento Alvorada do Sul, PR.

	Khs				KP			
	V8	R3	R5.1	R6	V8	R3	R5.1	R6
PR	1,0	0,037 ^{ns}	0,168 ^{ns}	0,104 ^{ns}	0,419 ^{**}	0,574 ^{**}	0,221 ^{ns}	0,167 ^{ns}
V8	1,0	-----	-----	-----	0,467 ^{**}	0,075 ^{ns}	-----	-----
R3		1,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
R5.1			1,0	-----	-----	-----	0,513 ^{**}	-----
R6				1,0	-----	-----	-----	0,733 ^{**}

PR = Produtividade relativa (%); Khs= Potássio hidrossolúvel; KP= Potássio padrão. ** Significativo a 1%, ns: não significativo.

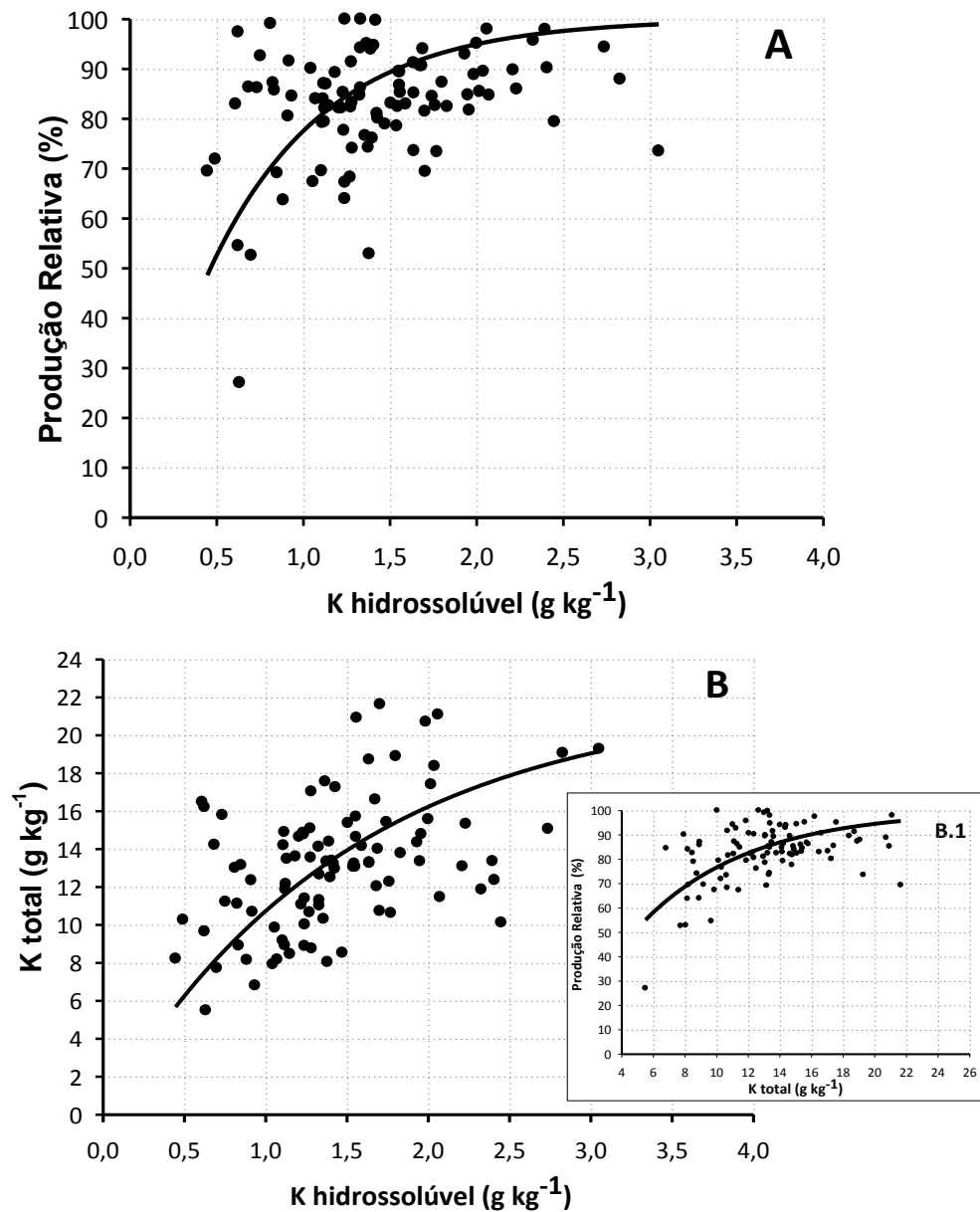


Figure 5. Modelos de regressão ajustados ao rendimento relativo de soja (A) e ao teor de K total (B) em função do teor de K⁺ hidrossolúvel (base úmida) em folhas de soja no estágio R5.1. Calibração do nível crítico (14 g kg⁻¹) de K⁺ no estágio R5.1 (B.1). Alvorada do Sul, PR.

Na Tabela 6 apresentamos os valores de leitura de K⁺ no medidor de íons Horiba Laqua twin[®], correspondentes a 1,5 g kg⁻¹ base úmida, em função da massa fresca de folhas de soja para um volume final 25 mL. O intuito dessa informação é fornecer aos usuários do medidor de íons os parâmetros para tomada de decisão a campo e de forma rápida quanto a aplicação de potássio.

Tabela 6. Valor da concentração de K^+ no medidor de íons Horiba Laqua twin[®] em função da massa fresca de folhas que corresponde à $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de K^+ (base úmida). Volume final 25 mL.

Massa Fresca (g)	Leitura medidor de íons (mg L^{-1})
1,5	90
1,6	96
1,7	102
1,8	108
1,9	114
2,0	120
2,1	126
2,2	132
2,3	138
2,4	144
2,5	150
2,6	156
2,7	162
2,8	168
2,9	174
3,0	180
3,1	186
3,2	192
3,3	198
3,4	204
3,5	210

4 CONCLUSÃO

- 1) Em todos os experimentos houve resposta a aplicação de K^+ .
- 2) A análise pelo medidor de íons, apresentou correlação com o método padrão, permitindo o seu uso para o monitoramento da deficiência do potássio na cultura da soja.
- 3) Estipulou-se o nível crítico de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ para o teor de K^+ hidrossolúvel, na cultura da soja, em ambos os experimentos, através do medidor de íons Horiba Laqua twin[®].
- 4) Foi possível elaborar uma tabela para fornecer aos usuários do medidor de íons, parâmetros para tomada de decisão a campo e de forma rápida quanto a aplicação de potássio.

5 REFERÊNCIAS

ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. D. M. D. Cultura da soja no Cerrado. Piracicaba, SP: **Potafos**, 1993.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; RIBEIRO, A. C.; DEFELIPO, B. V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1, 1988. Viçosa. **Resumo...** 1988. p. 68-69

BACKES, D.; TRENTO, S. **Efeito da época de aplicação de Cloreto de potássio na cultura da soja**. 2007. 9 p. Monografia.

BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, Piracicaba, 1986. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.115-136.

BENTON JONES, J.; E.C.K.I, H.V.; VOSS, R. Plant Analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1990. p.521-549.

BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 158-167, 2009.

BHARATI, M.P.; WHIGHAM, D. K.; VOSS, R. D. Soybean response to tillage nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.6, p. 947-950, 1986.

BLANCO, F. F. Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de íons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta. 2004. 115f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Piracicaba, SP.

BONATO, E.R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina, **EMBRAPA – Cnpso**. (EMBRAPA – Cnpso. Documentos, 21) p. 61, 1987.

BRASIL. Ato nº 8, de 16 de outubro de 2009. Serviço nacional de proteção de cultivares. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 out. 2009. Sessão 1, p. 03. Disponível em: <http://sites.unasp.edu.br/portal/secretariageral/Documentos/DOU/2009-2/10/DO1_2009_10_19.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; SAGGIN, A. & KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:565-571, 2005.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, n.2, p. 223-226, 1993.

BORKERT, C. M.; et al. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em latossolo roxo distrófico. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 12, p. 1.235-1249, 1997.

BORKERT, C. M.; YAMADA, T. Resposta da soja à adubação potássica em oxissolo de baixa fertilidade. **Informações agronômicas**, n. 92, 2000. 2 p

CASTRO, L. S.; MIRANDA, M. H.; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 69-87, 2015.

CAKMAK, I. **Proteção de plantas contra os efeitos nocivos do estresse de fatores ambientais**. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores Econômicos da Agropecuária**. Brasília, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, v.4, Safra 2016/2017, n.6, Sexto levantamento, mar. 2017.

DUNN, D.; STEVENS, G. **Plant mapping potassium in rice tissue: what part to sample when? First year - progress report**. Missouri: University of Missouri-Delta Center, 2003.

EMBRAPA, **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF. 2009.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Ames: State University of Science and Technology**, 1977. 11 p. (Special report, 80).

FIRMANO, R.F. **Efeito residual da adubação potássica nas formas do nutriente no solo**. Piracicaba, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2017. p. 20. (Dissertação de Mestrado).

FOLONI, J.S.S. **Dinâmica do potássio em sistema de produção de soja em rotação com aveia e milho**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2003. 139p. (Tese de Doutorado).

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1549-1561, 2008.

GOMMERS, A.; THIRY, Y.; DELVAUX, B. Rhizospheric Mobilization and Plant Uptake of Radiocesium from Weathered Soils: I. Influence of Potassium Depletion. **Journal Environmental Quality**, v. 34, p. 2167 –2173,2005.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada Com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, p. 660-666, 2010.

HIRAKURI, M. H. Estimativa de custo de produção e lucratividade da soja, safra 2008/09, para o Paraná e Santa Catarina. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 15p. (Embrapa Soja. **Circular Técnica**, 65).

HOCHMUTH, R. C.; DAVIS, L. L.; LAUGHLIN, W.; SIMONNE E. Evaluation of organic nutrient sources in the production of greenhouse hydroponic Basil. Florida: University of florida. North **Florida Research and Education Center**, 2003.

LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, O. T.; LIMA, L. M. L.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado. **Bioscience Journal**, v. 8, p. 17-23, 2002

LOPES, A. A. **Nitrogênio e Potássio em cobertura na cultura da soja em Argissolo Vermelho, derivado do Arenito Caiuá**. 2007. 46 p. Dissertação (mestrado Agronomia) – UNIOESTE.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1989. 201p.

MALAVOLTA E, Vitti GC, Oliveira SA Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. **Potafós**. 319p. 1997.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: **CERES**, 2006. 631p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, **Academic Press Inc.**, 1986. 674p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **London,Academic Press**, 889p, 1998.

MARTIN-PREVEL, P.; GAENARD, J.; GAUTIER, P. L'analyse vegetable dans le controle de l'alimentation des plantes temperées et tropicales. Paris: **Technique e Documentation**, 1984. 802 p.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola** , v. 57, n. 03, p. 445-449, 2000.

MASCARENHAS, H. A. A.; et al. Immature opening of soybean pods related to climatic condition, soil acidity and potassium deficiency. **Atlanta: Better Crops**, v. 6, n. 1, p. 10-11, 1990.

MELO, G.W.; MEURER, E.J. & PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníficos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:597- 603, 2004.

MEURER, E. J. Potássio. Em: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 281-298, 2006.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. Maringá Management: **Revista de Ciências Empresariais**, 3(1): p. 7-15, 2006.

MYERS, S. W. et al. Effect of soil potassium availability on soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) population dynamics and soybean yield. **Journal of economic entomology**, California, v. 98, n. 1, p. 113-120, 2005.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; JUNIOR, A. D. O. **Fertilidade do solo e Nutrição Mineral da Soja**. 1. ed. Londrina, PR: Embrapa, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 143, p. 1, 3-10, set. 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; FOLONI, J. S. S. Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado. In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA**, 34. 2014, Londrina. Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, 2014. p. 133-136.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2 ed. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica e Agropecuária, 2004. 86 p.

PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum**. v. 133, p. 670-681, 2008.
RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285 p.

ROSOLEM, C. A. Adubação Potássica em Semeadura Direta. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. 1997, Dourados. EMBRAPA: **Resumos e Palestras**. Dourados, 1997. 12 p.

SACRAMENTO, L.V.S.; ROSOLEM, C.A. Eficiência de absorção e utilização de potássio por plantas de soja em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, p.355- 365, 1998.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em latossolo húmico de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:57-62, 1998.

SILVA, E. F. F. et al. Utilização de testes rápidos e extratores de solução do solo na determinação de nitrato e potássio. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 460-467, 2003.

SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. v. 35. n. 1. Londrina, PR: **Ciências Agrárias**, 2014.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, G. P.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da Soja: I Parte**. Viçosa: UFV, 1996. 96 p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; Barros, H. B. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009. 314 p.

SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 222-227, 2012.

Statsoft.com. (2016). *STATISTICA | New Features in STATISTICA 12*. [online] Available at: <http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features/Version-12>.

VENTURA, F. et al. Validation of development models for winter cereals and maize with independent agrophenological observations in the BBCH scale. **Italian Journal of Agrometeorology**. v. 3, p. 17-26, 2009.

ZOCA, S. M.; TOZI, T. S.; ROSOLEM, C. A.; BARRAGAN, E. Q. Calibração de um medidor de íons potássio (Cardy) na cultura do algodoeiro. In: **VI Congresso Brasileiro do Algodão**. 2007, Minas Gerais.