



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**SUPRIMENTO DE POTÁSSIO EM ARGISSOLO COM
HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sinval Ledur Kist

Santa Maria, RS, Brasil

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

SUPRIMENTO DE POTÁSSIO EM ARGISSOLO COM HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

por

Sinval Ledur Kist

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. João Kaminski

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

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

**SUPRIMENTO DE POTÁSSIO EM ARGISSOLO COM
HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

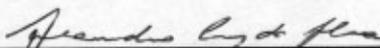
elaborada por
Sinval Ledur Kist

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

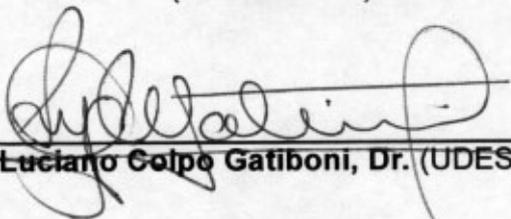
COMISSÃO EXAMINADORA:



João Kaminski, Dr.
(Presidente/Orientador)



Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)
(co-orientador)



Luciano Colpo Gatiboni, Dr. (UDESC)

Santa Maria, 05 de julho de 2005

DEDICO a minha Deíinha
pelo apoio, incentivo, amor e carinho.

OFEREÇO aos meus pais e meus irmãos,
pelo apoio e educação.

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Kaminski, pela orientação, preocupação com o aprendizado, dedicação e amor ao ensino.

Ao professor Danilo Rheinheimer dos Santos, meus agradecimentos pela qualidade de ensino e dedicação ao ensino público.

Ao professor Leandro Souza da Silva, pela orientação e apoio nos momentos confusos.

Ao colega Gustavo Bruneto que, juntamente com o professor João Kaminski foram imprescindíveis principalmente na fase de conclusão deste trabalho, pela amizade, colaboração e paciência dedicada nos momentos difíceis.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, pela orientação, amizade e serenidade.

Ao professor Luciano Colpo Gatiboni, pela amizade, orientação e dúvidas sanadas nos momentos críticos.

Aos professores do Departamento de Solos da UFSM, pela qualidade de ensino dedicado e a amizade criada neste período.

Aos inúmeros colegas e amigos do PPGCS, em especial João Pelegrini e Celso Gonçalves, pela amizade, discussões e apoio nos momentos difíceis.

Ao bolsista Diovane Freire Moterle, pela amizade e apoio na condução dos experimentos e análises laboratoriais.

Aos bolsistas do setor de Química e Fertilidade do Solo, pelos laços de amizade e apoio na execução dos trabalhos laboratoriais.

Aos funcionários do Departamento de solos e do PPGCS, especialmente a Luiz Francisco Finamor e Tarcisio Uberti, pela amizade e apoio.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos e incentivo a pesquisa.

À UFSM, pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

Aos meus pais, Afonso e dona Maria, meus irmãos, em especial ao Louvani e ao Tarso, pelo apoio e incentivo nos momentos mais difíceis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
	2.1 Formas de Potássio no Solo.....	14
	2.2 Disponibilidade de Potássio às Plantas.....	18
	2.3 Avaliação da Disponibilidade de Potássio.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
	3.1 Histórico do Experimento de Campo.....	23
	3.2 Descrição dos Experimentos.....	26
	3.2.1 Experimento de Casa de Vegetação.....	26
	3.2.1.1 Análises Laboratoriais.....	27
	3.2.1.1.1 Extração Sucessiva.....	27
	3.2.1.1.2 Fracionamento do Potássio.....	28
	3.2.1.1.3 Extração do Potássio da Parte Aérea.....	29
	3.2.1.2 Procedimento Estatístico.....	30
	3.2.2 Experimento de Campo.....	30
	3.2.2.1 Procedimento Estatístico.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
	4.1 Experimento de Casa de Vegetação.....	33
	4.2 Experimento de Campo.....	48
5	CONCLUSÕES.....	52
6	LITERATURA CITADA.....	53
7	ANEXO.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Atributos físicos e químicos da camada 0-20cm do Argissolo Vermelho Distrófico arênico antes da instalação do experimento.....	23
TABELA 2 - Potássio adicionado nas parcelas principais e sub-parcelas em quatro anos.....	24
TABELA 3 - Cultivos realizados no experimento de campo desde sua implantação.....	25
TABELA 4 - Manejo das culturas durante os cinco cultivos realizados em casa de vegetação.....	26
TABELA 5 - Produção de matéria seca da parte aérea das plantas do solo A1 e A2 submetida a níveis de potássio, e o coeficiente de variação dos cinco cultivos em casa de vegetação.....	33
TABELA 6 - Equações ajustadas para produção de matéria seca em função dos níveis de potássio adicionados.....	34
TABELA 7 - Teor de potássio absorvido pela parte aérea das plantas submetidas a níveis de potássio no solo A1 e A2 em cinco cultivos realizados em casa de vegetação.....	35
TABELA 8 - Equações ajustadas para os teores de potássio absorvido pela parte aérea das plantas em função da dose de potássio adicionado.....	36
TABELA 9 - Equações ajustadas para os teores de potássio extraídos pelos extratores químicos Mehlich1, HNO_3 e NaBPh_4 em função dos níveis de potássio.	37
TABELA 10 - Teores de potássio extraído com extrator de Mehlich 1, HNO_3 , NaBPh_4 e digestão ácida do solo original e nos cinco cultivos em casa de vegetação, e os respectivos coeficientes de variação.....	39
TABELA 11 - Teores de potássio extraído com HNO_3 ou NaBPh_4 após extrações sucessivas com Mehlich 1 e potássio total extraído com ácido fluorídrico (HF) após o 5 ^o cultivo.....	42

TABELA 12 - Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de potássio absorvido pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator de Mehlich 1, HNO ₃ , NaBPh ₄ e digestão ácida no solo A1.....	43
TABELA 13 - Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de potássio absorvido pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator de Mehlich 1, HNO ₃ , NaBPh ₄ e digestão ácida no solo A2.....	44
TABELA 14 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos da soja e as doses de potássio aplicado no solo.....	49
TABELA 15 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos do trigo e as doses de potássio aplicado no solo.....	50
TABELA 16 - Produção de grãos da cultura da soja e do trigo decorrente da aplicação de potássio no solo.....	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Potássio na parte aérea e teores de potássio trocável (Mehlich 1) e potássio não trocável (HNO_3) no solo dos cultivos sucessivos.....	41
FIGURA 2 - Correlações entre os teores de K absorvido e extraído do solo A1 e A2 com o extrator de Mehlich 1 nos cultivos de aveia (a, b), trigo (c, d), soja(e, f), milho (g, h) e feijão-de-porco(i, j) em casa de vegetação.....	46
FIGURA 3 - Correlação entre os teores de K absorvido e extraído pelos extratores HNO_3 e NaBPh_4 do solo A1 e A2 nos cultivos de soja (a, b) e feijão-de-porco (c, d) em casa de vegetação.....	47

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

SUPRIMENTO DE POTÁSSIO EM ARGISSOLO COM HISTÓRICO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Autor: Sinval Ledur Kist

Orientador: João Kaminski
Santa Maria, 05 de julho de 2005

Em alguns solos com baixos teores de potássio trocável (K_t), as plantas absorvem quantidades aparentemente maiores que as disponíveis, indicando que formas não trocáveis (K_{nt}) participam no suprimento às plantas. Como se usa adubação para aumentar a capacidade de suprimento de longo prazo, foram conduzidos dois experimentos para: a) avaliar a exaustão de potássio nativo e adicionado no solo por uma sucessão de cultivos e por extrações sucessivas com extrator químico; b) estudar a dinâmica da participação das diferentes formas de potássio no suprimento a uma sucessão de cultivos e; c) observar a eficiência de potássio adicionado em solo submetido a um sistema de adubações escalonadas. Este trabalho foi realizado a partir de um experimento de campo instalado em 1991, em cuja distribuição de tratamentos se adicionaram 0, 720, 900 e 1080 kg K ha⁻¹ de forma escalonada. Destes, foram realizados dois experimentos: o primeiro denominado experimento de casa de vegetação, e o segundo experimento de campo. No primeiro, as amostras de solo foram coletadas do experimento de campo na camada 0-10 cm das parcelas testemunha e naquela que recebeu a maior dose de potássio, as quais apresentavam teores de 28 e 80 mg K kg⁻¹, respectivamente. O solo foi seco, peneirado e acondicionado em vasos com 3 Kg e posteriormente construído um gradiente para ambos teores iniciais adicionando-se as doses de 0, 10 e 30 mg K kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo, e 0, 20 e 60 nos dois últimos cultivos. A adubação fosfatada e com micronutrientes foi realizada no início do experimento e após o terceiro cultivo. Realizaram-se cultivos sucessivos de aveia, trigo, soja, milho e feijão-de-porco, em casa de vegetação, as quais foram colhidas na fase de floração, secas, pesadas, digeridas e determinado o teor de potássio absorvido. Após cada cultivo, uma amostra de solo foi coletada para as análises com os extratores de Mehlich 1, HNO₃ 1mol L⁻¹ fervente, NaBPh₄ e digestão ácida. A análise estatística foi realizada com a análise da variância dos níveis de K adicionado sobre a produção de matéria seca, teores de K absorvido e os teores extraídos com os extratores de Mehlich 1, HNO₃ 1mol L⁻¹ fervente e NaBPh₄, e o efeito dos níveis de K sobre o solo A1 e A2. Os teores de K absorvido pelos cultivos e extraídos pelo extrator Mehlich 1, HNO₃ 1mol L⁻¹ fervente, NaBPh₄ e digestão ácida, realizou-se a correlação linear de Pearson ($p>0,05$). O experimento de campo foi conduzido com o cultivo de soja safra 2003/04 e trigo safra 2004. A cultura da soja foi adubada com 100kg de P₂O₅ ha⁻¹ na linha de semeadura, em quanto que para o trigo foram utilizados 50kg P₂O₅ ha⁻¹ e 22kg N, e 40kg N em cobertura. A colheita das culturas realizou-se numa área de 8m² em cada sub-parcela, os grãos foram pesados e a umidade corrigida para 13%. Após cada cultivo coletaram-se amostras de solo na profundidade de 0-10cm em cada sub-parcela e determinaram-se os teores de K disponíveis com o extrator de Mehlich 1. O procedimento estatístico adotado foi da análise da variância e ajuste de regressões polinomiais às médias. A produção de matéria seca e os teores de K absorvido nos cultivos demonstraram que houve diferença significativa aos níveis de K adicionado. Não se observou interação entre os níveis de K adicionado e os solos A1 e A2 para a maioria dos cultivos. Os extratores mostram-se adequados para predição do K acessado pelas plantas, isto deve ter ocorrido porque todas as formas do solo parecem contribuir concomitantemente com o suprimento de K às plantas. A produtividade de grãos de soja em resposta a adição de K é verificada quando de adições freqüentes e em pequenas doses, independente de adições maciças em anos anteriores, com o objetivo de aumentar os níveis de K no solo e em produção. A produção de grãos de trigo em sucessão a soja obedece o mesmo padrão de disponibilidade, mas responde à aplicações na primeira cultura, caracterizando um efeito residual é suficiente para atingir boa produção de trigo. Assim, a capacidade de suprimento de potássio do solo depende mais de suas características mineralógicas do que do seu histórico de adubações.

ABSTRACT

Master Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

POTASSIUM SUPPLY IN ULTISOL WITH LONG TERM POTASSIC FERTILIZATION

Author: Sival Ledur Kist
Advisor: João Kaminski
Santa Maria, 05 of July of 2005.

In some soils with low amount of exchangeable potassium (K_t), the plants uptake amounts larger than the available ones, suggesting that nonexchangeable forms (K_{nt}) participate in the plants supply. As use K fertilization to upper the soil potassium availability, two experiments was carried out to understand (a) the dynamics of K release in a ultisol, with a history of K additions, (b) submit a soil sample to five successive greenhouse crops, and (c) evaluate the efficiency of added K a soybean and wheat yield. The original soil was submitted to K fertilization, until 1991, treated with 0, 720, 900 and 1080 kg ha⁻¹ K₂O, splitting over on twelve years. In the greenhouse experiment, the soil used in the pots was collected from the field experiment in the 0-10 cm of the portions witness and in that that received the largest potassium rate, which presented amounts of 28 and 80 mg K kg⁻¹, respectively. The soil was dried, drizzled and conditioned in pots with 3 Kg and later built a gradient for both initial amounts being added the rate 0, 10 and 30 mg K soil kg⁻¹ up to the third cultivation, and 0, 20 and 60 in the last two cultivations. The fertilization with phosphate and micronutrients was accomplished in the beginning of the experiment and after the third cultivation. Successive cultivations of oats, wheat, soybean, corn and beans, were done in the greenhouse, which were collected when the plants were with the flower, droughts, carry weigh, undergone digestion and determined of absorbed potassium. After each cultivation, a soil sample was collected for the analyses with the Mehlich 1, HNO₃ boiling 1mol L⁻¹, NaBPh₄ and acid digestion extractors. The statistical analysis was accomplished with the analysis of the variance of the levels of K added on the production of dry matter, amounts of absorbed K and the extracted amounts with the Mehlich 1, HNO₃ boiling 1mol L⁻¹ and NaBPh₄ extractors, and the effect of the levels of K on the soil A1 and A2. The amounts of absorbed K for the cultivations and extracted for the Mehlich 1, HNO₃ boiling 1mol L⁻¹, NaBPh₄ and acid digestion extractors, it took place the lineal correlation of Pearson ($p > 0,05$). The field experiment was carried out with the cultivation of soybean 2003/04 and wheat 2004. The culture of the soybean was fertilized with 100kg of P₂O₅ ha⁻¹ in the sowing line, while for the wheat 50kg P₂O₅ was used ha⁻¹ and 22kg N, and 40kg N in covering. The harvest of the cultures took place in an area of 8m² in each sub-portion, the grains were weighed and the humidity corrected for 13%. After each cultivation soil samples were collected in the 0-10cm depth in each sub-portion and they were determined the amounts K with the extractor of Mehlich 1. The statistical procedure used was the analysis of the variance and adjustment of regressions polinomialis to the averages. The production of dry matter and the amounts of absorbed K in the cultivations demonstrated that there was significant difference at the levels of added K. Interaction was not observed between the levels of added K and the soils A1 and A2 for most of the cultivations. The extractors are shown appropriate for prediction of K accessed by the plants, this must have happened because all the forms of the soil seem to contribute concomitant for the supply of K to the plants. The productivity of soybean grains in response to addition of K is verified when occurs frequent additions and in small rate, independent of solid additions in previous years, with the objective of increasing the levels of K in the soil and in production. The production of wheat grains in succession the soybean obeys the same pattern of readiness, but the prior applications may characterize a carry over enough to reach satisfactory wheat production. The capacity of soil potassium supply depends more on its mineralogical characteristics than of its report of fertilization.

1 INTRODUÇÃO

O potássio (K) é o terceiro nutriente essencial na escala de importância entre os macronutrientes primários, mas não é comum encontrá-lo em situação de deficiência severa, a não ser em solos derivados de sedimentos quartzosos. No entanto, em todas as formulações de fertilizantes, ele aparece como um componente obrigatório, respaldado pelo paradigma de que as reservas de potássio disponível (K_d) são baixas e é necessário preservá-las com as adubações, para manter níveis satisfatórios no solo e o adequado desenvolvimento das plantas.

A dinâmica da disponibilidade de nutrientes é um processo físico-químico que governa o suprimento às plantas e a passagem, ou a reacomodação, entre as formas lábeis e as menos lábeis, cuja consequência determina as taxas com que os nutrientes abastecem a solução do solo ou, em última análise, taxas de absorção por plantas e/ou perdas por lixiviação. Embora esta dinâmica não possa ser avaliada pela análise do solo, a sua compreensão pode melhorar a predição e o planejamento de adubações para longo prazo para diferentes grupos de solos.

Existe equilíbrio entre as formas com que o nutriente é encontrado no solo. No caso do K, as plantas o absorvem a partir da solução do solo e esta é tamponada pelas formas trocáveis (K_t), adsorvidas com baixa energia nos colóides do solo que, por sua vez, são repostas pelas formas não trocáveis (K_{nt}), fortemente adsorvidas, ou das entrecamadas de alguns minerais de argila, ou mesmo K estrutural presente em minerais primários. Porém, a medida que estas formas vão se exaurindo, as taxas de liberação caem consideravelmente. Por outro lado, quando se adicionam altas doses de adubos potássicos nos solos, estes parecem contribuir muito pouco para formação de reservas não trocáveis.

Em alguns solos se tem verificado que, mesmo que as formas trocáveis sejam baixas, as plantas absorvem quantidades aparentemente maiores que aquelas, indicando que o K_{nt} tem participação no suprimento às plantas. Isto tem despertado interesse em estudar a contribuição destas formas de potássio disponível (K_d) e, também, desenvolver extratores capazes de acessá-las e predizer a sua disponibilidade.

Em vista da pouca informação sobre a capacidade de suprimento de longo prazo em área com histórico de adições de potássio, em solos de textura média de origem sedimentar, foram conduzidos dois experimentos com os objetivos de: (a) avaliar a

exaustão de K nativo e adicionado no solo por uma sucessão de cultivos e extrações sucessivas com extrator químico; (b) estudar a dinâmica da participação das diferentes formas de K no suprimento a uma sucessão de cultivos e; (c) observar a eficiência de K adicionado em solo submetido a um sistema de adubações escalonadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As plantas absorvem o K da solução do solo, cuja concentração é mantida pelo K adsorvido nos sítios de troca da fase sólida, também denominado de potássio trocável (K_t). Uma vez deprimida a forma trocável e a concentração na solução atingir valores baixos, é forçada a liberação do potássio retido com maior energia, ou o contido nas entrecamadas e nas estruturas dos argilominerais primários ou secundários (K_{nt}). Todos os solos, em maior ou menor grau, apresentam potássio em formas não trocáveis, ou não acessado por extratores convencionalmente utilizados para avaliar a disponibilidade de K às plantas, que indiretamente suprem a necessidade das plantas, por que abastecem aquelas potencialmente disponíveis (Oliveira et al., 1971; Munn & McLean, 1975; Goedert et al., 1975; Borket et al., 1993; Meurer & Anghinoni, 1993; Veduin, 1994).

Dessa forma, o K_t é tido como a reserva prontamente disponível às plantas, ou àquelas acessadas pelas plantas no período de cultivo, enquanto que o K_{nt} constitui uma reserva que pode ser utilizada pelas plantas uma vez que os níveis de K_t diminuem (Oliveira et al., 1971). Assim sendo, as formas de K_{nt} dão uma idéia da fração de potássio que poderá ser disponível às plantas (Vasconcelos et al., 1982). Elas são identificadas como aquelas usualmente extraídas por ácido nítrico 1 mol L⁻¹ fervente (HNO₃) (Pratt, 1965; Metson, 1968), com H₂SO₄ concentrado (Hunter & Pratt, 1957) ou com tetrafenilborato de sódio (NaBPh₄) (Conyer & McLean, 1969). Vários autores encontraram uma boa correlação entre o potássio extraído com o HNO₃ e o absorvido pelas plantas (Crisóstomo & Castro, 1970; Oliveira et al., 1971; Nachtigall & Vahl, 1991a; Nachtigall & Vahl, 1991b; Loganathan et al., 1995), o que permite inferir que este extrator é um bom indicador da disponibilidade de K_{nt} .

2.1 Formas de K no solo

O K presente nos solos é uma função dos minerais presentes no material de origem ou remanescente dos processos de intemperismo que originaram o solo (Mielniczuk, 1984). No entanto, o potencial de disponibilidade e a capacidade de suprimento dependem da presença de minerais primários, dos minerais secundários formados, da CTC do solo e da capacidade que o solo possui de manter as

concentrações de K na solução e da ciclagem deste nutriente durante os ciclos vegetativos das espécies de plantas que se mantêm sobre o solo, ou em outras palavras, das formas de K presentes e da quantidade de K armazenada em cada uma delas (McCLEAN & Watson, 1985; Melo, et al., 1998; Meurer & Anghinoni, 1993; Nachtingall & Vall, 1991a; Nachtingall & Vall, 1991b; Oliveira et al., 1971; Sparks & Huang, 1985).

As formas de K no solo podem ser classificadas de acordo com a dificuldade que as plantas tem em acessá-las, como o potássio disponível (K da solução + K_t) (K_d), K moderadamente disponível (na forma não trocável) e o K lentamente disponível (representado pelo K estrutural). Portanto, destas diferentes formas, umas são disponíveis em curto prazo e outras não. Assim, o K que se encontra distribuído desde a solução solo, adsorvido com diferentes graus de energia nos argilominerais e na matéria orgânica (MO) em sítios de troca, também classificado como prontamente disponível ou lábil, até o potássio não trocável (K_{nt}) que está adsorvido na fase sólida com maior energia, e o K estrutural contido nas entrecamadas dos minerais primários (Sparks, 1980).

Os principais minerais primários fonte de K são os grupos dos feldspatos (ortoclásio e microclínio) e das micas (ilita, biotita e muscovita). Estes minerais são importantes reservas de K, podendo constituir em mais de 94% o K total do solo, e tornar-se acessíveis às plantas através da ação do intemperismo (Sparks et al., 1980; Martin & Sparks, 1985). O K pode constituir parte da estrutura de minerais primários (feldspatos e micas) e de minerais secundários (ilita, argilominerais interestratificados e vermiculita), como constatado por Bortoluzzi et al. (2005), ou estar adsorvido na forma iônica a superfície de argilominerais e da MO. Segundo (Schroeder, 1979), os feldspatos potássicos e as micas apresentam teores de K em torno de 14 e 10%, respectivamente. Os solos com predominância de minerais do grupo das micas contém apreciáveis quantidades de K, as quais se constituem na mais importante reserva potássica em médio prazo passível de liberação e são responsáveis pelo suprimento do solo (Surapaneni et al., 2002). O K total do solo está essencialmente relacionado com a quantidade de micas, porque a quantidade de feldspatos é normalmente insignificante em solos intemperizados. Por isso, a maior concentração de micas é encontrada na fração silte fino e argila grossa por se tratar de mineral remanescente ou em processo de intemperização (Goedert et al., 1973).

As formas não trocáveis podem também estar distribuídas nas diferentes classes texturais e são encontradas nos minerais que compõem aquela fração, quer sejam primários, secundários, ou em associação entre eles. A fração areia representa a fração que apresenta o maior diâmetro de partícula, a qual é freqüentemente constituída por quartzo, mas pode ser comum a presença de minerais primários do grupo dos feldspatos e micas. Sparks (1986) verificou um significativo estoque de K nesta classe textural. Em estudo da mineralogia em solos do Rio Grande do Sul, Meurer et al. (1996) observaram a presença de mica na fração areia e silte de um argissolo originado de granito. Também relatam que o K_f diminuiu com a redução dos teores de mica e mica/vermiculita e com o aumento de esmectita e vermiculita com hidróxi-Al (VHE) entre camadas. Saduski et al. (1987) discutem que, em solo arenoso composto por 65,5 e 25,3% de areia e silte respectivamente, 65% do K total encontra-se na fração grosseira. O mesmo autor concluiu que grande parte do K foi liberado da fração areia, constituída principalmente por feldspato potássico. Em estudo da mineralogia de solos jovens originados de granito e gnaisse do Brasil, Melo et al. (2000) atribuem ao maior teor de K na fração areia à presença de minerais do grupo das micas e feldspatos, enquanto à fração silte predomina micas e VHE. Conclusão semelhante foi obtida por Castilhos et al. (2002), que verificaram nas frações areia e silte como as principais fontes de K em solos alagados originados de granito. Por outro lado, os solos constituídos por bastante caulinita e óxidos não excluem a possibilidade de encontrar mica (muscovita) na fração silte e argila, associado a argilominerais nestes solos (Yamada et al., 1982). Desta forma, nos latossolos formados a partir do basalto, as frações silte e argila grossa também são constituídos por minerais micáceos como fonte potencial de liberação de K (Silva et al., 1995; Melo et al., 2004).

A quantidade de K na solução está em função do equilíbrio entre as demais formas de K. Apesar desta forma ser a primeira a ser acessada pelas plantas, a sua reserva potássica é de baixa importância a nível de suprimento as culturas, pois constitui aproximadamente 0,1-0,2% do K total do solo (Goedert et al., 1973).

O K encontra-se adsorvido com diferentes graus de energia nos sítios de troca; nas superfícies externas planas das argilas, zonas de fratura e sítios preferenciais. Nas superfícies externas planas o K é adsorvido com menor energia, em comparação ao adsorvido nas zonas de fratura, na qual é adsorvido com maior

energia, mas em ambas é denominado de K_t . Nos sítios preferenciais no interior dos argilominerais 2:1 (ilita, esmectita, vermiculita), o K é adsorvido com bastante energia. Estes sítios são seletivos ao K, visto que este possui raio iônico semelhante ao diâmetro da cavidade siloxana, e possui características elétricas que satisfazem parcialmente o desbalanço interno de cargas (Goedert, 1973; Sparks, 1980; Veduin, 1994). A forma de K_{nt} corresponde à fração do elemento que não se encontra prontamente disponível ou retido com bastante energia, e porque está envolvido a expansão das argilas e a difusão do K de posições entre as camadas estruturais da argila até a superfície externa (Reichenbach, 1972 ; Haagsma & Miller, 1963). A terminologia utilizada para separar as diferentes formas de K no solo são apenas conceituais, ou seja, transmitem apenas uma idéia de que este nutriente encontra-se adsorvido com diferentes graus de energia.

A passagem do K_t para a solução é muito rápida, de maneira que o K_{nt} é moderadamente disponível, uma vez que a sua passagem para trocável é muito lenta (Sparks, 1980). Meurer & Anghinoni (1993) salientam que a presença das formas de K_{nt} dependem do tipo de minerais ocorrentes no solo; porém é difícil estabelecer a partir de qual nível se inicia a sua disponibilização para a solução do solo ou estabelecer parâmetros desta liberação para os diferentes solos. Loganathan et al. (1995) afirmam que os altos níveis de K no solo são atribuídos à presença de mica e feldspato nas frações areia fina e silte. Este autor conclui que além dos altos níveis de K_{nt} , a sua liberação é rápida, promovendo a depleção com os cultivos sucessivos, e que o teor de 63 mg L^{-1} extraível com HNO_3 é suficiente para o desenvolvimento das plantas. Isto demonstra que esta forma é importante no suprimento às plantas uma vez que o K_d esteja deprimido. Segundo Grimme & Nemeth (1979), deve-se ter em mente que é somente quando as taxas de liberação do K_t são baixas que a forma não trocável pode ser considerada uma fonte disponível. Para a liberação do K_{nt} , os teores de K_t devem encontrar-se em nível mínimo, inferior a demanda pelas plantas (Havlin & Westfall, 1985). Evans & Simon (1949), já haviam relatado que, após os primeiros cultivos o K_t atingiu níveis baixos, e que a partir daí a liberação do K_{nt} foi acelerada.

Bhonsle et al. (1992) relatam que as quantidades de K nas diferentes formas variam com a mineralogia, sendo que os solos esmectíticos possuem altos teores de K_t e moderados teores de K_{nt} em comparação aos solos ilíticos, os quais possuem modestos níveis de K_t e altos teores de K_{nt} . Dentre os minerais primários, Moritsuka et al. (2004) verificaram que o feldspato, a mica e o produto de seu intemperismo,

são fontes de K_{nt} , sendo que o primeiro é liberado pela dissolução dos minerais através da ação de ácidos, enquanto as micas além da dissolução, também pela reação de troca de cátions. Surapaneni et al. (2002) relatam que as micas foram a principal fonte do K_{nt} absorvido pelas plantas e que não houve correlação entre o suprimento de K_{nt} e o K contido nas entrecamadas dos minerais interestratificados mica-vermiculita e mica esmectita. O aumento nos teores de K_{nt} extraído com HNO_3 de frações texturais são verificados com o aumento dos teores de silte e argila no solo (Melo et al., 1995b), e areia e silte para Sparks (1980). Havlin & Westfall (1985) demonstraram que tanto a fração silte como a argila é fonte de liberação de K_{nt} .

2.2 Disponibilidade de potássio às plantas

Oliveira et al. (1971), estudando solos bastantes intemperizados do planalto do RS, verificaram que a extração do K por azevém, em 7 cortes sucessivos, superou o teor de K_t estimado por métodos químicos, demonstrando a importância do K_{nt} como forma disponível para as plantas. Nachtigall & Vahl (1991a), estudando 44 amostras de 11 solos da região sul do RS, encontraram, na maioria das amostras, uma contribuição do K_{nt} variando de 1 a 84% do K extraído pelas plantas. Patela (1980), em estudo de 12 anos de adubação NPK na cultura do trigo num Argissolo Vermelho, em Pelotas, não verificou alteração no teor de K extraído pelo Mehlich 1, mostrando que este solo possui alto potencial de liberação de K_{nt} . A contribuição do K_{nt} também foi observada por Crisóstemo & Castro (1970) em solos do Ceará, Borket et al. (1993) e Silva et al. (1995) em Latossolo Vermelho do Paraná. Também Veduin (1994) relata a importante contribuição das formas K_{nt} na disponibilidade de K para a soja em dois cultivos sucessivos e intercalados com aveia no inverno. Para Rosolem et al. (1988), a liberação das formas de K_{nt} para a cultura da soja num latossolo ocorre somente quando os teores trocáveis são inferiores a 60 mg kg solo. Essas formas seriam, inclusive, responsáveis pela manutenção das quantidades extraídas pelo extrator de Mehlich 1 ou acetato de amônio a pH 7,0, mesmo quando há aportes desse nutriente via adubação.

Kaminski e colaboradores (Brunetto et al., 2001; Kist et al., 2004) têm observado, em ensaio de longa duração em solo com minerais micáceos de textura franca que, mesmo quando os teores disponíveis do solo encontravam-se na classe de

disponibilidade média a baixa, eles pouco se alteram durante os períodos de cultivo e após dez anos a resposta é apenas para a adição do nutriente e não para doses. No entanto, as formas não trocáveis variaram, aumentando nas doses mais altas e diminuindo nas doses mais baixas ou onde não há adição. Tal comportamento indica que estas formas participam da dinâmica de disponibilidade de K nesse solo. Por isso, ainda há necessidade de se estudar alternativas na estimativa desta disponibilidade, diagnosticando o seu potencial para períodos mais longos.

A avaliação da contribuição de formas trocáveis e não trocáveis no suprimento de K às culturas passa por estudos de acompanhamento da depleção das formas ocorrentes no solo e das compensações entre elas durante uma sucessão de cultivos, com a concomitante avaliação periódica por procedimento de fracionamento, onde se empregam extratores com capacidade crescente de dessorção. Assim, seria possível verificar se formas acessadas pelos extratores são as mesmas acessadas pela plantas, ou permitiria escolher métodos para avaliar a disponibilidade de curto prazo, mas também escolher extratores que informassem sobre o potencial de disponibilidade de médio e longo prazo, para melhor planejar e indicar as doses na adubação potássica para culturas anuais de importante repercussão econômica.

2.3 Avaliação da disponibilidade de potássio

Os métodos empregados para prever a disponibilidade de K no solo compõem-se de soluções ácidas diluídas, ou superfícies de troca catiônica como as resinas, que extraem as formas retidas com menor energia, as quais compreenderiam aquelas acessadas pelas plantas nas quantidades necessárias para promover seu crescimento e produção. Estas formas são denominadas extraíveis, ou biodisponíveis quando são usados extratores de baixa intensidade, quer destrutivos, ou trocáveis, ou mesmo quando se usam soluções tamponadas ou resinas. A dificuldade com que são extraídos depende da sua posição nos pontos de troca das superfícies coloidais e da energia, ou intensidade, de adsorção (Mielniczuk, 1984). Além disso, alguns solos apresentam consideráveis teores de K estrutural, ou outras formas não trocáveis, que podem contribuir para o suprimento às plantas (Uribe & Cox, 1988; Nachtingall & Vall, 1991b; Veduin, 1994).

No RS e SC o K_d , estimado pelo extrator de Mehlich 1, solução diluída de ácidos fortes, é o índice utilizado para diagnosticar a disponibilidade do K no solo para as plantas (Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC – CQFS, 2004). Com base nos teores extraídos pelo método são feitas as recomendações de adubação adicional, indiferentemente das classes de solos e sua composição mineralógica, mas considerando a CTC do solo. Assim são definidos os teores críticos (CQFS, 2004).

O conhecimento da CTC do solo é importante no que diz respeito à quantidade do elemento que se encontra adsorvido aos sítios de troca e a sua relação com a capacidade de dessorção. Assim, a CTC representa a capacidade do solo em suprir a demanda gerada pela solução do solo, onde o aumento na CTC representa o incremento nos sítios de troca para adsorção de K (Meurer e Anghinoni, 1993). O K contido na fração sólida do solo, denominado de fator quantidade (Q) e o contido na solução, denominado fator intensidade (I), compõem a capacidade de tamponamento do mesmo no solo (Mielniczuk, 1984), as quais são responsáveis pela manutenção da concentração na solução do solo. Segundo Sharpley (1987), a razão de dessorção do K e o tamponamento do solo será em função da mineralogia da argila, a qual retrata a CTC do solo. Assim, não são consideradas as diferenças nas suas características mineralógicas, mas considera-se que solos com maiores CTCs necessitariam de maiores teores de K para satisfazer as relações iônicas com outros cátions e facilitar a sua capacidade de liberação e suprimento. Meurer & Anghinoni (1993) recomendam agrupar solos com propriedades similares para melhorar a predição da sua disponibilidade. Silva & Meurer (1988) concluem que a CTC é a propriedade que melhor permite caracterizar grupos de solos, porque esta reúne outros fatores do solo que afetam a disponibilidade de K como: MO, a fração silte, tipo de argilomineral dominante e o teor de argila. De forma semelhante, Uribe & Cox (1988) afirmam que a utilização da CTC e da MO são critérios que podem ser usados para agrupar solos para recomendação de adubação potássica.

Por outro lado, a forma de utilização e manejo do solo, onde se inclui o sistema de rotação, o sistema de proteção e conservação e o destino de restos da cultura anterior, pode influenciar na disponibilidade imediata do nutriente, criando um processo de ciclagem que pode servir como um amortecedor da dosagem da adubação. Por isso, a confiabilidade do extrator está associada na correlação entre a

quantidade extraída pelos métodos e a absorvida pela planta para fazê-la produzir satisfatoriamente.

A recomendação de adubação potássica preconizada pela CQFS (2004) foi baseada em experimentos realizados em sua maioria, sobre solos com textura argilosa a franco argilosa, sendo poucos resultados obtidos de solos arenosos. Por outro lado, nos experimentos em solo de textura arenosa, que utilizam a recomendação de adubação utilizada pela CQFS (2004), o K adicionado não é recuperado pela metodologia adotada, a qual se tem mostrado inadequada para discriminar os solos deficientes dos não deficientes em K (Veduin, 1994). A falta de resposta à adição de K em solos arenosos na produção de grandes culturas também foi verificada por Woodruff & Sparks (1980); Rehm & Sorensen (1985) e Sparks et al. (1986). Este fato é um pouco anormal, pelo fato destes solos possuírem baixos níveis de K_d . Por isso, torna-se necessário o conhecimento das diferentes formas de K do solo que podem contribuir na disponibilidade para as plantas. Esta avaliação na capacidade de suprimento de K deve ser obtida com a realização de experimentos de longa duração, buscando o exaurimento do K do solo por cultivos sucessivos, estimando as suas taxas de acumulação pelas plantas, comparadas aos teores extraídos pelos diferentes métodos.

Com a evolução do sistema de plantio direto (SPD), a ciclagem de K torna-se relevante, pois os resíduos das culturas permanecem sobre o solo, criando um processo de ciclagem que exerce importante papel na sua disponibilidade, principalmente tendo em vista que as plantas não possuem mecanismos que regulam a absorção de K (Marschner, 1986). Assim, além dos métodos convencionais de análise do solo, o balanço entre a quantidade retirada pela cultura econômica, o adicionado via adubação e o ciclado pelas culturas, podem assumir importância na predição da disponibilidade de K.

Nas principais culturas agrícolas, em média, o K é o segundo macronutriente mais abundante na matéria seca das plantas, e em geral a quantidade contida nos restos culturais dos cereais é superior ao montante exportado pelos grãos. Segundo Stewart (1985), as culturas de soja e milho são um dos maiores consumidores de K do solo. Estas culturas exportam entre 65 e 75 kg K_2O ha^{-1} no máximo, enquanto as culturas do trigo e algodão exportam em torno de 40 kg K_2O ha^{-1} . A nível de campo, as culturas removem entre 50 e 100 kg K_2O ha^{-1} quando a palha também é removida (Ritchey, 1982).

Trabalhos de longa duração que estabelecem o nível crítico e a resposta das culturas a adição de K são escassos, especialmente em solos de textura arenosa, enquanto os de curta duração são em geral de pouca magnitude. Em solos mais argilosos, Borkert et al. (1993) sugerem um nível crítico de 40 mg dm^{-3} de K para a cultura da soja nos solos do norte do Paraná, indicando uma boa recomendação de fertilizante através da utilização de três faixas de teor de K no solo: baixo < 23 , médio $23 - 40$ e alto $> 40 \text{ mg dm}^{-3}$. Dados semelhantes são sugeridos por Mascarenhas et al. (1981), no qual estabeleceram que o nível crítico abaixo do qual haveria resposta da soja a adubação potássica seria de 31 mg dm^{-3} . Da mesma maneira, Scherer (1998) demonstra que o teor de 63 mg dm^{-3} é suficiente para atingir 90% do teto máximo de produção. Num trabalho realizado com a cultura do trigo, Muzilli et al. (1979) observaram a falta de resposta ao K e Rosolem et al. (1993) não obtiveram resposta à adubação potássica para a cultura da soja em cinco latossolos paulistas com teores iniciais entre 27 e 82 mg dm^{-3} , respectivamente. Ainda o mesmo autor afirma que a principal forma de K do solo foi o K extraído com HNO_3 . Para Brunetto et al. (2002), a metade da dose de K_2O recomendada pela CFS – RS/SC (1994) foi suficiente para atingir a máxima produtividade de grandes culturas. A falta de resposta à adubação potássica foi atribuída à contribuição de formas não trocáveis no suprimento às plantas (Brunetto et al., 2005). Assim, as baixas respostas das culturas com a elevação dos teores de K_d do solo, associadas à presença de minerais primários e secundários como fonte de K, justificam a falta de resposta às doses de K adicionado.

Assim se justifica o estudo da dinâmica de K e a contribuição das diferentes formas deste no suprimento às culturas em área com histórico de adubação e submetido a cultivos sucessivos. Desta forma torna-se necessário o conhecimento da eficiência dos extratores químicos convencionais e não convencionais em prever a disponibilidade de K às plantas num solo com falta de resposta a adubação potássica. Faz-se necessário observar a eficiência da adição potássica escalonada por longo período na produção de grão de grandes culturas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir de um experimento de campo instalado em 1991 e outro experimento em casa de vegetação. O primeiro foi conduzido a campo, denominado experimento de campo. O segundo experimento, denominado experimento de casa de vegetação foi realizado em casa de vegetação, com amostras de solo retiradas de parcelas do experimento de campo, escolhidas por classe de disponibilidade de potássio: baixo e alto.

3.1 Histórico do experimento de campo

O experimento foi implantado em 1991 para avaliar a disponibilidade de K nativo e adicionado numa sucessão de cultivos. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 1999), sendo os atributos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos da camada 0-20cm do Argissolo Vermelho Distrófico arênico antes da instalação do experimento.

Atributo	Valor
Argila, g kg ⁻¹⁽¹⁾	190
Silte, g kg ⁻¹⁽¹⁾	240
Areia fina, g kg ⁻¹⁽¹⁾	390
Areia grossa, g kg ⁻¹⁽¹⁾	190
M.O., % ⁽²⁾	1,7
pH-H ₂ O ⁽²⁾	5,1
Índice SMP ⁽²⁾	6,0
Al trocável, cmol _c dm ⁻³⁽³⁾	0,6
Ca+Mg trocáveis, cmol _c dm ⁻³⁽³⁾	3,5
P disponível, mg dm ⁻³⁽⁴⁾	3,2
K disponível, mg dm ⁻³⁽⁴⁾	50

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ determinado segundo Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ extraído por KCl 1 mol l⁻¹ (Tedesco et al., 1995); ⁽⁴⁾ extraído por Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995).

Por ocasião da instalação do experimento a área foi corrigida com a incorporação de 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Ressalte-se que, durante os nove primeiros anos do experimento o solo era revolvido com enxada rotativa, 0-7cm, toda vez que era adicionado potássio à lanço, precedendo a cultura de verão. Por ocasião da colheita, os restos das culturas eram removidos das parcelas para evitar a ciclagem do potássio. A partir de 2001 foi adotado o sistema de plantio direto, sem

revolvimento do solo e os restos das culturas eram repostos nas parcelas, mas o potássio continuou a ser aplicado à lanço mas sem a incorporação. Portanto admite-se que, grande parte do K_d foi removido do solo durante os primeiros 09 anos do experimento, principalmente no tratamento testemunha, mas também daquele que recebeu as maiores doses.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, e os tratamentos se constituíram das doses de 0, 60, 120 e 180 kg K_2O ha^{-1} , aplicados a lanço e incorporados com enxada rotativa à aproximadamente 10 cm. No segundo cultivo de verão as parcelas foram subdivididas e enumeradas de 1 a 4 na seqüência: nas sub-parcelas 2 a 4 foram adicionados 60 kg K_2O ha^{-1} . No terceiro ano adicionou-se a mesma dose de K nas parcelas 3 e 4. No quarto ano aplicou-se a mesma dose na parcela 4 (Figura 2). No quinto ano (1995) e no nono ano (1999) foram reaplicadas as doses iniciais nas parcelas e, a partir do sexto ano reiniciou-se o procedimento adotado a partir do segundo ano. Desta forma, no histórico de 12 anos de adição de K, adicionaram-se 0, 720, 900 e 1080 kg K_2O ha^{-1} nos respectivos tratamentos.

Tabela 2 - Potássio adicionado nas parcelas principais e sub-parcelas em quatro anos.

1º ano	2º ano	3º ano	4º ano
-----kg K_2O ha^{-1} -----			
0	0	-	-
60	60	-	-
120	60	60	-
180	60	60	60

Os cultivos das espécies realizados nos anos agrícolas desde a implantação dos experimento até 2003 encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 – Cultivos realizados no experimento de campo desde sua implantação.

Ano agrícola	Cultura
91/92	Soja (<i>Glycine max</i> Merrill)
92	Aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb)
92/93	Soja (<i>Glycine max</i> Merrill)
93	Aveia(<i>Avena strigosa</i> Schreb)+ ervilhaca(<i>Vicia sativa</i> L.)
94/95	Soja (<i>Glycine max</i> Merrill)
95	Aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb)
95/96	Soja (<i>Glycine max</i> Merrill)
96	Aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb)
96/97	Soja (<i>Glycine max</i> Merrill)
97	Pousio
97/98	Pousio
98	Pousio
98/99	Pousio
99	Aveia(<i>Avena strigosa</i> Schreb)+ ervilhaca(<i>Vicia sativa</i> L.)
99/00	Milho (<i>Zea mays</i> L.)
00	Aveia(<i>Avena strigosa</i> Schreb)+ ervilhaca(<i>Vicia sativa</i> L.)
00/01	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)
01	Aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb)
01/02	Milho (<i>Zea mays</i> L.)
02	Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)
02/03	Fumo (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) + crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)
03	Aveia (<i>Avena strigosa</i> Schreb)

3.2 Descrição dos experimentos

3.2.1 Experimento de casa de vegetação

O experimento conduzido em casa de vegetação foi realizado utilizando-se amostras de solo do experimento de campo retiradas antes da semeadura da soja, safra 2003/04. O delineamento experimento utilizado foi um bifatorial com dois fatores e três níveis de K adicionado. As amostras foram coletadas na camada 0-10 cm das parcelas testemunha e daquela com maior dose de potássio, as quais apresentava teores de 28 (A1) e 80 mg K kg⁻¹ (A2), respectivamente.

O solo foi seco, destorroado e acondicionado em vasos com 3 kg. Em seguida foi realizada adubação com P, 150 mg kg⁻¹; S, 15 mg kg⁻¹ e micronutrientes (Zn, 1mg kg⁻¹; Cu, 0,5 mg kg⁻¹; Mo, 0,05 mg kg⁻¹ e B, 1 mg kg⁻¹ de solo). Demais informações sobre o manejo e condução do experimento são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Manejo das culturas durante os cinco cultivos realizados em casa de vegetação.

Cultivo	Período	Espécie	Número de plantas	Nutrientes adicionados
				-----mg kg ⁻¹ -----
1	15/06/03 a 09/08/03	aveia	10	K= 0, 10 e 30 mg N= 75 mg P= 150 mg; S= 15 mg; Zn= 1 mg; Cu= 0,5 mg; Mo= 0,05 mg; B= 1 mg
2	09/08/03 a 03/10/03	trigo	8	K= 0, 10 e 30 mg N= 52,5 mg
3	07/10/03 a 28/11/03	soja	4	K= 0, 10 e 30 mg N= 15 mg
4	19/12/03 a 02/02/04	milho	4	K= 0, 20 e 60 mg N= 100 mg aplicação de calcário P= 150 mg; S= 15 mg; Zn= 1 mg; Cu= 0,5 mg; Mo= 0,05 mg; B= 1 mg
5	02/02/04 a 05/04/04	Feijão-de-porco	3	K= 0, 20 e 60 mg

A umidade do solo em todos os cultivos foi mantida próximo à capacidade de campo com o uso diário de água destilada. Após o 3º cultivo (soja), o solo foi destorroado, retirado o excesso de raízes e peneirado em malha de 2mm e posteriormente reacomodado nos vasos. No estágio de florescimento das culturas, realizou-se a colheita da parte aérea através de corte rente ao solo. Este material foi submetido a secagem em estufa com ar forçado a 65°C, pesado, moído em moíno “Willey” e digerido em digestão ácida (Tedesco et al., 1995).

Após cada cultivo foram coletadas amostras de solo em cada vaso com o auxílio de trado calador. Em seguida as amostras foram secas em estufa com ar forçado à 55°C, moídas, tamisadas e preparadas para as análises químicas.

3.2.1.1 Análises laboratoriais

Nas amostras de solo dos cinco cultivos sucessivos, foi determinado o teor de K disponível pelo extrator de Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995). O potássio não trocável extraível com HNO_3 1 mol L^{-1} fervente (Pratt, 1965) e NaBPh_4 (Cox et al., 1996) do solo inicial, após o terceiro e quinto cultivo. Do solo inicial e quinto cultivo foi extraído o potássio total com digestão ácida com HF (Pratt, 1965). O K absorvido pelos cultivos foi extraído com digestão da MS conforme Tedesco et al. 1995. Todas as extrações foram determinadas em espectrofotômetro de chama.

3.2.1.1.1 Extração sucessiva

O esgotamento de K disponível foi realizado após o último cultivo e realizou-se, mediante extração sucessiva na mesma amostra de solo, com o extrator de Mehlich 1, repetindo as extrações até o esgotamento do K disponível: em um tubo adicionou-se 1 g de solo e 10 ml de solução extratora (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N). Os tubos foram agitados horizontalmente por 5 min e permaneceram em repouso com a tampa aberta por 18 hs, depois, retirou-se o sobrenadante. Este procedimento foi realizado até o esgotamento do K extraível com o extrator de Mehlich 1. Após o esgotamento de K das amostras, destas foi extraído em amostras separadas o K_{nt} extraível com HNO_3 e NaBPh_4 , e K total extraível com digestão ácida. O K extraído com HNO_3 foi realizado conforme o seguinte procedimento: o solo foi transferido para um

erlenmeyer com 10ml de HNO_3 1 mol L^{-1} . Esse foi aquecido por 10min e a solução filtrada em papel filtro JP-41 quantitativo até completar o balão volumétrico de 50ml com solução HNO_3 0,1 mol L^{-1} . O K extraído com NaBPh_4 foi realizado segundo o seguinte procedimento: em frasco de erlenmeyer transferiu-se o solo, ao qual foi adicionado 10ml de solução extratora (NaCl 1,7 mol L^{-1} + EDTA 0,01 mol L^{-1}) e NaBPh_4 0,2 mol L^{-1} . A solução do erlenmeyer permaneceu em agitação por um período de 24 hs em agitador orbital. Após este período de agitação, adicionaram-se 10ml de NH_4Cl 0,5 mol L^{-1} e 0,5 ml de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} . A solução foi mantida em fervura branda por 20 minutos. Depois da fervura, as amostras foram filtradas em papel filtro JP-41 quantitativo com solução NH_4Cl 0,5 mol L^{-1} até completar o balão volumétrico de 25ml. A extração do K total obteve-se com a digestão ácida com HF: em um cadinho de teflon, adicionou-se 0,2 g de solo e 10ml de ácido fluorídrico (HF) concentrado. O solo foi digerido com a fervura da solução em chapa de aquecimento até a digestão total do solo e evaporação do HF. Após, os cadinhos foram lavados duas vezes com 10ml de HCl concentrado para filtragem da digestão em filtros JP-41 e completado com água destilada para balão volumétrico de 100ml. Os teores de K extraídos foram determinados em espectrofotômetro de chama.

3.2.1.1.2 Fracionamento do K

As amostras do solo inicial, terceiro e quinto cultivo foram submetidas ao fracionamento de K, executado na seqüência de extratores químicos: K extraível com o extrator de Mehlich 1, K extraído com HNO_3 e NaBPh_4 . O procedimento adotado utilizou amostras duplicadas para extração com Mehlich 1, após da qual foram realizadas as extrações com HNO_3 e NaBPh_4 em amostras separadas. Os teores foram definidos a partir das diferenças entre cada um dos extratores. Para a extração do K disponível foi utilizado um tubo com rosca no qual adicionou-se 1 g de solo e 10 ml de solução extratora (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N). Os tubos foram agitados horizontalmente por 5 min e permaneceram em repouso com a tampa aberta por 18 hs e depois os teores foram determinados. O K extraído com HNO_3 foi realizado conforme a seguinte descrição: o solo dos tubos foi transferido para um erlenmeyer com 10ml de HNO_3 1 mol L^{-1} . Este foi aquecido por 10min e a solução filtrada em papel filtro JP-41 quantitativo até completar o balão volumétrico de 50ml

com solução HNO_3 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. O K extraído com NaBPh_4 foi realizado segundo o seguinte procedimento: em frasco de erlenmeyer transferiu-se o solo dos tubos, ao qual foi adicionado 10ml de solução extratora (NaCl $1,7 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e NaBPh_4 $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. A solução do erlenmeyer permaneceu em agitação por um período de 24 hs em agitador orbital. Após este período de agitação, adicionaram-se 10ml de NH_4Cl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e 0,5 ml de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} . A solução foi mantida em fervura branda por 20 minutos. Depois da fervura, as amostras foram filtradas em papel filtro JP-41 quantitativo com solução NH_4Cl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ até completar o balão volumétrico de 25ml. O K total do solo foi determinado antes da aplicação dos tratamentos e após o último cultivo, utilizando-se duas repetições de cada nível de K adicionado. A extração do K total obteve-se com a digestão ácida: em um cadinho de teflon, adicionou-se 0,2 g de solo e 10ml de ácido fluorídrico (HF) concentrado. A solução foi fervida em chapa de aquecimento até a digestão total do solo e evaporação do HF. Após, os cadinhos foram lavados duas vezes com 10ml de HCl concentrado para filtragem da digestão em filtros JP-41 e completado com água destilada para balão volumétrico de 100ml. As determinações de K realizaram-se em espectrofotômetro de chama.

3.2.1.1.3 Extração do potássio da parte aérea

O K absorvido nos cultivo foi extraído com a digestão ácido-perclórica da parte aérea das plantas adotando-se o seguinte procedimento: em tubo de digestão adicionou-se 0,2 g de MS, 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na_2SO_4 + 10 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 1 ml de H_2O_2 e 2 ml de H_2SO_4 . Esta mistura foi digerida em bloco digestor com temperaturas crescentes até atingir 350°C e, a solução obter a coloração verde-amarelada, seguindo a metodologia adaptada de Tedesco et al. (1995). Após a digestão, completou-se o volume dos tubos de digestão para 50ml e, desta retirada a alíquota de 1ml para diluição e leitura em espectrofotômetro de chama.

3.2.1.2 Procedimento estatístico

A produção de matéria seca dos cultivos e os teores de K no tecido vegetal e no solo foram submetidos à análise da variância e, quando os efeitos foram significativos foram ajustadas as equações de regressão para os dados quantitativos. Para a escolha das equações, foram testados os modelos linear e quadrático pelo teste F, escolhendo-se aquele com significância maior que 95% ($p > 0,05$). Os dados qualitativos, quando da significância pela análise da variância, foram submetidos ao teste de Tukey em nível de significância maior de 95% ($p > 0,05$). O coeficiente de variação foi determinado para a produção de matéria seca, aos teores absorvidos e extraídos pelos extratores químicos. As correlações linear de Person foram realizadas entre os dados de absorção de potássio pelas plantas e os métodos de estimativa de potássio do solo. Foram consideradas correlações com níveis de significância maiores que 95% ($p > 0,05$).

3.2.2 Experimento de campo

O experimento de campo representa a continuidade do experimento instalado em 1991, descrito no item 3.1. Este foi instalado em dezembro de 2003 com o cultivo da soja, quando as análises de solo apresentavam P, 30 mg l^{-1} ; Ca $4,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTCpH_{7,0} $10,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; MO 2,1% e Índice SMP 6,1. Os tratamentos 0, 30, 60 e 90 kg K₂O ha⁻¹ foram realizados nas parcelas principais a lanço sem a incorporação. Deste modo, e considerando o histórico do experimento, havia 16 sub-parcelas, em quatro repetições, com diferentes teores de K.

A cultura da soja cv. RS-10 foi semeada em dezembro de 2003 com densidade de semeadura de 40 pl m⁻² e espaçamento de 0,45 m entre linhas. A adubação fosfatada foi realizada na linha de semeadura, usando a dose de 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo. Antes da semeadura da soja a área foi dessecada com o produto comercial Trop[®] na concentração de 2,0 L ha⁻¹. Em pós-emergência utilizou-se os herbicidas seletivos Pivot[®] 1 L ha⁻¹ e Fusiflex[®] 1,6 L ha⁻¹, e o inseticida Karate 50 CE[®] 0,25 L ha⁻¹. As doenças fúngicas da cultura da soja foram controladas com o fungicida Orius[®] 0,5L ha⁻¹.

A colheita do experimento realizou-se em uma área de 8 m² em cada sub-parcela, as quais, em seguida foram trilhadas e a palha repostada nas sub-parcelas. Os grãos foram pesados e a produtividade estimada por hectare com a umidade corrigida para 13%. Após a colheita da soja, todas as sub-parcelas foram amostradas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm com uma pá-de-corte. Em cada sub-parcela coletaram-se três sub-amostras, das quais retirou-se uma amostra representativa. Elas foram secas em estufa com ar forçado a 55°C, moídas e tamizadas.

As amostras em ambas as profundidades foram preparadas no laboratório de química e fertilidade do solo do Departamento de Solos (DS) para a extração do K disponível extraído com o extrator de Mehlich 1, conforme descrito no item 3.2.1.1.2

O segundo cultivo foi realizado com a semeadura de trigo cv. FUNDACEP-37 em junho de 2004. Para a semeadura do trigo empregou-se a densidade de semeadura de 320 pl m⁻² com espaçamento de 17 cm entre linhas. Antes da semeadura realizou-se o tratamento de sementes com o produto comercial Captan 750 TS[®] na dose de 200g de produto por 100kg de sementes. A área foi dessecada com o herbicida Roundup[®] na dose de 2 L ha⁻¹ e em pós-emergência utilizou-se o herbicida Deferom[®], 1 L ha⁻¹. No final do ciclo da cultura utilizou-se o fungicida Orius[®] 0,5 L ha⁻¹.

A adubação desta cultura realizou-se com 50 kg de P₂O₅ e 22 kg de N na forma de diamônio fosfato (DAP) na linha de semeadura, e uma adubação nitrogenada em cobertura de 40 kg N ha⁻¹. Para esta cultura não foram adicionados K nas parcelas principais e nem nas sub-parcelas.

A colheita do trigo foi realizada em novembro de 2004, em área de 8 m² em cada sub-parcela e, depois de trilhada a palha repostada nas sub-parcelas. A produção de grãos foi avaliada com a umidade corrigida para 13%. Após a colheita do trigo foram coletadas amostras de solo usando-se o mesmo procedimento e profundidade da cultura da soja. Também se determinaram os teores de K disponível extraído com o extrator de Mehlich 1, conforme descrito no item 3.2.1.1.2.

3.2.2.1 Procedimento estatístico

Neste experimento as produtividades de grãos da cultura da soja e do trigo na parcela principal e na parcela secundária foram submetidas à análise de variância com níveis de significância maiores que 95% ($p > 0,05$). Ajustaram-se regressões polinomiais às médias, considerando as doses aplicadas anualmente nas parcelas, sendo calculado a dose de potássio para obter o rendimento máximo de grãos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento de casa de vegetação

Os resultados de produção de matéria seca da parte aérea nos cinco cultivos sucessivos de plantas em casa de vegetação (Tabela 5) mostraram que, tanto no solo A1 e A2 houve aumento na produção de matéria seca à adição de potássio, e aqueles tratamentos com teores iniciais elevados produziram mais matéria seca do que a testemunha. Isto foi mais evidente no segundo e quarto cultivo (trigo e milho), que são culturas mais responsivas ao K, enquanto nas demais, por terem maior capacidade de extração, como aveia preta, soja e feijão de porco, apresentaram menores diferenças entre os níveis adicionadas, como já observado anteriormente (Brunetto et al., 2001; Kist et al., 2004).

O coeficiente de variação dos cultivos se mostraram médios e baixos, ou aceitáveis para os cultivos com aveia, trigo e feijão-de-porco (Tabela 5). Nos cultivos de soja e milho a magnitude do erro experimental se mostrou alta, inferindo baixa precisão dos dados para estas duas culturas.

Tabela 5 - Produção de matéria seca da parte aérea das plantas do solo A1 e A2 submetida a níveis de potássio, e o coeficiente de variação dos cinco cultivos em casa de vegetação.

Solo	Precisão	Nível K	Matéria seca cultivo ⁻¹					Total matéria seca
			1	2	3	4	5	
		Mg kg ⁻¹	-----g kg solo ⁻¹ -----					
A1		I ¹	1,46 ⁴	0,53	1,53	2,20	4,06	9,78
		II ²	1,46	1,20	1,70	3,10	4,50	11,96
		III ³	1,56	1,43	1,56	3,70	4,80	13,05
		CV % ⁵	9,1	9,7	22,7	38,3	10,5	
A2		I	1,60	0,76	1,76	3,06	4,53	11,71
		II	1,70	1,30	1,83	3,63	4,26	12,72
		III	1,86	1,46	1,80	3,96	4,60	13,68
		CV %	8,0	4,7	13,5	28,1	7,7	

¹Sem adição de K

²Adição de 10 mg K Kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 20mg K Kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

³Adição de 30 mg K Kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 60mg K Kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

⁴Média de cinco repetições

⁵Coefficiente de Variação de todas as repetições.

O aumento na produção de matéria seca foi significativo à adição dos níveis de K para os cultivos, exceto para a soja, a qual não demonstrou resposta significativa aos níveis adicionados (Tabela 6). Nos demais cultivos a resposta foi linear senão quadrática para a produção de matéria seca. Os solos estudados (A1 e A2)

responderam significativamente em produção de matéria seca das espécies vegetais, com exceção no cultivo de feijão-de-porco que, provavelmente devido a sua alta capacidade de absorver K, a análise estatística não foi significativa (Anexo 1, 2, 3, 4 e 5). Por outro lado não foi possível verificar interação significativa entre os solos estudados e os níveis de K adicionados, na produção de matéria seca. Isto indica que os tratamentos com K adicionados no histórico de cultivo não afetaram a produção de matéria seca nos cinco cultivos realizados, assim como os níveis de fertilidade.

Tabela 6 – Equações ajustadas para produção de matéria seca em função dos níveis de potássio adicionados.

Cultivo	Equação	R ²
	-----matéria seca-----	
Aveia	$Y = 1,52 + 0,006x$	0,68
Trigo	$Y = 0,654 + 0,077x - 0,0017x^2$	0,86
Soja	NS	-
Milho	$Y = 2,628 + 0,045x - 0,0004x^2$	0,61
Feijão-de-porco	$Y = 4,2831 + 0,0067x$	0,18

NS = Não significativo pelo teste de Tukey a 5%.

Os dados apresentados na tabela 7 mostram que a quantidade de potássio acumulada na parte aérea das plantas aumentou com os níveis de potássio adicionados, como também observado por outros autores (Oliveira et al., 1971; Nachtingall e Vall, 1991a), e reduziram os teores extraído com a seqüência de cultivos, principalmente nos níveis que não foram adicionados K. Na mesma tabela são apresentados os altos coeficientes de variação constatados para os teores de K absorvido. Isto demonstra uma variação muito alta entre os teores absorvidos, caracterizando uma baixa precisão aos dados.

Os níveis de K adicionados aos cultivos afetaram de forma significativa os teores de K absorvido pelas espécies vegetais (Tabela 8). Este aumento da quantidade de K absorvido e acumulado no tecido vegetal ocorre porque as plantas não possuem um mecanismo capaz de regular a absorção de potássio. Assim, as plantas absorveram quantidades de potássio acima de sua necessidade metabólica, que podem ser armazenadas em organelas nas células, caracterizando o chamado consumo de luxo (Marschner, 1986), que tem sido também relatado por, praticamente, todos autores quando se referem a este nutriente.

Tabela 7 - Teor de potássio absorvido pela parte aérea das plantas submetidas a níveis de potássio no solo A1 e A2 em cinco cultivos realizados em casa de vegetação.

Solo	Precisão	Nível K	Cultivo					Total K absorvido
			1	2	3	4	5	
		mg kg ⁻¹	-----mg kg solo ⁻¹ -----					
A1		I ¹	21 ⁴	6	7	8	25	67
		II ²	30	5	4	10	52	101
		III ³	42	11	25	27	108	213
		CV,% ⁵	29,8	55,3	63,6	62,8	58,4	
A2		I	36	11	9	11	32	99
		II	45	21	15	14	58	153
		III	60	34	27	28	110	259
		CV, %	22,7	45,0	44,9	45,8	51,4	

¹Sem adição de K.

²Adição de 10 mg K Kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 20mg K kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

³Adição de 30 mg K kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 60mg K kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

⁴Média de cinco repetições.

⁵Coeficiente de Variação realizado nos cultivos.

Os dois solos utilizados demonstraram comportamento diferente quanto aos teores de K absorvidos pelas culturas, os quais foram estatisticamente significativos, com exceção do feijão-de-porco que não verificou diferença significativa nos teores absorvidos entre o solo A1 e A2 (Anexos 6, 7, 8, 9 e10). Isto pode ser atribuído a uma característica da própria espécie vegetal, a qual possui alta capacidade em absorver K (Tabela 7). A interação entre os solos e os níveis de K adicionados não foi estatisticamente significativa em nenhum dos cultivos realizados. Apesar das plantas possuírem a capacidade absorver grandes quantidades de K (tabela 7), este fato não pôde ser atribuído aos níveis de K adicionado antes de cada cultivo. Os dados gerados dão a entender que estes solos estudados possuem propriedades inerentes que justificam o padrão de resposta a adubação potássica, como também constatado por Woodruff & Sparks (1980); Rehm & Sorensen (1985) e Sparks et al. (1986).

Os teores de K extraído com o extrator de Mehlich 1 do solo A1 e A2 demonstraram interação significativa com os níveis de K adicionado após o cultivo de aveia (Tabela 9), e o solo A2 após o cultivo com milho. Nos demais cultivos verificaram-se apenas diferenças significativas para os teores extraídos entre os solo, porém sem interação com os níveis de K adicionados (Anexos 11, 12, 13, 14 e 15).

Tabela 8 – Equações ajustadas para os teores de potássio absorvido pela parte aérea das plantas em função da dose de potássio adicionado.

Cultivo	Equação	R ²
	-----K absorvido-----	
Aveia	$Y = 29,17 + 0,74x$	0,54
Trigo	$Y = 8,166 + 1,198x - 0,012x^2$	0,93
Soja	$Y = 7,85 + 0,59x$	0,93
Milho	$Y = 2,628 + 0,045x - 0,0004x^2$	0,86
Feijão-de-porco	$Y = 28,66 + 1,34x$	0,95

As equações geradas dos níveis de K adicionado e os teores extraídos pelos extratores (Tabela 9), constata-se que o extrator de Mehlich 1 foi estatisticamente significativo quanto a sensibilidade em extrair os níveis de K adicionados.

Na tabela 9 constam as equações geradas para o extrator HNO₃, as quais, foram significativas para os níveis de K adicionados. Nos cultivos de soja e feijão-de-porco, não foi possível verificar interação entre os níveis de K adicionados e os solos A1 e A2. Os dados complementares da análise estatística para este extrator constam no anexo 16 e 17.

A utilização do extrator NaBPh₄ após o cultivo da soja não verificou diferença significativa quanto aos níveis de K adicionado, assim como também não se verificou interação com os solos estudados (Tabela 9). Na cultura do feijão-de-porco, este extrator demonstrou sensibilidade aos níveis de K adicionado, porém não se verificou significância na interação entre os níveis de K adicionado com os solos estudados. Os dados complementares da análise estatística para este extrator constam no anexo 18 e 19. Os dados de significância para o extrator NaBPh₄ podem ser atribuídos a acessibilidade do extrator NaBPh₄, que age também na abertura das camadas dos minerais primários e secundários, promovendo a liberação de K retido na estrutura do mineral.

Estes resultados demonstram que os tratamentos historicamente realizados no solo A1 e A2 não alteraram as características destes solo e pouco influenciaram nos teores de K extraído pelos extratores de Mehlich 1, HNO₃ e NaBPh₄. Com exceção do cultivo de aveia e milho, quando o K foi extraído com o extrator de Mehlich 1, nos demais extratores e cultivos as respostas obtidas foram apenas aos níveis de K adicionados.

Tabela 9 – Equações ajustadas para os teores de potássio extraídos pelos extratores químicos Mehlich1, HNO₃ e NaBPh₄ em função dos níveis de potássio.

Cultivo	Solo	Equação	R ²
-----Mehlich1-----			
Aveia	A1	$Y = 27,54 + 0,17x$	0,48
	A2	$Y = 35,60 + 2,05x - 0,054x^2$	0,75
Trigo	-	$Y = 26,35 + 0,35x$	0,40
Soja	-	$Y = 28,33 + 0,54x$	0,76
Milho	A1	NS	-
	A2	$Y = 30,71 + 0,15x$	0,60
Feijão-de-porco	-	$Y = 24,1 + 0,58x - 0,006x^2$	0,68
-----HNO ₃ -----			
Soja	-	$Y = 71,17 + 1,14x - 0,03x^2$	0,30
Feijão-de-porco	-	$Y = 59,97 + 0,60x - 0,009x^2$	0,21
-----NaBPh ₄ -----			
Soja	-	NS	-
Feijão-de-porco	-	$Y = 117,78 + 1,10x - 0,014x^2$	0,60

NS = Não significativo pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de potássio extraídos por Mehlich 1 do solo A1 no nível I de K foram similares nos cinco cultivos sucessivos de plantas (Tabela 10). Já, nos níveis II e III de K os teores desse nutriente em todos os cultivos foram maiores que o nível I de K. Entretanto, no nível II e III de K os teores foram similares ao longo dos cinco cultivos. No solo A2 os teores de potássio extraído por Mehlich 1 no nível I de K diminuíram com os cultivos sucessivos de plantas. Nos níveis II e III os teores de K extraídos pelo Mehlich 1 foram superiores ao nível anterior, mesmo comportamento do solo com teor inicial de 28 mg K kg⁻¹. Na mesma tabela constam os coeficientes de variação de todos os extratores utilizados e em ambos os solos. Os coeficientes de variação calculados foram baixos para a maioria das extrações, indicando uma boa precisão dos teores extraídos nas repetições.

Os teores de K extraído por HNO₃ e NaBPh₄ do solos A1 e A2 diminuíram nos níveis I, II e III de K com os cultivos sucessivos de plantas (Tabela 10). Também é mostrado que o HNO₃ extraiu menores quantidades de K, comparativamente aos teores de K extraído pelo extrator NaBPh₄. Isso deve ocorrer porque o extrator

HNO_3 , embora seja destrutivo, age mais na superfície e nas zonas de fratura dos argilominerais. Por outro lado, o extrator NaBPh_4 extrai maiores teores de K porque age na abertura das camadas dos minerais primários e secundários. Na Tabela 10 são apresentados dados da evolução dos teores das de K_t e K_{nt} durante os cultivos sucessivos. Observa-se que há depleção do K_{nt} , mesmo nos tratamentos onde foi adicionado potássio, enquanto K_t permaneceu similar. Isto já foi relatado por outros autores em solos do Sul do Brasil por Mohr em 1959 (Oliveira et al., 1971), Mielniczuk & Selbach (1978), Nachtigall & Vahl (1991a), Borket et al. (1993), Scherer (1998), Melo et al. (1998).

Os teores de K extraídos por digestão ácida no solo A1 diminuíram no nível I de K após os cinco cultivos de plantas. No nível III de K, o teor desse nutriente extraído por digestão ácida permaneceu similar após os cultivos. Isto pode indicar que há acomodação das formas de K do solo, transferindo para as formas mais lábeis quando as plantas demandam o nutriente, ou armazenando nas formas menos lábeis quando não há demanda pelas plantas (Tabela 10).

Como as plantas sempre absorvem quantidades maiores do que as exigidas por sua demanda fisiológica, no decorrer dos cultivos as reservas do solo vão sendo consumidas e o K_{nt} passa a ser fonte do nutriente, pois, mesmo quando os teores iniciais eram mais altos e, ainda, houve adição de K, o K_{nt} , expresso em teor extraído pelo HNO_3 ou NaBPh_4 , foi deprimido. Por isso, a premissa de que a prática do emprego de fertilizantes potássicos com o objetivo de aumentar as reservas do solo não se justifica de pleno, pois tão logo ela cesse, as reservas alcançam patamares similares aos originais e também passam a suprir a demanda das plantas. Assim, o suprimento de K é muito mais dependente de características do próprio solo do que do histórico de adições de fertilizantes. Isto nos remete a necessidade de agrupar solos com características similares para definir os seus níveis críticos, como adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina a partir de 2004, onde se usa a CTC como critério de agrupamento (Meurer & Anghinoni, 1993; CQFS, 2004).

Porém, é também necessário expandir estes estudos para solos mais intemperizados e com maiores teores de argila de atividade baixa, o que nos remeteria a abandonar a idéia de adubações corretivas com K e repor as quantidades exportadas toda vez que houver produção de grãos, forragens ou fibras.

Tabela 10 - Teores de potássio extraído com extrator de Mehlich 1, HNO₃, NaBPh₄ e digestão ácida do solo original e nos cinco cultivos em casa de vegetação, e os respectivos coeficientes de variação.

Inicial				Nível	Cultivo									
				K	1		2		3		4		5	
Meh 1	HNO ₃	NaBPh ₄	Digestão		Meh 1	Meh 1	Meh 1	HNO ₃	NaBPh ₄	Meh 1	Meh 1	HNO ₃	NaBPh ₄	Digestão
-----mg kg ⁻¹ -----														
28	83	130	970	I ¹	26	22	25	74	102	22	21	54	96	900
				II ²	30	24	30	76	107	27	30	63	104	---
				III ³	32	32	43	79	104	28	35	55	100	1040
				CV %	10,8	18,4	24,8	7,1	4,8	12,8	21,8	12,8	5,8	11,0
80	130	156	1100	I	36	32	32	69	129	29	27	60	118	1075
				II	51	34	44	83	132	36	37	68	135	----
				III	48	42	46	77	143	39	41	69	135	1095
				CV%	17,7	13,7	16,9	10,6	7,0	14,5	18,8	10,1	7,1	6,8

¹Sem adição de K.

²Adição de 10 mg K Kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 20mg K kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

³Adição de 30 mg K kg⁻¹ de solo até o terceiro cultivo e 60mg K kg⁻¹ de solo no quarto e quinto cultivo.

Estes dados também mostram que as formas de potássio não trocáveis, extraídas pelo extrator de HNO_3 ou NaBPh_4 podem manter estáveis as formas de potássio trocável no solo, esta constatação também está de acordo com os reportados por Goedert et al., (1975), Grimme & Nemeth (1979), Havlin & Westfall (1985) e Nachtigall & Vahl (1989;1991a e b). Mas estas extrações são mais qualitativas do que quantitativas, havendo dificuldades de se estabelecer um balanço entre quantidades existentes e quantidades retiradas pelas culturas. Por isso se justifica o uso de classes de disponibilidade ao invés de valores absolutos para descrever a situação do nutriente no solo. Neste caso seria conveniente a realização de estudo de calibração de K_{nt} nesse solo para fins de uma adequada predição de K às culturas.

Na Figura 1 são apresentados os dados da evolução da quantidade de K acumulada na matéria seca das plantas, teor de K trocável extraído por Mehlich 1 e potássio não trocável extraído por HNO_3 . Verifica-se que a participação das diferentes formas de K no suprimento as plantas está em função do teor de K_t . Com a diminuição desta forma no solo, a participação de formas não trocáveis de K aumenta, e estas passam a suprir a demanda das plantas. Além disso, se constata que a adição de K não aumentou o K_t ao longo dos cultivos. Por outro lado, o K absorvido pela parte aérea das plantas aumentou a medida que os níveis de K foram adicionados, inclusive naquele que possuía altos níveis de K no início do experimento. Os teores extraídos pelos extratores químicos foram similares aos teores absorvidos pelas culturas, principalmente nos níveis II e III de K. Com base nestes dados pode-se afirmar que formas de K_{nt} suprem a demanda de K pelas plantas.

No solo usado no experimento, o qual é originário de sedimentos derivados de arenito e com predomínio de esmectita-ilita e caulinita-esmectita na fração argila (Bortoluzzi, 2005), as formas de K não trocáveis podem ser disponibilizadas para as plantas, concordando com Munn & McLean (1975), Sparks (1986), Saduski et al. (1987), Meurer e Anghinoni (1993), Meurer et al. (1996), Melo et al. (2000) e Castilhos et al. (2002). Através dos dados gerados pode-se afirmar que este solo possui importante reserva potássica, e devido a ela, as doses de K surtem pouco efeito na produção de grãos.

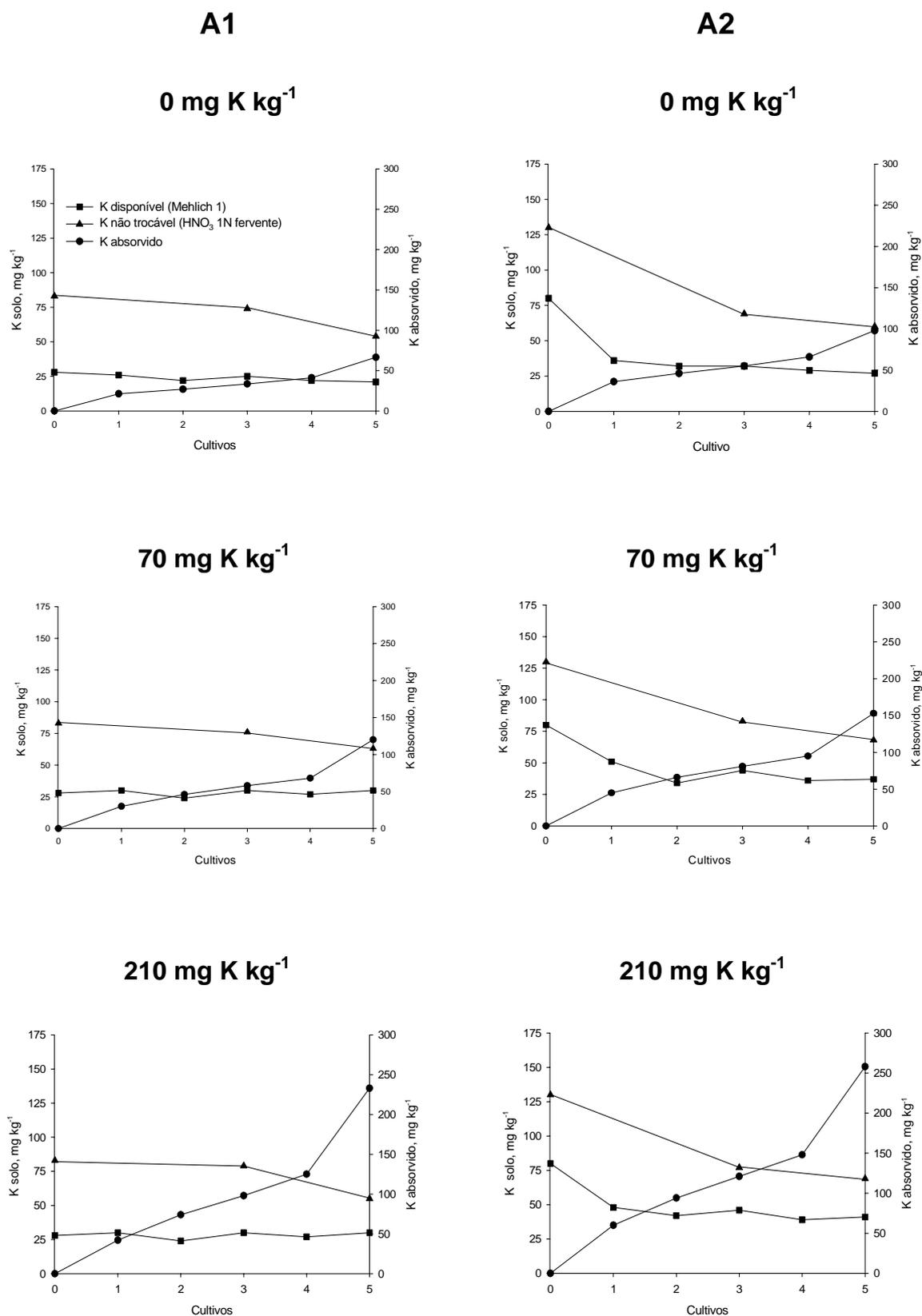


Figura 1 - Potássio na parte aérea e teores de potássio trocável (Mehlich 1) e potássio não trocável (HNO₃) no solo dos cultivos sucessivos.

Quando se fazem extrações sucessivas de K com o extrator de Mehlich 1 antecedendo a estimativa do K_{nt} (Tabela 11), se observa que estas formas também decrescem de modo similar ao extraído pelas plantas (Tabela 7). Isso indica que a persistência do K_i nas extrações sucessivas se dá às custas do K retido mais energeticamente. Isto ocorre porque o K do solo é distribuído em ampla faixa de retenção, desde formas ligadas a minerais até porções solúveis em água (Goedert et al., 1975; Mielniczuk, 1984; Nachtigall & Vahl, 1991), porém elas são identificadas proceduralmente, ou sua estimativa depende do extrator utilizado, como pode ser visualizado nas Tabelas 10 e 11. Por outro lado, não há um modo que estime a sua quantidade seguramente. Por isso, independentemente se há extração prévia do K_d com o extrator de Mehlich ou não, qualquer um dos procedimentos de estimativa de K do solo se justifica se fundamentado num amplo e bem elaborado programa de calibração, principalmente se destinar a prever a disponibilidade para programas de adubação.

Tabela 11 - Teores de potássio extraído com HNO_3 ou $NaBPh_4$ após extrações sucessivas com Mehlich 1 e potássio total extraído com ácido fluorídrico (HF) após o 5^o cultivo.

Solo	Nível K	Mehlich 1				HNO_3	$NaBPh_4$	HF
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a			
-----K mg kg ⁻¹ -----								
A1	I	24	6	4	2	47	84	760
	II	34	8	5	2	50	90	-
	III	44	9	3	2	48	90	810
A2	I	30	8	4	2	57	98	810
	II	46	9	5	2	66	120	-
	III	51	11	5	2	68	120	1090

Na Tabela 12 são apresentadas as correlações entre as quantidades de potássio absorvido pela parte aérea das plantas em cultivos e a disponibilidade de potássio estimada nos cultivos pelos extratores de Mehlich 1, HNO_3 , $NaBPh_4$ e digestão ácida no solo A1. Com o uso do extrator de Mehlich 1 houve correlação significativa no primeiro ($p>0,05$), segundo ($p>0,01$), terceiro ($p>0,01$) e quinto cultivo ($p>0,01$). No quarto cultivo a correlação não foi significativa, talvez por que a contribuição maior tenha sido do K adicionado ou do K_{nt} . Os extratores HNO_3 e $NaBPh_4$, que estimam formas de potássio não trocável apresentaram correlação

significativa no terceiro cultivo. Entretanto, no quinto cultivo a correlação com o extrator HNO_3 e a quantidade de potássio absorvido pela parte aérea não foi significativa. Já, o extrator NaBPh_4 apresentou correlação significativa com $p > 0,05$. A correlação entre o K extraído com a digestão ácida e as quantidades de potássio na parte aérea das plantas do quinto cultivo não foi significativo. Deve ser salientado que a estimativa do K_{nt} foi realizada em amostra previamente extraída o K_t com extrator de Mehlich 1.

Tabela 12 - Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de potássio absorvido pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator de Mehlich 1, HNO_3 , NaBPh_4 e digestão ácida no solo A1.

Cultivo	Potássio acumulado na parte aérea			
	Mehlich 1 ¹	HNO_3 ¹	NaBPh_4 ²	Digestão ³
1	0,544*			
2	0,921**			
3	0,947**	0,751**	0,761**	
4	0,205 ^{ns}			
5	0,838**	0,232 ^{ns}	0,749*	0,926 ^{ns}

**p=0,01; *p=0,05; ^{ns} = não significativo (¹ n = 15; ² n = 9; ³ n = 4)

Na Tabela 13 são apresentadas as correlações entre as quantidades de potássio absorvido pela parte aérea das plantas em cultivos e a disponibilidade de potássio estimada nos cultivos pelos extratores de Mehlich 1, HNO_3 , NaBPh_4 e digestão ácida no solo Argissolo Vermelho distrófico arênico com 80 mg K kg^{-1} . O extrator de Mehlich 1 apresentou correlação significativa nos cinco cultivos. Já, com o uso do extrator HNO_3 houve correlação significativa apenas no quinto cultivo. Por outro lado, o extrator NaBPh_4 apresentou correlação significância no terceiro e no quinto cultivo. Com a extração de potássio pela digestão ácida o coeficiente de correlação foi baixo, não sendo significativo. Ressalte-se que a extração do K_{nt} sempre ocorreu após uma extração com Mehlich 1.

Pelo exposto, o método de Mehlich 1, nos solos com A1 e A2, apresentou em geral altos coeficientes de correlação em todos os cultivos, com exceção do quarto cultivo, no solo A1. Assim, esse extrator se mostrou adequado para realizar a previsão da disponibilidade de K para as plantas. Destaca-se que o extrator NaBPh_4 apresentou coeficientes de correlação significativos no terceiro e quinto cultivo, mostrando-se adequado para utilização na situação estudada, e superior ao HNO_3 na predição do potássio não trocável acessado pelas plantas.

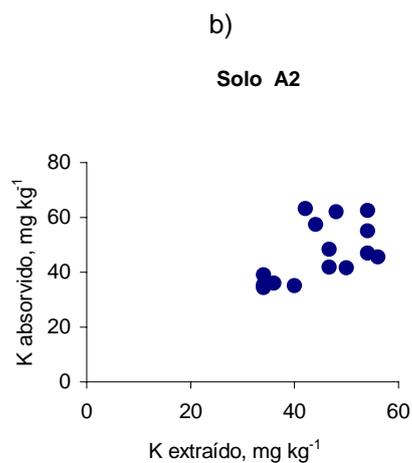
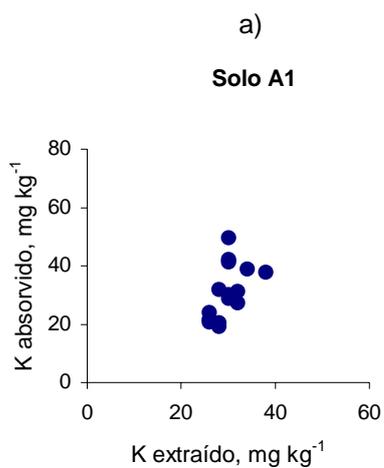
Tabela 13 - Coeficiente de correlação linear simples entre os teores de potássio absorvido pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator de Mehlich 1, HNO₃, NaBPh₄ e digestão ácida no solo A2.

Cultivo	Potássio acumulado na parte aérea			
	Mehlich 1 ¹	HNO ₃ ¹	NaBPh ₄ ²	Digestão ³
1	0,559*			
2	0,884**			
3	0,915**	0,489 ^{ns}	0,904**	
4	0,751**			
5	0,828**	0,502*	0,845**	0,535 ^{ns}

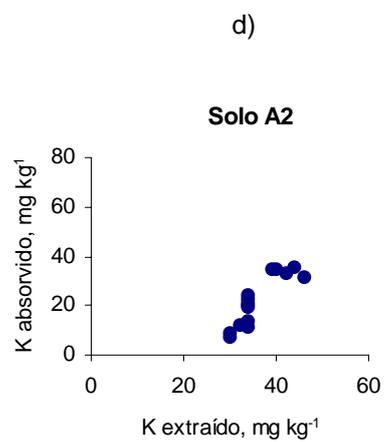
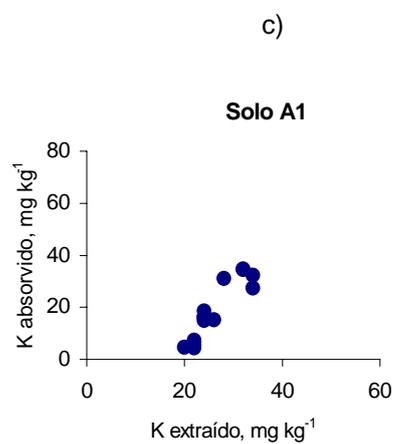
** p<0,01; * p<0,05; ^{ns} = não significativo (¹ n = 15; ² n = 9; ³ n = 4)

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os gráficos de correlação dos teores de K absorvido e extraído pelo extrator de Mehlich 1 e para os extratores HNO₃ e NaBPh₄, onde se podem visualizar os altos teores de K absorvido pela cultura do feijão-de-porco em comparação aos demais cultivos. Isto demonstra que as espécies vegetais possuem capacidade de absorção de K muito variável, e que a utilização da produção de matéria seca ao invés dos teores absorvidos também pode ser um parâmetro importante na calibração da disponibilidade de K nos solos.

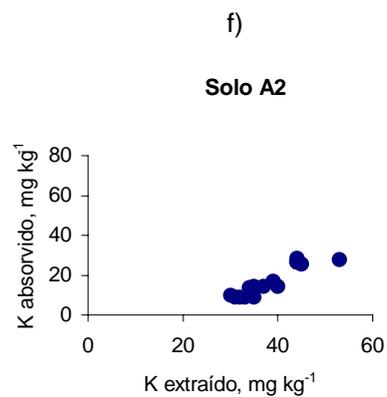
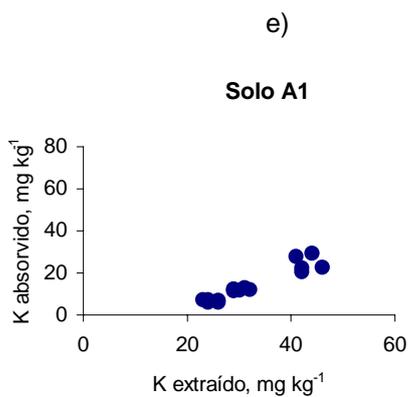
Aveia



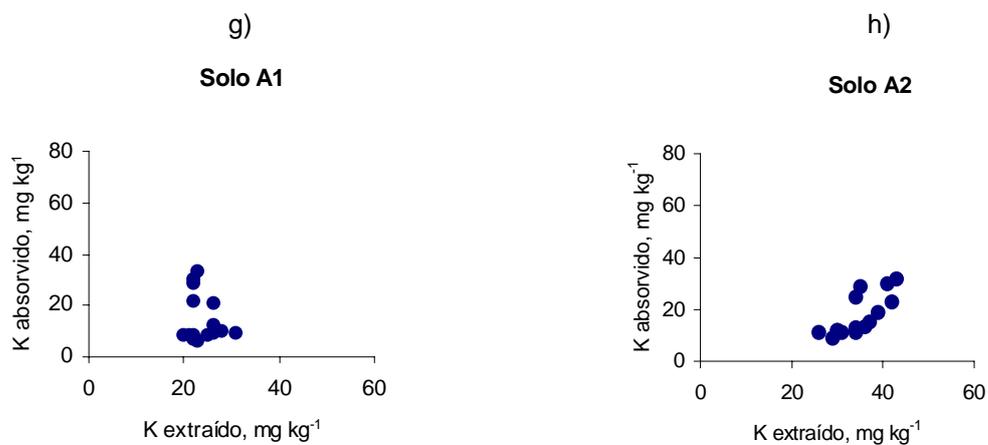
Trigo



Soja



Milho



Feijão-de-porco

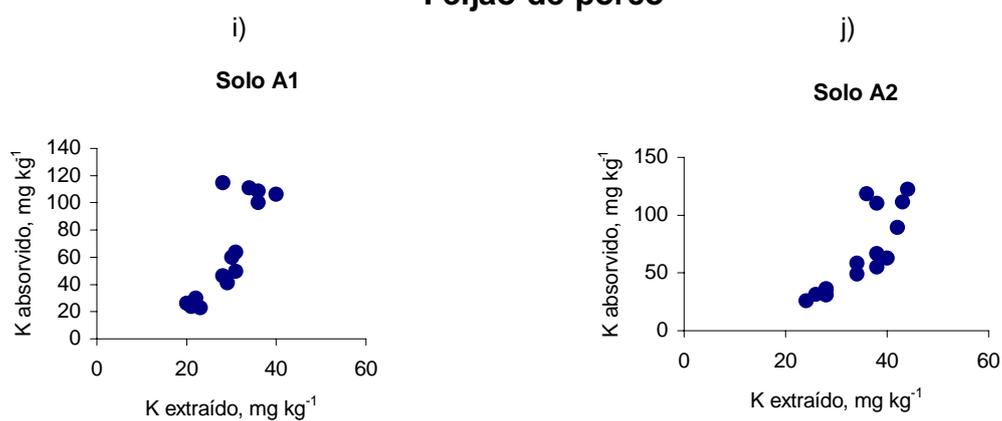
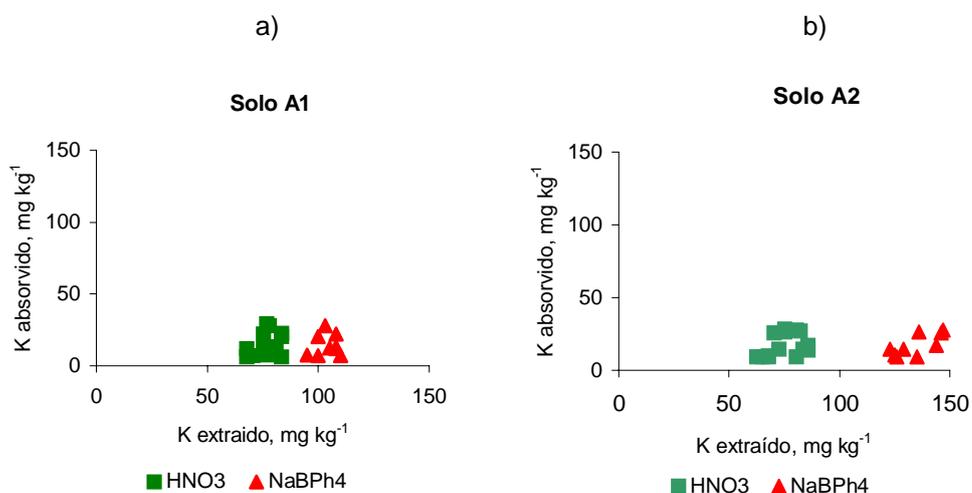


Figura 2 – Correlações entre os teores de K absorvido e extraído do solo A1 e A2 com o extrator de Mehlich 1 nos cultivos de aveia (a, b), trigo (c, d), soja (e, f), milho (g, h) e feijão-de-porco(i, j) em casa de vegetação.

Soja



Feijão-de-porco

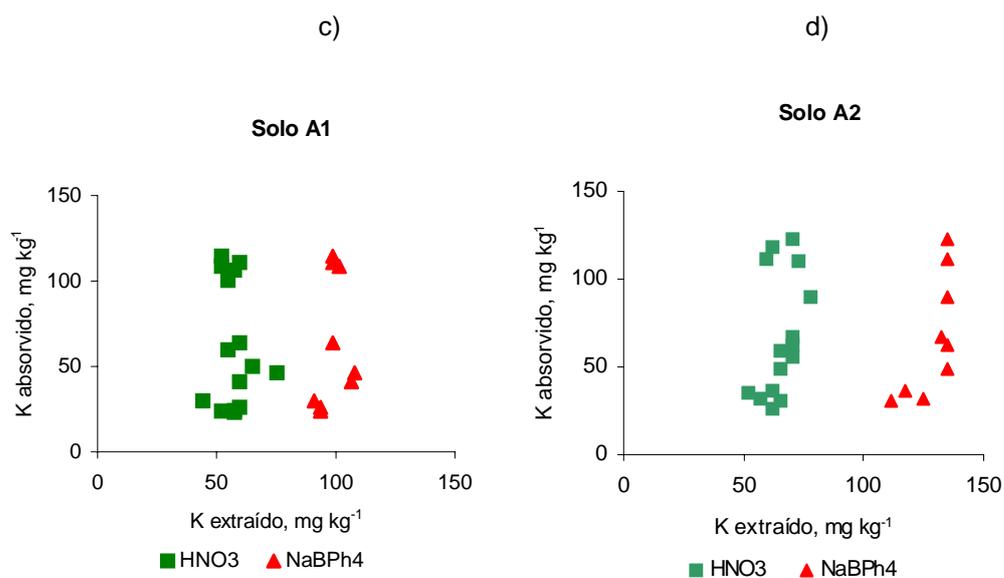


Figura 3 – Correlação entre os teores de K absorvido e extraído pelos extratores HNO₃ e NaBPh₄ do solo A1 e A2 nos cultivos de soja (a, b) e feijão-de-porco (c, d) em casa de vegetação.

4.2 Experimento de campo

Os resultados deste experimento são discutidos pelo rendimento de grãos da cultura da soja e do trigo na parcela principal, a qual recebeu adição de potássio na cultura da soja, e possuía residual de potássio de doses adicionadas em anos anteriores.

A adição anual de 0, 30, 60 e 90 kg K₂O ha⁻¹ na cultura da soja na parcela testemunha aumentou o rendimento de grãos de forma quadrática, com o rendimento máximo de 3.363 kg ha⁻¹ obtido com a dose de 55,22 kg K₂O ha⁻¹ (Tabela 14). A adição de potássio na parcela secundária que recebeu 60 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos proporcionou resposta linear, sendo que, para cada quilo de potássio adicionado houve um aumento de somente 13,50 kg ha⁻¹ de grãos de soja. A adição de doses de potássio na parcela secundária que recebeu 120 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos a resposta foi quadrática, com o rendimento máximo de 3.429 kg ha⁻¹ obtido com a dose de 72,46 kg K₂O ha⁻¹. Já, a adição de potássio na parcela que recebeu 180 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos a resposta também foi quadrática. Entretanto, o rendimento máximo foi maior (3.793 kg ha⁻¹) obtido com a dose de 48,81 kg K₂O ha⁻¹ (Tabela 14).

É importante salientar que a melhor resposta em produtividade de grãos de soja aos tratamentos foi obtida quando da aplicação do fertilizante junto com a semeadura da soja, e que as quantidades de K adicionadas anteriormente pouco influenciaram na produtividade. Neste solo, a adição de pequenas doses de K (55,22 Kg K₂O ha⁻¹) foram suficientes para promover ótimos níveis de produção (3.363 kg ha⁻¹ ou 56 sc ha⁻¹). Isto sugere que a adição freqüente e em pequenas doses é suficiente para adequados níveis de produção, e que a adição de grandes quantidades de fertilizantes com o objetivo de aumentar os níveis deste nutriente no solo não é recomendado. Da mesma maneira, Brunetto et al. (2002) constataram que a metade da dose de K₂O recomendada pela CFS - RS/SC (1994) foi suficiente para atingir a máxima produtividade de trigo, painço, milho e soja em solos do Planalto do RS.

Tabela 14 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos da soja e as doses de potássio aplicado no solo.

Condição		Parâmetros da regressão				Rendimento máximo	Dose para obter o rendimento máximo
Parcela principal ¹	Parcela secundária ²	b ₀	b ₁ x	b ₁₁ x ²	R ²		
	Kg K ₂ O ha ⁻¹					kg ha ⁻¹	kg K ₂ O ha ⁻¹
0							
30	0	2319	37,79	-0,3422	0,97*	3.363	55,22
60							
90							
0							
30	60	2478	13,50	-	0,96*	-	-
60							
90							
0							
30	120	2511	25,36	-0,1751	0,97*	3.429	72,46
60							
90							
0							
30	180	2209	64,93	-0,6650	0,98*	3.793	48,81
60							
90							

¹ Aplicação de potássio anualmente na cultura da soja

² Doses de potássio remanescentes aplicadas a cada 4 anos

* significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

A produção de trigo aumentou de forma quadrática com a aplicação anual de K na parcela testemunha na cultura da soja, sendo o rendimento máximo de 2.185 kg ha⁻¹ obtido com a dose anual de 71,37 kg K₂O ha⁻¹ (Tabela 15). Com a adição de K na parcela que recebeu 60 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos a resposta foi quadrática, rendimento máximo de 2.177 kg ha⁻¹ obtido com a dose de 65,83 kg K₂O ha⁻¹. Quando foi adicionado doses de K na parcela secundária que recebeu 120 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos a resposta também foi quadrática, rendimento máximo de 2.367 kg ha⁻¹ obtido com 61,67 kg K₂O ha⁻¹. As doses de potássio na parcela de 180 kg K₂O ha⁻¹ a cada 4 anos proporcionaram resposta quadrática, sendo o rendimento máximo de 2.269 kg ha⁻¹, podendo este ser obtido com a dose de 83,65 kg K₂O ha⁻¹ (Tabela 15).

Estes resultados sugerem que a cultura do trigo é pouco responsiva a adição de níveis de K, e que a adição de aproximadamente 20 kg K₂O ha⁻¹ a mais na cultura anterior são suficientes para promover rendimentos satisfatórios de grãos de trigo quando em sucessão a soja. A resposta da cultura do trigo aos tratamentos de K são verificadas apenas para adições recentes, enquanto que

para as adições maciças realizadas nos anos anteriores não foi observado resposta na produção de grãos.

Tabela 15 - Parâmetros das regressões polinomiais ajustadas entre o rendimento de grãos do trigo e as doses de potássio aplicado no solo.

Condição		Parâmetros da regressão				Rendimento máximo	Dose para obter o rendimento máximo
Parcela principal ¹	Parcela secundária ²	b ₀	b ₁ x	b ₁₁ x ²	R ²		
Kg K ₂ O ha ⁻¹						kg ha ⁻¹	kg K ₂ O ha ⁻¹
0							
30	0	1579	17,00	-0,1191	0,99 [*]	2.185	71,37
60							
90							
0							
30	60	1427	22,80	-0,1732	0,99 [*]	2.177	65,83
60							
90							
0							
30	120	1588	25,26	-0,2048	0,98 [*]	2.367	61,67
60							
90							
0							
30	180	1691	13,84	-0,0827	0,94 [*]	2.269	83,65
60							
90							

¹ Aplicação de potássio anualmente na cultura da soja

² Doses de potássio remanescentes aplicadas a cada 4 anos

*significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

A produção de grãos de soja e de trigo nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg K₂O ha⁻¹ adicionados a cada 4 anos não foi estatisticamente significativo (Tabela 16). Esta baixa resposta das culturas à adubação potássica, nesta mesma área experimental, também foi encontrada por Brunetto et al. (2005), sendo isso atribuído provavelmente à liberação de potássio em formas não trocáveis, pois este solo contém minerais micáceos e feldspatóides, como reportado por Bortoluzzi (2003).

As baixas respostas das culturas à adubação potássica na região Sul do Brasil já foram relatadas por vários autores. Dentre os quais se destaca o trabalho de Muzilli et al. (1979) com a cultura do trigo e os de Borkert et al. (1993) com soja, ambos cultivados em solos do Paraná, e o de Scherer (1998) com a cultura da soja

no estado de Santa Catarina. Esta falta de resposta a adubação potássica também foi constatada por Woodruff & Sparks (1980); Rehm & Sorensen (1985) e Sparks et al. (1986).

Tabela 16 - Produção de grãos da cultura da soja e do trigo decorrente da aplicação de potássio no solo.

Dose de potássio na parcela secundária	Produção	
	Soja	Trigo
kg K ₂ O ha ⁻¹ 4 ano ⁻¹Kg ha ⁻¹	
0	2.289 ^{ns}	1.574 ^{ns}
60	2.394	1.418
120	2.482	1.572
180	2.253	1.667
CV, %	16,06	12,34

^{ns} = não significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

O desenvolvimento e produtividade das culturas passam pela absorção de K de formas trocáveis e não trocáveis, inclusive em solos com altos teores de K_t. O K_{nt} é uma importante reserva de K às plantas e pode ser disponibilizado inclusive nos solos com altos níveis de K adicionado. Os extratores de potássio não trocável (HNO₃ e NaBPh₄) utilizados neste trabalho demonstraram boa correlação com os teores absorvidos pelas plantas, principalmente o NaBPh₄ o qual foi mais significativo em ambos os cultivos. Isso demonstra que estes extratores podem ser utilizados para prever a disponibilidade de K para as plantas.

A produtividade de grãos de soja em resposta a adição de K é verificada quando de adições freqüentes e em pequenas doses, e não é obtida resposta quando de adições maciças em anos anteriores com o objetivo de aumentar os níveis de K no solo. A produção de grãos de trigo em sucessão a soja, e quando somente nesta são aplicados os tratamentos, a dose de 71,37 kg K₂O ha⁻¹ é suficiente para a obtenção de ótima produção de trigo (2185 kg ha⁻¹ ou 43,7 sc ha⁻¹). Estes resultados indicam que pequenas doses de K aplicadas na cultura anterior podem apresentar efeito significativo na cultura subsequente com boa resposta em produtividade de trigo. A alta produção de trigo em seqüência a soja é atribuído à contribuição do potássio não trocável acessado pelas plantas, oriundo das reservas de K existente no solo.

5 CONCLUSÕES

A capacidade de suprimento de potássio do solo depende mais de suas características próprias do que do seu histórico de adubações.

A liberação de potássio das diferentes formas menos lábeis ocorrentes no solo é concomitante, a despeito de adições por adubação, embora seja mais acentuada quando os teores disponíveis sejam mais baixos.

As reservas de potássio no solo, construídas por histórico de adubações anteriores, tem baixa capacidade de manter o suprimento numa sucessão de cultivos.

6 LITERATURA CITADA

BHONSLE, N. S.; PAL, S. K.; SEKHON, G .S. Relationship of K forms and release characteristics with clay mineralogy. **Geoderma**, v. 54 p. 285-293, 1992.

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**, v.17, n.12, p.223-226, 1993.

BORTOLUZZI, E. C. **Nature des constituants propriétés et physiques des sols. Modelisation des charges superficielles dans des sols sableux au sud du Brésil.** 2003. 195 f. Tese (doutorado em ciência do solo) - Institut National Agronomique, Paris – Grignon, 2003

BORTOLUZZI, E. C. et al. Alterações na mineralogia de um Argissolo do rio grande do sul afetado pela fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (Prelo, 2005).

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em solos do Rio Grande do Sul. In: FERTIBIO 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002. CD-Rom.

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (Prelo, 2005).

CASTILHOS, R. M. et al. Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 12, p. 579-587, 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3 ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPT, 1994. 224 p.

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

CONYERS, E. S.; McLEAN, E. O. Plant uptake and chemical extractions for evaluating potassium release characteristics of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 226-230. 1969.

COX, A. E.; JOERN, B. C.; ROTH C. B. Nonexchangeable ammonium and potassium determination in soils with a modified sodium tetraphenylboron method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 114-120, 1996.

CRISÓSTEMO, L. A.; CASTRO, A. F. Poder de suprimento de potássio de solos da zona fisiográfica de Baturité, CE, Brasil. **Turrialba**, v. 20, n.4, p. 425-433, 1970.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA 1999. 412 p.

EVANS, C. E.; SIMON, R. H. Nonexchangeable potassium removal from soils by successive acid extractions as related to removal by greenhouse crops. **Soil Science Society Proceedings**, v. 14, p. 126-130. 1949.

FASSBENDER, H. W. **Química de Suelos, con énfasis en suelos de America Latina**. San José: Instituto Inter-americano de Cooperación para la Agricultura, 1980. 398p.

GOEDERT, W. J. **Cation equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil**. 1973. 71 f. Tese (doutorado em solos) - University of Wisconsin, 1973.

GOEDERT, W. J.; SYERS, J. K.; COREY, R. B. Relações quantidade-intensidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 10, p. 31-35, 1975.

GRIMME, H.; NEMETH, K. The evaluation of soil K status by means of soil testing. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11., 1978, Bern, **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, 1979. p. 99-108.

HAAGSMA, T.; MILLER, M. H. The release of nonexchangeable soil potassium to cation-exchange resins as influenced by temperature, moisture and exchanging ion. **Soil Science Society Proceedings**, v. 27, p. 153-156, 1963.

HUNTER, A.H.; PRATT, P.F. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 21, p. 595-598, 1957.

HAVLIN, J. L.; WESTFALL, D. G. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 49, p. 366- 370, 1985.

KIST, S. L. et al. Depleção de potássio por cultivos sucessivos em Argissolo de textura média. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Lages: 2004 **Anais...**(CD-ROM).

LOGANATHAN, P.; DICKSON, A. A.; ISIRIMAH, N. O. Potassium supplying capacity of soils formed on different geological deposits in the Níger Delta region of Nigeria. **Geoderma**, v. 65, p. 109-120, 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.889p.

MARTIN, H. W.; SPARKS, D. L. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils, **Communications on Soil Science and Plant Analysis**, v. 16: p. 133-162, 1985.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Adubação potássica na produção de soja, nos teores de potássio nas folhas e na disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo distrófico do cerrado. **Bragantia**, v. 40, p. 125-134, 1981.

MCLEAN, E. D.; WATSON, M. E. Soil measurement of plant available potassium. In: Munson R. D. et al. (Ed.) **Potassium in Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985 p. 277-308

MELO, G. W.; MEURER, E.; KÄMPF, N. Formas de potássio e mineralogia de dois solos após cultivos intensivos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO "MANEJO SUSTENTÁVEL DO SOLO", 2., Porto Alegre: 1998 Anais... SBCS/NRS.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 597-603, 2004.

MELO, V. F. et al. Potássio e magnésio em minerais das frações areia e silte de diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, p. 269-284, 2000.

MELO, V. F. et al. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 159-164, 1995a.

MELO, V. F. et al. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 165-171, 1995b.

METSON, A. J. The long-term potassium-supplying power of New Zealand soils. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE, 9, 1968, Adelaide. **Proceeding...** Adelaide: international society of soil science, 1968. p. 621-630, v. 2.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 2, p. 375-382, 1993.

MEURER, E. J.; KÄMPF, N.; ANGHINONI, I. Fontes potenciais de potássio em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 41-47, 1996.

MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, n. 2-3, p. 55-61, 1977.

_____. **O potássio no solo**. 5.ed. Piracicaba: Potafos, 80p. 1984. (Boletim Técnico, 2).

MIELNICZUK, J.; SELBACH, P. Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 115-120. 1978.

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; KOSAKI, T. Possible processes releasing nonexchangeable potassium from the rhizosphere of maize. **Plant and soil**. v. 258, p. 261-268, 2004.

MUNN, D. A.; MCLEAN, E. O. Soil potassium relationships as indicated by solution equilibrations and plant uptake. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 39, p. 1072-1076, 1975.

MUZZILI, O.; LANTMANN, A. F.; TORNERO, M. T. Respostas do trigo a fósforo e potássio como base de interpretação das análises do solo para a adubação da cultura no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 93-96, 1979.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Formas de potássio em solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 7-12, 1989.

_____ Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 37-42, 1991a.

_____ Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 43-47, 1991b.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A. E.; BEATTY, M. T. Potassium removed from some Southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 35, n. 4, p. 763-767. 1971.

PATELLA, J. F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento de trigo em algumas propriedades químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 1, p. 31-35, 1980.

PRATT, P. F. Potassium. In: BLACK, C.A. **Methods of Soil Analysis**. Madison: ASA, p. 1022-1030, 1965. v. 2.

REICHENBACH, H. G. von. Factors of mica transformation. In: POTASSIUM IN SOIL. COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 9., Landshut. 1972. **Proceedings...** Landshut: International Potash Institute, 1972. p. 33-421.

REHM, G. W.; SORENSEN, R. C. Effects of potassium and magnesium applied for corn grown on an irrigated sandy soil. **Soil Science Society of America journal**, v. 49, p. 1446-1450, 1985.

RITCHEY, K. D. **O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos.** Piracicaba: Potafos, 1982. 69 p. (Boletim Técnico, 7).

ROSOLEM, C. A. ; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 9 p.1045-1054, 1993.

SADUSKI, M. C. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle atlantic coastal plain soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 51, p. 1460-1465, 1987.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 57-62, 1998.

SCHROEDER, D. Relationship between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. In: potassium research and agricultural production. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11., 1978, Bern, **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, 1978. p. 43-63.

SHARPLEY, A. N. The kinetics of soil potassium desorption. **Soil Science Society of America journal**, v. 51, p. 912-917, 1987.

SILVA, D. N. et al. Mineralogia e formas de potássio em dois latossolos do estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 433-439, 1995.

SILVA, J. R. T.; MEURER, E. J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 137-142, 1988.

SPARKS, D. L. Chemistry of soil potassium in atlantic coastal plain soils. **Communication in soil science and Plant Analysis**, v. 11 n. 5, p. 435-449, 1980.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. in: Munson R. D. et al. (Ed.) **Potassium in Agriculture**. American Society of Agronomy, Madison, 1985. p. 201-275

SPARKS, D. L.; MARTENS, D. L.; ZELAZNY, L. W. Plant uptake and leaching of applied and indigenous potassium in Dothan soils. **Agronomy Journal**, v. 72: p. 551-555, 1980.

SPARKS, D. L. Nutrient balances and the need for potassium: In: potassium release from sandy soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 13th.IPI-congress, France1986, Reims, **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, p. 43-63.

SPARKS, D. L. Soil physical chemistry. In: SINGH, U. & UEHARA, G. **Eletrochemistry of the Double Layer: Principles and Applications to soil**. 2nd ed. Newark: CRC press, 1998. cap.1 p.1- 44.

STEWART, J. A. Potassium sources, use, and potential. In. MUNSON, R.D. et al. (Ed.) **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p. 83-98, 1985.

SURAPANENI, A. et al. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. **Geoderma**, v. 110, p. 191- 204, 2002.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

URIBE, E.; COX, F. R. Soil properties affecting the availability of potassium in highly weathered soils. **Soil Science Society of America journal**, v. 52, p. 148-152, 1988.

VASCONSELOS, C. A.; SANTOS, H. L.; FRANÇA, G. E. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. **Anais...**, Piracicaba: Ibrafos, 1982. p. 437-448.

VEDUIN, J. V. R. **Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso**. 1994. 43 f. Dissertação (mestrado em solos) - Universidade Federal de Santa Maria, 1994.

WOODRUFF, J. R.; PARKS, C. L., Topsoil and subsoil potassium calibration with leaf K for fertility rating. **Agronomy Journal**, v. 72 p. 392-396, 1980.

YAMADA, T. Potássio na agricultura brasileira. In: Távora, J. E. M. **Reservas minerais de potássio e suas explorações**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto internacional da Potassa; Londrina, fundação IAPAR, 1982. 556 p.

ANEXOS

Anexo 1 – Análise da variância da produção de matéria seca da cultura da aveia influenciado pelos níveis de potássio adicionado e a interação entre os solos com a adição dos níveis de potássio.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	0,1729	0,0865	6,26	0,007
Efeito linear	1	0,1701	0,1704	12,32	0,002
Efeito quadrático	1	0,0028	0,0028	0,20	0,656
Solo	1	0,3719	0,3719	26,92	0,001
Solo * níveis de K	2	0,0227	0,0113	0,82	0,452
Solo * efeito.linear	1	0,0217	0,0217	1,57	0,222
Solo * efeito quad.	1	0,0001	0,0001	0,07	0,794
Erro	24	0,3315	0,0138		
Total	29	0,8990			

$$Y = 1,52 + 0,006x$$

$$R^2 = 0,68$$

Anexo 2 – Análise da variância da produção de matéria seca da cultura do trigo influenciado pelos níveis de potássio adicionado e a interação entre os solos com a adição dos níveis de potássio. diferentes solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	3,4178	1,7089	111,37	0,001
Efeito linear	1	2,6896	2,6896	175,28	0,001
Efeito quadrático	1	0,7282	0,7282	47,45	0,001
Solo	1	0,1029	0,1029	6,70	0,016
Solo * níveis de K	2	0,0584	0,0292	1,91	0,171
Solo * efeito.linear	1	0,0539	0,0539	3,51	0,073
Solo * efeito quad.	1	0,0046	0,0046	0,30	0,589
Erro	24	0,3683	0,0153		
Total	29	3,9473			

$$Y = 0,654 + 0,077x - 0,0017x^2$$

$$R^2 = 0,87$$

Anexo 3 - Análise da variância da produção de matéria seca da cultura da soja influenciado pelos níveis de potássio adicionado e a interação entre os solos com a adição dos níveis de potássio. diferentes solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	0,0760	0,0380	2,30	0,095
Efeito linear	1	0,0006	0,0006	0,04	0,841
Efeito quadrático	1	0,0754	0,0754	5,15	0,032
Solo	1	0,2921	0,2921	19,95	0,001
Solo * níveis de K	2	0,0137	0,0069	0,47	0,631
Solo * efeito.linear	1	0,00005	0,00005	0,00	0,952
Solo * efeito quad.	1	0,0137	0,0137	0,93	0,344
Erro	24	0,351	0,0146		
Total	29	0,7331			

NS

Anexo 4 - Análise da variância da produção de matéria seca da cultura do milho influenciado pelos níveis de potássio adicionado e a interação entre os solos com a adição dos níveis de potássio nos diferentes solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	7,3156	3,6578	45,55	0,001
Efeito linear	1	6,6084	6,6084	82,29	0,001
Efeito quadrático	1	0,7071	0,7071	8,81	0,007
Solo	1	2,3259	2,3259	28,96	0,001
Solo * níveis de K	2	0,4523	0,2261	2,82	0,078
Solo *	1	0,4316	0,4316	5,37	0,029
efeito.linear					
Solo * efeito	1	0,0207	0,0207	0,26	0,616
quad.					
Erro	24	1,9273	0,0803		
Total	29	12,0211			

$$Y = 2,628 + 0,045x - 0,0004x^2$$

$$R^2 = 0,61$$

Anexo 5 - Análise da variância da produção de matéria seca da cultura de feijão-de-porco influenciado pelos níveis de potássio adicionado e a interação entre os solos com a adição dos níveis de potássio nos diferentes solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	0,8804	0,4402	3,38	0,051
Efeito linear	1	0,8538	0,8538	6,56	0,017
Efeito quadrático	1	0,0266	0,0266	0,20	0,655
Solo	1	0,0027	0,0027	0,02	0,887
Solo * níveis de K	2	0,7406	0,3703	2,84	0,078
Solo * efeito.linear	1	0,3842	0,3842	2,95	0,099
Solo * efeito quad.	1	0,3564	0,3564	2,74	0,111
Erro	24	3,1246	0,1302		
Total	29	4,7483			

$$Y = 4,2831 + 0,0067x$$

$$R^2 = 0,18$$

Anexo 6 - Análise da variância dos teores de K absorvido pela parte aérea da cultura da aveia influenciado pelos níveis de K adicionado e da interação entre os solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	2557,8224	1278,9112	142,50	0,001
Efeito linear	1	2547,1961	2547,1961	283,81	0,001
Efeito quadrático	1	10,6263	10,6263	1,18	0,287
Solo	1	1907,6652	1907,6652	212,55	0,001
Solo * níveis de K	2	17,1349	8,5674	0,95	0,399
Solo * efeito.linear	1	15,9639	15,9639	1,78	0,195
Solo * efeito quad.	1	1,1710	1,1710	0,13	0,721
Erro	24	215,4017	8,9751		
Total	29	4698,0242			

$$Y = 29,17 + 0,74x$$

$$R^2 = 0,54$$

Anexo 7 - Análise da variância dos teores de K absorvido pela parte aérea da cultura do trigo influenciado pelos níveis de K adicionado e da interação entre os solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	3100,0762	1550,0381	358,15	0,001
Efeito linear	1	3060,9244	3060,9244	707,25	0,001
Efeito quadrático	1	39,1518	39,1518	9,05	0,006
Solo	1	120,7913	120,7913	27,91	0,001
Solo * níveis de K	2	15,7047	7,8523	1,81	0,185
Solo * efeito.linear	1	12,7844	12,7844	2,95	0,099
Solo * efeito quad.	1	2,9203	2,9203	0,67	0,420
Erro	24	103,8698	4,3279		
Total	29	3340,4419			

$$Y = 8,166 + 1,198x - 0,012x^2$$

$$R^2 = 0,93$$

Anexo 8 - Análise da variância dos teores de K absorvido pela parte aérea da cultura da soja influenciado pelos níveis de K adicionado e da interação entre os solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	1651,7902	825,8951	260,76	0,001
Efeito linear	1	1649,9929	1649,9928	520,94	0,001
Efeito quadrático	1	1,7973	1,7973	0,57	0,459
Solo	1	47,5325	47,5325	15,01	0,001
Solo * níveis de K	2	0,1449	0,0725	0,02	0,977
Solo * efeito.linear	1	0,1442	0,1442	0,05	0,833
Solo * efeito quad.	1	0,0007	0,0007	0,00	0,988
Erro	24	76,0156	3,1673		
Total	29	1775,4832			

$$Y = 7,85 + 0,59x$$

$$R^2 = 0,93$$

Anexo 9 - Análise da variância dos teores de K absorvido pela parte aérea da cultura do milho influenciado pelos níveis de K adicionado e da interação entre os solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	1880,9158	940,4579	97,97	0,0001
Efeito linear	1	1811,3585	1811,3585	188,69	0,001
Efeito quadrático	1	69,5574	69,5574	7,25	0,013
Solo	1	51,5377	51,5377	5,37	0,029
Solo * níveis de K	2	20,6561	10,3281	1,08	0,357
Solo * efeito.linear	1	12,8752	12,8752	1,34	0,258
Solo * efeito quad.	1	7,7809	7,7809	0,81	0,377
Erro	24	230,3906	9,5996		
Total	29	2183,5003			

$$Y = 2,628 + 0,045x - 0,0004x^2$$

$$R^2 = 0,86$$

Anexo 10 - Análise da variância dos teores de K absorvido pela parte aérea da cultura do feijão-de-porco influenciado pelos níveis de K adicionado e da interação entre os solos.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	33612,1009	16807,0504	289,16	0,001
Efeito linear	1	33613,6229	33613,6229	578,32	0,001
Efeito quadrático	1	0,4780	0,4780	0,01	0,929
Solo	1	192,6364	192,6364	3,31	0,081
Solo * níveis de K	2	30,4807	15,2403	0,26	0,772
Solo * efeito.linear	1	27,6586	27,6586	0,48	0,497
Solo * efeito quad.	1	2,8221	2,8221	0,05	0,828
Erro	24	1394,9453	58,1227		
Total	29	35232,1632			

$$Y = 28,66 + 1,34x$$

$$R^2 = 0,95$$

Anexo 11 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator de Mehlich 1 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura da aveia.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	572,5630	286,2815	23,72	0,001
Efeito linear	1	320,1058	320,1058	26,53	0,001
Efeito quadrático	1	252,4571	252,4571	20,92	0,001
Solo	1	1692,5037	1692,5037	140,26	0,001
Solo * níveis de K	2	167,9407	83,9704	6,96	0,004
Solo * efeito.linear	1	35,8265	35,8265	2,97	0,098
Solo * efeito quad.	1	132,1143	132,1143	10,95	0,003
Erro	24	289,6000	12,06667		
Total	29	2722,6074			

$$\text{Solo A1} - Y = 27,54 + 0,17x$$

$$R^2 = 0,48$$

$$\text{Solo A2} - Y = 35,60 + 2,05x - 0,054x^2$$

$$R^2 = 0,75$$

Anexo 12 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator de Mehlich 1 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura do trigo.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	584,9185	292,4593	90,97	0,001
Efeito linear	1	577,9058	577,9058	179,76	0,001
Efeito quadrático	1	7,0127	7,0127	2,18	0,153
Solo	1	763,3926	763,3926	237,46	0,001
Solo * níveis de K	2	0,9185	0,4593	0,14	0,868
Solo * efeito.linear	1	0,0011	0,0011	0,00	0,986
Solo * efeito quad.	1	0,9175	0,9175	0,29	0,598
Erro	24	77,1556	3,2415		
Total	29	1426,3852			

$$Y = 26,35 + 0,35x$$

$$R^2 = 0,41$$

Anexo 13 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator de Mehlich 1 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura da soja.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	1350,2000	675,1000	122,01	0,001
Efeito linear	1	1350,0214	1350,0214	243,98	0,001
Efeito quadrático	1	0,1786	0,1786	0,03	0,859
Solo	1	252,3000	252,3000	45,60	0,001
Solo * níveis de K	2	30,2000	15,1000	2,73	0,086
Solo * efeito.linear	1	29,3357	29,3357	5,30	0,030
Solo * efeito quad.	1	0,8643	0,8643	0,16	0,696
Erro	24	132,8000	5,5333		
Total	29	1765,5000			

$$Y = 28,33 + 0,54x$$

$$R^2 = 0,76$$

Anexo 14 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator de Mehlich 1 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura do milho.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	233,8667	116,9333	19,65	0,001
Efeito linear	1	113,1524	113,1524	19,02	0,001
Efeito quadrático	1	120,7143	120,7143	20,29	0,001
Solo	1	874,8000	878,8000	147,03	0,001
Solo * níveis de K	2	103,2000	51,6000	8,67	0,002
Solo * efeito.linear	1	99,0857	99,0857	16,65	0,001
Solo * efeito quad.	1	4,1143	4,1143	0,69	0,414
Erro	24	142,8000	5,9500		
Total	29	1354,6667			

$$Y = 30,71 + 0,15x$$

$$R^2 = 0,60$$

Anexo 15 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator de Mehlich 1 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura do feijão-de-porco.

$$Y = 24,1 + 0,58x - 0,006x^2$$

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	963,200	481,600	65,08	0,001
Efeito linear	1	823,200	823,200	111,24	0,001
Efeito quadrático	1	140,000	140,000	18,92	0,001
Solo	1	276,0333	276,0333	37,30	0,001
Solo * níveis de K	2	3,4667	1,7333	0,23	0,793
Solo * efeito.linear	1	0,0095	0,0095	0,00	0,972
Solo * efeito quad.	1	3,4571	3,4571	0,47	0,501
Erro	24	177,600	7,400		
Total	29	1420,300			

$$R^2 = 0,68$$

Anexo 16 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator HNO_3 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura da soja.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	398,0074	199,004	6,38	0,006
Efeito linear	1	160,5399	160,5399	5,14	0,033
Efeito quadrático	1	237,4674	237,4674	7,61	0,011
Solo	1	1,7926	1,7926	0,06	0,813
Solo * níveis de K	2	171,6519	85,8259	2,75	0,084
Solo * efeito.linear	1	0,04471	0,04471	0,00	0,970
Solo * efeito quad.	1	171,6071	171,6071	5,50	0,028
Erro	24	748,9778	31,2074		
Total	29	1320,4296			

$$Y = 71,17 + 1,14x - 0,03x^2$$

$$R^2 = 0,30$$

Anexo 17 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator HNO_3 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura do feijão-de-porco.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	369,4741	184,7370	5,46	0,011
Efeito linear	1	60,4455	60,4455	1,79	0,194
Efeito quadrático	1	309,0286	309,0286	9,13	0,006
Solo	1	498,8481	498,8481	14,73	0,001
Solo * níveis de K	2	105,9185	52,9593	1,56	0,230
Solo * efeito.linear	1	92,0899	92,0899	2,72	0,112
Solo * efeito quad.	1	13,8286	13,8286	0,41	0,529
Erro	24	812,5333	33,8556		
Total	29	1786,7741			

$$Y = 59,97 + 0,60x - 0,009x^2$$

$$R^2 = 0,21$$

Anexo 18 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator NaBPh_4 em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura da soja.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	200,3333	100,1667	2,29	0,143
Efeito linear	1	190,3214	190,3214	4,36	0,059
Efeito quadrático	1	10,0119	10,0119	0,23	0,641
Solo	1	4170,8889	4170,8889	95,52	0,001
Solo * níveis de K	2	180,7778	90,3889	2,07	0,1689
Solo * efeito.linear	1	144,7659	144,7659	3,32	0,094
Solo * efeito quad.	1	36,0119	36,0119	0,82	0,3817
Erro	24	524,000	43,6667		
Total	29	5076,000			

NS

Anexo 19 - Análise da variância dos teores de K extraídos dos solos pelo extrator NaBPh₄ em função dos níveis de potássio adicionados e da interação entre os solos na cultura do feijão-de-porco.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	p
Níveis de Potássio	2	705,4444	352,7222	28,11	0,001
Efeito linear	1	311,1111	311,1111	24,79	0,001
Efeito quadrático	1	394,3333	394,3333	31,42	0,001
Solo	1	4120,3025	4120,3025	328,33	0,001
Solo * níveis de K	2	87,2716	43,6358	3,48	0,064
Solo * efeito.linear	1	85,3616	85,3616	6,80	0,023
Solo * efeito quad.	1	1,9101	1,9101	0,15	0,703
Erro	24	150,5926	12,5493		
Total	29	5063,6111			

$$Y = 117,78 + 1010x - 0,014x^2$$

$$R^2 = 0,60$$

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)