

LISIANE SILVA DAS NEVES

**INFLUÊNCIA DE DOSES E DA LOCALIZAÇÃO DE CLORETO DE
POTÁSSIO NA GERMINAÇÃO DE MILHO E NA DIFUSÃO DE K EM
SOLOS**

LAGES, SC

2007

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LISIANE SILVA DAS NEVES

**INFLUÊNCIA DE DOSES E DA LOCALIZAÇÃO DE CLORETO DE
POTÁSSIO NA GERMINAÇÃO DE MILHO E NA DIFUSÃO DE K EM
SOLO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Ph. D. Paulo Roberto Ernani
Co-orientador: Márcia Aparecida Simonete

**LAGES, SC
2007**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14^a Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

NEVES, LISIANE SILVA DAS

Influência de doses e da localização de cloreto de potássio na germinação de milho e na difusão de K em solos / Lisiane Silva das Neves – Lages, 2007.

68 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.

1. Potássio - Difusão 2. Milho - Germinação 3. Solos.

I.Título.

CDD – 631.81

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**INFLUÊNCIA DE DOSES E DA LOCALIZAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO NA
GERMINAÇÃO DE MILHO E NA DIFUSÃO DE K EM SOLOS**

LISIANE SILVA DAS NEVES
Bióloga

Aprovado em: 31/7/2007
Pela Banca Examinadora:

Homologado em:

Ph.D. Paulo Roberto Ernani
Orientador – UDESC/Lages - SC

Dr. Osmar Klauberg Filho
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Ciência do Solo e Coordenador do
Programa de Mestrado em Agronomia –
UDESC/Lages - SC

Dra. Márcia Aparecida Simonete
Departamento de Pesquisa Florestal
KLABIN S.A.
Telêmaco Borba - PR

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Dr. Paulo Cezar Cassol
UDESC/Lages - SC

Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC/ Lages - SC

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a DEUS, pela vida e por cada novo dia que se mostra repleto de desafios. Em especial aos meus queridos pais, Riete e Maria, que representam o maior exemplo de personalidades na minha vida, pois com bondade e compreensão, me ensinaram valores dignos, honestos e significativos. Obrigada por me educarem, por investirem em minha formação profissional, por me incentivarem a superar meus próprios limites. A meu irmão Renato, agradeço as palavras de apoio, a cumplicidade nas conversas tão bem vindas em momentos de aflição e aos abraços que me fortalecem quando nos encontramos.

Ao Professor Paulo Ernani, agradeço a oportunidade de realizar o Mestrado. Sua simpatia e otimismo nos motivam a perseverar. Obrigada pela orientação, pela amizade, por acompanhar a evolução do meu desempenho no curso.

Aos professores do Mestrado, agradeço as informações adquiridas em sala de aula e a amizade nos momentos de descontração. À professora Maria Teresa Aranha, agradeço as dicas sobre sementes.

Às amigas de Curso Tati Arruda (Tatíssima), Aline, Cedinara, Tati Pagani, Deise, Tânia e Tamara. Ao Claudinei Kurtz e Henrique Almeida, obrigada pelas dicas no laboratório. Aos estudantes de graduação que auxiliaram bravamente nas determinações químicas.

Ao casal Janice e André Thaler que me acolheram na chegada a Lages. À minha amiga Márcia Aparecida Simonete, obrigada pela força, pela atenção e incentivo.

Aos amigos funcionários do CAV: Fátima, Fernando e Leandro (Brava Torcida Colorada), Claudia, Alcir, Henrique (Pipoca), Giba.

À UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

“...Dê ao mundo o melhor de você, mas isto pode nunca ser o bastante. Dê o melhor assim mesmo.

Veja você que, no final das contas, é entre você e Deus, nunca entre você e as outras pessoas.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em laboratório com o objetivo de avaliar, respectivamente, o efeito da dose e da posição do cloreto de potássio (KCl) na germinação do milho e na difusão de K em cinco solos com teores variáveis de argila e de matéria orgânica. No experimento I, avaliou-se a germinação de milho e os tratamentos consistiram de quatro doses de KCl, equivalentes a 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, e duas localizações laterais do fertilizante em relação às sementes (2,5 e 5,0 cm, ambas 5,0 cm abaixo das sementes). No experimento II, avaliou-se a difusão de K no solo a partir das mesmas doses de KCl, em sete distâncias lineares a partir do local de aplicação do fertilizante, em colunas horizontais de PVC (7,0 cm de diâmetro x 18 cm) confeccionadas a partir da união de anéis concêntricos. Nos solos, foram determinados os teores de K (trocável e solúvel), a condutividade elétrica e o pH; nas plantas, foram avaliadas a germinação, altura, peso da massa seca da parte aérea e raiz e a concentração foliar de K. Foi utilizado o delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. A adição de KCl não afetou a germinação de milho em nenhum solo, sendo sempre maior do que 90%, independente da dose e da localização em relação às sementes. A massa seca da parte aérea (MSPA) aumentou quadraticamente com o aumento da dose de KCl em dois solos; no Latossolo Vermelho de textura argilosa (LVdf) ela diminuiu com o aumento da dose quando o KCl foi aplicado a 2,5 cm das sementes. A MSRA aumentou com o aumento da dose de KCl em três solos e diminuiu apenas no Latossolo Vermelho de textura arenosa (LVd). A concentração de K no tecido aumentou quadraticamente com a dose de K em todos os solos e variou de 1,5 a 7,3 %. Os coeficientes angulares das equações de regressão entre K trocável e K aplicado nos cinco solos correlacionaram positivamente com os valores de capacidade de troca de cátions e matéria orgânica; para o K-solução, os coeficientes não correlacionaram com nenhum atributo de solo. A difusão de K variou com o tipo de solo, aumentou com a dose de KCl aplicada e foi menor no solo mais arenoso e com menor teor de matéria orgânica. A difusão de K foi rápida, pois em sete dias, na maior dose de KCl aplicada (200 mg kg⁻¹ K₂O), o K se movimentou de 6,4 cm no LVd até 9,7 cm no CHa.

Palavras-chave: Cloreto de potássio. Germinação. Difusão.

ABSTRACT

Two experiments were conducted in a laboratory in order to evaluate, respectively, the effect of both rate and position of KCl in the germination of maize as well as the diffusion of K in five soils with variable contents of clay and organic matter. In the germination trial, the treatments consisted of four rates of KCl, equivalent to 0, 50, 100 and 200 kg K₂O ha⁻¹, combined with two positions of the fertilizer relatively to the seeds (2.5 and 5.0 cm apart). In the other experiment, the lateral diffusion of K was measured in the soils using horizontal PVC columns (7.0 cm of diameter x 18 cm) after addition of the same rates of KCl used in the previous trial. In the soils, it was evaluated K forms (exchangeable and solution), electric conductivity and pH; in the plants, besides germination, it was measured height, shoot and root dry matter and concentration of K in the tissue. Both studies were carried out in a completely randomized design with four replicates. Maize germination was always larger than 90% and it was not affected by rates and location of KCl, regardless of soil characteristics. Shoot dry matter (SDM) had a quadratic increase in two soils with increases on the rate of KCl; in the Oxisol (LVdf), an opposite trend occurred when the fertilizer was applied 2.5 cm apart from the seeds. For the root dry matter (RDM), the interaction effect was more frequent than the isolated effect of the factors. RDM increased with the increase on the KCl rate in three soils but it decreased in the sandy Oxisol (LVd). The concentration of K in the maize tissue increased quadratically with the increase on KCl rate in all soils and it varied from 1.5 to 7.3%. The angular coefficients of the regression equations describing the relationship between exchangeable K and applied K correlated positively with the values of cation exchange capacity and organic matter, in all soils; for solution K, the coefficients did not correlate with any soil attribute. The diffusion of K varied with soil type, increased with the rate of applied KCl, and it was lowest in the sandiest soil containing the smaller organic matter content. Diffusion was fast since lateral movement of K in the treatment receiving 200 mg kg⁻¹ K₂O varied from 6.4 cm up to a maximum of 9.7 cm in only seven days, according to the soil type.

KEY WORDS: Potassium Chloride. Germination. Diffusion.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação, procedência, material de origem e granulometria dos solos.....	22
Tabela 2 - Valores de pH, teores de MO, Ca e Mg trocáveis, P e K extraíveis e CTC efetiva e a pH 7,0 nos cinco solos.....	23
Tabela 3 - Efeito das doses de KCl na germinação de plântulas de milho. Média de quatro repetições	28
Tabela 4 - Altura da parte aérea das plântulas de milho em função das doses e das posições do KCl em relação às sementes. Média de quatro repetições	30
Tabela 5 - Massa seca da parte aérea e da raiz das plântulas de milho em função dos fatores avaliados para cinco solos de texturas diferentes	33
Tabela 6 - Correlação entre K trocável e K solúvel com a capacidade de troca de cátions, matéria orgânica e teor de argila em cinco solos de texturas diferentes	44
Tabela 7 - Valores médios de K trocável (mg kg^{-1}) e quantidade absoluta de K numa coluna de solo de 9,0 cm de espessura em função da adição de doses de K_2O na forma de KCl.....	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Representação gráfica da estrutura das colunas de PVC. Cada metade da coluna (a) foi preenchida com aproximadamente 360 g de solo, sendo constituída pela união de anéis com 1 e 2 cm de espessura. Na intersecção entre as duas metades das colunas (b) foram posicionados os grânulos de KCl.....27
- Figura 2** - Concentração de K na parte aérea de milho em função da dose e do posicionamento do KCl em cinco solos com diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....36
- Figura 3** - Condutividade elétrica do solo em função da adição de KCl em cinco solos. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....38
- Figura 4** - Valores de pH do solo e da solução em cinco solos de diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....41
- Figura 5** - Relação entre pH da fase sólida e o pH da solução em função da adição de doses de KCl em cinco solos de diferentes texturas. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....42
- Figura 6** - Valores de K trocável (mg kg^{-1}) e K na solução (mg L^{-1}) de cinco solos de diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....43
- Figura 7** - Relação entre K no solo e K na solução (PTK) em cinco solos com diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico

léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....	46
Figura 8 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico Alumínico Típico (CHat). Média de quatro repetições	48
Figura 9 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Média de quatro repetições	48
Figura 10 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Nitossolo Bruno distroférrico (NBdf). Média de quatro repetições	49
Figura 11 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf). Média de quatro repetições.....	49
Figura 12 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico Alumínico (CHa) ao final de 7 dias de experimento. Média de quatro repetições.....	50
Figura 13 - Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico Alumínico (CHa) ao final de 14 dias de experimento. Média de quatro repetições.....	50
Figura 14 - Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 50 kg ha ⁻¹ de K ₂ O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....	55
Figura 15 - Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 100 kg ha ⁻¹ de K ₂ O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....	56
Figura 16 - Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 200 kg ha ⁻¹ de K ₂ O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. INFLUÊNCIA DE DOSES E DA LOCALIZAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO NA GERMINAÇÃO DE MILHO EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS	15
2.2. DIFUSÃO DE POTÁSSIO DECORRENTE DA ADIÇÃO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. EXPERIMENTO I	22
3.2. EXPERIMENTO II	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. EXPERIMENTO I	28
4.1.1. Germinação.....	28
4.1.2. Altura das plântulas	30
4.1.3. Massa seca da parte aérea	32
4.1.4. Massa seca da raiz.....	34
4.1.5. Concentração de K nas plantas	36
4.1.6. Efeito na condutividade elétrica (CE) do solo.....	38
4.1.7. Efeito no pH.....	40
4.1.8. Efeito no K trocável na fase sólida e na solução do solo.....	42
4.2. EXPERIMENTO II	47
4.2.1. Potássio trocável no solo.....	47
4.2.2. Condutividade elétrica (CE) no solo	58
5. CONCLUSÕES	60
5.1. EXPERIMENTO I	60
5.2. EXPERIMENTO II	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Em alguns programas de adubação, altas doses de potássio são empregadas e o cloreto de potássio (KCl) é o sal predominantemente utilizado. A definição da dose de K₂O utilizada na semeadura requer cuidados, pois este pode afetar significativamente a germinação das sementes e até a arquitetura da raiz, em decorrência de possíveis efeitos salinos desse fertilizante. Em regiões áridas ou sujeitas a déficit hídrico esse efeito é mais provável, pois há maior concentração de sais na solução do solo que prejudicam as sementes e as raízes. O cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante potássico mais utilizado na agricultura, que tem como inconveniente o alto índice salino. Portanto, dependendo da dose e do seu posicionamento relativamente às sementes, pode afetar o processo de germinação e o desenvolvimento das plântulas em determinados solos.

O efeito negativo da adição de KCl na germinação depende do incremento provocado pelo fertilizante na concentração eletrolítica da solução do solo nas regiões próximas das sementes. Esse incremento depende da dose do fertilizante e do poder tampão de potássio (PTK) do solo. Este, por sua vez, varia com a textura, composição mineralógica, pH e teores de matéria orgânica e de água no solo. Além disso, o prejuízo à germinação depende da distância em que o fertilizante é colocado em relação às sementes. Quanto maior for o PTK e mais distante a colocação do adubo relativamente às sementes, menor é o risco de prejuízos na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas.

Em várias regiões do Brasil recomenda-se limitar a dose de KCl a ser aplicada na semeadura do milho, não devendo ultrapassar 60 ou 80 kg ha⁻¹ de K₂O. No entanto, não há

critérios definidos para o estabelecimento dessas doses máximas, nem tampouco uma relação clara delas com o tipo de solo ou com a espécie vegetal.

A difusão é o mecanismo dominante no transporte de potássio até a superfície das raízes, principalmente no período inicial de desenvolvimento das plântulas quando o gradiente hídrico ocasionado pela absorção de água é muito pequeno. Quanto menor for a difusão de K no solo, menor é o risco dos sais atingirem as adjacências das sementes quando ele é posicionado distante das mesmas.

A quantidade de K que chega até as raízes depende da concentração entre os elementos na solução, da quantidade de água e da textura do solo. Em solos arenosos, com menor número de cargas negativas, a difusão de K poderá ser maior. Por outro lado, solos com maiores quantidades de argila podem adsorver mais K às cargas e assim retardar a mobilidade deste no perfil.

A possibilidade de aplicar todo o fertilizante potássico na semeadura do milho permite redução dos custos das operações agrícolas. Sendo assim, é importante realizar trabalhos para avaliar os efeitos oriundos da utilização de todo adubo potássico na linha de semeadura. Neste sentido, este trabalho tem como principal objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de KCl, aplicadas em duas distâncias a partir da linha de semeadura, na emergência e no estabelecimento inicial das plântulas de milho, assim como na concentração de formas de K no solo. Paralelamente, objetiva avaliar a magnitude da difusão de K em solos com teores variáveis de argila e de matéria orgânica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INFLUÊNCIA DE DOSES E DA LOCALIZAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO NA GERMINAÇÃO DE MILHO EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS

Embora a deficiência natural de K nos solos brasileiros não seja tão acentuada quanto à de P, a utilização de fertilizantes potássicos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, especialmente em áreas com utilização de alta tecnologia. Dentre os adubos potássicos, o KCl é o mais utilizado, principalmente porque é a fonte de menor preço (BOYER, 1985; RAIJ, 1991). Esse fertilizante tem, entretanto, o inconveniente de apresentar alto índice salino. O índice salino representa a capacidade do adubo de aumentar a pressão osmótica da solução do solo e pode ser medido por meio da condutividade elétrica. O potencial de salinização de um adubo depende da solubilidade e de sua natureza química. O KCl, por exemplo, tem um índice salino de 1,93 por unidade de K, enquanto que o índice do superfosfato triplo $[Ca(H_2PO_4)_2]$ é de 0,21 por unidade de P (OSAKI, 1991).

O aumento da concentração eletrolítica da solução do solo nas regiões fertilizadas e nas suas adjacências pode ocasionar problemas na germinação e no desenvolvimento inicial das raízes, com reflexos negativos na população e no desenvolvimento das plantas, e consequentemente na produtividade. A alta concentração de sais dificulta a absorção de água pelas sementes e pelas radicelas devido ao aumento da pressão osmótica externa às células (MARSCHNER, 1997). Sendo assim, além dos prejuízos na germinação, o excesso de sais pode prejudicar o desenvolvimento radicular e vegetativo (SOUZA et al., 2007; SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2001a; SILVA et al., 2001b; BEVILAQUA et al., 1996a; BEVILAQUA et al., 1996b). Os efeitos negativos da adição de KCl sobre as plantas estão relacionados à

quantidade e à localização do fertilizante em relação às sementes. Entretanto, poucos trabalhos avaliaram o efeito conjunto desses dois fatores (BEVILAQUA et al., 1996a; BEVILAQUA et al., 1996b; BEVILAQUA et al., 1997; SOUZA et al., 2007).

No tocante ao efeito isolado de doses, vários autores (BEVILAQUA et al., 1996b; BORKERT et al., 1997; KLUTHCOUSHI, 1999; e SILVA et al., 2001a) encontraram prejuízos na germinação e no desenvolvimento das culturas pela adição de grandes quantidades de KCl. BEVILAQUA et al. (1996b) constataram decréscimo na germinação de soja, porém somente a partir da adição de 400 kg ha⁻¹ de K₂O, em solo com 240 g kg⁻¹ de argila. BORKERT et al. (1997) observaram efeito salino do KCl em um latossolo, quando aplicado em doses superiores a 80 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de semeadura, o que pode causar danos à germinação. KLUTHCOUSHI (1999) enfatiza que doses maiores do que 30 a 40 kg ha⁻¹ de K₂O devem ser aplicadas somente a lanço, após a emergência das plântulas, para as culturas de feijão, soja e arroz, com o objetivo de evitar redução na população final de plantas devido ao efeito salino. SILVA et al. (2001a) observaram que a adição de 16,6 g KCl m⁻² reduziu a produção de raízes e a absorção de P por plantas de pimentão cultivadas num Latossolo com 24,0 g dm⁻³ de MO.

No tocante à distância, verifica-se que quanto mais próximo o adubo é colocado da semente, maior é o dano às mesmas e ao desenvolvimento das plântulas (BEVILAQUA et al., 1996a; BEVILAQUA et al., 1996b; BEVILAQUA et al., 1997; SOUZA et al., 2007). BEVILAQUA et al. (1996a) aplicaram 75 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl distante das sementes, lateralmente e verticalmente, de 0 a 7,5 cm, e encontraram menor absorção de K por plântulas de milho quando o fertilizante foi colocado até 1,5 cm, em solo com 240 g kg⁻¹ de argila. Quando o fertilizante foi posicionado a 7,5 cm, verificou-se acentuada redução na absorção de K devido a menor mobilidade deste nutriente no solo. A maior absorção de K ocorreu quando o KCl foi posicionado a 4,4 cm das sementes. BEVILAQUA et al. (1996b)

observaram decréscimo na velocidade de emergência da soja quando doses de 200 a 400 kg ha⁻¹ do adubo da fórmula 00-25-25 foram aplicadas junto e a 2 cm ao lado e abaixo das sementes. BEVILAQUA et al. (1997) encontraram redução do peso da massa seca de trigo com a aplicação do fertilizante 05-25-25, na dose equivalente a 300 kg ha⁻¹, em distâncias maiores que 1,25 cm ao lado e abaixo da semente, e na umidade do solo de 20%.

Nem sempre, entretanto, a adubação potássica aplicada próxima das sementes tem sido prejudicial. BEVILAQUA et al. (1996a) indicaram não ocorrer prejuízo ao desenvolvimento das plântulas de soja quando doses menores que 200 kg ha⁻¹ do adubo da fórmula 00-25-25 foram colocadas a 2 cm ao lado e abaixo da semente. SOUZA et al. (2007) aplicaram o equivalente a 500 kg ha⁻¹ do fertilizante 02-20-20 em diferentes distâncias laterais (2,5 a 10,0 cm) a partir das sementes, em experimento em vasos em solo com 17,8 g kg⁻¹ de MO e CTC de 67,8 mmol_c dm⁻³. Eles obtiveram bom crescimento inicial do sistema radicular e da parte aérea do algodoeiro apenas quando o adubo foi aplicado de 5,0 a 10,0 cm ao lado e 5,0 cm abaixo das sementes. VILELA & BULL (1999) testaram doses de 35 e 130 mg dm⁻³ de KCl em três condições de estresse hídrico em plantas de milho, em solo com 420 g kg⁻¹ de argila, e obtiveram as maiores quantidades de massa seca com a maior dose de KCl, independentemente da condição de estresse hídrico.

A sugestão de aplicação de K na semeadura varia regionalmente e de acordo com a textura, com a CTC dos solos e com espécie vegetal. Para os solos de São Paulo, RAIJ & CANTARELLA (1996) sugerem que a dose máxima de KCl a ser aplicada na semeadura do milho não deve ultrapassar 60 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto que COELHO & FRANÇA (1995) sugerem um máximo de 80 kg ha⁻¹ de K₂O. FANCELLI (2002) também recomenda um máximo de 50 kg ha⁻¹ K₂O na semeadura do milho e sugere que o fertilizante deva ser posicionado preferencialmente a distâncias superiores a 8 cm das sementes. Segundo a COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DE GOIÁS, 1988, recomenda-se aplicar 40 kg

ha⁻¹ de K₂O na cultura do milho. Para a soja, a Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (FUNDAÇÃO MT, 2004) recomenda que a dose de K₂O não ultrapasse 50 kg ha⁻¹ na linha de semeadura, para solos de textura arenosa. Para os solos dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, sugere-se um máximo de 80 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de semeadura, tanto para o milho quanto para a soja (COMISSÃO, 2004). Para os solos da região do Cerrado, recomenda-se que doses superiores a 60 kg ha⁻¹ de K₂O devam ser aplicadas preferencialmente a lanço, pois estes solos possuem baixa capacidade de retenção de potássio (BERNARDI et al., 2003), uma vez que são solos mais intemperizados, com mineralogia oxídica, predominando óxidos de ferro e alumínio e com CTC reduzida.

O efeito salino provocado pelo KCl tem aumentado com a consolidação do sistema plantio direto, uma vez que os fertilizantes aplicados nas safras anteriores deixaram de ser misturados com o solo existente na camada arável. Além disso, os fertilizantes passaram a ser aplicados quase que exclusivamente em linhas, próximo das sementes. Nessas regiões, dependendo do tipo de solo, pode haver aumentos excessivos na concentração de sais, que podem prejudicar o desenvolvimento das culturas. Os efeitos do KCl na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas, entretanto, variam com o tipo de solo, pois a magnitude das alterações químicas nas regiões próximas aos grânulos de fertilizantes é influenciada pelo teor de água e principalmente pelo poder tampão do solo. Este, por sua vez, varia com o pH, com a mineralogia, com o teor de matéria orgânica, com a textura dos solos, entre outros fatores. O teor de argila afeta também a disponibilidade e a mobilidade do K no solo, pois interfere no número de cargas elétricas negativas, no teor de água no solo, no fator tortuosidade e no poder tampão de potássio (PTK), que interferem diretamente na difusão de K em direção às raízes (GIANELLO & MIELNICZUK, 1981). Quanto maior for o PTK e mais distante a colocação do adubo relativamente às sementes, menor é o risco de prejuízos na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas. Contudo, não há critérios definidos

para adequar a aplicação de fertilizantes à melhor resposta das plantas, considerando a posição em relação à semente.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de KCl, aplicadas em duas distâncias a partir da linha de semeadura, na germinação e no estabelecimento inicial das plântulas de milho, assim como na concentração de formas de K em solos com teores variáveis de argila.

2.2. DIFUSÃO DE POTÁSSIO DECORRENTE DA ADIÇÃO DE DOSES DE CLORETO DE POTÁSSIO EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS

Quando os fertilizantes são adicionados aos solos formam-se gradientes de concentração nas regiões fertilizadas. Com isso, os nutrientes e os demais íons integrantes dos fertilizantes se difundem radialmente no solo a partir das zonas mais concentradas. De acordo com BARBER (1984), a difusão no solo é causada pelo movimento ao acaso dos íons em direção às raízes, de acordo com o gradiente de concentração gerado na superfície radicular pelo processo de absorção. A difusão é o principal mecanismo de transporte de K até as raízes das plantas, incluindo milho (VARGAS et al., 1983; BARBER, 1984; BECKER & MEURER, 1986) milheto (ROSOLEM et al., 2003), arroz (RUIZ et al., 1999), algodão (ROSOLEM et al., 2001) e trigo (MARSCHNER, 1995).

A magnitude da difusão varia de acordo com atributos físicos e químicos do solo. Os fatores físicos são: o teor de água do solo (BASSOI & CARVALHO, 1992; KELLY et al., 1997) e o tamanho dos poros e sua distribuição no solo (DIEROLF et al., 1997). Os fatores químicos incluem o gradiente de concentração na solução do solo (MENGEL & KIRKBY, 1982; NIELSEN et al., 1986;), o coeficiente de difusão de cada elemento (BARBER, 1984), o pH (CHAVES & LIBARDI, 1995; ERNANI et al., 2002), a capacidade de troca de cátions (AKINREMI & CHO, 1991), as reações de dissolução ou precipitação (ERNANI E

BARBER, 1993) e as trocas iônicas entre os nutrientes da fase sólida e da solução do solo (AKINREMI & CHO, 1991).

Em solos com predomínio de cargas variáveis, a concentração de K na solução é influenciada pela liberação de K de formas não-trocáveis e pela reação de adsorção eletrostática. A força de adsorção do K pelo solo depende da natureza das superfícies de troca (tipo de argila, matéria orgânica, óxidos e hidróxidos) e da porcentagem de sítios de troca ocupados por potássio em relação ao número total de pontos de troca. Como a CTC efetiva e a força de adsorção de potássio dos solos arenosos são normalmente baixas, a aplicação de altas doses de adubos potássicos pode aumentar a difusão nestes solos. Por outro lado, solos com maiores quantidades de argila podem fixar mais K às cargas e assim retardar a mobilidade deste no perfil.

Como os fertilizantes são, na sua maioria, sais, eles podem prejudicar a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas caso sejam colocados muito próximo das sementes. A magnitude desse efeito é influenciada pela difusão dos íons aplicados. O prejuízo causado pelos sais fertilizantes sobre a germinação e desenvolvimento inicial das plantas depende, portanto, do efeito salino de cada fertilizante, do tipo de solo, e principalmente da proximidade com que eles são aplicados em relação à localização das sementes. O potássio é um dos nutrientes requeridos em grandes quantidades pelas plantas. Ele é normalmente suprido aos solos na forma de cloreto de potássio, um fertilizante com elevado índice salino.

Com o incremento na produtividade das culturas, há necessidade da aplicação de maiores quantidades de fertilizantes. Como o potássio é aplicado essencialmente junto com a semeadura das espécies, o risco de prejuízos às plantas causados pela concentração de sais aumenta com a elevação da dose aplicada. O efeito salino provocado pelo KCl sobre a germinação tem freqüentemente reduzido o rendimento de algumas espécies (BEVILAQUA et al., 1996a; REIS Jr et al., 1999; SILVA et al., 2001a).

Em solos fertilizados, as plantas absorvem os nutrientes que estão principalmente nas adjacências dos grânulos dos adubos, porém pouco se conhece sobre a composição e sobre a magnitude das reações químicas que ocorrem nessas regiões. O presente trabalho objetiva avaliar a magnitude da difusão de K em solos com características químicas distintas, em função da adição de quantidades crescentes de cloreto de potássio. Adicionalmente foram determinados os teores de condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. EXPERIMENTO I

O experimento foi conduzido em laboratório, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, no período de fevereiro a dezembro de 2006. Foram usados cinco solos, todos coletados na profundidade de 0-20 cm, sendo quatro deles em área de vegetação campestre nativa e um em área de lavoura. Posteriormente à coleta, os solos foram passados em peneira com abertura de malha de 0,4 cm. A classificação, de acordo com EMBRAPA (1999), e as principais características físicas e químicas dos solos, após correção da acidez, são apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2.

Tabela 1. Classificação, procedência, material de origem e granulometria dos solos.

Solo	Município de coleta	Material de origem	Granulometria ⁽¹⁾		
			Areia	Silte	Argila
			-----	g kg ⁻¹	-----
CHa	Lages (SC)	Siltito	353	338	309
CHat	Lages (SC)	Arenito	810	95	95
NBdf	Lages (SC)	Basalto	88	343	569
LVdf	Maracaju(MS) ⁽²⁾	Basalto	276	157	567
LVd	Bonito (MS)	Arenito	851	30	119

CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

⁽¹⁾ Método da pipeta (DAY, 1965; GEE & BAUDER, 1986).

⁽²⁾ Coletado em área de lavoura.

Tabela 2. Valores de pH, teores de MO, Ca e Mg trocáveis, P e K extraíveis e CTC efetiva e a pH 7,0 nos cinco solos.

Solo	pH-H ₂ O	M.O	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽²⁾	K ⁽³⁾	P ⁽⁴⁾	CTC ⁽⁵⁾	CTC pH 7,0 ⁽⁶⁾
CHa	5,7	38	7,3	4,9	166	17,0	12,6	17,0
CHat	6,5	35	4,2	2,8	364	3,0	7,93	9,9
NBdf	6,2	54	7,0	4,1	118	1,0	11,4	14,9
LVdf	5,8	18	3,0	1,7	464	5,0	5,9	8,3
LVd	5,3	13	1,5	0,8	68	3,0	2,5	4,4

Metodologias de análises descritas por Tedesco et al., 1995.^(1,2) Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ^(3,4) Extrator Mehlich 1; ⁽⁵⁾ CTC efetiva = SB; ⁽⁶⁾ Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 = SB + H+Al; SB = Ca+Mg+K. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Os tratamentos consistiram de um fatorial envolvendo quatro doses de K e duas localizações do fertilizante em relação às sementes. As doses corresponderam ao equivalente a 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O e foram posicionadas lateralmente a 2,5 ou 5,0 cm da linha de semeadura. O K foi aplicado na forma de KCl, cujos grânulos tinham diâmetro inferior a 2,0 mm. A cultivar AS 1565 de milho (*Zea mays*) foi utilizada como planta teste.

Os solos que apresentavam pH inferior a 5,5 receberam calcário dolomítico, com o objetivo de elevar o pH-H₂O para valores entre 5,5 a 6,0, e a seguir permaneceram em incubação durante 15 dias com aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo. Após esse período, eles foram acondicionados em caixas plásticas com dimensões de 50 cm de comprimento x 22 cm de largura x 13 cm de altura, e procedeu-se a adição do KCl e a semeadura do milho. Cada caixa foi dividida em duas partes no sentido do maior comprimento e cada parte constituiu uma unidade experimental. Em cada unidade foram alocadas 20 sementes numa única linha, na profundidade de 2 cm, após a aplicação do KCl

que também foi posicionado em linha, porém a 7 cm de profundidade, ou seja, 5 cm abaixo das sementes.

Desde a semeadura até o início da germinação, a umidade do solo foi mantida em aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo por meio da cobertura das caixas com plástico transparente. A partir da germinação, água destilada foi adicionada sobre a superfície do solo, a cada dois dias, para repor as perdas por evapotranspiração.

Nas plantas foram avaliados o percentual de germinação, a altura, a massa seca da parte aérea, a massa seca das raízes, e a concentração de K na parte aérea. A germinação foi avaliada aos 10 dias após a semeadura, sendo este o momento em que foi determinada também a altura das plantas, desde a superfície do solo até a extremidade da folha mais comprida. A seguir, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo, transferida e mantida em estufa com circulação forçada de ar, ajustada a 60 °C, até massa constante. O sistema radicular foi lavado em peneira com malha de 0,053 mm e seco em estufa.

Para a determinação da composição química da parte aérea das plantas, o tecido vegetal foi moído usando-se um processador de alimentos cujas partículas passaram em peneira com malha de 1 mm. O tecido vegetal foi posteriormente calcinado em estufa, segundo metodologia adaptada de MORGANO et al. (2002). Esse método consiste em pesar 0,200 g da planta em cadinhos de porcelana e oxidar o material orgânico numa estufa a 450 °C ± 5 durante 24 horas. Posteriormente, as cinzas foram solubilizadas por meio da adição de 20 mL de HCl 1,8 mol L⁻¹. As concentrações de K foram quantificadas por fotometria de emissão.

Nas amostras de solo foram determinados os valores de pH-H₂O, condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação, K trocável e K solúvel. As amostras de solo foram coletadas após a retirada das plantas, com anéis volumétricos com 5 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade, cujo centro, tanto vertical quanto lateral foi posicionado na linha de colocação

do adubo. Foram coletadas duas subamostras por amostra. O pH em água foi determinado por potenciometria numa relação solo: água destilada de 1:1. A CE foi determinada por condutivimetria, na proporção 1:5. O K trocável foi extraído com solução de ácidos diluídos (Mehlich-1) e determinado por espectrofotometria de emissão, conforme descrito por TEDESCO et al (1995). Na análise dos atributos do solo foi considerado apenas o efeito das doses de KCl aplicadas ao solo, calculando-se a média para as duas distâncias, uma vez que as amostras de solo foram coletadas exatamente sobre a linha de aplicação do adubo, nas posições de 2,5 e 5,0 cm em relação às sementes.

A fração líquida do solo foi extraída agitando-se amostras de 20 g de solo com 20 mL de água destilada, durante 20 minutos. Após uma noite em repouso, as suspensões foram transferidas para um frasco de kitazato acoplado a uma bomba de vácuo. Colocou-se uma folha de papel filtro na base do funil e obteve-se a fração líquida após a aplicação de vácuo (ERNANI, 2000). Na fração líquida do solo foi determinado o pH e a concentração de K.

Utilizou-se o delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância. Para a germinação, quando houve diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para os demais dados foram ajustadas equações de regressão a 1 e 5% de significância.

3.2. EXPERIMENTO II

O experimento foi realizado em laboratório, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, em 2006. Utilizaram-se amostras dos mesmos solos citados no experimento I, com classificação e características físico-químicas apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Os tratamentos consistiram de quatro doses de K aplicadas em cinco solos. As doses corresponderam a 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O. O potássio foi aplicado como KCl, na

forma sólida, cujos grânulos apresentavam diâmetro inferior a 2,0 mm. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

Os solos com pH inferior a 5,5 receberam calcário dolomítico previamente, de forma a elevar o pH-H₂O para valores entre 5,5 a 6,0, e a seguir permaneceram em incubação durante 15 dias com aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo. Em seguida, eles foram acondicionados em colunas horizontais de PVC (7,0 cm de diâmetro x 18 cm) confeccionadas pela união de anéis cilíndricos concêntricos, por meio de fita adesiva (Figura 1). Cada coluna tinha 18 cm de comprimento e foi formada por dois segmentos de PVC de 9 cm. Cada um desses segmentos tinha 5 anéis com 1,0 cm de espessura cada e dois anéis com 2,0 cm cada, estes posicionados nas extremidades terminais.

O fertilizante potássico foi aplicado em toda a extensão de uma folha de papel-filtro que tinha o mesmo diâmetro da coluna. Em seguida, uma das partes da coluna foi posicionada verticalmente e sobre a parte superior dela foi cuidadosamente depositada a folha de papel contendo o fertilizante. A seguir, sobre ela, foi superposta a outra metade da coluna, também na posição vertical. As duas metades foram unidas com fita adesiva, sendo a parte inferior de cada metade vedada com uma placa de isopor, de modo a evitar perdas de solo. As extremidades laterais das colunas foram cobertas com plástico para reduzir a evaporação, momento em que elas foram dispostas na posição horizontal.

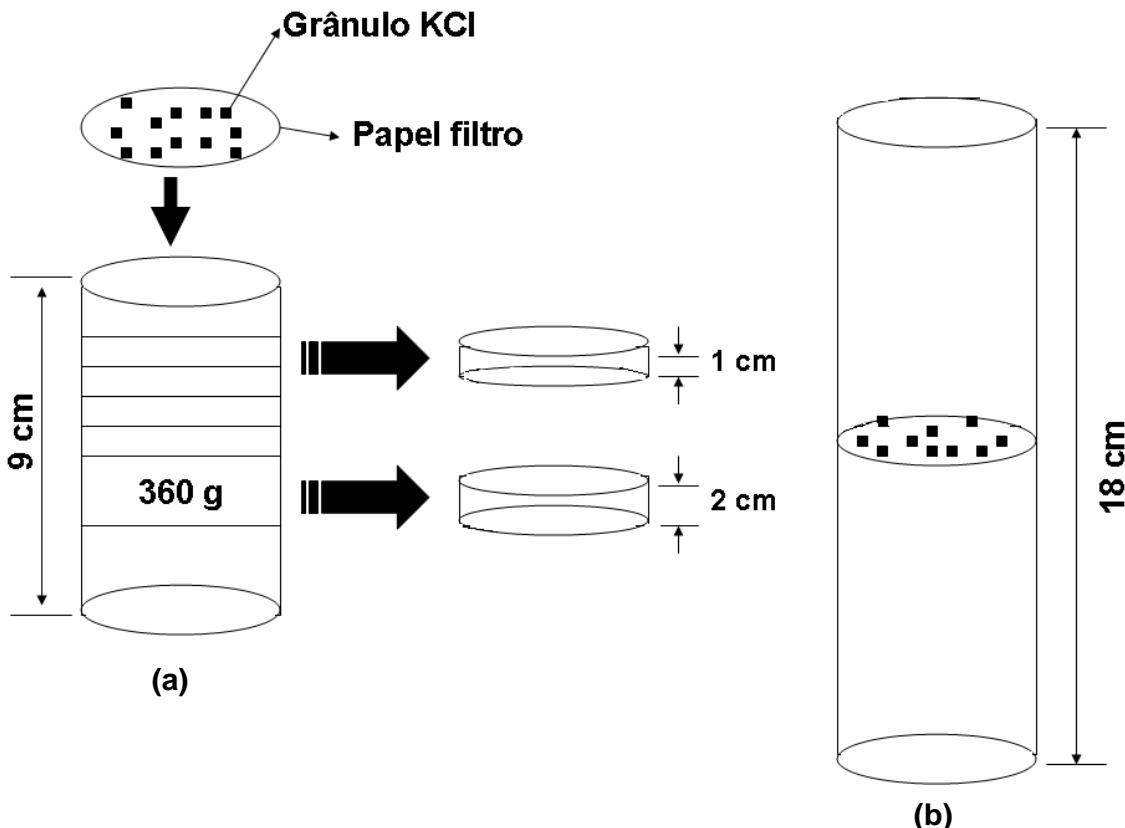


Figura 1. Representação gráfica da estrutura das colunas de PVC. Cada metade da coluna (a) foi preenchida com aproximadamente 360 g de solo, sendo constituída pela união de anéis com 1 e 2 cm de espessura. Na intersecção entre as duas metades das colunas (b) foram posicionados os grânulos de KCl.

O período de difusão foi de sete dias para todos os solos, a exceção do CHa que também foi avaliado aos 14 dias. Ao término desses períodos, as colunas foram separadas na intersecção dos anéis, onde a extensão de cada anel passou a constituir uma amostra de solo. A difusão de K foi avaliada, portanto, lateralmente em cada lado da coluna, por meio da quantificação do K trocável. No solo, adicionalmente, foi determinada a condutividade elétrica (CE). O teor de K no solo foi extraído por solução duplo-ácida (Mehlich-1). A CE foi avaliada por condutivimetria. Detalhes sobre as metodologias utilizadas podem ser consultados em TEDESCO et al. (1995).

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio de análise de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EXPERIMENTO I

4.1.1. Germinação

A germinação de milho não foi afetada pela adição de KCl (Tabela 3). Embora os solos tivessem teores de argila que variaram numa amplitude de 10 a 57%, a aplicação de doses de KCl equivalentes a uma variação de 0 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O não prejudicou o processo germinativo em nenhum dos cinco solos, independentemente da distância em que o adubo foi colocado em relação às sementes. O fertilizante potássico foi aplicado 2,5 ou 5,0 cm lateralmente em relação à linha de semeadura e 5,0 cm abaixo da mesma.

Tabela 3. Efeito das doses de KCl na germinação de plântulas de milho em cinco solos de diferentes texturas. Média de quatro repetições.

K ₂ O kg ha ⁻¹	Solos				
	CHa	CHat	NBdf	LVdf	LVd
0	%	%	%	%	%
93	93	93	96	91	95
50	95	94	98	89	91
100	98	96	98	93	95
200	93	96	96	90	93
Média	95	95	97	91	94
CV (%)	5,7	4,8	4,4	9,2	8,0

Não houve efeito das doses, da localização do fertilizante e nem tampouco da interação entre os fatores avaliados pelo Teste de Tukey a 5%. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

A germinação foi alta em todos os solos, sempre acima de 90% (Tabela 3). A germinação variou muito pouco entre os solos, desde 91% na média dos tratamentos no LVdf, que tinha 57% de argila e 1,2 % de matéria orgânica, até 97% no NBdf, que também tinha 57% de argila, porém 4,9 % de matéria orgânica. Os coeficientes de variação (CV) para a germinação foram baixos, sempre inferiores a 10%.

Diferentemente do obtido no presente trabalho, muitos autores têm encontrado efeito negativo da adição de quantidades médias e altas de fertilizantes na germinação, principalmente quando eles são colocados junto ou muito próximos das sementes (SARDER et al., 1991; OUYANG et al., 1998; BEVILAQUA et al., 1996a; BEVILAQUA et al., 1996b). SARDER et al. (1991) misturaram seis fertilizantes fosfatados com as sementes de duas espécies forrageiras do gênero *Brachiaria*, na proporção de 25 g de adubo para 1 g de sementes, e verificaram decréscimos na germinação quando o período de contato foi maior do que seis horas, especialmente nos fertilizantes obtidos por vias ácidas. BEVILAQUA et al. (1996a) posicionaram 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, ou de K₂O, na forma de KCl, separadamente, em solo com 24% de argila, em seis distâncias (0, 1,5, 3, 4,5, 6, e 7,5 cm ao lado e abaixo) em relação às sementes de milho e verificaram que o maior percentual de germinação ocorreu quando os fertilizantes foram distanciados 4,8 e 5,7 cm respectivamente. OUYANG et al. (1998) adicionaram uma mistura de duas doses de KCl (0 e 0,42 g kg⁻¹) com uma dose de uréia (0,50 g kg⁻¹) distanciadas 2,0 ou 4,0 cm das sementes em três solos com teores de argila entre 252 a 721 g kg⁻¹ e encontraram redução na germinação e no crescimento de plântulas de milho particularmente na distância de 2 cm.

4.1.2. Altura das plântulas

A altura das plântulas de milho foi afetada pela dose de KCl, pela posição do fertilizante em relação às sementes e pela interação entre esses dois fatores, dependendo do tipo de solo (Tabela 4).

Tabela 4. Altura da parte aérea das plântulas de milho em função das doses e das posições do KCl em relação às sementes. Média de quatro repetições.

Solos	Dose	Distância	Interação
CHat	$y = 12,7 + 0,05x - 0,00013x^2$ $r^2 = 0,95$	ns	ns
CHA	*	ns	$2,5 \quad y = 24,6 + 0,0061x - 0,000023x^2 \quad r^2 = 0,27$ $5,0 \quad y = 24,9 - 0,01x + 0,000048x^2 \quad r^2 = 0,09$
LVd	$y = 12,19 + 0,025x - 0,000112x^2 \quad r^2 = 0,37$	ns	ns
LVdf	ns	ns	$2,5 \quad y = 20,8 - 0,00830x + 0,000053x^2 \quad r^2 = 0,19$ $5,0 \quad y = 21,7 - 0,02x + 0,000067x^2 \quad r^2 = 0,33$
NBdf	ns	$2,5 = 15$ $5,0 = 16$	ns

ns: não significativo; * significativo $p \leq 0,05$. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; Chat= Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

No CHa e no LVd, a altura variou quadraticamente com o aumento da dose de KCl e não houve efeito das distâncias de localização do fertilizante. Neles, a altura máxima das plântulas seria obtida pela adição de 192 e 112 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente, considerando a média para as duas distâncias em cada solo. No CHa, além do efeito da dose na altura das plântulas, houve também interação desta com a distância do adubo relativamente à semente.

Quando o fertilizante foi posicionado a 2,5 cm da linha de semeadura, a altura aumentou com o aumento da dose, atingindo um máximo de 25,0 cm com a aplicação de 133 kg ha⁻¹ de K₂O. Entretanto, quando o fertilizante foi posicionado a 5,0 cm da linha de semeadura, a altura das plântulas diminuiu com o aumento da dose de KCl, atingindo um mínimo de 24,4 cm com a aplicação de 104 kg ha⁻¹ de K₂O, voltando a aumentar a partir desse valor.

O efeito isolado da localização do fertilizante em relação à semente só foi significativo para o solo NBdf, onde as plântulas localizadas mais distantes do fertilizante apresentaram 1,0 cm a mais do que aquelas localizadas mais próximas do fertilizante. No LVdf, houve interação entre a dose e a distância do fertilizante em relação às sementes. Quando o fertilizante foi posicionado 2,5 ou 5,0 cm da fila de semeadura, as plântulas diminuíram de altura com o aumento da dose de KCl e atingiram as menores alturas (20,5 e 20,2 cm) respectivamente com a adição de 78 e 149 kg ha⁻¹ de K₂O.

Vários autores têm observado que a aplicação de KCl perto das sementes pode afetar a altura das plântulas. SGUARIO JR et al. (2006), avaliaram os efeitos da aplicação em linha ou a lanço de KCl (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) no desenvolvimento do feijão, em solos com teores de argila de 19 e 42%, e não encontraram diferenças entre as doses para o comprimento do caule e para massa seca da parte aérea das plântulas em nenhuma das formas de aplicação do fertilizante. BEVILAQUA et al. (1996b) aplicaram 200 ou 400 kg ha⁻¹ do fertilizante 00-25-25 em cinco posições em relação às sementes de soja e verificaram redução no crescimento da parte aérea apenas na dose de 400 kg ha⁻¹ quando posicionada junto às sementes, em solo com 24% de argila.

A dose afetou a altura das plântulas em três solos (CHat, CHa, LVd). Nestes solos, a altura aumentou quadraticamente com a dose. A localização do fertilizante afetou a altura das plântulas em apenas um solo (NBdf). Neste solo, quando o fertilizante foi posicionado a 2,5 cm em relação às sementes, a altura aumentou quadraticamente até a dose de 100 mg kg⁻¹ de

K, a partir da qual houve redução nesse atributo. Para a localização do fertilizante de 5,0 cm, com o aumento na dose de K também houve aumento na altura das plântulas.

A interação entre os fatores (dose e posição) afetou a altura das plântulas em dois solos (CHa e LVdf). No CHa, quando a distância do fertilizante em relação às sementes foi 2,5, a relação foi quadrática positiva, e quando o KCl foi posicionado a 5,0 cm, a relação entre os fatores foi quadrática negativa. No LVdf, a relação entre os fatores foi quadrática e negativa para as duas distâncias de localização do fertilizante.

4.1.3. Massa seca da parte aérea

A produção de massa seca da parte aérea (MSPA) das plântulas de milho foi influenciada pelas doses de K aplicadas, pelo posicionamento do fertilizante em relação às sementes e pela interação entre esses dois fatores (Tabela 5).

A dose afetou a MSPA em dois solos; a distância influenciou esse atributo em apenas um dos solos, ao passo que a interação entre esses dois fatores (dose e distância) foi significativa também somente para um solo. No CHat e no CHa, a maior MSPA estimada para as plântulas seria obtida respectivamente nas doses de 152 e 85 kg ha⁻¹ de K₂O, considerando a média para as duas distâncias. No LVdf, além do efeito da posição do fertilizante no rendimento da MSPA, houve também interação desta com a dose de KCl. Quando o fertilizante foi posicionado a 2,5 cm da linha de semeadura, houve redução na MSPA com o aumento da dose, a qual atingiria um mínimo de 0,78 g para uma aplicação de 116 kg ha⁻¹ de K₂O. Entretanto, quando o fertilizante foi posicionado a 5,0 cm da linha de semeadura, a produção de MSPA aumentou com o acréscimo da dose de KCl, e o máximo, de 1,09 g, seria atingido com a aplicação de 73 kg ha⁻¹ de K₂O. Para os solos LVd e NBdf, não houve efeito da dose, da distância do fertilizante em relação à semente e nem tampouco da interação entre esses dois fatores.

Tabela 5. Massa seca da parte aérea e da raiz das plântulas de milho em função dos fatores avaliados para cinco solos de texturas diferentes.

Solos	Doses	Distância	Interação
Massa seca da parte aérea			
CHat	$y=0,71+0,00326x-$ $0,0000107x^2$ $r^2=0,99$	ns	ns
CHA	$y=0,97+0,00182x-$ $0,0000107x^2$ $r^2=0,98$	ns	ns
LVd	ns	ns	ns
LVdf	ns	*	$2,5 \quad y=0,98-$ $0,00173x+0,00000745x^2$ $r^2=0,85$ $5,0 \quad y=1+0,00128x-$ $0,00000872x^2 \quad r^2=0,90$
NBdf	ns	ns	ns
Massa seca da raiz			
CHat	*	ns	$2,5 \quad y=0,92+0,00483x-$ $0,0000226x^2 \quad r^2=0,71$ $5,0 \quad y= 0,89+0,00449x-$ $0,0000166x^2 \quad r^2=0,96$
CHA	*	ns	$2,5 \quad y=0,558+0,00353x-$ $0,0000154x^2 \quad r^2=0,53$ $5,0 \quad y=0,51+0,00415x-$ $0,0000174x^2 \quad r^2=0,97$
LVd	*	ns	$2,5 \quad y= 0,72 - 0,0013x$ $r^2=0,74$ $5,0 \quad y=0,67 - 0,00018x$ $r^2 = 0,41$
LVdf	ns	ns	ns
NBdf	$y=0,826+0,00194x-$ $0,00000492x^2$ $r^2=0,95$	ns	ns

ns: não significativo; * significativo $p \leq 0,05$. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreo típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreo; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

BRUNETTO et al. (2005) aplicaram anualmente na semeadura da cultura de verão doses de KCl variando de 0 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O a um solo com 110 g kg⁻¹ de argila e cultivaram soja, milho, aveia, e aveia + ervilhaca. Eles verificaram que a produção acumulada de massa seca das plantas e de grãos aumentou com o aumento das doses de fertilizante. BEVILAQUA et al. (1997) aplicaram 300 kg ha⁻¹ do adubo da fórmula 05-25-25 em solo com 24 % de argila, em seis posições em relação às sementes de trigo (desde 0 até 7,5 cm ao lado e abaixo) e encontraram que na umidade de 20% a massa seca da parte aérea aumentou com a distância do fertilizante até 1,25 cm ao lado e abaixo da semente, e decresceu nas distâncias maiores, atingindo valores menores que com o fertilizante colocado junto à semente. ROSSETTO et al. (1995) aplicaram 0 e 0,16 meq K 100 cm⁻³ a um Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, e verificaram que a maior produção de massa seca da parte aérea de seis cultivares de soja, determinada aos 50 dias após a emergência, ocorreu na presença do fertilizante. A massa seca das raízes das cultivares, entretanto, não foi afetada pela adição de K.

Nos solos em que a MSPA foi afetada pela dose de KCl (CHat e CHa), o aumento na produção de MSPA ocorreu de forma quadrática com o aumento das doses de KCl. Em apenas um solo (LVdf) a MSPA foi afetada pela localização do fertilizante e pela interação entre os dois fatores (dose e posição). Neste caso, quando o fertilizante foi posicionado a 2,5 cm das sementes, a produção de MSPA diminuiu até a dose 100 mg kg⁻¹ de K, aumentando a partir dessa concentração. Comportamento contrário ocorreu com a MSPA na posição de 5,0 cm.

4.1.4. Massa seca da raiz

O rendimento de massa seca da raiz (MSRA) foi afetado pelas doses de KCl e pela interação destas com a distância do fertilizante em relação às sementes (Tabela 5). A dose

afetou a MSRA das plântulas em quatro solos, enquanto que a interação entre os fatores (dose e distância) foi significativa para três solos. No CHat e no CHa, o rendimento de MSRA aumentou quadraticamente com o incremento na dose de KCl. Para o CHat, quando o fertilizante foi posicionado a 2,5 ou a 5,0 cm da linha de semeadura, a produção máxima da MSRA foi, respectivamente, de 1,20 g para a dose estimada de 107 kg ha⁻¹ de K₂O e de 1,15 g para a dose de 135 kg ha⁻¹ de K₂O. No CHa, o máximo rendimento de MSRA foi de 0,80 g com a dose de 115 kg ha⁻¹ de K₂O com o fertilizante distante 2,5 cm da semente, e de 0,77 g com a dose de 239 kg ha⁻¹ de K₂O, quando o adubo foi posicionado a 5,0 cm da linha sementes. No LVd, houve efeito linear da interação entre os fatores (dose e posição) na produção de MSRA. Neste solo, a MSRA diminuiu já com a aplicação da primeira dose de KCl. O aumento de uma unidade de K₂O proporcionou uma redução de 0,0013 e de 0,00018 g na MSRA, quando o fertilizante foi posicionado, respectivamente, a 2,5 e a 5,0 cm da linha das sementes. No NBdf, ocorreu efeito isolado da dose na MSRA. Neste solo, o maior rendimento ocorreu na dose de 197 kg ha⁻¹ de K₂O, para a média das duas distâncias do fertilizante em relação às sementes. No LVdf, a MSRA não foi afetada pelas doses de KCl e nem pelas posições do fertilizante em relação às sementes.

SALTON et al. (2002), avaliaram o efeito de doses (0 a 600 kg ha⁻¹) do adubo 0-20-20 colocado diretamente na linha de semeadura da soja em bandejas com areia lavada. Eles observaram que desde a menor dose houve redução na altura das plantas e no comprimento das raízes, e queda na produção de massa seca nas dosagens iguais ou maiores do que 150 kg ha⁻¹. SILVA et al. (1999) verificaram que doses maiores do que 13,3 g K₂O m⁻², aplicado como KCl na linha de plantio, ao lado das plantas, diminuiu o crescimento das raízes de pimentão.

4.1.5. Concentração de K nas plantas

A concentração de K nas plantas foi influenciada pelos dois fatores avaliados (dose e posição) e pela interação entre eles (Figura 2), dependendo do solo. A dose afetou a concentração de K em todos os solos; a distância influenciou esse atributo no LVd e no LVdf, ao passo que a interação foi significativa para o CHat e para o LVd.

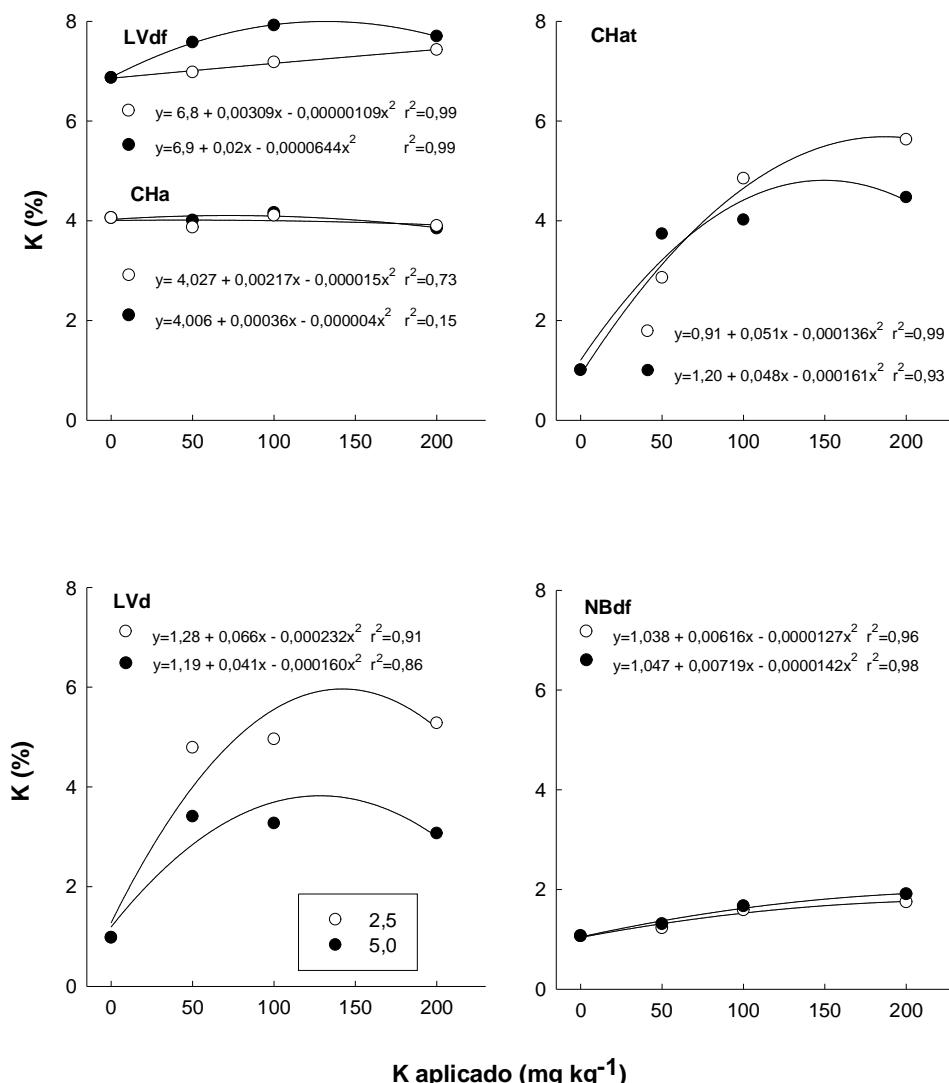


Figura 2. Concentração de K na parte aérea de milho em função da dose e do posicionamento do KCl em cinco solos com diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distróférico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Em todos os solos, a concentração de K nas plantas aumentou quadraticamente com o aumento da dose adicionada de KCl. No CHa e no NBdf, houve influência somente da dose e as plântulas apresentaram a maior concentração de K respectivamente pela adição de 66 e 249 kg ha⁻¹ de K₂O, considerando a média para as duas distâncias. No CHat, a concentração máxima de K, de 5,7% na distância de 2,5 cm ou de 4,8% a 5,0 cm da linha de semeadura foi obtida pela aplicação de 188 e 149 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente; no LVd, para as mesmas distâncias, as concentrações máximas foram de 6,0 e 3,8% para quantidades aplicadas de 142 e 128 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente. Para o LVdf, a dose e a posição do fertilizante afetaram o conteúdo de K na MSPA.

As concentrações de K nas plantas foram altas. Na ausência de adubação potássica, a concentração de K no tecido do milho variou de 1% no LVd a 6,9% no LVdf, enquanto que na média dos tratamentos que receberam KCl, a concentração de K variou de 1,5% no NBdf a 7,3% no LVdf. Estes resultados podem ser explicados pela proximidade do KCl do sistema radicular, exercendo grande influência na absorção deste nutriente, principalmente na fase de plântula. Nesta fase, a capacidade da planta de absorver nutriente é alta, porém a taxa de crescimento é baixa, o que resulta no acúmulo dos nutrientes em quantidades muito maiores do que as observadas em plantas mais velhas. O teor de K considerado adequado nas folhas de plantas adultas de milho situa-se entre 1,75 e 2,97 % (BÜLL, 1993); MALAVOLTA et al. (1997), entretanto, sugerem que a faixa ideal varia de 1,8 a 2,3 %.

BEVILAQUA et al. (1997) aplicaram 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 05-25-25 em seis diferentes posições do fertilizante em relação às sementes de trigo (junto à semente, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e 7,5 cm ao lado e abaixo das sementes) e observaram que a concentração de K no tecido diminui linearmente, a medida que aumentou a distância entre o fertilizante e a semente.

4.1.6. Efeito na condutividade elétrica (CE) do solo

A condutividade elétrica aumentou linearmente com o aumento da dose de KCl aplicada, em todos os solos (Figura 3) em função de que o aumento da concentração eletrolítica da solução do solo é proporcional ao incremento na concentração de íons na solução. Para a dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, a CE máxima variou de 1,18 dS m⁻¹ no LVd a 2,28 dS m⁻¹ no NBdf. Os coeficientes angulares foram, respectivamente, 0,00564 e 0,011.

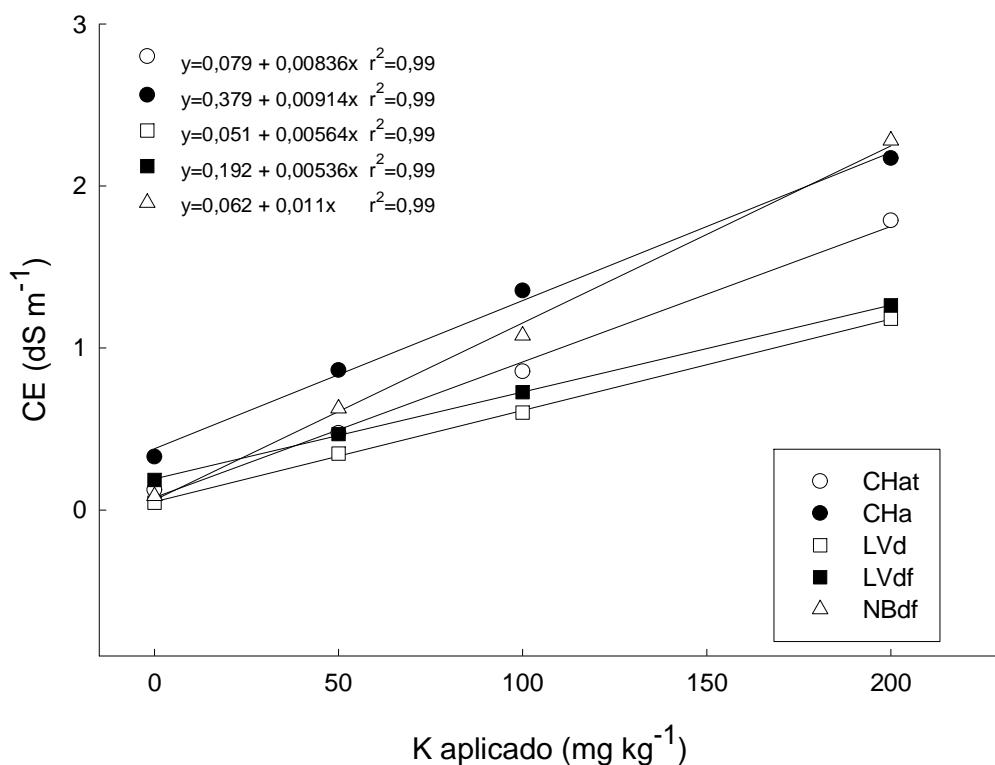


Figura 3. Condutividade elétrica do solo em função da adição de doses de KCl em cinco solos. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico aluminílico léptico; CHat = Cambissolo Húmico aluminílico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreico Típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Nos tratamentos sem adição de KCl, a CE variou de 0,186 dS m⁻¹ no LVdf a 0,328 dS m⁻¹ no CHa. SILVA et al. (2001a) aplicaram KCl (5,5, 11,0 e 16,6 g K m⁻²) a um cultivo protegido com pimentão e observaram que na maior dose, onde a CE atingiu 1 e 1,3 dS m⁻¹

respectivamente a 20 e 40 cm de profundidade, decresceu a massa seca da raiz e da parte aérea. De acordo com BRADY (1997) e MAAS (1985) o milho é uma cultura moderadamente sensível à salinidade, atingindo máximo potencial produtivo próximo de 1,7 dS m⁻¹, porém essa cultura cessa o crescimento vegetativo com 10,0 dS m⁻¹.

OUYANG et al. (1998) aplicaram KCl (0 e 0,42 g kg⁻¹) e uréia (0,50 g kg⁻¹) em três solos, com argila variando de 252 a 721 g kg⁻¹, e encontraram aumentos na CE de 8,7 a 9,2 dS m⁻¹ a 2 cm do local de aplicação do fertilizante e de 1,2 a 5,0 dS m⁻¹ a 4 cm, dependendo do tipo de solo. Eles também verificaram que a germinação e o crescimento de plântulas de milho diminuíram com a aplicação de KCl, particularmente com as plantas distantes 2 cm do fertilizante, onde a CE do solo foi superior a 5,0 dS m⁻¹. De acordo com MARSCHNER (1997), a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o KCl, compromete o crescimento e distribuição das raízes, assim como a absorção de água e nutrientes, porque diminui o potencial osmótico próximo à rizosfera, dificultando o deslocamento dos íons até as raízes.

MORTELE et al. (2006) germinaram sementes de milho-pipoca em soluções de KCl com vários níveis de potencial osmótico e observaram maior comprimento da parte aérea das plântulas dos três cultivares no tratamento controle e nos níveis de potencial osmótico de -0,1 e -0,3 MPa, que equivalem, respectivamente, às condutividades elétricas de 2,8 e 8,4 dS m⁻¹. TORRES et al. (2000) verificaram redução no comprimento e no peso da massa seca das plântulas de pepino somente em condutividades elétricas maiores do que 11,2 dS m⁻¹. No presente trabalho, os valores de condutividade elétrica nas regiões que receberam as maiores doses de KCl foram muito menores que as encontradas em outros trabalhos onde houve efeito negativo às sementes. Contudo, neste trabalho, o aumento da CE não ocasionou problemas na germinação do milho a ponto de comprometer a absorção de água e de K pelas raízes, pelo menos no estádio inicial de desenvolvimento das plântulas.

4.1.7. Efeito no pH

O pH do solo foi afetado pelas doses de KCl em quatro dos cinco solos (Figura 4).

Nesses solos, os valores de pH diminuíram quadraticamente com o aumento da dose de KCl, exceto no CHa onde o fertilizante não influenciou o pH. Os menores valores de pH variaram de 5,27 no LVdf a 6,23 no CHat, para as doses estimadas respectivamente de 166 e 146 kg ha⁻¹ de K₂O. O pH da solução do solo também diminuiu quadraticamente com o aumento da dose de KCl, exceto no CHa onde o fertilizante não influenciou o pH (Figura 4).

Os menores valores de pH da solução variaram de 5,32 no LVdf a 6,63 no CHat, para as doses estimadas respectivamente de 94 e 227 kg ha⁻¹ de K₂O. O aumento da concentração eletrolítica do solo diminuiu o pH devido ao aumento da densidade de carga superficial promovida pelo aumento dos sais. Como esses solos têm carga líquida negativa, o aumento das cargas superficiais ocorre por meio da adsorção de hidroxilas à fase sólida, dissociadas da água, deixando átomos de H⁺ na solução, os quais baixam o pH.

Houve pequena associação entre o pH do solo e o pH da solução ($r^2 = 0,34$) quando os dados de todos os solos foram incluídos na relação, porém quando os valores referentes ao CHa foram omitidos, o coeficiente de determinação aumentou para 0,88, mostrando uma boa associação entre as duas formas de pH nas regiões fertilizadas (Figura 5).

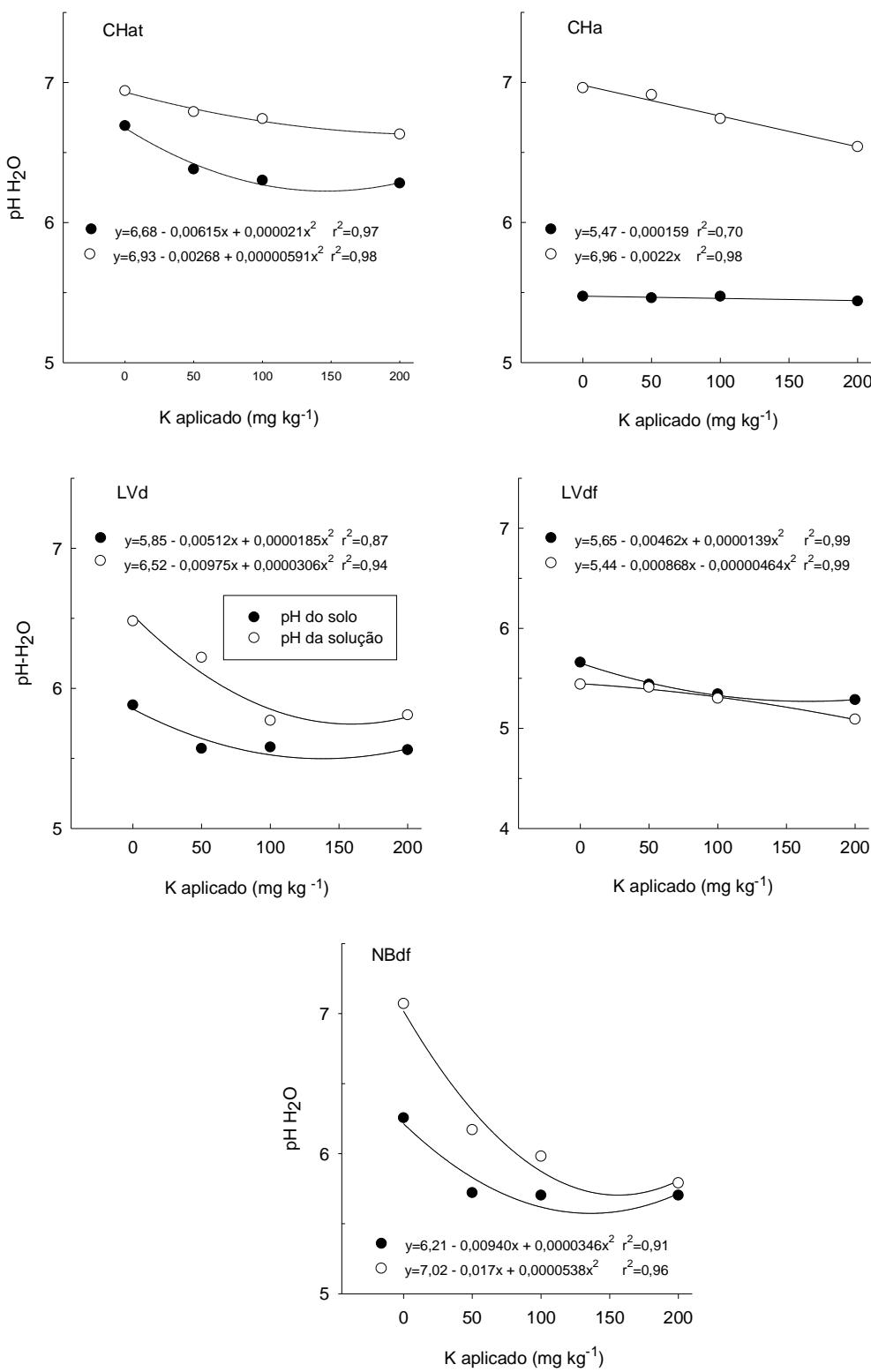


Figura 4. Valores de pH do solo e da solução em cinco solos de diferentes texturas. Médias de quatro repetições.
 CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrego típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrego; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

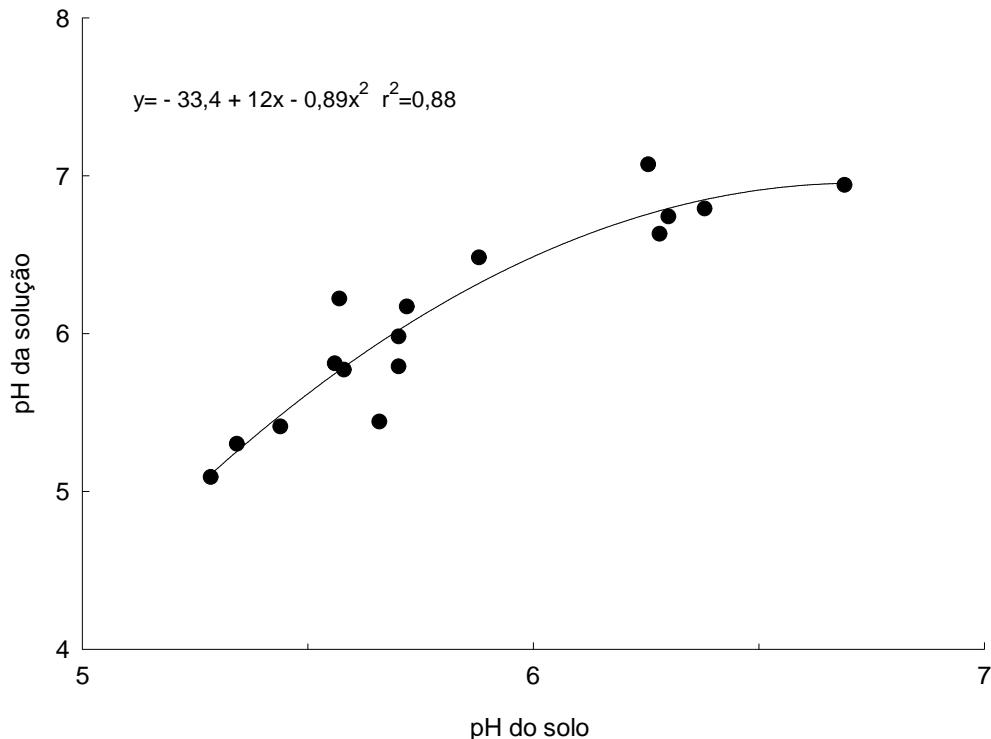


Figura 5. Relação entre o pH da fase sólida e o pH da solução em função da adição de doses de KCl em cinco solos de diferentes texturas. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

4.1.8. Efeito no K trocável na fase sólida e na solução do solo

A adição de KCl afetou os teores de K trocável em todos os solos, o qual aumentou linearmente com o aumento da dose de KCl aplicada (Figura 6). Na maior dose de KCl (200 kg ha^{-1}), o valor máximo de K extraído do solo variou de 1790 mg kg^{-1} no LVd até 4175 mg kg^{-1} no NBdf. Esses valores refletem a grande variabilidade das características texturais entre os solos, os quais apresentavam teores de argila entre 10 a 57%.

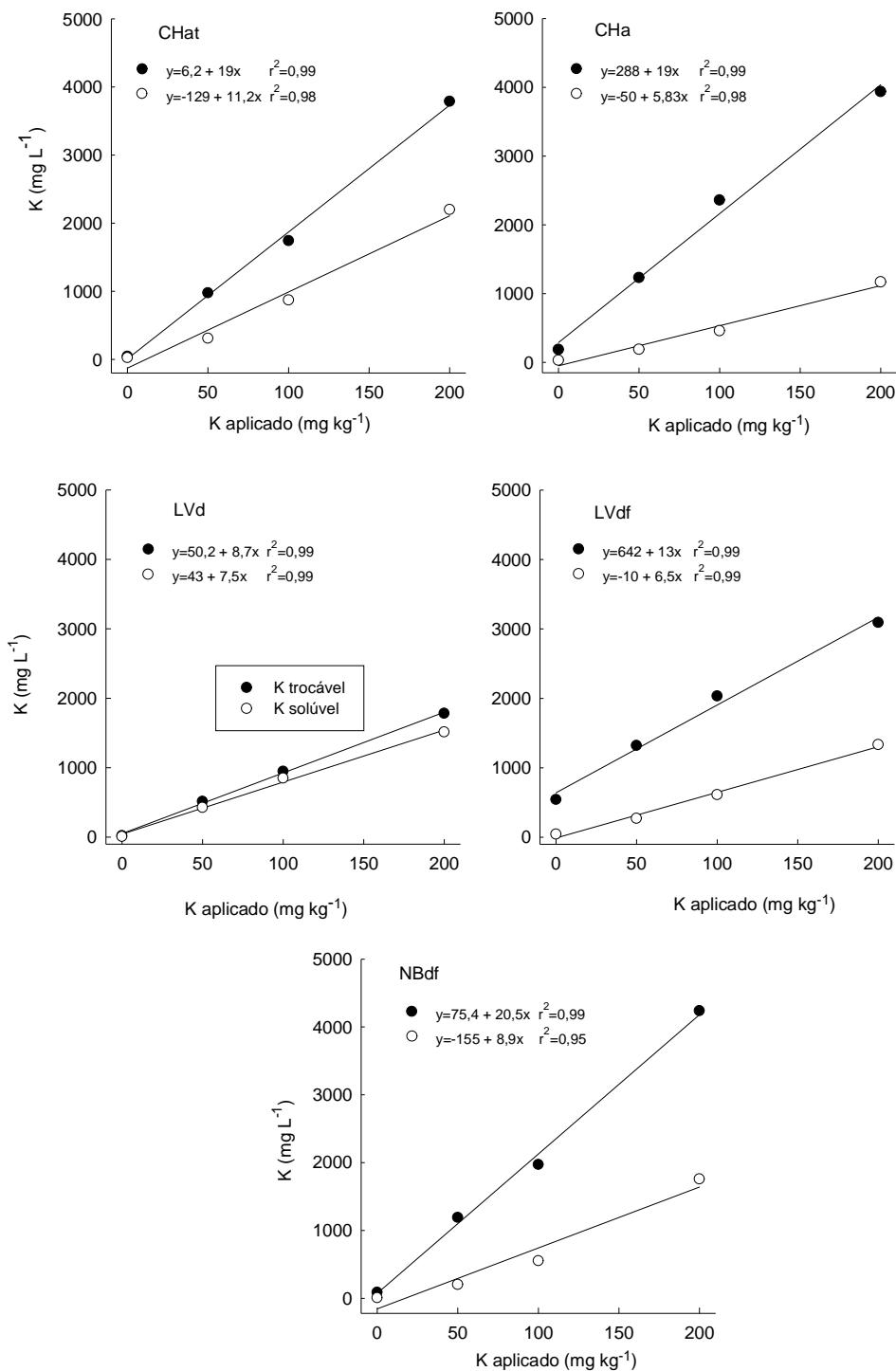


Figura 6. Valores de K trocável (mg kg^{-1}) e K na solução (mg L^{-1}) de cinco solos em função da adição de doses de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

O teor de argila afeta a disponibilidade e a mobilidade do K no solo, pois interfere no número de cargas elétricas negativas, no teor de água no solo, no fator tortuosidade e no poder tampão de potássio (PTK). Além do PTK, que interfere na disponibilidade de K no solo, a MO e a CTC também apresentam essa função. A disponibilidade de K às plantas está relacionada aos valores de CTC, pois esta interfere na concentração de K na solução do solo. Para as condições de textura destes solos, os valores de CTC variaram de 8,6 cmol_c kg⁻¹ no solo LVd a 22 cmol_c kg⁻¹ no CHa e tais valores estão relacionados ao teor de argila e de matéria orgânica presentes nestes solos.

Para o aumento de uma unidade no K aplicado ao solo, os incrementos de K disponível no solo nas regiões fertilizadas variaram de 8,7 a 20,5 mg kg⁻¹, respectivamente para os solos LVd e NBdf. Esses valores extremamente altos se devem à restrição de contato entre o fertilizante e o solo, uma vez que a região amostrada corresponde às proximidades onde o fertilizante foi adicionado no solo. Como essa é a região do solo onde as raízes vão buscar os nutrientes, devemos conhecê-la um pouco mais, e isso não tem sido muito enfatizado. A correlação entre os coeficientes angulares das equações de regressão obtidas entre K aplicado e K trocável foi positiva somente para capacidade de troca de cátions e matéria orgânica (Tabela 6).

Tabela 6. Correlação entre K trocável e K solúvel com a capacidade de troca de cátions (CTC), matéria orgânica (MO) e teor de argila em cinco solos de texturas diferentes.

	CTC	K solúvel	K trocável	MO
K solúvel	0,14	-	-	ns
K trocável	0,96	0,40	-	ns
MO	0,88	0,53	0,94	-
Argila	0,46	- 0,08	0,45	0,45

Teste de Correlação de Pearson a 5% de significância. ns = não significativo.

O K na solução também aumentou linearmente nos cinco solos com o incremento nas doses de KCl adicionadas, porém em menor magnitude do que o K trocável (Figura 6). No LVd, os incrementos nas duas formas de K, para cada dose aplicada ao solo, foram menores, porém mais similares do que para os demais solos. Os menores incrementos para as formas de K no LVd estão relacionados aos menores valores de CTC e de MO neste solo. A maior amplitude para os valores de K trocável e solúvel ocorreu entre um solo de textura mais arenosa (LVd) e outro de textura mais argilosa (CHa). No LVd, para a média das doses, a diferença entre as duas formas de K foi 109 mg kg^{-1} de K, enquanto que no CHa, a diferença foi de 1467 mg kg^{-1} de K

Para o aumento de uma unidade no K aplicado ao solo, os incrementos de K na solução do solo variaram de $5,83 \text{ mg L}^{-1}$ no CHa a $11,2 \text{ mg L}^{-1}$ no CHat. Com a adição da maior dose de KCl ao solo, a quantidade máxima de K na solução do solo variou de 1116 mg L^{-1} no CHa até 2111 mg L^{-1} no CHat. Não houve correlação entre os coeficientes angulares das equações de regressão obtidas entre K aplicado e K solução para nenhum atributo de solo (Tabela 6). Os valores de K na solução do solo obtidos no presente trabalho são elevados se comparados aos valores citados por MEURER, 1992, que indica que para alguns solos do Rio Grande do Sul, nos quais foram adicionadas diferentes quantidades de K, foram encontrados valores entre 6 até 50 mg L^{-1} de K na solução. Ainda ROSOLEM et al. (2003) obteram menos K na solução do solo quando cultivaram milheto em casa de vegetação num solo com 33 % de argila, utilizando duas doses de K (15 e 120 mg dm^{-3}) aplicadas em todo volume de solo, e verificaram que na maior dose, a concentração de K na solução atingiu $14,9 \text{ mg L}^{-1}$.

Os grandes valores de K na solução do solo, encontrados neste trabalho, podem estar relacionados ao acúmulo deste nutriente pelas plantas em quantidades acima das necessárias, caracterizando o que se denomina de “consumo de luxo” (MENGEL & KIRKBY, 1982).

O PTK variou com o tipo de solo. Como o incremento tanto do K trocável quanto do K solução foi linear para todos os solos em decorrência do aumento da dose aplicada de KCl, o PTK foi constante (Figura 7). O PTK variou de 1,16 no LVd até 3,10 no CHa. Esses valores são bem mais baixos que os encontrados para o solo como um todo e se devem à saturação dos sítios de ligação nos locais de aplicação em função da concentração do fertilizante.

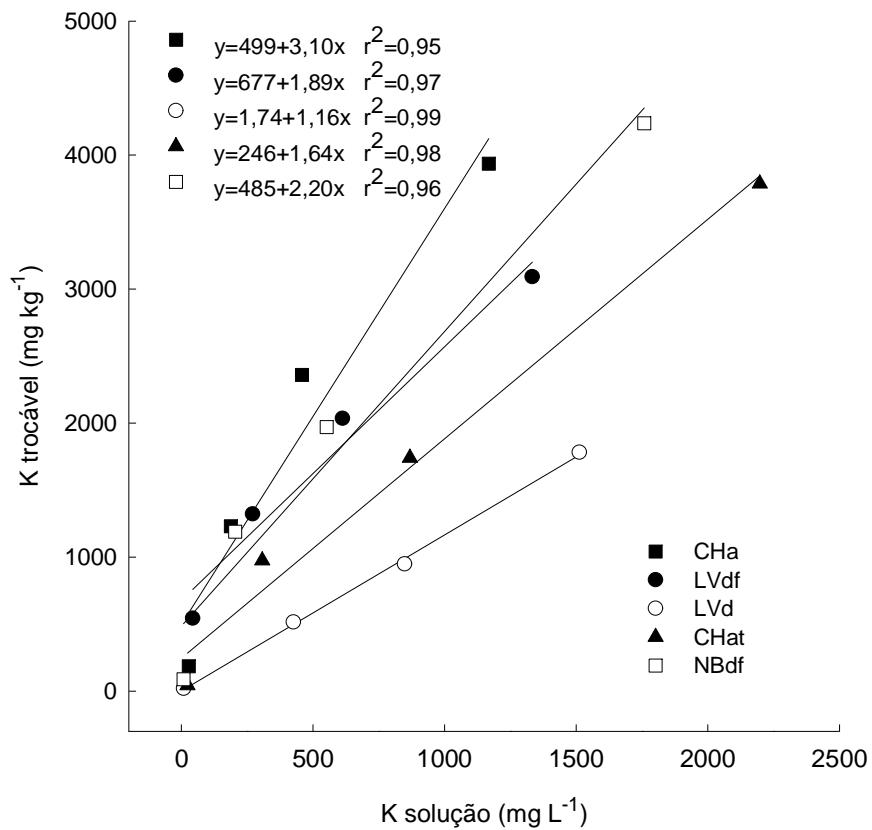


Figura 7. Relação entre K no solo e K na solução (PTK) em cinco solos com diferentes texturas. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférico Típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Houve aumento linear do K trocável pelo efeito das doses, da localização ou da interação entre esses fatores. A adição de KCl afetou os teores de K trocável em todos os solos, enquanto que a localização afetou os teores de K trocável em três solos e a interação teve efeito também em três solos.

Os valores de K na solução também apresentaram aumento linear pelo efeito das doses, da localização ou da interação entre esses fatores, porém esse aumento ocorreu em menor magnitude do que para o K trocável.

4.2. EXPERIMENTO II

4.2.1. Potássio trocável no solo

A difusão de K variou com o tipo de solo e aumentou com a dose de KCl aplicada (Figuras 8 a 13). A partir da zona de aplicação, a concentração de K diminuiu de forma quadrática em todos os solos, exceto na dose zero onde a concentração de K não foi afetada pela distância. Com o passar do tempo, a difusão tende a progredir para zonas mais distantes em função do alto gradiente de concentração que existe entre a região fertilizada e os locais próximos a ela. A redução dos valores de K trocável com o aumento da distância a partir da zona de aplicação do fertilizante se deve à diminuição da concentração deste nutriente na solução do solo, decorrente da adição do fertilizante potássico. Com o deslocamento lateral da solução mais concentrada em potássio, os cátions do solo passam a ter novo equilíbrio, e parte do K da solução passa a ocupar algumas cargas elétricas negativas da fase sólida do solo. Outros trabalhos mostram a ocorrência de gradiente de concentração decrescente com o aumento da profundidade do solo após a adição de nutrientes sobre a superfície (ERNANI et al., 2002b; CIOTTA et al., 2002) e isto poderia causar restrições à produtividade das culturas se os teores de K no solo forem limitantes.

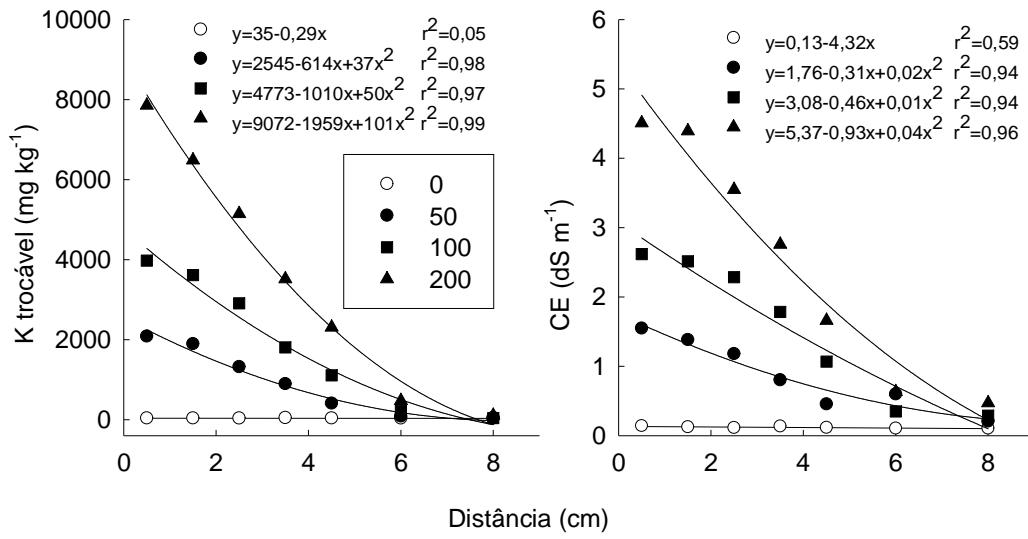


Figura 8. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico aluminíco típico (CHat). Média de quatro repetições.

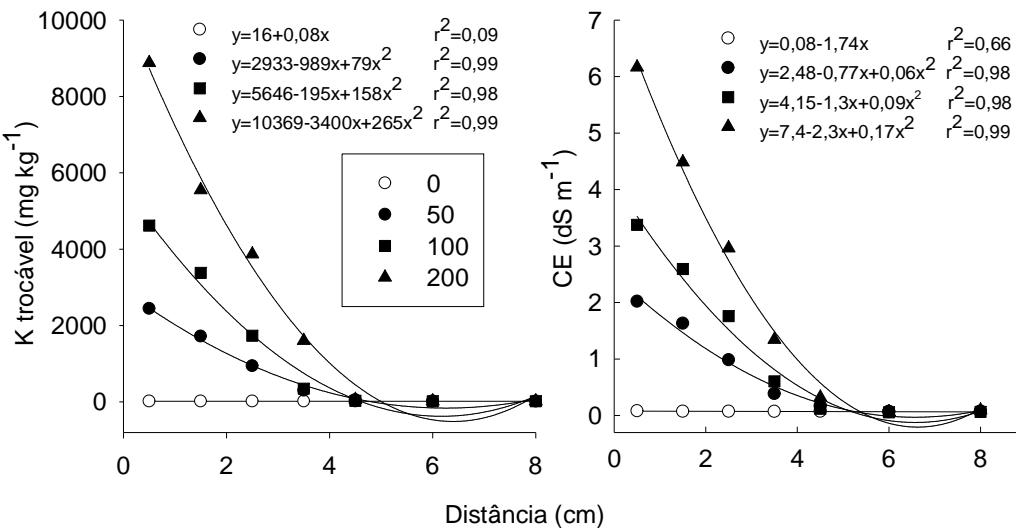


Figura 9. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Média de quatro repetições.

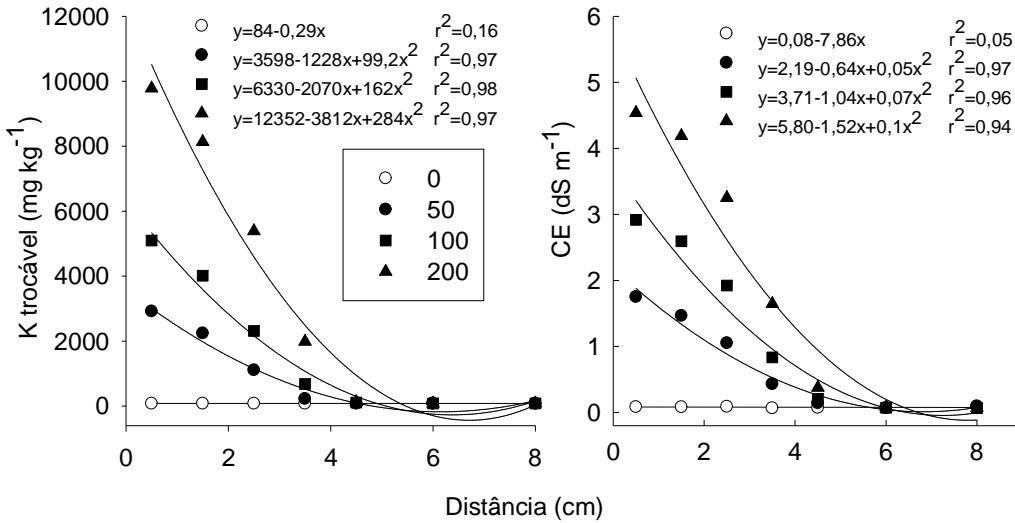


Figura 10. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Nitossolo Bruno distroférreico típico (NBdf). Média de quatro repetições.

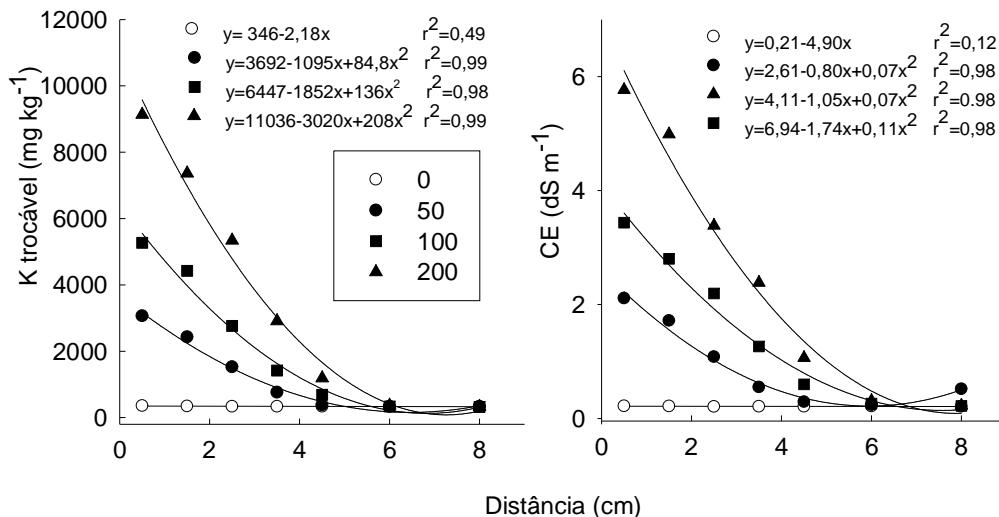


Figura 11. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Latossolo Vermelho distroférreico (LVdf). Média de quatro repetições.

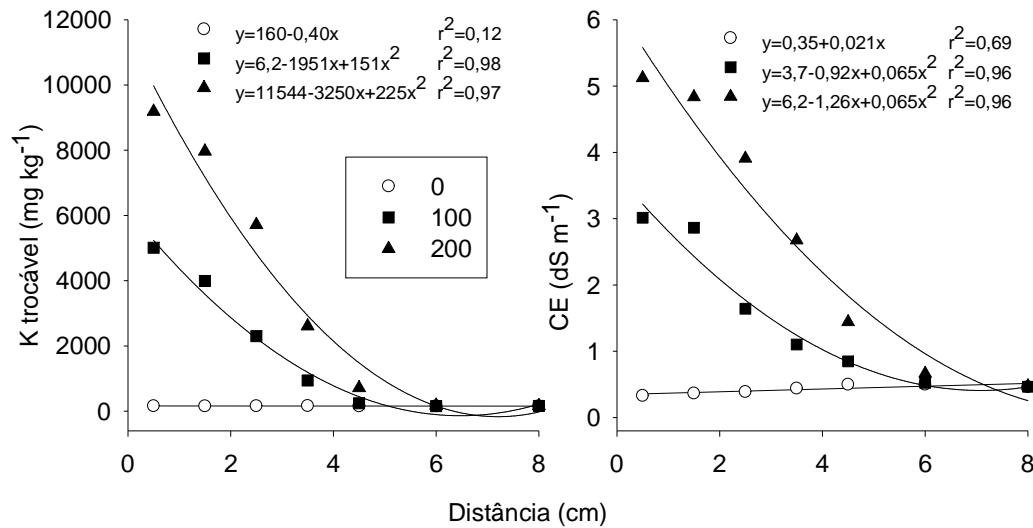


Figura 12. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico alumínico (CHa) ao final de 7 dias de experimento. Média de quatro repetições.

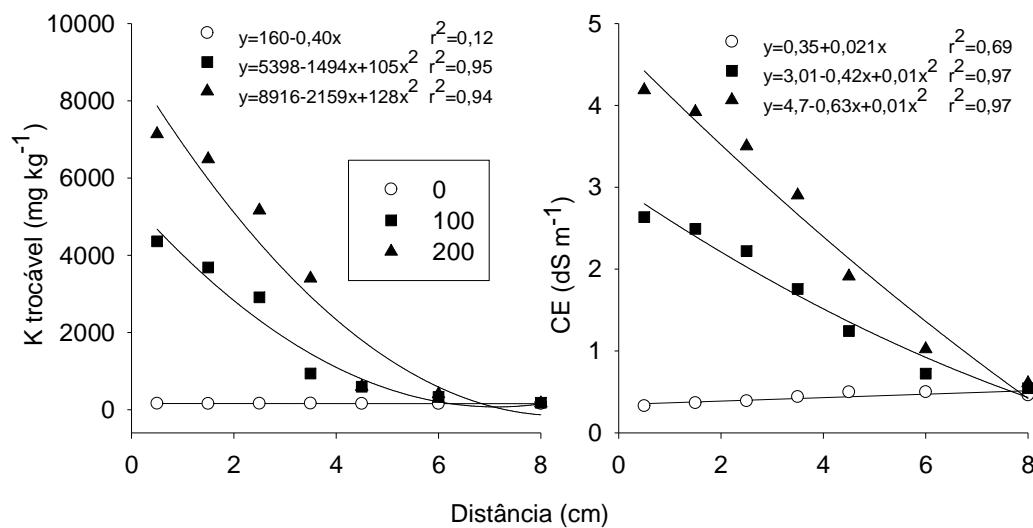


Figura 13. Valores de K trocável e de condutividade elétrica (CE) em diferentes distâncias a partir da região fertilizada com doses de KCl, em Cambissolo Húmico alumínico (CHa) ao final de 14 dias de experimento. Média de quatro repetições.

No tratamento em que não foi aplicado KCl (testemunha), os valores de K extraíveis das amostras de solo com solução de Mehlich-1, coletadas após uma semana de difusão, permaneceram uniformes ao longo de todas as distâncias na coluna, com médias variando de 51,2 mg kg⁻¹ para o LVd a 126,6 mg kg⁻¹ para o LVdf. A adição de 100 mg kg⁻¹ de K a estes solos aumentou a concentração deste nutriente, respectivamente para 1062 e 1141 mg kg⁻¹ de K, considerando a média ponderada da coluna (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios ponderados de K trocável (mg kg⁻¹) e quantidade absoluta de K numa coluna de solo de 9,0 cm de espessura em função da adição de doses de K₂O na forma de KCl.

Solos	Doses (kg ha ⁻¹ K ₂ O)		
	50	100	200
Média ponderada de K trocável na coluna (mg kg ⁻¹)			
CHat	396	1183	2575
LVd	545	1062	2159
NBdf	652	1650	2742
LVdf	586	1141	2572
CHA	*	1292	2819
Média	545	1266	2573
Quantidade de K trocável em 9,0 cm de solo (mg)			
CHat	103	306	667
LVd	180	351	714
NBdf	151	381	633
LVdf	152	296	666
CHA	*	357	779
Média	146	338	692

* No solo CHa não foi aplicada a dose 50 kg ha⁻¹ K₂O. Valores de K foram ajustados com teor de água e com a quantidade inicial de K em todos os solos. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrego típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrego; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

A difusão de K foi rápida. Em sete dias, na maior dose de KCl aplicada ao solo (200 mg kg⁻¹ K₂O), o K se movimentou de 6,4 cm no LVd até 9,7 cm no CHa. No centímetro mais próximo do local de aplicação (1,5 cm), a concentração de K no tratamento onde foi aplicada

a maior dose de KCl (200 mg kg^{-1} K₂O) variou de 5969 mg kg^{-1} K no LVd até 7273 mg kg^{-1} K no NBdf (Figura 9 e 10). Na dose de 100 mg kg^{-1} K₂O, os valores foram aproximadamente metade desses. Essa elevada concentração de K nas regiões adjacentes aos grânulos mostra que as reações químicas que ocorrem nesses locais são diferentes daquelas que ocorrem no restante do solo, e precisam ser conhecidas. A 4,5 cm dos grânulos, a concentração de K nos tratamentos que receberam a maior dose de KCl foi de 435, 949, 1475, 1658 e 2302 mg kg^{-1} , respectivamente no LVd, NBdf, CHa, LVdf e CHat (Figuras 8 a 12). Para o CHa, a concentração de K em todas as distâncias aumentou com o aumento da dose de KCl aplicada, e foi maior ao final de sete dias de experimento, do que aos 14 dias (Figura 12 e 13), mostrando que a difusão é um processo progressivo.

O movimento lateral do fertilizante no solo ocorre de acordo com um gradiente de concentração. De forma semelhante, o fertilizante é deslocado no solo em profundidade, caso não haja percolação ocasionada pelo movimento descendente de água. Neste sentido, SANZONOWICZ & MIELNICZUK (1985) aplicaram 300 kg ha^{-1} de K a um solo arenoso e observaram que o K trocável, após cinco meses, havia aumentado até 40 cm de profundidade. ERNANI et al. (2007) avaliaram a mobilidade de K em solos com 390 e 550 g kg^{-1} de argila quando aplicado, como KCl, nas doses de 0 a 300 mg kg^{-1} , e encontraram que a aplicação de KCl sobre a superfície dos solos promoveu a descida de K para profundidades superiores a 10 cm. Nas duas situações, além da difusão, houve também o arraste de K pela percolação de água.

A mobilidade lateral do K acontece por difusão, em decorrência do gradiente de concentração estabelecido entre a fase sólida e a solução do solo. Durante o processo de condução lateral, o nutriente pode ser atraído pelas cargas negativas ou pelos grupos funcionais dos componentes sólidos e a magnitude desta atração dependerá da textura e teor de matéria orgânica dos solos. Os teores de K trocável também podem variar com a densidade

do solo. Portanto, em solo de estrutura indeformada, a mobilidade de K deve ser um pouco menor que a verificada no presente trabalho. As colunas foram preenchidas com amostras de solo deformadas, o que aumentou a difusão lateral do K, em comparação às condições de solo com estrutura indeformada. Sendo assim, com a menor densidade do solo nas colunas, há menor número de cargas elétricas negativas por unidade de volume, resultando em menor atração eletrostática de K (DEFELIPO & BRAGA, 1983; ERNANI et al., 2007).

Na presença de plantas, a determinação do processo difusivo dos nutrientes contempla uma região específica do solo onde as reações de dissolução, complexação ou adsorção entre o nutriente, os colóides inorgânicos e os compostos orgânicos ocorrem na presença do sistema radicular (BARBER, 1995). Sendo assim, o processo está sujeito, da mesma forma que a raiz da planta, à competição com a superfície dos argilominerais, microrganismos e matéria orgânica do solo pelo nutriente.

É conveniente indicar que quando se pretende suprir as necessidades nutricionais de determinada cultura por meio da adubação em sulco, os íons de maior difusão apresentam maior mobilidade e consequentemente maior facilidade de atingir as regiões adjacentes ao sistema radicular. Neste sentido, a difusão de K, considerando-se cada solo em particular, é de fundamental importância para a realização de experimentos que possibilitem calcular a concentração que proporcione menor efeito salino às plantas.

O LVd e o NBdf foram os solos que apresentaram as menores concentrações de K a partir de 3,5 cm de distância da região fertilizada. No LVd, na distância 3,5 cm, as concentrações de K variaram de 439 a 1715 mg kg⁻¹, respectivamente para as doses de 50 e 200 kg ha⁻¹, enquanto que no NBdf, nesta mesma distância, os valores de K trocável variaram entre 515 a 2489 mg kg⁻¹, para as doses já citadas. Contudo, a menor difusão nestes solos parece ter ocorrido por motivos diferentes. No LVd, o motivo foi a menor umidade deste solo (5,4%) em relação aos demais solos. No NBdf, que apresentava a maior umidade entre todos

os solos (34,3%), a menor difusão ocorreu provavelmente devido ao maior teor de argila desse solo. OLIVEIRA et al. (2004b) aplicando duas concentrações de soluções de fósforo, potássio e amônio em cinco solos de texturas diferentes, encontraram maior deslocamento da solução nos solos mais arenosos. BARBER (1995) sugere que o incremento do conteúdo de água do solo exerce efeito indireto sobre o transporte, devido ao aumento do fator de impedância como consequência da redução da tortuosidade do trajeto a ser percorrido pelos íons nutrientes. Quando a umidade aumenta, o filme de água próximo às partículas sólidas do solo fica mais espesso, diminuindo a interação íon-colóide e com isso ocorre maior difusão dos nutrientes.

Como a difusão é alta em solos arenosos, desde que não existam restrições de umidade (COSTA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2004b) é importante que o KCl seja posicionado no solo o mais distante das sementes, para que os riscos de prejuízos a elas e às raízes das plântulas sejam reduzidos.

A concentração de K trocável diminuiu quadraticamente com o aumento da distância nos tratamentos que receberam KCl (Figuras 14, 15 e 16). Para a dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O, o K trocável junto à superfície fertilizada variou de 2082 mg kg⁻¹ no CHat a 3064 mg kg⁻¹ no LVdf. A 8,0 cm da região fertilizada, a quantidade de K estabilizou para todos os solos, variando de 1,0 mg kg⁻¹ no CHat a 372 mg kg⁻¹ no LVdf. A 5,0 cm da região fertilizada, o K variou de 37 a 400 mg kg⁻¹, respectivamente nos solos LVd e CHat (Figura 14).

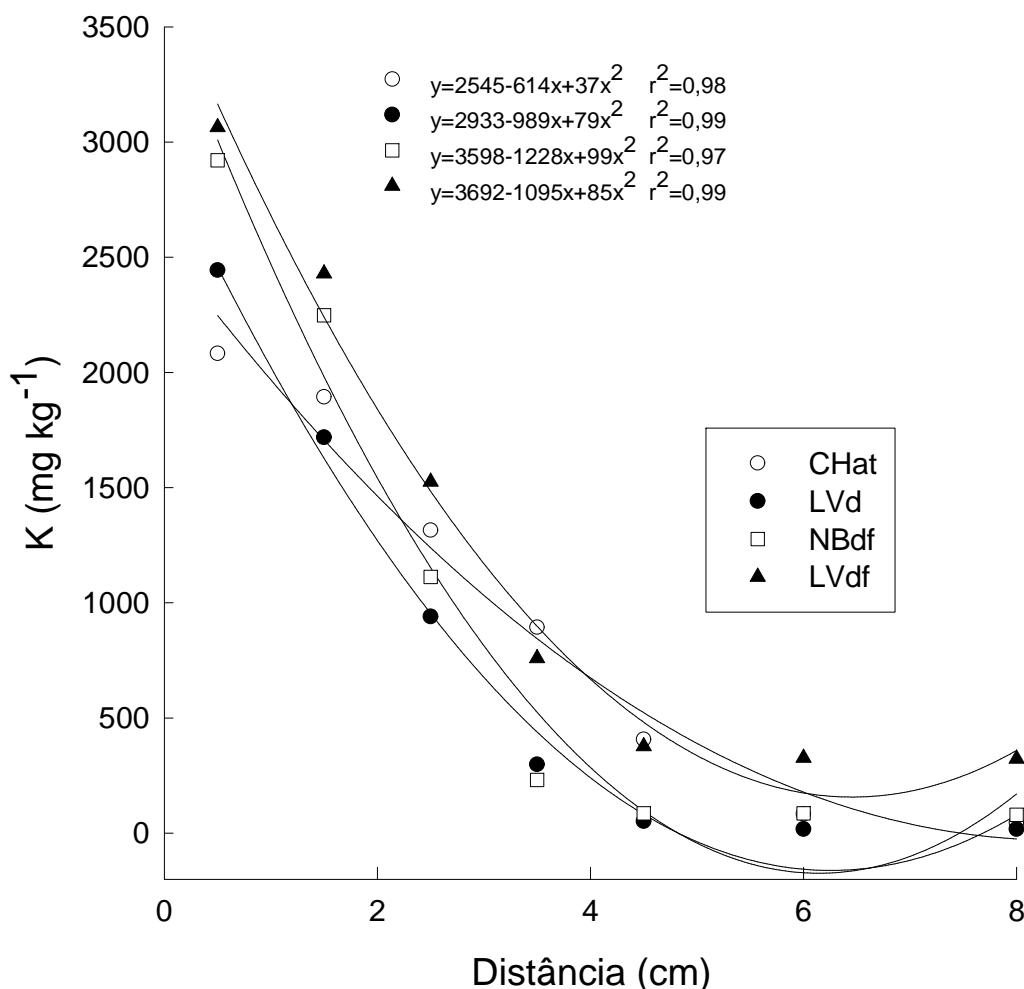


Figura 14. Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 50 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

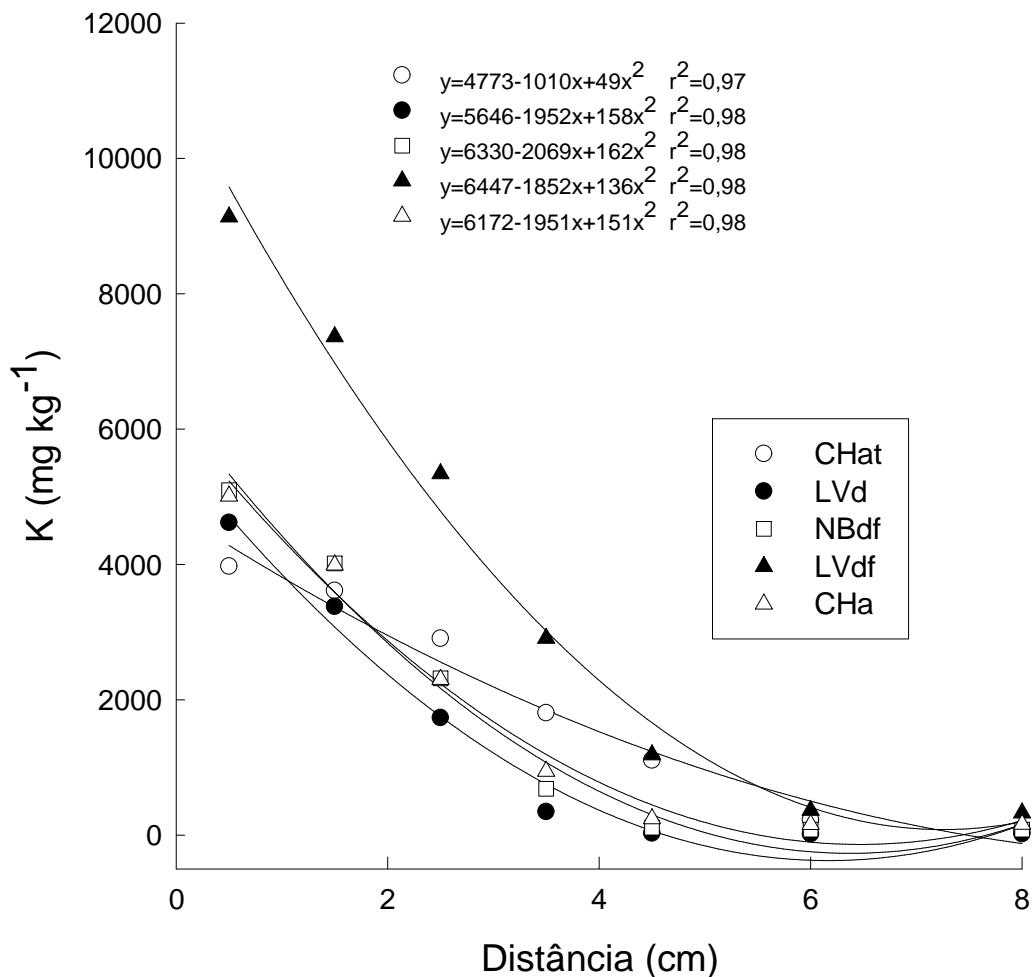


Figura 15. Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 100 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférreico típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférreico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

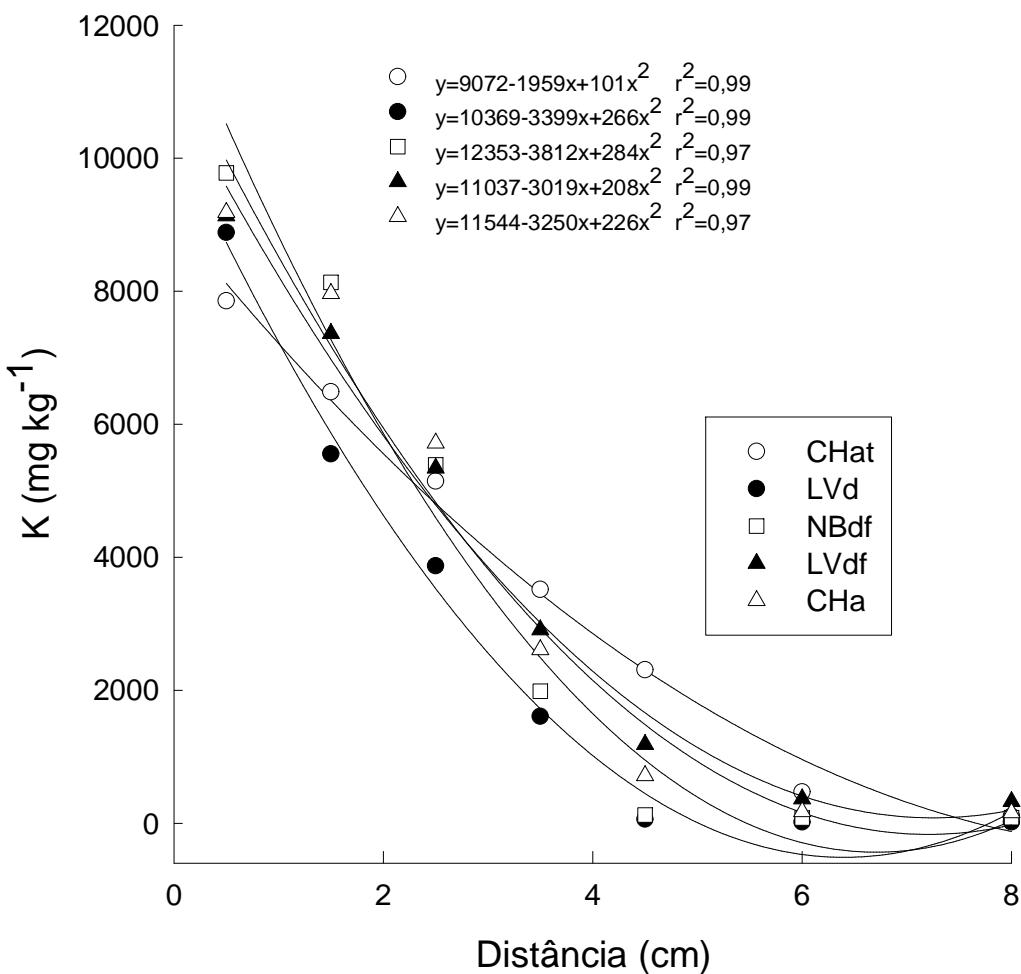


Figura 16. Valores de K trocável em diferentes distâncias a partir da região fertilizada em função da adição de 200 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl. Média de quatro repetições. CHa = Cambissolo Húmico alumínico léptico; CHat = Cambissolo Húmico alumínico típico; NBdf = Nitossolo Bruno distroférrego Típico; LVdf = Latossolo Vermelho distroférrego; LVd = Latossolo Vermelho distrófico.

Para a dose 200, junto à superfície fertilizada, o K trocável variou de 7855 mg kg⁻¹ no CHat a 9780 mg kg⁻¹ no NBdf (Figura 16). A 8,0 cm distante da região fertilizada, a quantidade de K estabilizou para todos os solos, variando de 8,0 mg kg⁻¹ no CHa a 201 mg kg⁻¹ no LVd. A 5,0 cm da região fertilizada, o K variou de 24 a 1802 mg kg⁻¹, respectivamente nos solos LVd e CHat.

A quantidade de K trocável (mg kg⁻¹) média ponderada de toda a extensão da coluna assim como a quantidade de K trocável (mg) existente nos 9,0 cm de solo da mesma

aumentaram com o aumento da dose de K₂O aplicada como KCl (Tabela 7). Houve pequena variação nos valores de K entre os solos. Nas doses 50 e 100 kg ha⁻¹ K₂O, os valores de K trocável (média ponderada da coluna) no NBdf foram maiores do que para os demais solos, variando de 652 mg kg⁻¹ na dose 50 kg ha⁻¹ K₂O a 1650 mg kg⁻¹ na dose 100 kg ha⁻¹ K₂O. Para a dose 200 kg ha⁻¹ K₂O, o maior valor de K trocável (média ponderada da coluna) foi encontrado no CHa e corresponde a 2819 mg kg⁻¹.

A quantidade de K trocável na média ponderada das colunas apresentou valores médios de 545 mg kg⁻¹ na dose de 50 kg ha⁻¹ K₂O a 2573 mg kg⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ K₂O (Tabela 2.3). Os valores médios de K trocável total em 9,0 cm de solo ficaram entre 146 mg na dose 50 kg ha⁻¹ K₂O e 692 mg na dose 200 kg ha⁻¹ K₂O.

4.2.2. Condutividade elétrica (CE) no solo

A condutividade elétrica aumentou com o aumento da dose de KCl aplicada, em todos os solos (Figuras 8 a 13) em função de que o aumento da concentração eletrolítica da solução do solo é proporcional ao incremento na concentração de íons na solução. No centímetro mais próximo do local de aplicação (1,5 cm), a condutividade elétrica do solo no tratamento onde foi aplicada a maior dose de KCl (200 mg kg⁻¹ K₂O) variou de 3,78 dS m⁻¹ no CHa, aos 14 dias, a 4,98 dS m⁻¹ no LVdf. Na dose de 100 mg kg⁻¹ K₂O, os valores foram 2,49 dS m⁻¹ no CHa e 2,80 dS m⁻¹ no LVdf. A 3,5 cm dos grânulos, a CE foi maior em todas as doses no solo CHat, variando de 0,80 dS m⁻¹ na dose 50 kg ha⁻¹ K₂O a 2,76 dS m⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ K₂O. Esses valores de CE se devem ao fato de que os fertilizantes minerais potássicos são sais, e entre eles, o KCl apresenta o maior índice salino, e por isso, eleva a concentração eletrolítica da solução do solo nas proximidades das regiões fertilizadas. A alta concentração de sais próximo à semente ou raízes pode interferir negativamente na absorção de água pela

planta, devido ao aumento da pressão osmótica das células da raiz. Contudo, neste trabalho, a CE variou entre 0,062 a 5,76 dS m⁻¹ e nesse intervalo, o efeito da salinidade não ocasiona problemas de fitotoxicidade à cultura do milho, pois, segundo BRADY (1997) e MAAS (1985) os prejuízos ao desenvolvimento desta cultura iniciam com valores próximos de 10 dS m⁻¹.

A partir de 3,5 cm da região fertilizada, a CE foi menor nos solos LVd e NBdf. No LVd, a 3,5 cm de distância, a CE variou de 0,38 a 1,34 dS m⁻¹, respectivamente para as doses 50 e 200 kg ha⁻¹ K₂O, enquanto que no NBdf, nesta mesma distância, os valores de CE variaram de 0,43 a 1,64 dS m⁻¹ para as doses já citadas.

A 4,5 cm dos grânulos, a CE nos tratamentos que receberam a maior dose de KCl variou de 0,32 dS m⁻¹ no LVd até 1,91 dS m⁻¹ no CHa ao final de 14 dias de difusão (CHa14). No tratamento onde não foi aplicado o fertilizante potássico, a condutividade elétrica não mudou com a distância a partir da zona de aplicação e na média das distâncias, variou de 0,070 dS m⁻¹ no LVd a 0,426 dS m⁻¹ no CHa.

Os resultados de CE em solos argilosos são, geralmente, mais altos que em solos mais arenosos. Segundo KACHANOSKI et al. (1988), os íons presentes na dupla camada difusa de partículas de argila são capazes de conduzir eletricidade, mesmo sob baixos teores de água no solo, ao passo que a areia praticamente não apresenta esta característica. Contudo, neste trabalho, não houve evidência de a CE ser maior nos solos argilosos.

5. CONCLUSÕES

5.1. EXPERIMENTO I

1. A adição de KCl em doses equivalentes de até 200 kg ha⁻¹ de K₂O, posicionadas 5,0 cm abaixo e 2,5 ou 5,0 cm lateralmente em relação à linha de semeadura, aumentou a condutividade elétrica no solo até o máximo de 2,37 dS m⁻¹, mas não prejudicou a germinação de milho, independente da variação nas características físico-química dos solos;
2. A MSPA diminuiu quadraticamente somente no LVdf, quando o KCl foi aplicado a 2,5 cm das sementes;
3. Para a MSRA, o efeito da interação foi mais importante do que o efeito isolado dos fatores. Apenas no solo mais arenoso (LVd), com menor CTC e MO, a MSRA diminuiu com a dose e com a distância. Nos demais solos, houve aumento da MSRA com a dose e com a distância;
4. A concentração de K no tecido aumentou quadraticamente com a dose de K em todos os solos e variou entre 1,5 a 7,3 %;
5. O aumento do K trocável com a adição de KCl está relacionado com o teor de argila e de MO, e com a CTC dos solos.

5.2. EXPERIMENTO II

1. A difusão de K variou com o tipo de solo, aumentou com a dose de KCl aplicada e foi rápida. Na maior dose aplicada (200 kg ha⁻¹ de K₂O), o potássio se movimentou de 6,4 até 9,7 cm numa única semana, dependendo do tipo de solo.

2. A menor difusão de K ocorreu no solo de textura mais arenosa e com menor teor de matéria orgânica e está relacionada ao menor conteúdo de água neste solo, que aumenta a tortuosidade do caminho a ser percorrido pelo nutriente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINREMI, O.O. & CHO, C.M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II Experimental results in a model system. **Soil Science Society for America Journal**, 55:1282-1287, 1991.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York, John Wiley, 1984. 398p.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- BASSOI, L.H. & CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:283-287, 1992.
- BECKER, M. & MEURER, E.J. Morfologia de raízes, suprimento e influxo de potássio em plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:259-263, 1986.
- BERNARDI, A.C.C. et al. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos Cerrados**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. Documentos, n.46. 2003. 22 p.
- BEVILAQUA, G.A.P.; BROCH, D.L.; POSSENTI, J.C. & VILELA, F.A. Posição do fósforo e potássio na adubação da semente e no crescimento de plântulas de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, 2:87-92, 1996a.
- BEVILAQUA, G.A.P.; BROCH, D.L. & POSSENTI, J.C. Efeito da dose e da posição do fertilizante na absorção de nutrientes e no estabelecimento de plântulas de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, 18:45-49, 1996b.

BEVILAQUA, G.A.P.; BROCH, D.L. & POSSENTI, J.C.; VILELA, F.A. Efeito do fertilizante e da umidade do solo na absorção de nutrientes e estabelecimento do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 32:249-255, 1997.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; FARIA, J.R.B.; TUTIDA, F.; SPOLADORI, C.L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo eutrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 32:1009-1022, 1997.

BOYER, J.L. **Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos**. Salvador, Instituto de Geociências da UFBA, 1985. 328p.

BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. New York, MP Company, 1997. 755p.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; SANTOS, D.R.; SAGGIN, A & KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:565-571, 2005.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO MILHO E DO SORGO, 1990, Vitória. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba : POTAFOS, 1993. p.63-145.

CHAVES, L.H.G & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:145-148, 1995.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V. & ALBUQUERQUE, J.A. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1055-1064, 2002.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; FILHO, G.M. & SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10:828-835, 2006.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de. Nutrição e Adubação. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E FOSFATO (Ed.). **Seja doutor do seu milho**. 2. ed. Piracicaba, 1995. p. 1-9. (Arquivo do Agrônomo, 2).

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás**: 5^a aproximação. Goiânia: UFG/EMGOPA, 1988. 101p. (Convênio informativo técnico, 1).

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analyses. In: BLACK, C.A. Methods of soil analyses. Madison, **American Society Agronomy**, 1965. p.499-510.

DEFELIPO, B.V. & BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em Latossolos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:119-122, 1983.

DIEROLF, T.S.; ARYA, L.M. & YOST, R.S. Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. **Agronomy Journal**, 89:572-579, 1997.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Serviço de produção e informação (SPI/EMBRAPA), 1999.

ERNANI, P.R. & BARBER, S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:41-46, 1993.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L. & RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:993-1000, 2002a.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. & FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 33:1291-1304, 2002b.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A. & CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:393-402, 2007.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L. & CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:537-544, 2000.

FANCELLI, A. L. **Tecnologia de Produção de Milho: Módulo 3 Adubação de Milho.** Aldeia Norte, 2002, 42p.

FUNDACÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. Boletim técnico de soja 2004. Rondonópolis: Fundação MT, 2004. 228p.

GEE, G.W. & BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods. 2^a.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, Soil Science Society of America, 1986. p.383-411. (Agronomy Series, 9).

GIANELLO, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas e físicas do solo que afetam a absorção de potássio por plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 5:109-114, 1981.

KACHANOSKI, R.G.; GREGORICH, E.G.; VAN WESENBEECK, I.J. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. **Canadian Journal of Soil Science**, 68:715-722, 1988.

KELLY, S.F.; GREEN, J.L. & SELKER, J.S. Fertilizer diffusion in Container Medium. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 122:122-128, 1997.

KLUTHCOUSKI, J. Efeito salino, causado por fertilizantes, no sistema de plantio direto sobre as culturas do feijão, soja e arroz. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (1999: Salvador). **Resumos**. Salvador: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.797-800.

MAAS, E.V. Kling water. **Plant and Soil**, 89:372-284. 1985

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2^a.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London, Academic Press, 1995. 889p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Potassium. In: **Principles of nutrition**. Worblanfin-Bern/Switzerland, International Potash Institute, 1982. 655p.

MEURER, E. **Disponibilidade de potássio para as plantas e sua relação com formas, mineralogia e cinética de liberação no solo**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. UFRGS, Porto Alegre. 1992. 137 p.

MORGANO, M. A.; PAULUCI, L. F.; MANTOVANI, D. M. B. & MORY, E. E. M. Determinação de minerais em café cru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 22:19-23, 2002.

MORTELE, L.M.; LOPES, P.C.; BRACCINI, A.L. SCAPIM, C.A. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, 28:169-176, 2006.

NIELSEN, D.R.; VAN GENUCHTEN, M.T.; BIGGAR, J.W. Water flow and solute transport process in the unsaturated zone. **Water Resources Research**, Washington, 22:89-108, 1986.

OLIVEIRA, E.M.M.; RUIZ, H.A.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V.H.; JÚNIOR, J.C.F.B. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 8:196-203, 2004.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

OUYANG, D.; MACKENZIE, A.F. & FAN, M. Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Agronomy Journal**, 90:734-739, 1998.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. p. 56-59. (Boletim Técnico, 100).

ROSOLEM, C.A.; ESTEVES, J.A.F. & SILVA, R.H. Significance of mass flow and diffusion in supplying K to cotton roots as affected by liming and K rates. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 5., South Africa, 2001. Programme. África do Sul, 2001. p.48.

ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C. & BRANCALIÃO, S.R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milheto de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:875-884, 2003.

ROSSETTO, C.A.V.; FERNANDES, D.M.; ISHIMURA, I. & ROsolem, C. Diferentes respostas de cultivares de soja ao potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30:1225-1231, 1995.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:1015-1018, 1999.

SADER, R.; GAVIOLI, E.A.; MATTOS, JR., D.; PEREIRA, C.P. & MELLO, F.A.A. Efeito da mistura de fertilizantes fosfatados na germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Sementes**. Brasília, 13:37-44, 1991.

SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; TIRIONI, C.; GANCEDO, M. Cloreto de Potássio na Linha de Semeadura pode causar dano à soja. Dourados. Embrapa, 2002. (Comunicado Técnico 64).

SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:45-50, 1985.

SGUARIO JR. J.C. et al. Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, 7:9-14, 2006.

SILVA, M.A.G.; BOARETTO, A.E.; MELO, A.M.T.; FERNANDES, H.M.G. & SCIVITTARO, W.B. Rendimento e qualidade de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido em função do nitrogênio e potássio aplicados em cobertura. **Scientia Agrícola**, 56:1199-1207, 1999.

SILVA, M.A.G.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; FERNANDES, H.G.; GRANJA, F.A.; SCIVITTARO, W.B. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:913-922, 2001a.

SILVA, M.A.G.; BOARETTO, A.E.; FERNANDES, H.M.G.; BOARETTO, R.; MELO, A.M.T. & SCIVITTARO, W.B. Características químicas de um latossolo adubado com uréia e cloreto de potássio em ambiente protegido. **Scientia Agrícola**, 58:561-566, 2001b.

SOUZA, F.S.; FARINELLI, R. & ROSOLEM, C. A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:387-392, 2007.

TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S.J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2^a ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TORRES, S. B.; VIEIRA, E.L.; MARCOS-FILHO, J. Efeitos da salinidade na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino. **Revista Brasileira de Sementes**, 22:39-44, 2000.

VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:143-148, 1983.

VILELA, E.F. & BÜLL, L.T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:281-289, 1999.