

MARIA INÊS NOGUEIRA ALVARENGA

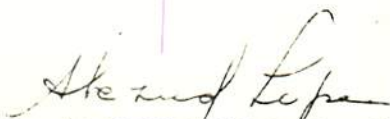
EFEITO DE DOSES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE KCl  
NA MOVIMENTAÇÃO DO POTÁSSIO NO PERFIL DE UM  
LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO, FASE CERRADO, CUL-  
TIVADO COM MILHO (*Zea mays*, L.).


Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração - Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de MESTRE.

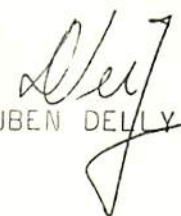
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS



APROVADA

  
Prof. ALFREDO SCHEID LÓPES  
Orientador

  
Prof. GERALDO APARECIDO DE AQUINO GUEDES

  
Prof. RUBEN DELLY VEIGA

À memória de meu pai, Cyro  
À minha mãe, Magali e a meus  
irmãos Maria Antonieta, Aureliano,  
João Pedro, José Flávio e Júnior.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Aos Institutos da Potassa (EUA-Suíça) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros e bolsa de estudos concedida durante a realização do curso.

À Maria Auxiliadora de Resende Braga pela datilografia e amizade demonstrada durante todo tempo.

À Ana Lúcia Ferreira de Carvalho, Arlindo Jacinto de Jesus, Adalberto Ribeiro, Humberto Dimas Fernandes, Dela'anne Ribeiro, Elayse Barbosa dos Santos, Joel Brito Guimarães, Edison Zangone de Abreu, João Bosco Duarte, Sônia Maria Botelho, Vera Lúcia Alonso, Antônio Carlos de Lima, Marco Antônio de Carvalho, Messias José Assumpção, Anamaria Alvarenga Pereira, José Maria de Siqueira que tanto colaboraram nas fases de campo e laboratório, e também pela amizade e carinho demonstrados.

Aos professores Victor Gonçalves Bahia, Marco Aurélio Vi torino Ribeiro, João Batista Soares da Silva, Hércio Andrade, Jo sé Oswaldo de Siqueira, Moacir de Souza Dias Júnior, Jeziel Car doso Freire, Mozart Martins Ferreira pela amizade, apoio e pres teza demonstrados.

Aos professores Juventino Júlio de Souza e Nilton Curi pela colaboração na classificação do solo e ensinamentos presta dos.

Pela co-orientação, boa vontade, amizade agradeço aos professores Geraldo Aparecido de Aquino Guedes, Waldemar Faquin, Nilton Curi, Ruben Delly Veiga e Paulo César Lima.

Ao professor Alfredo Scheid Lopes pela orientação, incen tivo e dedicação como mestre; e também pelo apoio e amizade de monstrados. À sua esposa Selma, sua filha Cláudia pelo carinho e amizade.

Ao colega Walter Vancura de Moraes, sua esposa Moema e a seus filhos pelo excelente apoio, amizade e aquele carinho es pecial demonstrados.

Aos colegas de turma Helena Maria Ramos Alves, Sônia Al faia, Sônia Maria Botelho, Vilma da Silva, Verner Eichler, Eurí pedes Maximiano Arantes, Francisco Carlos Mainardes da Silva , Luís Tarcísio Salgado, José Marcelo Grillo e Myriane Stela Scal co, pela amizade e apoio.

Aos colegas contemporâneos e a todos com os quais convi vi durante este curso.

## BIOGRAFIA DA AUTORA

MARIA INÊS NOGUEIRA ALVARENGA, filha de Cyro Alvarenga e Magali Nogueira Alvarenga, nasceu em Paraguaçu, Minas Gerais, aos 3 de outubro de 1955.

Cursou Engenharia Agrônômica na Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG, no período de janeiro de 1977 até dezembro de 1980.

Em março de 1981, na mesma Escola, iniciou seu curso de Pós Graduação em Agronomia a nível de Mestrado, com área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, defendendo tese aos 12 de dezembro de 1983.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	05
2.1. Formas de K no solo .....	05
2.2. Fatores que afetam a disponibilidade de K no solo.	09
2.3. Dinâmica do potássio no solo e na planta.....	14
2.4. Perdas de K no solo .....	20
2.5. Métodos de aplicação de K no solo .....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1. Aspectos gerais .....	29
3.2. Delineamento experimental .....	31
3.2.1. Análise para avaliação dos efeitos dos tra- tamentos .....	37
3.2.2.1. Análise foliar .....	37
3.2.2.2. Produção de grãos .....	37
3.2.2.3. Análises químicas do solo .....	38
3.3. Caracterização do solo .....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4.1. Efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas em relação à planta .....	40

	Página
4.1.1. Efeito dos tratamentos na produção de grãos (ton/ha) e nas % de K, Ca e Mg na folha de milho .....	40
4.1.2. Efeito dos tratamentos nas relações (Ca + Mg)/K; Ca/K; Mg/K e Ca/Mg na folha do milho .....	49
4.2. Efeitos dos tratamentos nas variáveis analisadas em relação ao solo .....	52
4.2.1. Efeito dos tratamentos no teor de K-disponível no perfil do solo .....	54
4.2.2. Efeito dos tratamentos no teor de Ca no perfil do solo .....	72
4.2.3. Efeito dos tratamentos no teor de Mg no perfil do solo .....	74
4.2.4. Efeito dos tratamentos no teor de Al no perfil do solo .....	76
4.2.5. Efeito dos tratamentos na CTC "efetiva " do perfil do solo .....	79
4.2.6. Efeito dos tratamentos no pH H <sub>2</sub> O e pH KCl no perfil do solo .....	81
4.2.7. Efeito dos tratamentos nas relações (Ca + Mg)/K; Ca/K; Mg/K e Ca/Mg no perfil .....	83
5. CONCLUSÕES .....	90
6. RESUMO .....	92
7. SUMMARY ... ..	95



	Página
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
APÊNDICE .....	111

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Resumo das análises de variância da produção de grãos (ton/ha), das percentagens de K, Ca, Mg , e das relações (Ca + Mg)/K, Ca/K, Mg/K, Ca/Mg , encontradas na folha do milho, colhido por ocasião do grão pastoso. Lavras-MG. 1983 .....	42
2	Efeito de doses de $K_2O$ nas variáveis analisadas relacionadas à planta. Média de 4 métodos de aplicação e 3 repetições. Lavras-MG. 1983....	43
3	Teor de Mg (%) na folha do milho para cada método de aplicação de KCl, em função da variação das doses de $K_2O$ (kg/ha) aplicadas. Lavras-MG. 1983 .....	44
4	Resumo das análises de variância dos teores de K, Ca, Mg e Al; da CTC "efetiva" do pH em $H_2O$ , pH em KCl, e das relações (Ca + Mg)/K, Ca/K , Mg/K, Ca/Mg, obtidos das análises do solo. Lavras-MG. 1983 .....	53
5	Teor de K-disponível (meq/100 $cm^3$ ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função de doses de $K_2O$ aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 .....	55

Quadro	Página
6	Teor de K-disponível (meq/100 cm <sup>3</sup> ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função dos métodos de aplicação do cloreto de potássio. Solo LRd . Lavras-MG. 1983 ..... 57
7	Teor de K-disponível (meq/100 cm <sup>3</sup> ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K <sub>2</sub> O aplicado na forma de KCl, para cada método de aplicação. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.... 60
8	Teores de K-disponível (kg/ha) no perfil do solo variando os métodos de aplicação, para cada dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha), aplicados na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 ..... 64
9	Movimentação de K (kg K <sub>2</sub> O/ha) no perfil K aproveitado (%) e K lixiviado (%), para cada método de aplicação e dose aplicada. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 ..... 66
10	Teor de Ca trocável (meq/100 cm <sup>3</sup> ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K <sub>2</sub> O aplicado, na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 ..... 73
11	Teor de Mg trocável (meq/100 cm <sup>3</sup> ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, para cada dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha) aplicado e cada método de aplicação do fertilizante, na forma de KCl. Solo LRd . Lavras-MG. 1983 ..... 75
12	Teor de Mg trocável (meq/100 cm <sup>3</sup> ) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm. Solo LRd. Lavras-MG . 1983 ..... 75

## Quadro

## Página

- 13 Teor de Al trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-Mg. 1983..... 77
- 14 CTC "efetiva" (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-Mg. 1983 ..... 80
- 15 pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 ..... 82
- 16 Relações (Ca + Mg)/K, Ca/K, Mg/K e Ca/Mg nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) e dos métodos de aplicação de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983 ..... 84

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Croquis da distribuição dos tratamentos no campo	33
2a	Bloco sub-dividido em parcelas na vertical e faixas na horizontal .....	34
2b	Detalhe de uma sub-parcela evidenciando a linha de plantio (central) e bordaduras. (tracejadas)	34
3	Detalhamento da distribuição do KCl com visualização dos pontos de amostragem .....	35
4	Detalhamento dos pontos de amostragem para cada método de aplicação do KCl .....	36
5	Teores de Ca, Mg e K (%) encontrados nas folhas do milho e produção de grãos (ton/ha), em relação as doses de $K_2O$ aplicadas. Lavras-MG. 1983.	45
6	Tendência nas variações das relações (Ca + mg)/K, Ca/K, Mg/K e Ca/Mg nas folhas do milho cultivado em um LRd, em função do aumento das doses de $K_2O$ aplicadas. Lavras-MG. 1983 .....	51

## Figura

## Página

- 7 Movimentação do K (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil de um LRd, em função da variação dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), para a dose de 60 kg K<sub>2</sub>O/ha (Fig. 7a) e para dose 120 kg K<sub>2</sub>O/ha) (Fig. 7b). Lavras-MG. 1983 67
- 8 Movimentação do K (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil de LRd, em função da variação dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço) para a dose de 240 kg K<sub>2</sub>O/ha (Fig. 8a) e para a dose de 480 kg K<sub>2</sub>O/ha (Fig. 8b). Lavras-MG . 1983 ..... 68

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução da agricultura puramente extrativa para a agricultura tecnificada, na qual o solo é intensivamente utilizado, aumentou, consideravelmente, a necessidade de se estudar técnicas de manejo para maximizar a eficiência dos fertilizantes.

Cerca de 20% da área total do país encontra-se sob vegetação de cerrado. Estes solos apresentam, em geral, baixos níveis de nutrientes disponíveis, elevada fixação de fósforo, argilas de baixa atividade e uma boa estrutura através do perfil, além de declive suave, LOPES (35). Adequadas condições físicas e topográficas aliadas à grande extensão, despertaram o interesse em se colocar essas áreas no processo produtivo, já que havia uma necessidade de se aumentar a produção tanto por aumento da área explorada como por aumento da produtividade.

O grau de intemperismo dos solos, evidenciado por suas características mineralógicas, possibilita avaliar a reserva total de K e o seu grau de disponibilidade a longo prazo. Como a maioria dos solos sob vegetação de cerrados do Brasil é bastante intemperizada, tendo como minerais predominantes na fração argila a caulinita, gibbsita, goethita e hematita em diferentes combinações, pre

sume-se que a possibilidade de fixação de K ou mesmo sua liberação nesses solos, a não ser em raras exceções, é muito baixa. Apesar de que, no Brasil, poucos estudos tenham sido feitos com a finalidade de avaliar a fixação e disponibilidade de K no solo, segundo MIELNICZUK (50) os solos cauliníticos, gibbsíticos e os areníticos, certamente, não fixam potássio; os solos que possuem minerais 2:1 devem fixar algum potássio; entretanto, os solos muito ácidos, mesmo tendo presentes minerais 2:1, fixam menos potássio devido a formação de hidróxidos de Al (ou Fe) entre as camadas destes, o que impede, até certo ponto, o fechamento das mesmas e o consequente aprisionamento do potássio. Por outro lado, a grande maioria dos solos brasileiros apresenta uma reserva limitada de K, que não é suficiente, por si só, para suprir as quantidades exigidas e retiradas pelas culturas. Para MIELNICZUK (50) a capacidade dos solos em suprir as exigências de potássio é muito variada e depende das formas nas quais ele se encontra nos solos, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada forma, bem como das características físicas (textura, retenção de água, etc) que afetam o seu movimento pela solução do solo até o contato com as raízes das plantas.

Portanto, faz-se necessária a aplicação de fertilizantes potássicos em quantidades suficientes para suprir as necessidades das plantas. E, esta quantidade de fertilizantes a ser aplicada, deve ser tal que possa garantir uma concentração de íons K na solução do solo relativamente alta, possibilitando o suprimento deste nutriente às plantas, quando for exigido. Segundo MALAVOLTA (43), os solos brasileiros são menos deficientes em K do que em P o qual,



como regra, é o fator mais limitante da produção para as culturas anuais. Entretanto, de acordo com a "lei do mínimo", as necessidades de K tornam-se muito acentuadas quando satisfeitas as exigências de P.

Para se alcançar os objetivos da adubação potássica, deve-se evitar perdas por lixiviação e fixação quando for o caso. Dessa forma, o nutriente deverá estar ao alcance das raízes e sua concentração no solo não deverá ser demasiadamente alta que, devido a efeitos osmóticos, prejudique a germinação ou desenvolvimento da cultura, MALAVOLTA & USHERWOOD (46). Segundo os mesmos autores, "pelo menos em parte", os objetivos da adubação podem ser alcançados, pois dados experimentais mostram que, de uma maneira geral, por mais empenho e arte que se empregue na adubação potássica, as culturas, no primeiro ano, só conseguem aproveitar 50% do que lhes é oferecido.

Considerando a escassez de informações a respeito do uso mais eficiente dos fertilizantes potássicos no Brasil, principalmente nas áreas sob vegetação de cerrados, considerando ainda que 100% do cloreto de potássio consumido no País é importado, ROCHA (63), propôs-se a realização deste estudo com os seguintes objetivos:

1. Avaliar possíveis perdas de K por lixiviação em função de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio.
2. Avaliar combinações de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio, que permitam a maximização do aproveitamento de K pela cultura de milho.

3. Avaliar os efeitos de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio na produção de grãos de milho.

4. Avaliar variações das relações Mg/K, Ca/K, Ca/Mg e (Ca+Mg)/K no solo e no tecido da folha do milho, em função dos tratamentos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Formas de K no solo

O processo de formação de um solo é bastante complexo, sendo o resultado da ação de fatores de intemperismo sobre o material de origem, VIEIRA (78). Esses fatores serão responsáveis pelo potencial de um solo para a exploração agrícola; isto é, pelas suas características tanto físicas quanto químicas e mineralógicas, bem como forma e quantidade em que os nutrientes se encontram no solo.

O teor total de potássio no solo é bastante elevado se for comparado à quantidade que é retirada pelas culturas anualmente. No entanto, menos de 5% deste se encontra disponível para as plantas, a um curto prazo, MALAVOLTA (40).

O potássio total (K-total), é o resultado da soma das várias formas em que o mesmo se encontra distribuído nos solos. Essas formas variam, principalmente, em função do material de origem, clima e grau de intemperização; e, são enumeradas conforme MORTLAND (52), RITCHEY (58) e BRADY (11), como: a) componente estrutural das micas e feldspatos, somente disponível após intemperização (K-estrutural); b) potássio fixado entre as camadas das argi

las expansivas (K-fixado); c) potássio facilmente extraível com uma solução de sal neutro (K-trocável); d) uma pequena quantidade presente na solução do solo (K-solução).

Os solos altamente intemperizados das regiões tropicais e sub-tropicais não contêm altas porcentagens de argilo-minerais expansivos. Minerais primários com potencial para fornecimento de potássio estão geralmente ausentes, ou são encontrados em pequenas quantidades nas frações grosseiras (areia e silte) de tais solos. A presença de mica na fração argila poderia ser fonte de K para esses solos, entretanto, a mesma é mais comumente encontrada nas frações mais grosseiras, CARMO (13) e CURI (16). A presença de illita na fração argila em tais solos foi constatada em condições climáticas de baixa precipitação, na região norte do Estado de Minas Gerais. Esta illita é aparentemente herdada do material de origem e possui baixa atividade, similar à da caulinita, LOPES et alii (36). E, dessa forma, pode-se então inferir que, para a situação da maioria dos solos altamente intemperizados das regiões tropicais e sub-tropicais, é mínima ou inexistente a fixação do potássio, além de serem solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), tendo-se, então, grande possibilidade de perdas desse nutriente por lixiviação.

Conforme Pedro, citado por BALIGAR (3), quando da pedogênese dos solos tropicais (condições climáticas quentes e úmidas e boa drenagem), há uma preferência para a desalcalinização massiva de aluminossilicatos e finalização do processo com formação de caulinita, óxidos hidróxidos e hidróxidos de Fe e Al, principalmente. É

o que ocorre com a maioria dos solos sob vegetação de cerrados e está de acordo com estudos realizados por CURI (16) em Oxissolos de Goiás e Minas Gerais. Conforme esse autor, em termos do fator intensidade, o ambiente de elevada lixiviação nesses Oxissolos permite que a maior parte da sílica, liberada pela decomposição dos minerais, seja perdida da zona de intemperismo. Devido ao fator tempo (bastante longo), embora o sistema solo seja muito dinâmico, há uma tendência de prevalecer condições de equilíbrio (pH de abrasão mais baixo) e parte do silício e alumínio são então precipitados para formar os argilo-minerais caulinita (predominantemente) e alguma gibbsita, que são alguns dos componentes estáveis da fração argila de Latossolos de origem basáltica, CURI (16).

Tal composição mineral exclui a possibilidade de fixação do íon K em formas não trocáveis ou lentamente trocáveis. Para BALIGAR (3), a única fonte natural de potássio nesses solos é atribuída ao potássio dos minerais primários semelhantes aos feldspatos e muscovitas, que são mais rapidamente intemperizados do que nas regiões temperadas. Segundo o mesmo autor, nessas condições, esse potássio existente em minerais primários somente é encontrado em solos jovens, como por exemplo solos aluviais. Pode ainda ocorrer que, logo após um terreno ser desbravado, os solos contenham grande quantidade de potássio na matéria orgânica, mas devido à rápida oxidação da mesma, com uma diminuição considerável na CTC do solo, pode-se considerar que o potássio seja liberado para a solução tornando-se, desta maneira, passível de ser perdido por lixiviação.

\* Solos sob vegetação de cerrados apresentam, em geral, baixos teores de K-disponível e baixa CTC. Em um levantamento feito

P  
dup

por LOPES (35), 85% das 518 amostras superficiais coletadas nos Estados de Goiás e Minas Gerais, estavam abaixo de 58 ppm, um nível considerado crítico pelo uso do extrator North Carolina (Melich), confirmando a baixa disponibilidade de potássio nesses solos. O mesmo autor encontrou valores de CTC extremamente baixos para estes solos, sendo que 97% das amostras estavam abaixo do nível crítico sugerido de 4,00 meq/100 ml; o que sugere, além da baixa disponibilidade natural de K, um grande potencial de perdas por lixiviação quando da aplicação de adubos potássicos.

Enquanto o K-estrutural só é utilizado pelas culturas quando o material rico em K se decompõe, o K-fixado entre as camadas das argilas só irá ocorrer em solos que possuam argilas expansivas. Isto sugere que a maioria dos solos sob vegetação de cerrados, devido a fatores de formação anteriormente mencionados e acentuada intemperização além da baixa disponibilidade natural de K, está sujeita a grandes perdas deste nutriente por lixiviação, segundo Rodrigues (1977) citado por SOUZA et alii (68).

Das formas de K que a planta absorve, aquelas que lhes são disponíveis, ou sejam: K-trocável e K-solução, representam 1 a 2% do K-tótal. Embora a maior parte do K-disponível esteja na forma trocável (90%), o K-solução é, de certo modo, absorvido pelas plantas com maior rapidez e, em função dessas formas estarem em equilíbrio dinâmico, é a que está naturalmente sujeita a maiores perdas por lixiviação, BRADY (11).

P. disp.

K-estruc.

K-troc.

Apesar de ser possível isolar cada uma dessas formas de ocorrência de potássio num dado tempo, torna-se difícil avaliar o comportamento, quanto ao efeito residual, dessas várias fases, uma vez que as mesmas estão em equilíbrio dinâmico no solo, MIELNICZUK (50), LOPES (34) e BRADY (11). Entretanto, mesmo que estas várias formas de K no solo estejam em equilíbrio, é sabido que, muitas vezes, seu teor no solo não é suficiente para um suprimento adequado das exigências nutricionais das culturas. É, dessa forma, evidente, a necessidade da aplicação de potássio, na forma de fertilizantes químicos para que se corrija a deficiência do mesmo.

*Conclusão!*

## 2.2. Fatores que afetam a disponibilidade de K no solo

Sempre que se adicionar um sal neutro à solução do solo, ocorrerá um desequilíbrio na mesma, o que levará a um processo de substituição e troca dos cátions adsorvidos às argilas. Essas substituições e trocas irão ocorrer em maior ou menor grau e serão uma função da preferência do material em reter um ou outro cátion e dependentes também da concentração e balanço dos cátions na solução, bem como do pH do solo. Pode-se então raciocinar em termos de que o desequilíbrio causado pela adição de um sal, provocará uma "reação em cadeia" que finalizará em um equilíbrio da solução do solo.

A reação do solo produz um efeito múltiplo sobre os processos de troca catiônica. Segundo, FASSBENDER (21), ela determina as características das cargas que se apresentam no complexo coloi

dal de troca anfótero, além de determinar a quantidade de cargas denominadas dependentes do pH, sendo que a um maior pH há um aumento do número de cargas negativas.

Dessa forma, pode-se dizer que o pH do solo influi na distribuição das bases trocáveis, bem como na distribuição do H e Al trocáveis. Ocorre então que, com o aumento da acidez, poderá haver uma maior participação do Al e Mn no complexo de troca sendo que esta diminuirá, em forma exponencial, com o aumento do pH. Enquanto que a participação das bases, pelo contrário, será mais alta a valores maiores de pH.

Apesar do efeito do pH na fixação e liberação de potássio no solo, por ação da calagem, resultar em opiniões contraditórias, THOMAS & HIPP (71), KAMPRATH & FOY (30) e TISDALE & NELSON (72), concluíram que este é um problema de extrema importância quando relacionado ao manejo da calagem no solo. FASSBENDER (21), concorda com esses autores e para ele, mesmo que a caulinita retenha o Ca preferencialmente em relação ao K, com uma adubação potássica bem manejada haverá um aumento da concentração do mesmo na solução do solo. Por efeito de uma calagem vai haver um aumento na CTC do solo mantendo melhor o potássio na solução, de forma que o mesmo será melhor aproveitado pelas culturas e, consequentemente, serão menores as perdas por lixiviação.

A aplicação de uma calagem irá saturar o solo com íons Ca, o que vai influir na adsorção de K aos colóides do solo. Para TISDALE & NELSON (72), como o Ca é mais facilmente substituído que o H e/ou Al adicionando-se K ao solo este vai ter sua concen-



tração aumentada na solução, e o mesmo substituirá algum Ca, e será adsorvido à superfície da argila. De acordo com THOMAS & HIPPI (71), em solos ácidos, com elevado teor de Al trocável, ao se adicionar carbonato de cálcio ocorre remoção dos íons trivalentes em competição com o K, deixando livres os sítios bloqueados, de forma que possam o Ca e o K competirem por eles; e, conforme KAMPRATH & FOY (30), há, além disso, uma reativação desses sítios por efeito da calagem. A combinação desses efeitos aumenta o teor de K-adsorvido à argila e diminui o teor de K na solução. Dessa forma o que se observa é que, quanto maior for o grau de saturação de Ca, maior será a adsorção de K pela argila da solução do solo, e menor sua perda por lixiviação.

A lixiviação do K por efeito da calagem só poderá ocorrer se o solo estiver saturado com o mesmo. Nesta situação, conforme TISDALE & NELSON (72), o Ca adicionado como um sal neutro, somente substituirá H e Al com grande dificuldade e, se além desses estiverem adsorvidos K, Na e  $NH_4$ , esses é que serão preferencialmente substituídos.

Aumentando o pH do solo aumentar-se-á a habilidade deste em reter o K, pois o aumento da CTC do solo é também devido à cargas dependentes de pH. Estudos de GOEDERT et alii (23) e KAMPRATH & FOY (30), em algumas situações de solos ácidos, indicaram um aumento na CTC de 2 meq/100 g com o aumento do pH. RITCHEY (58), concorda com esses autores e encontrou que a soma dos cátions extraídos por KCl, nos solos sem calagem estudados, foi aproximadamente 2 meq/100 g; e que, quando foi feita uma calagem suficiente para elevar o pH a 5,5, de forma a eliminar os efeitos nocivos da

acidez, a soma dos cátions extraídos por KCl 1N aumentou aproximadamente 4 ou 5 meq/100 g. Portanto, as perdas de K devidas a lixiviação poderão ser reduzidas, melhorando potencialmente a disponibilidade de potássio.

Os valores da saturação de bases (V%) de um solo, refletem a reação do solo (pH) e a proporção das bases que nele ocorre. De acordo com BEAR & TOTH (7), nos solos em que predominam as argilas cauliníticas, a proporção ideal de bases seria: 65% para o Ca, 10% para o Mg e 5% para o K, totalizando 80% da saturação em bases; os restantes 20% seriam saturados com H e Al, dando ao solo um pH em torno de 6,5 e garantindo ainda a disponibilidade de outros macronutrientes e micronutrientes.

A manutenção de uma proporção ideal das bases no solo é de real importância quando se pensa em disponibilidade e manejo da fertilidade dos solos. Conforme TISDALE & NELSON (72), solos arenosos com elevada saturação de bases, perdem menos K por lixiviação do que solos com baixo grau de saturação de bases. É comum a colagem representar um aumento na saturação de bases do solo, sendo conveniente, dessa maneira, para diminuir a perda de K-trocável. Entretanto, o K-trocável pode ser revertido para formas menos disponíveis, dependendo de fatores como: natureza e quantidade de argila e do grau de saturação do potássio. Os mesmos autores admitem, todavia, que não se sabe realmente como o pH atua nesses equilíbrios.

O equilíbrio da solução do solo é sempre mantido, ou seja, o desequilíbrio causado pela saída de algum elemento é nova -

mente restabelecido, de maneira que os cátions estejam sempre ba lanceados. BEAR & TOTH (7), trabalhando com alfafa, concluíram que o Ca é o catión dominante no solo enquanto que o K é dominante na planta e que as plantas tendem a absorver mais K que sua necessi-  
dade, a não ser que o nível de Ca no solo seja mantido relativa -  
mente alto. Concluíram também que quando a relação Ca:K na alfafa  
excede 4:1, ou quando o conteúdo de K na parte aérea da planta es-  
tá abaixo de 1%, marcantes respostas para aplicação de K-solúvel  
são normalmente obtidas.

Dessa maneira a participação de diferentes cátions na so lução do solo, varia também em função das características de ca da elemento. FASSBENDER (21), cita o trabalho de Fassbender et alii, onde reuniram graficamente as relações entre cátions trocá-  
veis (K, Ca, Mg e Al) e suas atividades iônicas em 20 solos da  
Amazônia do Brasil, e observaram a existência de uma proporcionalidade específica para cada um dos elementos. Ao aumentar seu con teúdo na fase adsorvida do complexo de troca se eleva progressiva-  
mente a atividade iônica correspondente. Conforme FASSBENDER (21) os potenciais de Schofield e os coeficientes de Gapon permitem in terpretar as relações que existem entre os elementos da solução do solo.

Existe uma preferência de adsorção que estabelece o equi-  
líbrio dos cátions na solução externa e que segue a sequência liq-  
trófica de Holfmeister. Quanto maior a valência e quanto menor o  
raio de hidratação maior será a energia de adsorção. Conforme FASS-  
BENDER (21) e KINJO (31), as preferências de adsorção são explica-

das considerando-se as leis de Donnan, em que os íons divalentes se encontram na formulação de troca catiônica sob sua raiz quadrada, e os trivalentes sob sua raiz cúbica. Dessa forma, conforme os mesmos autores, a influência da concentração externa é tal que ao se aumentar sua concentração cresce a quantidade de cátions trivalentes adsorvidos; e quanto mais se dilue, maior é a proporção dos cátions monovalentes adsorvidos. Isto significa que, a concentração mais elevadas diminui a proporção dos íons monovalentes e aumenta a proporção dos divalentes no complexo de troca.

### 2.3. Dinâmica do potássio no solo e na planta

O K é um nutriente essencial absorvido pelas plantas na forma de íon  $K^+$ . Apesar de sua essencialidade, não se conseguiu extrair, até hoje, um composto no qual o potássio estivesse presente. Sabe-se, no entanto, que é ativador de aproximadamente 60 enzimas que atuam no metabolismo vegetal e que, além de nenhum elemento poder substituí-lo, é essencial para se obter um rendimento máximo, BALIGAR (3) e MALAVOLTA (43).

As retiradas ou adições de K ocorrem na solução do solo, onde o mesmo está em equilíbrio com o K-adsorvido e também com o K contido nas estruturas dos minerais primários e argilo-minerais, tanto estáveis, quanto em processo de intemperização. Quando a sua concentração na solução diminui, devido a lixiviação ou absorção pelas raízes, parte do K-adsorvido passa para a solução, de modo a manter o equilíbrio. Esse equilíbrio é específico para cada uma das posições de troca, MIELNICZUK (50) e BRADY (11).

Uma vez atingida uma concentração de instabilidade no K-estrutural, a utilização do K-solução e K-trocável é então simultânea, MIELNICZUK (50). É, dessa maneira, importante se pensar que o estudo de absorção de K pelas plantas dependerá também da taxa de reposição de K no solo, que é fornecida pela relação  $Q/I$ , ou seja, o poder tampão de K no solo (PTK) assim como das características do solo que afetam sua difusão até as raízes, MIELNICZUK (50), THOMAS & HIPPEL (71) e MIELNICZUK & SELBACH (51).

Pode-se então inferir que com a extração do K-solução, o K-trocável atingirá valores constantes mesmo que a extração continue. Nesse estágio de esgotamento do solo, o K de pontos preferenciais de adsorção e o de minerais primários estará sendo utilizado. Segundo MIELNICZUK (50), o teor em que o K-trocável permanecerá constante e a quantidade que poderá ser retirada, até que haja sensível redução, dependerá da quantidade de pontos de troca preferenciais e da quantidade e tipo de minerais primários portadores de K.

Conforme MALAVOLTA & USHERWOOD (46) e MALAVOLTA (43), a absorção do K-solução se dá tanto ativa quanto passivamente. No processo de absorção passiva não há gasto de energia vinda da respiração radicular. Dessa forma, a absorção é basicamente uma continuação da difusão que colocou o elemento em contato com a raiz - dá-se em favor do gradiente de concentração. Segundo MALAVOLTA & USHERWOOD (46), o volume acessível ao K por simples difusão constitui o chamado espaço livre aparente (E.L.A.), que representa 10 a 25% do volume total da raiz. A ocupação deste espaço pelo K, e/ou outros íons, segundo os mesmos autores, é rápida, completando-se dentro

de 30 a 60 minutos, além de ser reversível, de modo que o elemento pode sair para a solução do solo.

A penetração do K no citoplasma é possível depois de vencida a barreira representada pela plasmalema, é o processo de absorção ativa que vai exigir consumo de energia metabólica por ocorrer contra o gradiente de concentração: não há pois condições para a difusão ocorrer. Conforme afirmam MALAVOLTA & USHERWOOD (46), o processo ativo, além de lento, é irreversível e se dá as custas de um "carregador" de K que transporta o elemento através da membrana e o liberta no interior da célula. O K cruza o parênquima cortical, a endoderme, graças às comunicações citoplasmáticas existentes entre uma célula e outra, e chega ao cilindro central - ao encontrar o xilema é transportado para a parte aérea da planta ou do xilema pode também passar ao floema, onde poderá então ser redistribuído.

A redistribuição interna do K pelo floema é bastante fácil. De acordo com MALAVOLTA (43), o elemento dirige-se da folha mais velha para a mais nova ou dessas duas para o fruto em crescimento. Isto se deve, pelo menos em parte, ao fato de que cerca de 75% do K-total da planta, está na forma iônica, ou seja, solúvel.

À medida que cresce a concentração da solução externa, há um aumento na velocidade de absorção até atingir um máximo. Entretanto, como nos solos predominam condições de baixa concentração, em função da pequena quantidade de K na solução do solo, há necessidade de se refazer a mesma de tempos em tempos para que as necessidades das plantas possam ser supridas.

Desde que se tenha K-disponível, há uma grande variação na eficiência de utilização do potássio pelas plantas, como afirmam SHEA et alii (66). Plantas que conseguem uma maior eficiência na utilização de K, podem produzir a mesma quantidade de matéria seca consumindo menor quantidade de K do que uma planta menos eficiente. Para MIELNICZUK (50) as plantas também podem diferir quanto a absorção de K no solo, tanto pelas características de tamanho e morfologia do sistema radicular quanto pela capacidade de manter uma taxa alta de absorção de K por unidade de raiz; ou seja, por sua eficiência de absorção em baixas concentrações de K na solução do solo.

Entretanto, conforme MALAVOLTA & USHERWOOD (46), NELSON & HANSEN (56), BARBER (5), MENGEL (47) e MUNSDN (53), vários fatores, além da concentração externa, influem na absorção do K-solução, como: disponibilidade de K na solução do solo, temperatura (em função do aumento da atividade metabólica) aeração umidade, presença de outros íons, características das raízes (natureza da superfície, área e número) número de centros de troca catiônica (CTC), velocidade de transpiração, idade e velocidade de crescimento, intensidade respiratória.

Dentre os vários fatores que afetam a absorção do K, a presença de outros íons na solução do solo, que não o potássio, influencia na absorção do mesmo. Conforme MALAVOLTA (43) e MALAVOLTA & USHERWOOD (46), a absorção do potássio depende diretamente de sua concentração e indiretamente das concentrações de Ca e Mg. Dessa maneira, num dado instante, a disponibilidade do nutriente para a

planta é igual ao quociente da atividade do  $K^+$  pela raiz quadrada da soma das atividades dos dois cátions bivalentes, ou seja:  $a_K / \sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}}$ . Segue-se daí que uma baixa relação no meio deve determinar, como regra, menor absorção de K. Disso resultaria então um abaixamento no teor de K da matéria seca, elevando o conteúdo dos outros dois nutrientes, e reciprocamente — conforme dados de Loué (1963), citado por MALAVOLTA (43) — um aumento no fornecimento de K eleva a relação a um valor mais adequado para o milho, refletindo positivamente na produção, enquanto diminui os teores foliares de Ca e Mg; sem porém baixar a níveis deficientes.

Beckett (1964) e Woodruff (1955), citados por BARBER (5) propuseram a determinação da disponibilidade do potássio para as raízes das plantas em termos de relacionamento entre potássio e cálcio ou, potássio e a soma de cálcio mais magnésio. Este relacionamento indica que a absorção de potássio será reduzida tanto quanto a de cálcio e magnésio for aumentada e, inversamente, a absorção de cálcio e magnésio será reduzida quando o suprimento de K-disponível for aumentado. De acordo com este conceito a disponibilidade de K será determinada, não só pela quantidade absoluta deste nutriente mas também em função da quantidade relativa de cálcio e magnésio.

Baixas concentrações de Ca no meio, entretanto, são necessárias para que se dê a absorção do K em velocidade adequada às necessidades da planta, o chamado "efeito Viets", isto é, o estímulo pelo Ca na absorção de cátions monovalentes. MENGEL (47), concluiu que a fração de Ca-trocável nas raízes não influencia a absorção de K para os espaços interiores, e que a troca de adsorção



nos espaços livres não pode ser considerada como o primeiro passo para a absorção ativa de K. Desse modo, se a fração de Ca-trocável for muito baixa, a permeabilidade da plasmalema poderá aumentar resultando numa baixa retenção do K. Se porém, a concentração de Ca no meio aumentar suficientemente, diminuirá a absorção de K, pois o primeiro compete com este pelo mesmo carregador "R". Quando o Al, no caso de solos ácidos, aparece em altos teores, também causa diminuição na absorção de K, além de ocupar-lhe o lugar em sítios de troca, MALAVOLTA (43).

Vários são os trabalhos que evidenciam a influência da concentração e balanço dos cátions da solução, na absorção dos mesmos pelas plantas. A modificação dos teores de K, Ca e Mg no solo, afetam a absorção desses nutrientes pelas plantas devido à competição pelos mesmos sítios de absorção, principalmente em se tratando do K e Mg. O fenômeno é conhecido na literatura e muitas vezes citado como antagonismo Ca-Mg, SILVA (67) e K-Mg, MALAVOLTA (41).

As relações K-Ca e K-Mg, de acordo com MUNSON (53), refletem o comportamento individual dos cátions. De forma que a disponibilidade do K parece estar mais intimamente relacionada com a quantidade total presente no solo, apesar de ser também influenciada pela concentração de Ca e Mg. Para BARBER (5), um aumento do potássio na solução, causa uma redução na absorção de Ca e Mg, aumentando a absorção daquele.

Correlação negativa entre teores de Ca e Mg em relação aos teores de K, parece ser uma constante em vários trabalhos. MURPHY (55) cita que Boswell e Parks encontraram uma relação inversamente

proporcional da concentração de Ca e Mg ao suprimento e concentração de K nas folhas do milho. RITCHEY & SILVA (60) em condições de campo com níveis de Ca e Mg constantes e níveis de K crescentes, durante dois anos em cultivos sequenciais de arroz e milho, verificou que o aumento da dose de K promoveu aumento no teor de K e diminuição no teor de Mg no tecido das folhas. No mesmo ensaio, mantendo-se constantes os níveis de K e Ca, aumentando-se o de Mg, houve aumento no teor de Mg e decréscimo no teor de K nos tecidos das folhas das duas culturas. Em ambas situações o teor de Ca não se alterou. Verificou também que a redução na absorção do Mg devido à presença do K, é mais intensa do que a redução na absorção do K devido à presença do Mg, sendo mais evidente no caso do arroz. Em outro trabalho SILVA (67), com um LV e um LE, usando milho como planta teste, também foram observadas variações nas relações Ca:Mg em função da variação das doses de K aplicadas, que mesmo em condições de baixa saturação de Al, mostraram grande efeito sobre o crescimento das raízes e parte aérea; com maior evidência quando o equilíbrio se mostrou desfavorável ao Ca. As concentrações mais elevadas de Ca mostraram ser menos prejudiciais do que altas concentrações de Mg. Em média, para todas as doses de K, as maiores produções foram obtidas em relação Ca:Mg em torno de 3:1, a um valor médio de 60% de saturação de Ca para o LE e 70% para o LV.

#### 2.4. Perdas de K no solo

Quando se adicionarmos no solo adubos potássicos solúveis em água, o nível de K na solução irá aumentar. Com o aumento do nível de K na solução do solo pode ocorrer que o mesmo seja perdido por

erosão, retirado pelas culturas, fixado nas argilas, ou então, perdido por lixiviação.

As perdas de elementos nutritivos que ocorrem em solos da região tropical, por efeito de erosão, sobrepassam as perdas observadas em solos das regiões temperadas. De acordo com SUARÉZ de CASTRO (69), isto se deve, em parte ao fato de que quase todos os dados da região temperada se referem a terrenos menos inclinados e submetidos a chuvas menos intensas que nos trópicos. Entretanto, essas perdas de nutrientes por erosão poderão ser controladas, desde que se tenha um bom sistema de conservação de solos, principalmente um manejo adequado da vegetação.

Apesar da perda de K-disponível, por efeito da erosão, ser de grande importância por exceder a de qualquer outro elemento nutriente, as perdas de bases do solo por efeito da erosão, são problemas mais relacionados ao manejo e conservação dos solos do que da química dos mesmos, BRADY (11), SUÁREZ de CASTRO (69) e FASSBENDER (21).

O esgotamento do potássio do solo através da absorção pelas culturas não é realmente um processo de perda, a não ser quando se considera a não devolução dos restos culturais ao solo e o "consumo de luxo". Esta absorção de K em quantidades maiores do que a necessidade das plantas não tem um efeito direto de dano, como a toxidez de Mn, por exemplo.

Esse "consumo de luxo" irá ocorrer em função de um desequilíbrio da solução do solo. E, de acordo com THOMAS & HIPPEL (71) se

ria interessante considerá-lo quando da aplicação de adubos potássicos ao solo, de forma a manter um nível ideal para suprir as necessidades das culturas, sem que, no entanto, houvesse possibilidade de excesso de consumo dos mesmos.

Quanto à fixação do potássio, esta só irá ocorrer quando, no solo, se encontrarem argilo-minerais que, por suas características previamente discutidas, apresentem esta possibilidade. Neste caso, as perdas de K por lixiviação poderiam diminuir e, em função do K se encontrar em equilíbrio dinâmico na solução do solo, MIELNICZUK (50), TISDALE & NELSON (72) e BRADY (11), quando o mesmo for absorvido dessa solução pelas plantas, haverá uma lenta liberação do K-fixado para a solução de forma a restabelecer o equilíbrio.

Esses minerais capazes de fixar o K têm, então, a capacidade de solubilização do K equilibrada com a CTC presente no solo, que, de acordo com BARBER et alii (6), na sua maior parte, parecem trocáveis inicialmente, sendo esses sitios de troca os responsáveis pela minimização da lixiviação. Entretanto, por faltarem tipos de minerais capazes de fixar o K; e, devido a baixa capacidade de troca da maioria dos solos da região tropical que é altamente intemperizada, bem como devido a uma rápida oxidação da matéria orgânica, esses solos são conhecidos por sua elevada perda de K por lixiviação, BALIGAR (3) e LOPES (35).

Evidências de perdas de K por lixiviação a partir da potencialidade para ocorrer este fato, demonstrada pelas características químicas, físicas e mineralógicas, têm sido obtidas em al

guas estudos no Brasil. LOPES (32), das 518 amostras características de solos sob vegetação de cerrados selecionou 44 de acordo com a cor e a textura. Encontrou que a carga negativa desses solos variou de 0,31 a 4,48 meq/100 cm ; e, que para os solos com o teor de argila entre 35 e 60% e de cor vermelho-escuro, a média de carga negativa foi de 1,69 meq/100 cm<sup>3</sup>. Concluiu que a CTC e as cargas negativas desses solos são muito baixas, sendo de se esperar que se não for feito um manejo adequado da adubação potássica, poderá haver grandes perdas de K por lixiviação.

Para RITCHEY & SILVA (60) os estudos de adubação potássica serão melhor compreendidos se for realizado um balanço do nutriente no solo considerando-se: as quantidades adicionadas, as retiradas pelas culturas e as remanescentes no solo, ao final do período de cultivo. É dessa maneira que, fixando-se o perfil a uma determinada profundidade, pode-se então avaliar a movimentação, extração, esgotamento e perdas de K por lixiviação.

Em um experimento de campo em um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, onde, após calagem (pH atingido 5,1) foram testados 5 níveis de K<sub>2</sub>O (0; 75; 150; 300; 600 kg/ha), SOUZA et alii (68) observaram que houve aumento de K nas camadas de 15 a 30 cm com aplicação de 300 kg K<sub>2</sub>O/ha; sendo que na dose de 600 kg K<sub>2</sub>O/ha houve aumento dos níveis deste nutriente até a profundidade de 60-75 cm. Isto evidencia que houve um apreciável deslocamento do K para além do alcance do sistema radicular da maioria das culturas anuais. Esses dados se referem a um período relativamente curto e de intensa absorção de K pelo milho, reduzindo assim a quantidade efetiva de K aplicado e que seria passível de deslocamento, especialmente nas

doses mais baixas; mas, mesmo assim, os autores observaram uma perda de aproximadamente 25% para o tratamento que recebeu 600 kg  $K_2O$ /ha.

Um outro trabalho que evidencia o problema de perdas de K por lixiviação é o de FRANCO & MEDINA (22). Eles aplicaram em cafeeiros localizados em "terra roxa legítima" e "arenito de Baurú", 180 kg KCl em 10 metros de sulco. Pelos dados obtidos no primeiro ano observaram que o potássio aplicado atingiu, nesse período, a profundidade de 61-100 cm. Depois de 3 anos o efeito da adição superficial de K já não se fazia sentir nas camadas analisadas que mostraram ter um teor de K-trocável praticamente igual àquele das amostras que não haviam recebido adubação potássica. Evidencia-se desta forma, mais uma vez, a possibilidade de perdas de K por lixiviação.

Considerando-se os aspectos anteriormente discutidos, a aplicação de fertilizantes potássicos em solos dos trópicos, altamente intemperizados, estará então, sujeita à elevada taxa de lixiviação que, de acordo com BALIGAR (3), algumas vezes alcança valores de 60% em um ano. Além da taxa de lixiviação desses solos ser também dependente da: precipitação, vegetação da natureza das propriedades físicas (como taxa de infiltração, capacidade de retenção de água, teor de matéria orgânica) da quantidade de K aplicada e da quantidade total de outros cátions, conforme Kofoed citado por BALIGAR (3), FASSBENDER (21), THOMAS & HIPPEL (71) e BARBER (5).

## 2.5. Métodos de aplicação de K no solo

Poucos trabalhos sobre métodos de aplicação de potássio ao solo foram desenvolvidos, e a maioria dos dados é da região temperada. Entretanto, sabe-se que a variação desses métodos terá influência na concentração e nas perdas por lixiviação dos adubos aplicados. Quando o fertilizante é aplicado em sulco, os catiões ficam mais concentrados na solução por entrarem em contato com um menor número de sítios de troca do solo. Assim a influência da CTC em retardar a lixiviação fica reduzida.

Recentemente DIBB (17), fez um estudo de revisão da localização de K nas adubações. Ele concluiu que, em geral, todo método de localização adotado fica entre dois extremos: a) aplicação espalhada a lanço com posterior mistura ao solo; b) aplicação em faixa deixando o K em contato com menor volume de solo e, consequentemente, mantendo uma faixa com alta concentração do K-aplicado . Respostas significantes foram conseguidas para pequenos grãos quando o K foi aplicado à lanço, ao passo que, para culturas em linha foram obtidas boas respostas para aplicação do K em faixa, quando os solos apresentavam baixo nível de K-trocável.

A escolha do método de aplicação do adubo potássico além dos fatores inerentes ao solo, fica na dependência, também, do tipo de cultura e de cultivo a serem adotados. Segundo DIBB (17), nos solos que contêm argilas com alto poder de fixação, a localização é mais crítica. BALIGAR (3), em seus estudos, afirmou que em solos dos tropicos, quando as condições permitem grandes perdas por lixiviação, a aplicação do K à lanço é preferida sobre a simples práti

ca de aplicação no sulco.

As adubações em linha mantêm uma concentração mais elevada, mas atingem pequena área radicular, ao passo que adubações à lanço mantêm baixas concentrações, porém atingem grande área radicular. Possivelmente a metodologia de adubação ideal seria uma combinação das duas: linha e lanço, ou seja em faixas, conforme anteriormente citado, atingindo parte da área radicular com maior concentração, segundo BARBER (4) e MIELNICZUK (50).

A localização dos adubos potássicos depende principalmente, de acordo com MALAVOLTA (43), do processo de contato do elemento com a raiz e da distribuição do sistema radicular, assim como da dose total a ser aplicada. O adubo potássico poderá então ser aplicado de diversas maneiras: a) em faixas abaixo e ao lado das sementes ou no sulco de plantio; b) a lanço na superfície do solo; c) à lanço e incorporado superficialmente com uma grade; d) à lanço e incorporado com arado; e) em faixas mais ou menos profundas; f) em faixas no sub-solo, MALAVOLTA (43) e BARBER et alii (6).

O problema da aplicação localizada, quando as doses são muito elevadas, é que além de possível desidratação da semente quando do contato da mesma com o adubo, pode ainda haver grandes perdas por lixiviação. De acordo com MALAVOLTA (43), a alta solubilidade do KCl faz crer que uma aplicação localizada em sulco pode prejudicar a germinação ou o desenvolvimento das plantas devido a elevada concentração salina, quando a pressão osmótica da solução dos solos se eleva a valores superiores a 2 atm. E, segundo



BARBER et alii (6), não se deve usar junto com as sementes quantidades de  $N + K_2O$  maiores que 20 kg/ha. Em sulcos de plantio em que o adubo é misturado com a terra a quantidade limite é de 50 kg, dados esses para o milho, enquanto que outros cereais poderão suportar doses maiores.

Segundo RITCHEY (59), a aplicação de K em sulcos resulta em concentrações ( $> 1,0$  meq/100 g) que podem ultrapassar a capacidade de retenção dos Oxissolos, favorecendo sua lixiviação, quando comparada à aplicação à lanço. O mesmo autor, verificou, também, que no Brasil Central, com adições de até 125 kg de K/ha, as perdas do mesmo além dos 30 cm não foram significativas. Adições de 250 e 500 kg/ha geraram lixiviação a 60 e 90 cm, respectivamente. Sendo assim, provavelmente, a aplicação de altas doses de adubos potássicos em Oxissolos altamente intemperizados, se for feita em faixa, conduzirá a uma maior retenção de potássio nas camadas superiores do solo, induzindo a um melhor aproveitamento pelas plantas.

Quando da aplicação dos adubos deve-se considerar também as características dos diferentes solos que influenciarão na penetração das raízes e, conseqüentemente, no aproveitamento do mesmo. Somente a aplicação de fertilizantes não assegura que estes sejam realmente aproveitados pelas plantas. Um posicionamento adequado do fertilizante proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, NELSON & HANSEN (56). Isto é importante para que se tenha um suprimento adequado para maior eficiência de absorção pelas raízes; devendo-se, no entanto, evitar os

problemas causados pelo excesso de salinidade.

Se a deficiência de nutrientes interrompe o desenvolvimento, durante algum tempo do ciclo de vida das plantas, o rendimento ou qualidade podem ser reduzidos. De acordo com NELSON & HANSEN (56), o problema será decidir quanto de cada nutriente deverá ser adicionado e onde deverá ser colocado, de modo que a planta tenha um pouco mais que o suficiente para todo o tempo durante seu ciclo de vida.

Os problemas do K no solo aliados a suas relações com as plantas, anteriormente discutidos, fazem crer que um estudo de técnicas de aplicação de fertilizantes potássicos, que visem um aproveitamento mais racional pelas culturas será, sem dúvida justificável sob o aspecto econômico de uma agricultura mais eficientemente manejada.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Aspectos gerais

O ensaio foi realizado em condições de campo, em área situada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG. Foi utilizado um Latossolo Roxo Distrófico, textura muito argilosa, sob vegetação de cerrado; no período de agosto de 1981 a agosto de 1982, ou seja, no período que correspondeu desde o início do preparo do solo até a coleta final das amostras.

Os resultados de análises físicas e químicas para fins de classificação, bem como a descrição do perfil do solo, juntamente com os gráficos da análise mineralógica obtidos através da difração pelo Raio-X, que foram utilizados para a caracterização do solo da área experimental, encontram-se nos apêndices 39, 40 e 41.

O preparo do solo constou das seguintes etapas: desmatamento, destoca, duas arações, duas gradagens, pranchonamento e sulcagem.

Os resultados da análise de fertilidade do solo para a determinação da dose de calcário e ser utilizada, bem como os resultados de análise química e granulométrica do calcário, foram ob-

tidos por análises de rotina nos laboratórios de Fertilidade e Agrologia do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG. (Apêndice 42).

Foi feita calagem até a profundidade de 20 cm na dose de 2,5 ton/ha corrigida para P.R.N.T. 100%. A dose utilizada foi calculada com base nos teores de alumínio (Al) e cálcio mais magnésio (Ca + Mg) trocáveis, de acordo com as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - 3ª aproximação, 1976 (15).

Foi feita ainda uma fosfatagem na dose de 240 kg/ha de  $P_2O_5$  solúvel em água, na forma de superfosfato simples, incorporado até 10 cm de profundidade.

Além de  $K_2O$  aplicado na forma de KCl, foi feita também a adubação de plantio da cultura do milho com:

- 100 kg de sulfato de amônio/ha;
- 350 kg de superfosfato simples/ha;
- 22 kg de sulfato de zinco/ha;
- 9 kg de borax/ha.

Aos 45 dias após a germinação foi feita a cobertura nitrogenada com uma dose de 200 kg de sulfato de amônio/ha.

A variedade de milho utilizada foi o híbrido Ag 301.

Os dados de precipitação foram coletados pelo Posto Agrometeorológico da ESAL e correspondem ao período de agosto de 1981 a agosto de 1982. (Apêndice 43).

### 3.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado com 3 repetições, 4 métodos de aplicação e 4 doses de  $K_2O$ , na forma de KCl. Para a comparação dos efeitos na planta foi utilizado mais um nível de  $K_2O$ , qual seja, o nível zero.

O croquis do experimento pode ser observado na figura 1. Os quatro métodos de aplicação de KCl utilizados foram:

1. aplicação convencional no sulco de plantio;
2. aplicação em faixa de 20 cm;
3. aplicação em faixa de 40 cm;
4. aplicação a lanço.

As doses de  $K_2O$  utilizadas foram 60; 120; 240 e 480 kg/ha; mais uma testemunha, o nível zero, que foi utilizado apenas para a comparação dos efeitos na planta.

A dose de 60 kg  $K_2O$ /ha foi considerada como testemunha para comparação dos efeitos dos tratamentos no solo.

Os métodos 2, 3 e 4 de aplicação de  $K_2O$  foram incorporados usando ancinho manual.

O delineamento empregado foi de blocos ao acaso, com 3 repetições, no esquema de parcelas sub-divididas em faixas para as análises relacionadas à planta. Para as comparações dos efeitos no solo, foi acrescentado o fator profundidade na sub-sub-parcela. De modo que as parcelas correspondem às doses de  $K_2O$ ; nas sub-parcelas, em faixas, foram testados os métodos de aplicação, e nas

sub-sub-parcelas, as profundidades. Detalhes são apresentados nas figuras 1 e 4.

Cada faixa foi composta de 3 linhas de plantas com 10,0 metros de comprimento espaçadas de 1,0 metro. Para as análises de plantas foram consideradas as fileiras centrais de cada faixa e distanciadas de 0,5 metros nas extremidades. Dessa maneira foram considerados 30 m<sup>2</sup> como área total da sub-parcela e, como área útil 9 m<sup>2</sup>; com uma população de 45 plantas por sub-parcela, que corresponde a 5 plantas por metro linear. Detalhes podem ser observados nas figuras 2 a e 2 b.

As amostras de solo também foram coletadas tomando-se como referência a fileira central de plantio (Figura 3). Após a retirada da cultura, com um trado tipo caneco, amostrou-se o solo de 20 cm até 120 cm de profundidade. Foram retiradas amostras de cada sub-parcela com uma tradagem no centro do local de aplicação do KCl, e mais quatro tradagens afastadas, simetricamente, 20 e 40 cm da mesma. De cada sub-parcela foram então retiradas 30 amostras de solo. Para efeito de análise estatística considerou-se apenas a média dos 5 pontos de amostragem até 40 cm de profundidade e a média dos 5 pontos de amostragem de 40 até 120 cm de profundidade; de maneira que obteve-se no final apenas 2 médias de amostragens de solo, uma até 40 cm de profundidade considerada como área explorável pela planta de milho e o restante considerado como área de perda de nutrientes. Detalhes são apresentados nas figuras 3 e 4.

Para os testes de significância foram utilizadas tabelas de GOMES (24).

1	1 C	B	D	A	E	Bloco I
2	2 C	B	D	A	E	
3	3 C	B	D	A	E	
4	4 C	B	D	A	E	
Terraço						
1	1 D	B	A	C	E	Bloco II
2	2 D	B	A	C	E	
3	3 D	B	A	C	E	
4	4 D	B	A	C	E	
Terraço						
1	1 A	D	C	B	E	Bloco III
2	2 A	D	C	B	E	
3	3 A	D	C	B	E	
4	4 A	D	C	B	E	

Legenda: Métodos de aplicação:

1. Convencional no sulco
2. Faixa de 20 cm
3. Faixa de 40 cm
4. Lanço na área toda

Doses de  $K_2O$ :

- A. 0 kg/ha
- B. 60 kg/ha
- C. 120 kg/ha
- D. 240 kg/ha
- E. 480 kg/ha.

FIGURA 1. Croquis da distribuição dos tratamentos no campo.

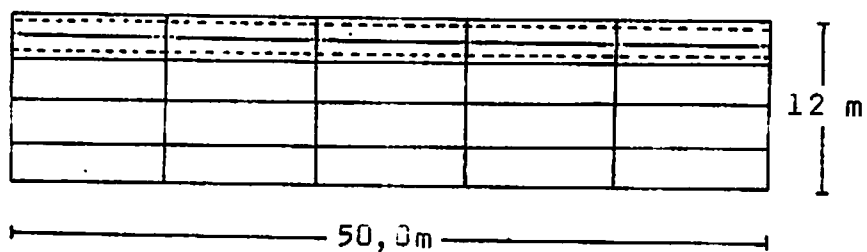


FIGURA 2 a. Bloco sub-dividido em parcelas na vertical e faixas na horizontal.

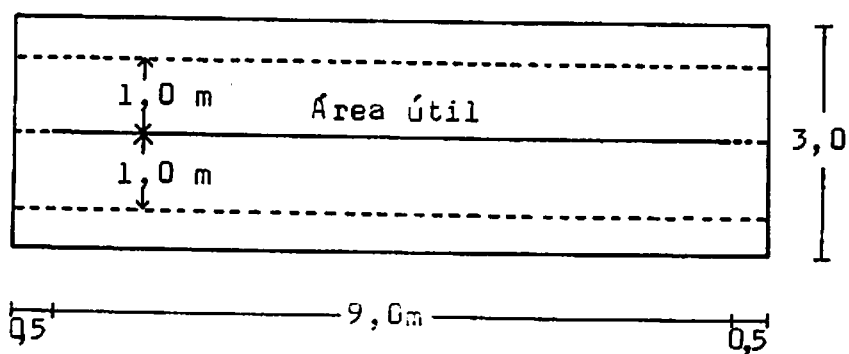


FIGURA 2 b. Detalhe de uma sub-parcela evidenciando a linha de plantio (central) e bordaduras (tracejadas).



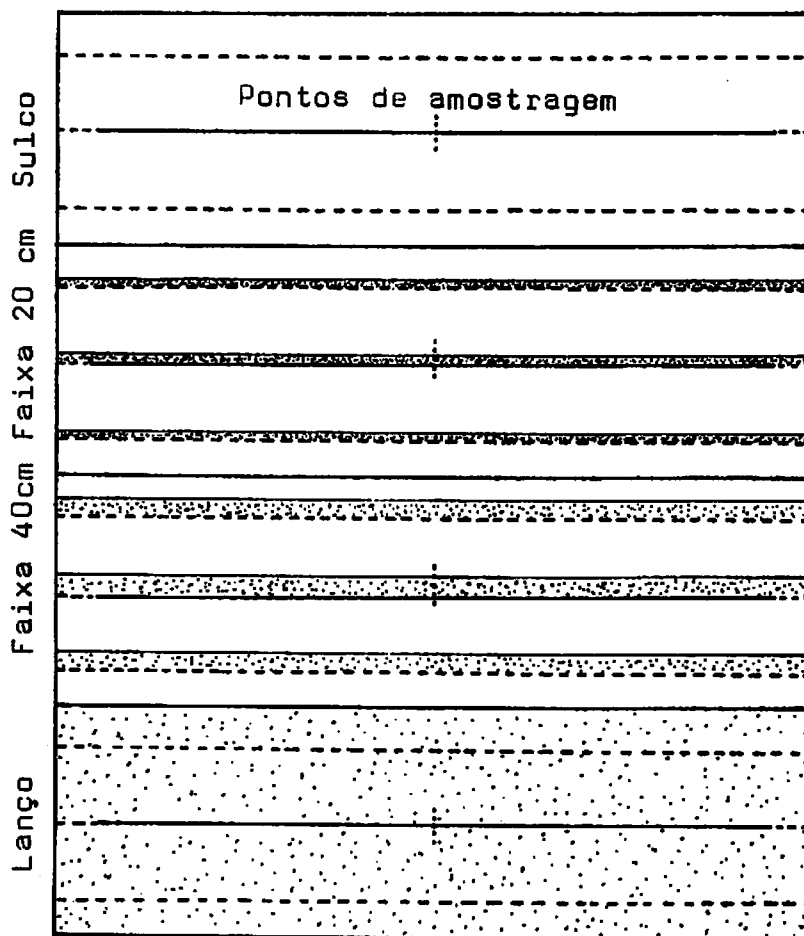


FIGURA 3. Detalhamento da distribuição do KCl com visualização dos pontos de amostragem.

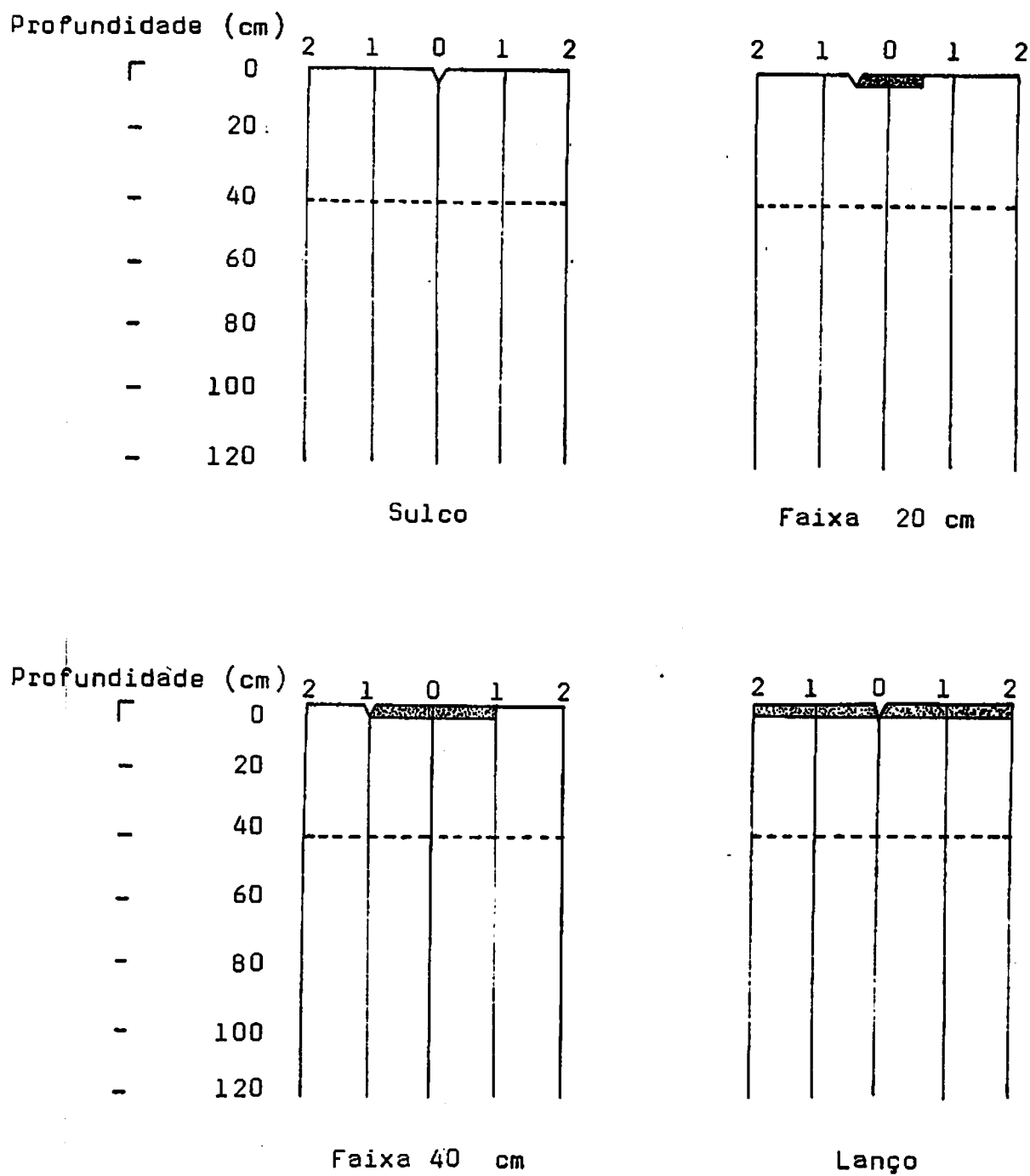


FIGURA 4. Detalhamento dos pontos de amostragem para cada método de aplicação do KCl.

### 3.2.2. Análise para avaliação dos efeitos dos tratamentos

#### 3.2.2.1. Análise foliar

Foi feita uma amostragem em cada sub-parcela por ocasião do grão-pastoso. A folha amostrada foi padronizada como sendo a primeira abaixo e oposta à primeira espiga, conforme indicado por Hanway, citado por MALAVOLTA & GARGANTINI (45).

As amostras das folhas frescas foram lavadas e secas em estufa com circulação de ar forçada a 70°C, até peso constante. As amostras foram então moidas em moinho tipo Wiley, para passar numa peneira de 1 mm de malha ou 20 mesh.

Foram determinados então os teores de cálcio, magnésio e potássio por espectrofotometria de absorção atômica; determinações essas feitas de acordo com HUNTER (26). Foram também calculadas as relações  $(Ca + Mg)/K$ ;  $Ca/K$ ;  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$ .

#### 3.2.2.2. Produção de grãos

No final do ciclo do milho, cada sub-parcela foi colhida separadamente para ser avaliada e produção de grãos. A produção foi calculada em termos de kg/ha quando os grãos apresentaram 15% de umidade.

### 3.2.2.3. Análises químicas do solo

As amostras foram coletadas com um trado tipo caneco após retirada da cultura. Foram então secas ao ar, preparadas em gral de porcelana para passar por peneira de 2 mm de malha.

Na determinação dos teores de alumínio, pH em água e pH em KCl (1N) foram adotadas metodologias descritas por VETTORI (77).

A determinação do teor de K-disponível, também foi feita segundo VETTORI (77), através da fotometria de chama.

Para a extração do Ca e Mg trocáveis foi utilizada uma solução 1N de KCl. Suas determinações foram feitas por absorção atômica, segundo metodologia descrita por HUNTER (27).

A CTC foi determinada somando-se os cátions determinados pelas análises mencionadas anteriormente. Foram também calculadas as relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$ .

### 3.3. Caracterização do solo

Foi feita uma análise total do perfil para determinação dos teores de óxidos totais pelo ataque sulfúrico. Para tal, submeteu-se o equivalente a 2,0 g de T.F.S.E. à fervura, sob refluxo, durante uma hora na presença de 50 ml de  $H_2SO_4$   $d = 1,47$  para a determinação dos teores de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO_3$ ,  $TiO_2$  e  $P_2O_5$ , segundo metodologia descrita por VETTORI (77).

A determinação dos teores de óxidos de ferro livres foi feita após oxidação da matéria orgânica e redução do ferro com ditionito de sódio e complexação pelo citrato de sódio 0,3 M e bicarbonato de sódio 1,0 M. Para desenvolvimento da cor foi empregado o ácido ascórbico, orto-fenantrolina a 0,25% e solução de citrato de sódio 25%, sendo a leitura realizada em fotocolorímetro no comprimento de onda de 530 nm, conforme JACKSON (29).

A análise textural foi determinada de acordo com a metodologia descrita por BOUYOUCOS (9).

Para a determinação do material de origem por análise mineralógica através da difração pelo Raio-X, foi seguida a metodologia descrita por JACKSON (28).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, inicialmente serão abordados os efeitos dos tratamentos nas variáveis relacionadas à planta e, posteriormente, em relação ao perfil do solo.

##### 4.1. Efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas em relação à planta.

Os resultados das análises de variância podem ser observados resumidamente no quadro 1, e, individualmente, para cada variável, nos apêndices 1 a 8, seguidas da apresentação dos dados originais nos apêndices 20 a 27.

##### 4.1.1. Efeito dos tratamentos na produção de grãos (ton/ha) e nas % de K, Ca e Mg na folha do milho.

As análises de variância revelaram que foram significativos, ao nível de 1% de probabilidade, os efeitos de doses de KCl nas % de K, Ca e Mg, na primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga, colhida por ocasião do grão pastoso. Para a variável produção de grãos (ton/ha) não foi observado nenhum efeito de trata-

mento (quadro 1).

Com o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada ao solo observou-se um aumento no teor de K (%) na folha amostrada e, inversamente, uma diminuição nos teores de Ca (%) e Mg (%) (quadro 2 e figura 5). Houve ainda uma interação significativa entre métodos de aplicação e doses de  $K_2O$  no teor de Mg (%). (Quadro 3).

Apesar dos dados apresentados no quadro 2 mostrarem que o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada promoveu um correspondente aumento no teor de K na folha, não se observou um aumento estatisticamente significativo na produção. ~~Dessa forma pode-se então inferir~~ que, como o K é o íon mais abundante na planta, VASCONCELLOS et alii (76), e que o aumento do teor do nutriente na planta, não correspondeu a um aumento na produção, houve então um "consumo de luxo" de K, conforme MALAVOLTA (40) e TISDALE & NELSON (72).

Os resultados apresentados no quadro 2 para o teor de K na folha (%) mostram que em todas as doses aplicadas de  $K_2O$  (kg/ha) os teores encontrados na folha estão acima de 0,70% e a produção de grãos, maior que 3 ton/ha. Pode-se, então, concluir que, mesmo quando não se aplicou K, as plantas foram suficientemente supridas deste nutriente que, provavelmente, estava retido de alguma forma no solo; pois, além de não ter havido diferença significativa na produção de grãos, produções médias abaixo de 2,5 ton/ha e deficiência aguda, só ocorrem quando o nível de K na folha for inferior a 0,70, conforme LOUÉ (38). Infere-se daí que o teor de K na folha pode ser um parâmetro a considerar quando se deseja saber se a planta está bem suprida deste nutriente, já

QUADRO 1. Resumo das análises de variância da produção de grãos (ton/ha), das porcentagens de K, Ca, Mg e das relações (Ca + Mg)/K, Ca/K, Mg/K, Ca/Mg, encontradas na folha do milho, colhido por ocasião do grão pastoso. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	Significância das variáveis analisadas pelo teste F							
		K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Produção grãos ton/ha	(Ca + Mg)/K	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg
Blocos	2	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Doses (D)	4	**	**	**	NS	**	**	**	**
E (a)	8								
Parcelas	14								
Métodos (M)	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E (b <sub>1</sub> )	6								
M x D	12	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
E (b <sub>2</sub> )	24								
TOTAL	59								

NS = Não significativo

\* = Significativo ao nível de 5%

\*\* = Significativo ao nível de 1%.



QUADRO 2. Efeito de doses de  $K_2O$  nas variáveis analisadas relacionadas à planta. Média de 4 métodos de aplicação e 3 repetições. Lavras-MG. 1983.

Doses de $K_2O$ kg/ha	K	Ca	Mg	Produção grãos	(Ca+Mg)/K	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg
	--- % na folha ---			--- kg/ha ---				
0	0,925 <sub>c</sub>	1,050 <sub>a</sub>	0,557 <sub>a</sub>	3466,200	1,819 <sub>a</sub>	1,186 <sub>a</sub>	0,632 <sub>a</sub>	1,876 <sub>b</sub>
60	1,439 <sub>b</sub>	0,904 <sub>ab</sub>	0,342 <sub>b</sub>	3855,616	0,879 <sub>b</sub>	0,637 <sub>b</sub>	0,244 <sub>b</sub>	2,714 <sub>ab</sub>
120	1,690 <sub>ab</sub>	0,870 <sub>ab</sub>	0,283 <sub>bc</sub>	3997,884	0,695 <sub>b</sub>	0,522 <sub>b</sub>	0,173 <sub>b</sub>	3,112 <sub>ab</sub>
240	1,852 <sub>a</sub>	0,817 <sub>b</sub>	0,234 <sub>bc</sub>	4099,183	0,576 <sub>b</sub>	0,447 <sub>b</sub>	0,129 <sub>b</sub>	3,653 <sub>ab</sub>
480	1,917 <sub>a</sub>	0,814 <sub>b</sub>	0,173 <sub>c</sub>	4071,517	0,517 <sub>b</sub>	0,426 <sub>b</sub>	0,091 <sub>b</sub>	4,934 <sub>a</sub>
DMS Tukey 5%	0,432	0,230	0,164	NS	0,498	0,329	0,182	2,296
cv. Parcela	14,44	13,50	26,94	12,97	29,07	26,77	37,43	36,88
cv.sub-Parcela	9,01	11,07	16,11	13,38	29,23	26,54	35,71	16,24

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 3. Teor de Mg (%) na folha do milho para cada método de aplicação de KCl, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas. Lavras-MG. 1983.

Métodos	Doses K <sub>2</sub> O (kg/ha)				
	0	60	120	240	480
	----- Mg % -----				
Sulco	0,506 a	0,335 b	0,323 b	0,235 b	0,201 b
Faixa 20 cm	0,535 a	0,286 b	0,303 b	0,244 b	0,174 b
Faixa 40 cm	0,570 a	0,409 b	0,258 bc	0,260 bc	0,181 c
Lanço	0,618 a	0,337 b	0,249 bc	0,197 bc	0,138 c

DMS Tukey (5%) = 0,139

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As comparações são no sentido horizontal.

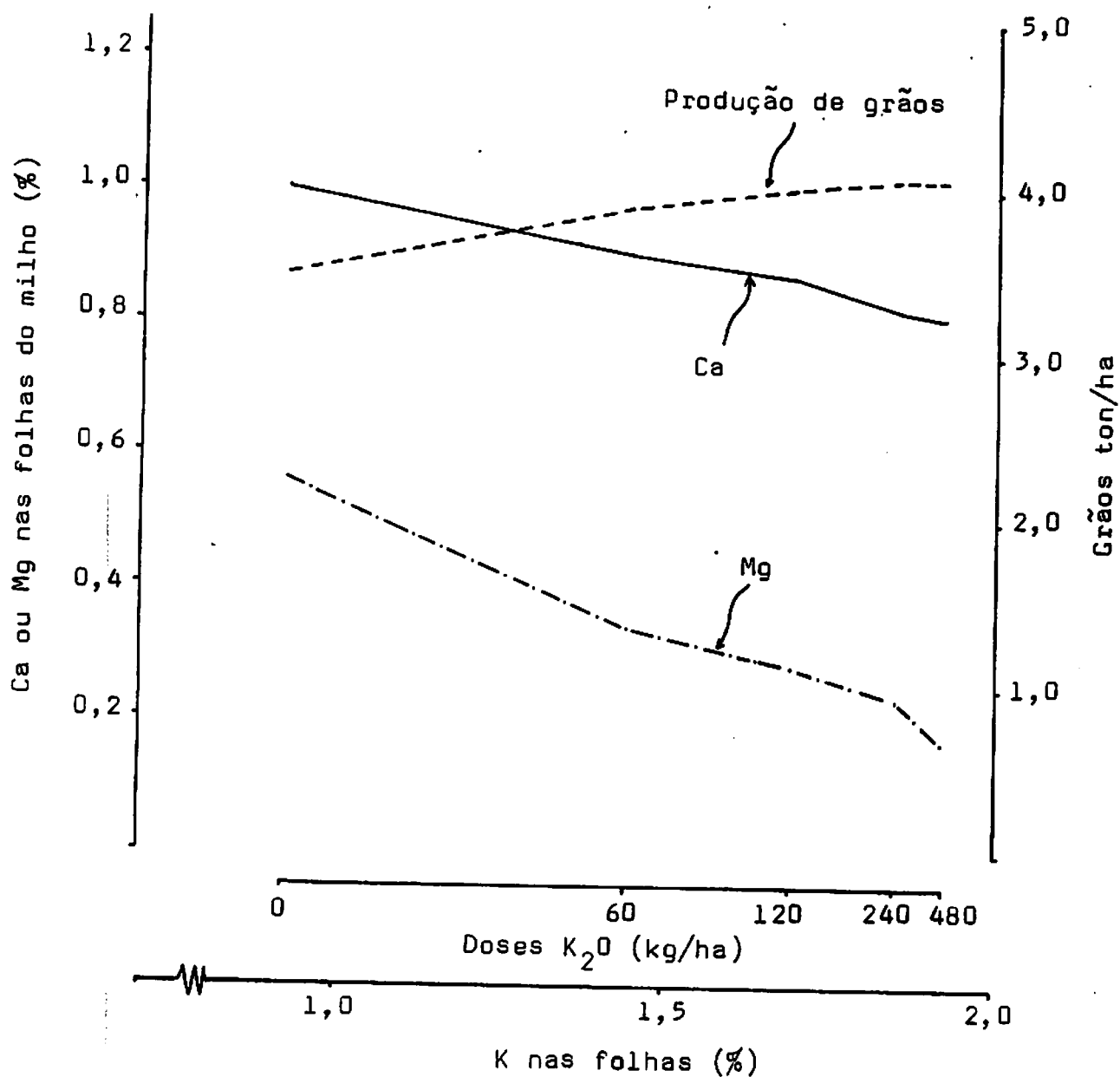


FIGURA 5. Teores de Ca, Mg e K (%) encontrados nas folhas do milho e produção de grãos (ton/ha), em relação as doses de  $K_2O$  aplicadas. Lavras-MG. 1983.

que está cada vez mais evidente, que os estudos de nutrição potássica do milho podem ser feitos em função dos níveis do elemento nas folhas, LOUÉ (38) e WALKER & PECK (79).

Outro ponto que talvez explique o fato de não ter havido resposta na produção de grãos, em função das doses de  $K_2O$  aplicadas, pode estar ligado ao alto potencial do sistema radicular das gramíneas em explorar o K do solo. Conforme Mengel & Wiechens, citados por MENGEL (48), as gramíneas podem se nutrir de concentrações relativamente baixas de K favorecendo a liberação do K- não trocável. Sendo assim o milho poderá se nutrir satisfatoriamente de K, quando seu nível na solução for baixo; o que reflete, segundo MENGEL (48), na sua frequente baixa resposta à aplicação de fertilizantes potássicos.

O teor de Ca (%) na folha diminuiu com o aumento do nível de  $K_2O$  aplicado (Quadro 2). O Ca e o K são íons que competem pelo mesmo carregador, MALAVOLTA (39) e BLACK (8), o que explica os resultados obtidos. Entretanto, é sabido que o Ca é importantíssimo para a retenção do K na planta, e que o mesmo favorece a absorção de K. É o chamado "efeito viets", em outras palavras, a omissão do cálcio, favorece a perda do potássio da planta, pois há uma baixa resistência da membrana à saída do potássio, BARBER (5) e EPSTEIN (20).

O teor de Mg (%) também diminuiu com o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada (Quadro 2). O que também é explicado pelo fato do Mg, assim como o Ca, competir pelo mesmo carregador que o K, MALAVOLTA (39) e BLACK (8); dessa forma, o aumento da concentração

de um elemento no meio implica na diminuição do outro. De acordo com MALAVOLTA (42), a relação K/Mg na planta, geralmente, varia entre 7 e 10; e se o teor de Mg for relativamente baixo, os sintomas de falta ou excesso, poderão aparecer quando a relação for da ordem de 15 a 20. No presente trabalho apesar dos valores da relação, em alguns casos, estarem abaixo daqueles citados por MALAVOLTA (42), talvez não tenha influenciado na produção, devido ao fato do teor absoluto de Mg ter sido suficiente para a nutrição da planta. E, por outro lado, a relação não chegou a limites prejudiciais que provocasse o aparecimento de deficiência, induzida pelo excesso de K, Welte & Werner (1963), citados por MALAVOLTA (42).

Se o teor de Mg não tivesse sido suficiente, provavelmente, notar-se-ia, ou o sintoma de deficiência, ou algum efeito na produção, quando das variações nas doses de  $K_2O$  aplicadas. O Mg é de extrema importância para a fotossíntese da planta, pois, além de fazer parte da molécula de clorofila, sendo crucial para a conversão de energia, é também ativador de enzimas relacionadas ao metabolismo energético, EPSTEIN (20) e MALAVOLTA (42). Pode-se então inferir que na dose zero de  $K_2O$  aplicada não houve diferença na produção em relação as outras doses, em função de uma liberação de K de formas não disponíveis devida ao efeito da calagem, contribuindo para evitar alterações muito sensíveis nas relações do Ca e Mg com o K, quando da variação das doses de  $K_2O$  aplicadas.

Houve efeito significativo na interação método de aplicação de  $K_2O$  x dose de  $K_2O$  aplicada para a % Mg na folha, como pode ser observado no quadro 3. Nas aplicações em sulco e em faixa de

20 cm, o teor de Mg nas folhas foi maior na dose zero de  $K_2O$ , não apresentando diferença em relação as outras doses. Para as aplicações em faixa de 40 cm e à lanço, houve uma diminuição do teor de Mg, na folha do milho, a medida que se aumentou a dose de  $K_2O$  aplicada. Provavelmente esse efeito seja devido ao fato de que nos métodos de aplicação em sulco e em faixa de 20 cm, o K se encontrasse em maior concentração por ter menor área de contato com o solo. Essa elevada concentração provoca uma alteração no balanço da solução do solo que, por haver um antagonismo entre K:Mg e uma relação inversa na absorção de um quando se aumenta o teor do outro, MALAVOLTA (39), MALAVOLTA (42), RAIJ (57) e USHERWOOD (75), é provável que o Mg tenha sido menos absorvido quando se aplicou K. Nos casos de aplicação em faixa de 40 cm e a lanço, o que se observa é uma provável diluição do efeito das doses, em função de estar em contato com maior área de solo, não influenciando tanto na absorção do Mg.

Na prática, é muito difícil ajustar as relações de cátions, principalmente porque a capacidade de troca de cátions, na maioria dos solos sob cerrado, é em geral muito baixa, LOPES (35) e RITCHEY (58). Assim, teores muito altos de cálcio e/ou magnésio diminuem a disponibilidade de potássio; e, teores muito altos de potássio podem agravar as deficiências de Mg, RAIJ (57). E, esse mesmo autor apresenta algumas regras práticas, que podem servir de orientação quando do manejo de adubações: a) não deixar o teor de K ultrapassar o de Mg, ambos em meq; b) manter altos níveis de Ca, ajudando a evitar perdas de K por lixiviação e reduzindo o consumo de luxúria.

#### 4.1.2. Efeito dos tratamentos nas relações $(Ca + Mg)/K$ ; $Ca/K$ ; $Mg/K$ e $Ca/Mg$ na folha do milho.

Como pode ser observado no quadro 1, para as relações estudadas, houve efeito de doses de  $K_2O$  aplicadas, não havendo nenhuma influência dos métodos de aplicação do  $KCl$ .

Pela comparação das médias das relações estudadas (Quadro 2), observa-se que na ausência da aplicação de  $K$ , os valores das relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  e  $Mg/K$  foram maiores do que quando se aplicou algum  $K$ , e, que não houve diferença significativa nos valores destas relações para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg  $K_2O/ha$ .

Dessa forma pode-se então inferir que a absorção do  $K$  depende diretamente de sua concentração e indiretamente da concentração de  $Ca$  e  $Mg$ . Os resultados do quadro 2, embora apresentando as relações de modo inverso, estão de acordo com MALAVOLTA (40) e MIELNICZUK (50), para os quais o parâmetro intensidade é que define, num dado instante, a disponibilidade do elemento para a planta, e que uma baixa relação  $K/\sqrt{Ca + Mg}$  no meio, deve determinar um abaixamento no teor de  $K$  e elevação no teor dos outros dois cátions. Resultados semelhantes foram encontrados por LOUÉ (37). Ele observou que o aumento no fornecimento de  $K$  para o milho, fazendo crescer no meio a relação em questão, causou aumento nos teores foliares de  $K$  e diminuição nos teores de  $Ca$  e  $Mg$ , o que foi acompanhado de um aumento na produção. Esses resultados concordam com aqueles observados no quadro 2, onde se nota que o aumento das doses de  $K$ , promoveu uma diminuição na relação inverti-

da  $(Ca + Mg)/K$ , e um aumento na produção de grãos, apesar de não terem sido estatisticamente significativos.

Não se observou diferença significativa nos valores das relações envolvendo K, com o incremento do mesmo no solo; entretanto, pode-se dizer que os valores dessas relações tiveram uma tendência de diminuir com o aumento da dose  $K_2O$  aplicada, que foi acompanhado pela mesma tendência de aumento na produção de grãos.

A relação  $Ca/Mg$  aumentou com o incremento dos níveis de  $K_2O$  aplicado (Quadro 2), o que pode ser atribuído a uma redução proporcionalmente maior nas concentrações de Ca. Resultados semelhantes foram encontrados por ARANTES (2), que além de variar a relação  $Ca/Mg$  no corretivo, variou também os níveis de K aplicado. O autor notou ainda redução proporcionalmente maior dos níveis de Mg, influenciada pelo aumento dos níveis de K.

A figura 6 dá uma idéia geral do efeito das doses de  $K_2O$  aplicadas nas relações em estudo. Observa-se que com o incremento nas doses de K, houve diminuição nos valores das relações, exceto para a relação  $Ca/Mg$ . Resultados semelhantes foram observados por ARANTES (2); e concordam com Freeman, citado por MUNSON (53) e LOUÉ (37); para os quais o aumento na adubação potássica era acompanhado pelo aumento das relações invertidas  $K/Mg$  e  $K/Ca$ , enquanto que o valor da relação  $(Ca + Mg)/K$  diminuía. ARANTES (2) também encontrou que, independente dos níveis dos corretivos utilizados, os valores das relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  e  $Mg/K$  foram maiores para os menores níveis de K utilizados, o que pode ser atribuído a uma maior concentração de Ca e Mg na parte aérea em menores concentra



relações

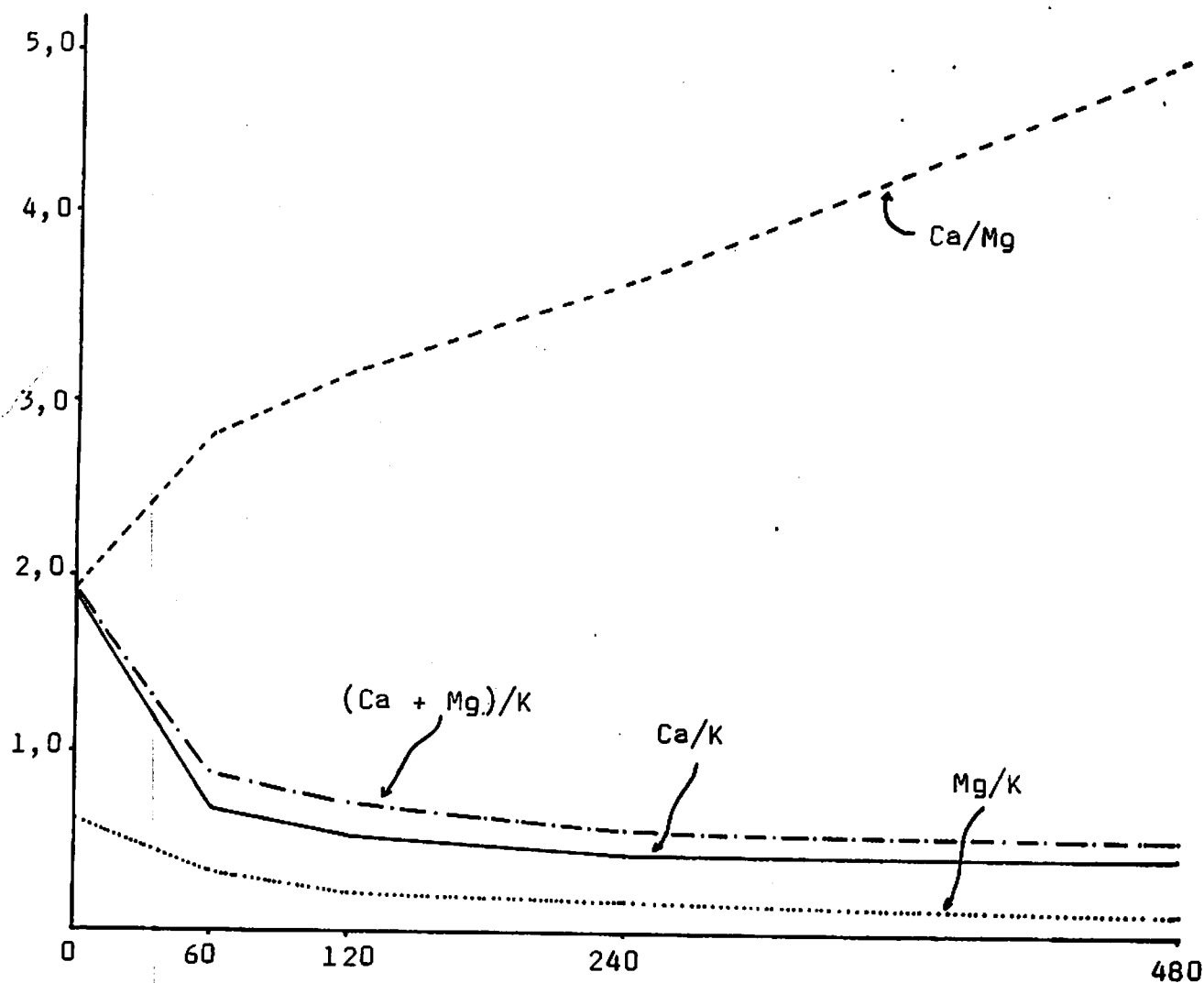


FIGURA 6. Tendência nas variações das relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$  nas folhas do milho cultivado em um LRD, em função do aumento das doses de  $K_2O$  aplicadas. Lavras-MG., 1983.

ções de K.

Apesar de não ter havido efeito significativo na produção de grãos, de acordo com LOUÉ (37), a produção de milho é também função do balanço entre cátions K, Ca e Mg na parte aérea, pois estes cátions são absorvidos em determinadas proporções que estão correlacionadas com o rendimento obtido. USHERWOOD (75) encontrou que a medida que a produção de grãos aumentava, geralmente a relação K/Ca aumentava, enquanto que a relação (Ca + Mg)/K no tecido vegetal diminuía. Para ARANTES (2), ao avaliar os níveis de suficiência de K, Ca e Mg na parte aérea do milho, melhores resultados poderão ser obtidos se forem consideradas, também, as relações entre esses cátions.

#### 4.2. Efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas em relação ao solo.

Fez-se o estudo dos efeitos dos tratamentos em profundidade, através das médias dos 5 pontos de amostragem na camada de 0-40 cm e das médias dos 5 pontos de amostragem de 40 até 120 cm. Para efeito de discussão o K encontrado na camada mais superficial foi considerado como aproveitável pelo sistema radicular da maioria das culturas, e aquele encontrado na camada mais profunda como K lixiviado.

Os resultados das análises de variância podem ser observados resumidamente no quadro 4 e, individualmente, para cada variável analisada, nos apêndices 9 a 19, bem como a apresentação dos dados originais nos apêndices 28 a 38.

QUADRO 4. Resumo das análises de variância dos teores de K, Ca, Mg e Al; da CTC "efetiva", do PH em H<sub>2</sub>O, pH em KCl, e das relações (Ca + Mg)/K, Ca/K, Mg/K, Ca/Mg, obtidos das análises do solo. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	Significância das variáveis analisadas pelo teste F										
		K	Ca	Mg	Al	CTC	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	$\frac{Ca + Mg}{K}$	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg
Doses (D)	3	**	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Blocos	2	**	NS	*	NS	*	NS	**	NS	*	NS	NS
E (a)	6											
Parcelas	11											
Métodos (M)	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E (b <sub>1</sub> )	6											
M x D	9	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E (b <sub>2</sub> )	18											
Sub-Parcelas	47											
Profundidades (P)	1	**	**	**	**	**	NS	**	**	**	**	**
D x P	3	**	**	NS	*	**	**	NS	NS	NS	NS	*
M x P	3	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
M x D x P	9	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E (c)	32											
TOTAL	95											

NS = Não significativo  
 \* = Significativo ao nível de 5%  
 \*\* = Significativo ao nível de 1%.

#### 4.2.1. Efeito dos tratamentos no teor de K-disponível no perfil do solo.

A análise de variância (apêndice 17) mostra que houve efeito de doses de aplicação de  $K_2O$ , da profundidade de amostragem, além de ter havido efeito nas interações dose x profundidade, método x profundidade, e dose x método x profundidade. As comparações das médias desses efeitos são apresentadas nos quadros 5, 6 e 7.

Por comparação das médias dos tratamentos apresentados no quadro 5, observa-se que para a dose de 480 kg/ha de  $K_2O$  aplicada, foi encontrado maior teor de K-disponível; e, que para as doses de 240, 120 e 60 kg/ha de  $K_2O$  aplicado não houve diferença significativa, apresentando apenas tendência de diminuição do teor de K-disponível a medida que diminuía o nível de K aplicado. No mesmo quadro observa-se ainda, numa comparação horizontal das médias, que os maiores teores de K-disponível foram detectados na camada de 0-40 cm, para todas as doses de aplicação de  $K_2O$ . Isto já era esperado, pois a aplicação do  $K_2O$ , na forma de KCl, foi bem superficial e, mesmo que as perdas por lixiviação tenham sido grandes, é provável que a maior parte do K aplicado ainda se encontre à superfície. Quando se faz uma comparação no sentido vertical das médias do quadro 5, avaliando-se o efeito das doses dentro de cada profundidade, observa-se que para a camada de 0-40 cm de profundidade, a menor dose de  $K_2O$  aplicada foi a que apresentou menor teor de K-disponível; enquanto que as doses de 120 e 240 kg/ha de  $K_2O$ , apesar de apresentarem maiores teores de K-disponível que a anterior, não diferiram entre si; e, esses teores de K-disponível fo

QUADRO 5. Teor de K-disponível (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Camadas (cm)		Média
	0-40	40-120	
	----- meq K/100 cm <sup>3</sup> -----		
60	0,096 <sub>a</sub> C	0,039 <sub>b</sub> B	0,068 B
120	0,119 <sub>a</sub> B	0,044 <sub>b</sub> B	0,081 B
240	0,135 <sub>a</sub> B	0,047 <sub>b</sub> B	0,091 B
480	0,183 <sub>a</sub> A	0,068 <sub>b</sub> A	0,126 A

DMS Tukey (5%) para efeito de doses = 0,023 e para a interação dos efeitos de doses x profundidades = 0,016.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são com letras minúsculas e no sentido vertical com maiúsculas.

ram ainda menores do que aqueles na dose de 480 kg/ha de  $K_2O$ . Na camada de 40-120 cm, somente a maior dose de  $K_2O$  aplicada apresentou maior teor de K-disponível; enquanto que, entre as outras doses não houve diferença significativa, mas apenas uma tendência de diminuição, a medida que diminuía o nível de  $K_2O$  aplicado.

O constante maior teor de K-trocável em função da maior dose de  $K_2O$  aplicada era de se esperar. Entretanto, sabe-se que em função do solo em estudo apresentar em sua mineralogia, predominância de caulinita, gibbsita e goethita, a possibilidade de retenção é muito baixa; ou talvez intermediária como afirma BOWER (10). Trabalhando com solos de características semelhantes, de baixa CTC efetiva, baixa soma de cargas negativas e baixo poder tampão do potássio (PTK), SOUZA et alii (68), encontraram baixa retenção de cátions; e, afirmaram que, como perdas por lixiviação são também função da concentração dos cátions, tratamentos que receberam altas doses de K apresentaram perdas acentuadas. Dessa maneira, apesar de que para as maiores doses de  $K_2O$  aplicadas é que tenham sido encontrados os maiores teores de K-disponível, não se revoga a possibilidade de que, também para as maiores doses de  $K_2O$  aplicadas, tenham sido maiores as perdas por lixiviação, além do consumo de luxo.

Houve efeito da profundidade de amostragem, como pode ser observado no quadro 6, pela comparação das médias no sentido horizontal. Tanto no efeito de profundidade, como no efeito da interação entre métodos de aplicação do  $K_2O$  x profundidade de amostragem, em todas as situações, os maiores teores de K-disponível foram encontrados na camada de 0-40 cm de profundidade. Isto evidencia, mais

QUADRO 6. Teor de K disponível (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função dos métodos de aplicação do cloreto de potássio. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Camadas (cm)	
	0-40	40-120
	meq K/100 cm <sup>3</sup>	
Sulco	0,121 a B	0,065 b B
Faixa 20 cm	0,137 a AB	0,043 b B
Faixa 40 cm	0,139 a A	0,038 b AB
Lanço	0,136 a AB	0,051 b AB
MÉDIA	0,133 a	0,50 b

DMS Tukey (5%) para métodos x profundidades é 0,016

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são com letras minúsculas e no sentido vertical com letras maiúsculas.

uma vez, que sempre os maiores teores de K-disponível estão sendo encontrados na camada mais superficial, o que, provavelmente, se deve ao fato do fertilizante potássico (KCl) ter sido aplicado bem à superfície. Entretanto, FRANCO & MEDINA (22) em quatro anos de observação encontraram, já no primeiro ano, teores mais elevados abaixo de 30 cm de profundidade.

Ainda pelo quadro 6, numa comparação vertical das médias, ou seja, fixando-se a profundidade e analisando-se o efeito dos métodos de aplicação de  $K_2O$ , nota-se uma tendência dos maiores teores de K-disponível serem encontrados primeiramente para o método de aplicação em faixa 40 cm seguido de faixa 20 cm, lanço e sulco, na camada de 0 a 40 cm. Enquanto que, para a camada de 40 a 120 cm a tendência foi inversa; o que sugere que para os métodos de aplicação em sulco e à lanço, as perdas de K por lixiviação foram maiores. Pode-se, dessa maneira, aceitar que a aplicação do K em sulco, promoveu uma maior perda de K por lixiviação, o que é explicado pelo fato de que devido a uma alta concentração de K numa pequena porção do solo, tenha ocorrido uma maior descida com a percolação, em função de não haver sítios de troca disponíveis para reterem o K. O nutriente deslocou-se então para camadas mais profundas ficando inacessível às plantas, SANZONOWICZ (65). As aplicações em faixas, devido permitir o contato do fertilizante com maior número de sítios de troca do solo, reduziram as quantidades de K nas camadas mais profundas, permitindo possivelmente, além de menores perdas por lixiviação, maior possibilidade de absorção pelas plantas, BARBER (4) e MIELNICZUK (50).



Para a aplicação à lanço esperava-se, ao contrário do que ocorreu, que pouco potássio fosse encontrado na camada 40 a 120 cm, devido a possibilidade de ser totalmente retido na camada superior, já que a área de contato do adubo com o solo foi muito maior. É provável que o mesmo tenha ocorrido em função de ter havido, mesmo nas maiores doses, grande diluição do K e, como havia sido feita calagem igualmente na área toda, o Ca foi mais fortemente retido não tendo o K força suficiente para deslocá-lo, e sendo assim perdido por lixiviação para camadas mais profundas, junto a água de percolação.

Pelo quadro 7 pode-se analisar a interação entre métodos de aplicação x profundidades de amostragem x doses de  $K_2O$  aplicadas. Observa-se que para a aplicação em sulco, nas duas profundidades analisadas, o maior teor de K-disponível foi encontrado para a maior dose de  $K_2O$  aplicada, não havendo diferença estatística entre as outras três doses aplicadas; apesar de se notar uma tendência de aumentar o teor no solo com o aumento do nível de  $K_2O$  aplicado. É de se esperar que, num mesmo intervalo de tempo considerado, maiores teores de K-disponível sejam encontrados para as maiores doses de  $K_2O$  aplicadas, mesmo que as perdas também tenham sido maiores. O efeito residual da aplicação de potássio é bastante dependente da dose aplicada, da sua retirada pelas culturas e das perdas que ocorrem por lixiviação, MIELNICZUK (49).

Para a aplicação do K no método de faixa 20 cm, o que se observou foi um aumento do teor de K-disponível na camada de 0 a 40 cm, a medida que se aumentou a dose de  $K_2O$  aplicada, sem se notar diferença entre as doses de 120 e 240 kg/ha de  $K_2O$ . E, para a

QUADRO 7. Teor de K-disponível (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K<sub>2</sub>O aplicado na forma de KCl, para cada método de aplicação. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Camadas (cm)	Doses K <sub>2</sub> O (kg/ha)			
		60	120	240	480
----- meq K/100 cm <sup>3</sup> -----					
Sulco	0-40	0,100 <sub>b</sub>	0,106 <sub>b</sub>	0,119 <sub>b</sub>	0,158 <sub>a</sub>
	40-120	0,043 <sub>b</sub>	0,053 <sub>b</sub>	0,056 <sub>b</sub>	0,108 <sub>a</sub>
Faixa 20 cm	0-40	0,085 <sub>c</sub>	0,119 <sub>b</sub>	0,146 <sub>b</sub>	0,200 <sub>a</sub>
	40-120	0,038 <sub>a</sub>	0,037 <sub>a</sub>	0,043 <sub>a</sub>	0,056 <sub>a</sub>
Faixa 40 cm	0-40	0,102 <sub>b</sub>	0,117 <sub>b</sub>	0,154 <sub>a</sub>	0,183 <sub>a</sub>
	40-120	0,036 <sub>a</sub>	0,039 <sub>a</sub>	0,039 <sub>a</sub>	0,040 <sub>a</sub>
Lanço	0-40	0,097 <sub>b</sub>	0,132 <sub>b</sub>	0,121 <sub>b</sub>	0,192 <sub>a</sub>
	40-120	0,041 <sub>a</sub>	0,048 <sub>a</sub>	0,048 <sub>a</sub>	0,069 <sub>a</sub>

DMS Tukey (5%) para a interação tripla = 0,032

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As comparações são no sentido horizontal.

a camada mais profunda, de 40 a 120 cm, não se observou diferença entre nenhuma das doses de  $K_2O$  aplicadas, mas apenas uma tendência de aumento do teor de K-disponível com o aumento no nível aplicado (Quadro 7).

No método em faixa 40 cm (Quadro 7), na camada de 0 a 40 cm de profundidade, os maiores teores de K-disponível foram encontrados quando o  $K_2O$  foi aplicado nas doses de 240 e 480 kg  $K_2O/ha$ , enquanto que para a camada de 40 a 120 cm não se observou nenhum efeito.

Quando da aplicação a lanço, na profundidade de 0-40 cm, à maior dose de  $K_2O$  correspondeu o maior teor de K-disponível encontrado, não havendo diferença entre as outras três doses. Para a profundidade de 40 a 120 cm não houve diferença entre as doses aplicadas, para teores de K-disponível encontrados.

Para os métodos de aplicação em faixa 20 cm, faixa 40 cm e a lanço, na camada de 40 a 120 cm, não houve diferença estatística entre as doses de  $K_2O$  e sim, apenas uma tendência de aumento com o aumento do nível de  $K_2O$  aplicado. Isto sugere que, nesses métodos, houve uma maior retenção do K na camada superior, MIELNICZUK (49), BARBER (4) e SANZONOWICZ (65). Para a maior dose de aplicação de  $K_2O$  no sulco, foi encontrado maior teor de K-disponível na camada de 40 a 120 cm de profundidade, e é provável que uma elevada concentração numa pequena área tenha superado a capacidade de retenção do K, que desceu para camadas mais profundas. Está de acordo com RITCHEY (59), para o qual uma aplicação pesada de K em sulco, pode ultrapassar a capacidade de retenção dos Oxissolos, fa

vorecendo sua lixiviação.

Pode-se então inferir que neste solo e em outros de mesmas características, onde predominam condições de baixa CTC e precipitação elevada ( $\approx 1500$  mm), as possibilidades de perdas por lixiviação são tão grandes quanto maiores forem as concentrações de K aplicada. Ou seja, quanto menores forem as possibilidades de retenção de K, implicando numa menor área de contato do mesmo com o solo, maiores serão as perdas por lixiviação. Conforme Boyer (1972), citado por BOWER (10), lixiviação de K onde as precipitações são de 2500 mm/ano, é um fator de perda de K considerado muito importante para o manejo da adubação, nos solos que contenham pouco ou nenhum argilo mineral com capacidade de reter o K nas intercamadas. Afirmam ainda ENGELSTAD & RUSSEL (19), que as lixiviações ocorrem, mais rapidamente, em solos com textura arenosa ou com alto conteúdo de hidróxidos de Fe e Al, onde predomina baixa CTC, e onde a precipitação é elevada ou o manejo é inadequado.

Conforme MUNSON (54) quando se aplica K à lanço na superfície do solo, com o cultivo, provoca-se uma lenta mistura aumentando o contato do K com o solo e diminuindo a taxa de lixiviação. A adequada dose de aplicação dependerá da CTC do solo. Para aplicação de baixas taxas tanto faz aplicação em faixas ou a lanço; enquanto que para aplicações acima de 300 kg/ha de  $K_2O$ , a aplicação a lanço tem grande vantagem por permitir maior contanto do adubo com o solo.

Considerando os principais fatores que influenciam na movimentação do K como sendo: a CTC do solo; pH ou reação do solo ;

localização e taxa de aplicação do fertilizante potássico; tipo, granulometria e revestimento do fertilizante; combinações e fontes de outros nutrientes aplicados com o fertilizante potássico; e a intensidade, duração e frequência das chuvas; de acordo com Munson & Nelson (1963) citados por MUNSON (54), pode-se pensar em algumas maneiras de aplicação do potássio que diminuam suas perdas por lixiviação.

MUNSON (54), afirma que a calagem diminui as perdas por lixiviação em muitos solos, porque aumenta CTC resultante de cargas dependentes de pH e, também pelo fato de K substituir o Ca no complexo de troca mais facilmente do que o H ou Al. Essas cargas estão associadas com a matéria orgânica e com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio no solo, CURI (16).

Conforme RITCHEY et alii (62) as reações dos ânions com os constituintes do solo, apresentam uma ampla gama de variação e são importantes na determinação do padrão de lixiviação. Os cloretos e nitratos de Ca, Mg e K são muito solúveis e não apresentam reações específicas com partículas do solo movimentando-se com relativa rapidez através do perfil.

Os teores de K-disponível encontrados no perfil foram transformados em kg/ha de  $K_2O$  e estudados em termos de porcentagem encontrada na camada de 0-40 cm profundidade; e, a porcentagem considerada como perdida por estar fora do alcance do sistema radicular, correspondente à camada de 40 a 120 cm de profundidade (Quadros 8 e 9). Observa-se que em termos de porcentagem relativas a cada tratamento, individualmente, as maiores "perdas" foram observadas nas

QUADRO 8. Teores de K-disponível (kg/ha) no perfil do solo variando os métodos de aplicação, para cada dose de  $K_2O$  (kg/ha), aplicada na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

K <sub>2</sub> O aplicado (kg/ha)	Camadas (cm)	Métodos de aplicação			
		Sulco	Faixa 20 cm	Faixa 40 cm	Lanço
		Kg K disponível/ha			
60	0-40	94,18	80,05	96,06	91,36
	40-120	40,50	35,79	33,91	30,61
120	0-40	99,83	112,07	110,19	124,32
	40-120	49,92	34,35	36,73	45,21
240	0-40	112,07	137,50	145,04	113,96
	40-120	52,74	40,50	36,73	45,21
480	0-40	148,80	188,36	172,35	180,83
	40-120	101,71	52,74	37,67	64,98

aplicações em sulco e à lanço (Quadro 9).

As figuras 7(a e b) e 8 (a e b), que foram obtidas pela plotação dos dados originais médias das 3 repetições, ou seja, antes de se obter a média dos cinco pontos de amostragens até 40 cm e de 40 a 120 cm de profundidade, também evidenciam que os maiores teores em profundidades são apresentados nas aplicações em sulco e a lanço. Isto demonstra que, independente da dose de  $K_2O$  aplicada, as aplicações em sulco e a lanço estão apresentando constantemente maior ação de fatores que contribuíram para maior lixiviação do K.

Para a aplicação em sulco esperava-se uma maior perda por lixiviação em função de uma elevada concentração que saturaria os pontos de troca disponíveis para reter o K. Além disso, devido ao fato de se ter aplicado no sulco de plantio, em todos os tratamentos, adubos que continham sulfato na sua composição (sulfato de amônio, superfosfato simples), é possível que tenha favorecido a lixiviação do K, por aumentar o teor de  $SO_4^{=}$  na solução, que acompanharia o K na sua descida. Esse efeito deve ser mais pronunciado para doses mais elevadas de KCl aplicadas. Muitas evidências obtidas a campo pela EMBRAPA (18), mostram a importância do  $SO_4^{=}$  na lixiviação de Ca e Mg para camadas dos sub-solo. Entende-se que a utilização de doses muito elevadas de  $SO_4^{=}$  apresentarão maior eficácia na lixiviação, podendo, favorecer as perdas de K, Ca e Mg. CARLSON et alii (12), também encontraram resultados que evidenciam esse efeito, ou seja, com aumento na dose de gesso uma maior quantidade do K aplicado foi deslocada para baixo.

QUADRO 9. Movimentação de K (kg K<sub>2</sub>O/ha) no perfil K aproveitado (%) e K lixiviado (%), para cada método de aplicação e dose aplicada. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses de K <sub>2</sub> O aplicada (kg/ha)	Métodos de aplicação	Teor encontrado no solo			K <sub>2</sub> O aplicado + K <sub>2</sub> O do solo (kg/ha <sup>2</sup> )		Balanço = Encontrado - total do solo		K no perfil (%) total aproveitado lixiviado		
		0-120cm	0-40cm	40-120cm	0-120cm	0-40cm	0-120cm	0-40cm	0-120cm	0-40cm	40-120cm
		----- kg K <sub>2</sub> O/ha -----					----- % -----				
60	Sulco	134,68	94,18	40,50			39,83	8,75	141,99	110,24	31,75
	Faixa 20cm	115,34	80,05	35,79	94,85	85,43	20,99	- 5,38	122,13	93,70	28,43
	Faixa 40cm	129,97	96,06	33,91			35,12	10,63	137,03	112,44	24,59
	Laço	129,96	91,36	38,61			35,12	5,93	137,03	106,94	30,09
120	Sulco	149,75	99,83	49,92			-5,10	-45,60	96,71	68,64	28,07
	Faixa 20cm	146,92	112,07	34,85	154,85	145,43	-7,93	-33,36	94,88	77,06	17,82
	Faixa 40cm	146,92	110,19	36,73			-7,93	-35,24	94,88	75,77	19,11
	Laço	169,53	124,32	45,21			14,68	-21,11	109,48	85,48	24,00
240	Sulco	164,81	112,07	52,74			-110,04	-153,36	59,96	42,22	17,74
	Faixa 20cm	178,00	137,50	40,50	274,85	265,43	-96,85	-127,93	64,76	51,80	12,96
	Faixa 40cm	181,77	145,04	36,73			-93,08	-120,39	66,13	54,64	11,49
	Laço	159,17	113,96	45,21			-115,68	-151,47	57,91	42,93	14,98
480	Sulco	250,51	148,80	101,71			-264,34	-366,63	48,66	29,44	19,22
	Faixa 20cm	241,10	188,36	52,74	514,85	505,43	-273,75	-317,07	46,83	37,27	9,56
	Faixa 40cm	210,02	172,35	37,67			-304,83	-333,08	40,79	34,10	6,69
	Laço	245,81	180,83	64,98			-269,04	-324,60	47,74	35,78	11,96

Teor de K (kg K<sub>2</sub>O/ha) encontrado no solo, antes da aplicação dos tratamentos foi 25,43 e 9,42 nas camadas de 0-40 e 40-120 cm; respectivamente.





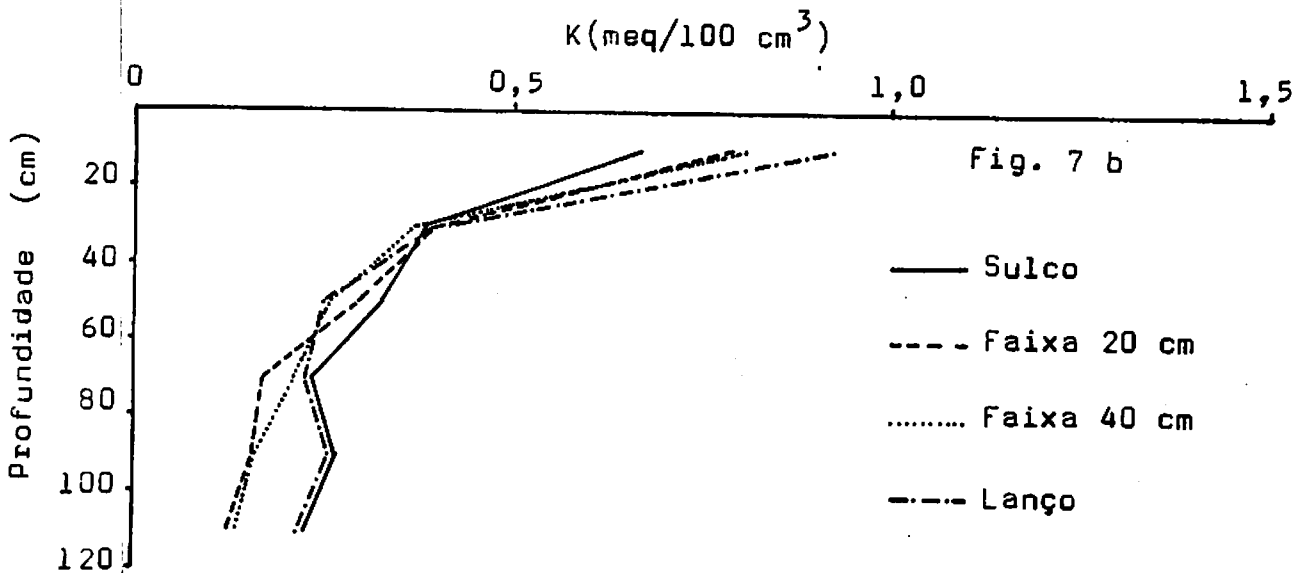
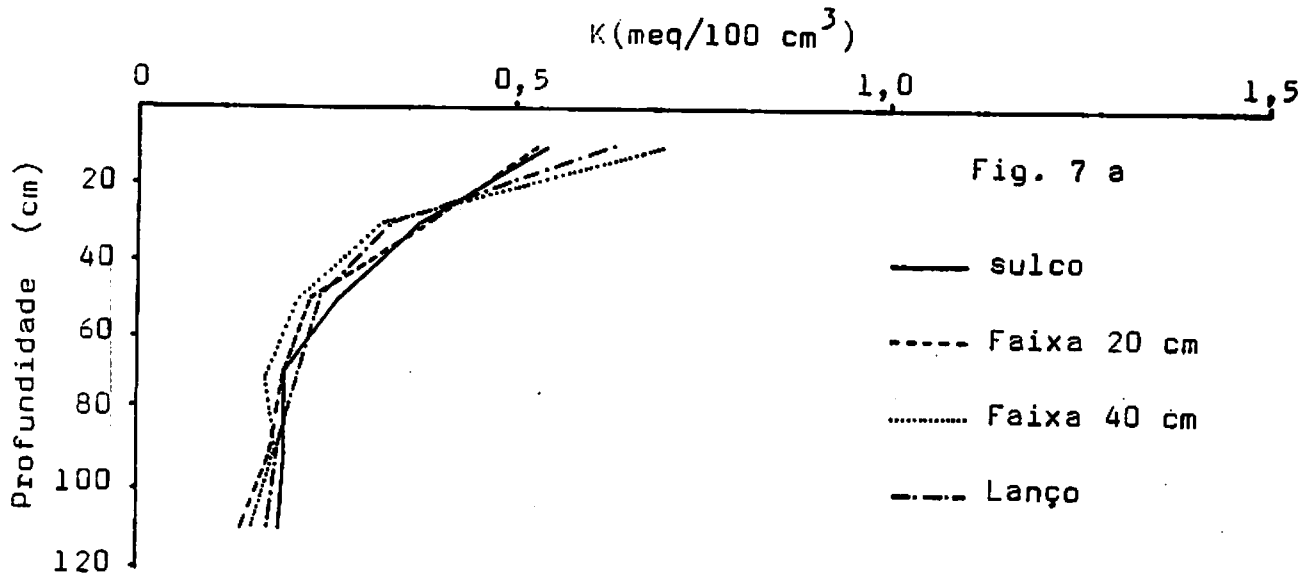


FIGURA 7. Movimentação do  $K$  (meq/100  $cm^3$ ) no perfil de um LRd, em função da variação dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço) para a dose de 60 kg  $K_2O$ /ha (Fig. 7 a) e para a dose 120 kg  $K_2O$ /ha (Fig. 7 b). Lavras-MG. 1983.

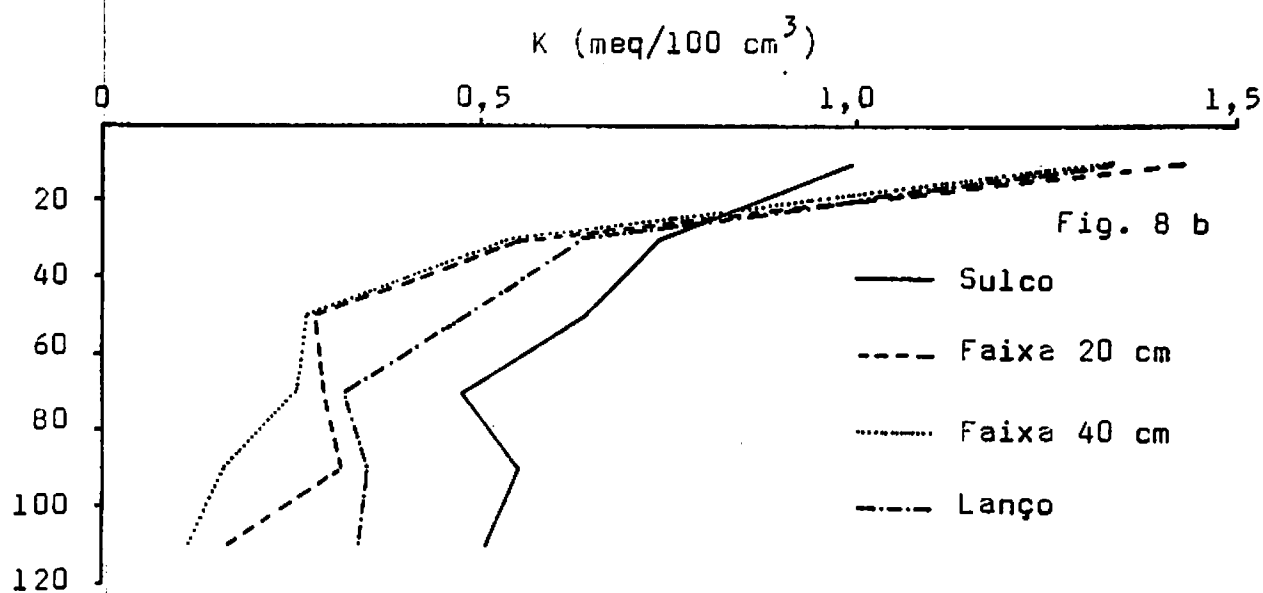
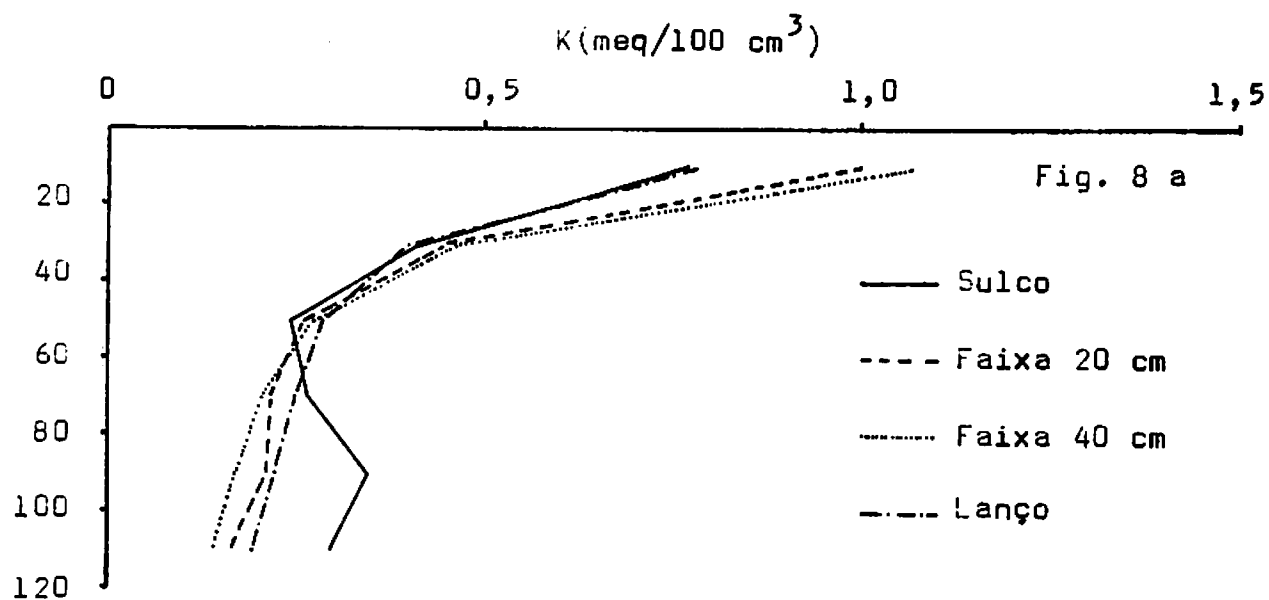


FIGURA 8. Movimentação do K (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil de LRd, em função da variação dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço) para a dose de 240 kg K<sub>2</sub>O/ha (Fig. 8 a) e para a dose de 480 kg K<sub>2</sub>O/ha (Fig. 8 b). Lavras-MG. 1983.

Outra evidencia de que o sulfato facilita a descida de cations foi encontrada por RITCHEY et alii (61), que mostraram que a lixiviação do K, no perfil de um LE reconstituído em coluna, foi muito mais severa quando apenas gesso foi incorporado. A aplicação de sulfato de cálcio combinado com calcário reduziu a lixiviação, enquanto que com a aplicação isolada de calcário, o K praticamente não se movimentou durante o período de estudo. RITCHEY et alii (62), comentam que no equilíbrio dinâmico do solo a neutralidade elétrica é mantida; íons positivamente carregados não lixiviam isolados, os cations são acompanhados por anions.

Ainda para o estudo do potássio no solo; procurou-se mais uma maneira de avaliar a movimentação do mesmo. Fez-se então uma amostragem das parcelas que não haviam recebido potássio, mas com as outras práticas de calagem, adubação e fosfatagem, idênticas às parcelas com potássio. Desta forma encontrou-se que o teor de K-disponível na camada de 0-40 cm de profundidade, onde não foi aplicado K, equivalente a 25, 43 kg/ha de  $K_2O$  e, na profundidade de 40 a 120 cm um teor de 9,42 kg/ha de  $K_2O$ . Pode-se então, de posse destes dados, fazer um balanço do teor de K no solo, ou seja, sem considerar o que a planta absorveu, já que não houve nenhum efeito na produção de grãos. O balanço foi dado pela diferença entre teor encontrado no solo (no final da coleta das amostras) - teor do solo ( $K_2O$  aplicado +  $K_2O$  disponível). Desta forma, considerando-se que o teor do solo, corresponderá a um total 100% de K no solo, pelo balanço pode-se calcular qual foi a porcentagem aproveitável ou lixiviada de cada tratamento; em outras palavras, qual a porcentagem foi encontrada no final do experimento para cada tratamento. No

quadro 9 estão apresentados esses valores para o perfil total (0-120 cm de profundidade); para a camada de 0 a 40 cm, considerado aproveitável pelas plantas; e, por diferença, a porcentagem na camada de 40 a 120 cm de profundidade, considerando como lixiviado por não estar ao alcance do sistema radicular.

Observa-se pelo quadro 9 que tanto considerando-se o perfil todo, quanto nas duas camadas analisadas, independente do método de aplicação, a medida que se aumentou a dose de  $K_2O$  aplicada aumentou a lixiviação.

A % de K encontrada no perfil quando se aplicou uma dose de 60 kg/ha de  $K_2O$  foi maior que 100% em todos os métodos de aplicação, independente do que a planta absorveu. Isto sugere que houve liberação de potássio. Esse K liberado, provavelmente, estava adsorvido na matéria orgânica, no material amorfo, e possivelmente em alguma carga das argilas. Essa liberação deve ter ocorrido em função da baixa concentração do K que, apesar de ter sido suficiente para nutrir a planta, favoreceu sua liberação em função da elevada concentração de cálcio devida à calagem ou seja, o Ca substituiu o K que possivelmente estava retido no solo.

Para a dose de 120 kg/ha de  $K_2O$  o que se observou foi que, apesar da % de K no perfil ter sido menor, ainda foi encontrado na camada de 0 a 40 cm de profundidade cerca de 86% do total; ou seja, uma quantidade considerada elevada e ainda passível de ser absorvida pelas plantas.

Nas doses de 240 e 480 kg de  $K_2O$  aplicadas por hectare, uma média de 48% e 34%, respectivamente, do K foi encontrada na ca

madã de 0-40 cm; donde se supõe que, além da quantidade absorvida pelas plantas como "consumo de luxo", houve ainda uma grande perda por lixiviação, já que as quantidades encontradas nas duas profundidades amostradas foram muito baixas (Quadro 9).

Trabalhando com um Oxissolo, SOUZA et alii (68), encontraram que para doses pesadas havia grande perda por lixiviação. Segundo esses autores, dado que a exploração efetiva das raízes é maior na profundidade de 0-30 cm, considera-se que o K detectado abaixo dessa profundidade é perdido por lixiviação. Verificaram que a lixiviação ocorreu com pequena intensidade no tratamento de 300 kg/ha de  $K_2O$ , e com maior intensidade no tratamento de 600 kg/ha de  $K_2O$ . Esses autores também tentaram quantificar o K lixiviado, ou seja, aquele da camada de 30 a 90 cm de profundidade, e encontraram para o tratamento que recebeu 600 kg/ha de  $K_2O$ , uma perda de aproximadamente 25% do K aplicado, no primeiro cultivo.

Para as doses de 240 e 480 kg/ha de  $K_2O$  aplicadas a porcentagem encontrada, tanto no perfil todo, como na camada mais profunda, foi muito pequena (Quadro 9). Infere-se então que, além do consumo de luxo, houve lixiviação a profundidade maiores que 120 cm. Esta hipótese pode ser melhor aceita ao se considerar que, nesses Oxissolos altamente intemperizados, a probabilidade de se encontrar  $\Delta pH$  positivo nas camadas mais profundas é grande, Os elevados teores de óxidos, nessas camadas favorecem a predominância de cargas positivas, sem possibilidade de reter o K favorecendo sua lixiviação para grandes profundidades. ANDRADE (1) encontrou  $\Delta pH$  positivo para as profundidades maiores que 50 cm num LE localizado ao lado desse experimento.

#### 4.2.2. Efeito dos tratamentos no teor de Ca no perfil do solo.

Os resultados de análise de variância podem ser observados no apêndice 10. Houve efeito altamente significativo para a profundidade de amostragem e para a interação dose de  $K_2O$  aplicada x profundidade de amostragem. As comparações das médias podem ser observadas no quadro 10.

Numa comparação das médias (Quadro 10) no sentido horizontal observa-se que para todas as doses de  $K_2O$  aplicadas, sempre o maior teor de Ca foi encontrado na camada de 0-40 cm de profundidade. Era o esperado, já que a calagem foi feita na superfície, incorporada até 20 cm de profundidade. Numa situação prática, os resultados que GUEDES (25) encontrou, sugerem que após calagem e adubação potássica, Ca e Mg podem ser retidos na superfície enquanto que o K desce por lixiviação. Dessa forma, o K será acumulado no subsolo, onde, se as condições forem desfavoráveis, as raízes não terão capacidade de crescer e absorvê-lo.

Por outro lado, observa-se numa comparação das médias (Quadro 10) no sentido vertical, que na camada de 0-40 cm de profundidade, para a maior dose de  $K_2O$  aplicada é que se encontrou o maior teor de Ca. Isto ocorreu provavelmente pelo fato de que com o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada a planta absorveu menos Ca, induzindo a manutenção de níveis mais elevados de Ca-trocável no solo pelo extrator utilizado (KCl 1N), como pode ser observado no quadro 2 e figura 5.

QUADRO 10. Teor de Ca trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K<sub>2</sub>O aplicadas, na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses de K <sub>2</sub> O kg/ha	Camadas (cm)	
	0-40	40-120
	----- meq Ca/100 cm <sup>3</sup> -----	
60	0,724 a B	0,154 b A
120	0,829 a AB	0,168 b A
240	0,745 a B	0,140 b A
480	1,129 a A	0,207 b A
MÉDIA	0,857 a	0,167 b

DMS Tukey (5%) doses x profundidades = 0,321

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são com letras minúsculas, e no sentido vertical com maiúsculas.

Não se observou efeito de dose de  $K_2O$  aplicada no teor de Ca na camada de 40 a 120 cm. Além do fato de que nessa profundidade não houve efeito da calagem, deve-se considerar também que a concentração do K era bastante baixa, não tendo força para deslocar o Ca.

De acordo com USHERWOOD (75) podem ocorrer interações significativas do Ca com o K, quando um solo é deficiente em um ou em ambos os nutrientes. Por exemplo em condições de deficiências de Ca, os estudos com seedlings de trigo mostraram uma absorção reduzida tanto de K como nitrogênio nítrico, Minotti et alii (1968) citado por USHERWOOD (75). Também pode-se prever problemas de balanceamento de nutrientes quando se aplica calcário em solos pobres em potássio; ou quando se aplica altas taxas de K e Mg em solos de baixa CTC e pobres em Ca. Tais problemas, no entanto, são em geral evitados por um programa racional de calagem e fertilização.

#### 4.2.3. Efeito dos tratamentos no teor de Mg no perfil do solo.

Os resultados da análise de variância podem ser observados no apêndice 11. Observa-se uma interação significativa entre método e dose de aplicação de  $K_2O$ , além do efeito da profundidade de amostragem. As comparações das médias podem ser observadas nos quadros 11 e 12, respectivamente.

O maior teor de Mg encontrado na camada mais superficial (Quadro 12), foi devido ao fato da calagem ter sido feita na camada superficial, ou seja, o teor de Mg encontrado no calcário foi



QUADRO 11. Teor de Mg trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, para cada dose de K<sub>2</sub>O(kg/ha) aplicado e cada método de aplicação do fertilizante, na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses de K <sub>2</sub> O	Métodos de aplicação			
	Sulco	Faixa 20 cm	Faixa 40 cm	Lanço
-- kg/ha --	--- meq Mg/100 cm <sup>3</sup> ---			
60	0,245 a A	0,247 a A	0,242 a A	0,254 a A
120	0,276 a A	0,254 a A	0,270 a A	0,275 a A
240	0,199 a A	0,136 a A	0,270 a A	0,265 a A
480	0,245 abA	0,181 b A	0,240 abA	0,321 a A

DMS Tukey (5%) para doses x métodos = 0,119

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são com letras minúsculas, e no sentido vertical com maiúsculas.

QUADRO 12. Teor de Mg trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Camadas (cm)	
0-40	40-120
--- meq Mg/100 cm <sup>3</sup> ---	
0,291 a	0,222 b

Comparação pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

responsável por esse acréscimo na camada superior.

Estudando-se o efeito de cada dose nos métodos de aplicação de  $K_2O$  (comparação horizontal das médias do quadro 11), observa-se que apenas na dose de 480 kg/ha de  $K_2O$  aplicada é que houve efeito dos métodos de aplicação. A medida que se aumentou a área de contato do KCl aplicado com o solo, ou seja, a medida que se di luiu o efeito de concentração do K houve uma tendência de aumentar o teor de Mg no solo. É um efeito de competição de íons no solo ; os cátions devem estar numa certa proporção na solução do solo pa ra que a mesma esteja em equilíbrio, BEAR & TOTH (7). Não se notou efeito para as outras doses de  $K_2O$  aplicadas, o que se deve, prova velmente, ao fato de que naquelas concentrações de K não havia des balanço na solução, que favorecesse as trocas em relação ao Mg, co mo foi discutido para o Ca.

#### 4.2.4. Efeito dos tratamentos no teor de Al no perfil do solo.

Os resultados da análise de variância estão apresentados no apêndice 12. Houve efeito da profundidade de amostragem e da interação dose de  $K_2O$  aplicada x profundidade de amostragem. A com para ção das médias dos teores de Al pode ser vista no quadro 13.

Pelo quadro 13 observa-se que o maior teor de Al trocável foi encontrado na camada superior, independente das doses de  $K_2O$  aplicadas. Apesar de ter sido feita uma calagem, é provável que seu efeito só tenha se restringido à camada de 0-20 cm de profundi dade; e, como os dados referem-se à médias das profundidades de

QUADRO 13. Teor de Al trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Camadas (cm)	
	0-40	40-120
	----- meq Al/100 cm <sup>3</sup> -----	
60	0,374 a A	0,322 b A
120	0,358 a A	0,286 b AB
240	0,366 a A	0,252 b B
480	0,267 a B	0,273 a AB
MÉDIA	0,341 a	0,283 b

DMS Tukey (5%) para doses x profundidades = 0,062

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são feitas com letras minúsculas e no sentido vertical com letras maiúsculas.

0-40 cm, infere-se que, mesmo com a calagem, o elevado teor de Al trocável na camada de 20 a 40 cm, fez com que, em média, as quantidades encontradas nessa camada fossem superiores as quantidades médias das camadas de 40 a 120 cm de profundidade.

Numa comparação das médias (Quadro 13) no sentido horizontal, nota-se que para todas as doses de  $K_2O$  aplicadas os maiores teores de Al trocável foram encontrados na camada superficial; exceto, para a dose de 480 kg/ha de  $K_2O$  em que não houve efeito da profundidade. Provavelmente, isto se deva ao fato de que devido a uma concentração muito elevada de K, este deslocou em maior quantidade tendo condições de competir com o Al deslocando-o para a solução do solo, TISDALE & NELSON (72) e THOMAS & HIPP (71). Apesar dos dados de troca de íons em solos altamente intemperizados serem escassos, alguns estudos já foram feitos, Pleysier et alii (1982), citado por GUEDES (25). Nye et alii (1961) citados por GUEDES (25), estudaram diferentes solos e argilas. Encontraram que para a troca entre K e Al em smectita, caulinita de dois Ultissolos da América do Norte, a preferência do Al sobre o K, pelos sítios de troca, pode inverter, dependendo da concentração de sal usada para deslocamento e do grau de saturação de K no complexo de troca.

Numa comparação das médias (Quadro 13) no sentido vertical ficou também evidenciado esse efeito. Observa-se que na camada de 0 a 40 cm, para a dose de 480 kg/ha de  $K_2O$  aplicado, foi que se encontrou o menor teor de Al trocável, por efeito da elevada concentração de K, enquanto que para a camada de 40 a 120 cm de profundidade, houve apenas uma tendência de diminuir o

teor de Al trocável com o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada. Esta tendência fortalece a suposição anteriormente mencionada para a camada superficial.

#### 4.2.5. Efeito dos tratamentos na CTC "efetiva" do perfil do solo.

Os resultados da análise de variância estão apresentados no apêndice 13. Houve efeito da profundidade de amostragem e da interação dose  $K_2O$  aplicada x profundidade de amostragem. A comparação das médias desses efeitos está apresentada no quadro 14.

A maior CTC "efetiva" foi encontrada na camada de 0 a 40 cm de profundidade independente da dose de  $K_2O$  aplicada, e mesmo para cada dose individualmente (comparação das médias do quadro 14 no sentido horizontal). Independente da dose de  $K_2O$  aplicada, o aumento da CTC "efetiva" na camada superior do solo foi devido à calagem, KAMPRAH & FOY (30), THOMAS & HIPPEL (71), TISDALE & NELSON (72), LOPES (33), GOEDERT et alii (23), RITCHEY (58), UEHARA & KENG (74), SANCHEZ (6.4) e COLEMAN & THOMAS (14). O maior teor de matéria orgânica na superfície do solo também colaborou para essa maior CTC "efetiva" na superfície. FASSBENDER (21) cita Klinge, que encontrou uma contribuição da matéria orgânica com cerca de 24 até 80% da CTC do solo.

Por outro lado, fixando-se a profundidade de amostragem numa comparação no sentido vertical das médias do quadro 14, o

QUADRO 14. CTC "efetiva" (meq/100 cm<sup>3</sup>) nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Camadas (cm)	
	0-40	40-120
	meq CTC/100 cm <sup>3</sup>	
60	1,475 a B	0,740 b A
120	1,614 a B	0,735 b A
240	1,549 a B	0,666 b A
480	1,867 a A	0,759 b A
MÉDIA	1,626 a	0,725 b

DMS Tukey (5%) para doses x profundidade = 0,158

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As comparações no sentido horizontal são feitas com letras minúsculas, e no sentido vertical com maiúsculas.

que se observa é que na camada de 0 a 40 cm de profundidade apenas na dose de 480 kg/ha de  $K_2O$  houve uma contribuição significativa no aumento da CTC "efetiva" do solo. Entretanto, não se encontrou uma explicação para esse aumento por efeito de um aumento na dose de  $K_2O$  aplicada. O que tem sido verificado quanto ao aumento da CTC "efetiva" desses solos é que práticas de manejo envolvendo calagem e/ou manutenção de níveis adequados de matéria orgânica, têm o efeito positivo de aumento da capacidade de geração de cargas dependentes de pH e na capacidade de troca catiônica, TUCCI (73). Esse efeito pode então contribuir para uma maior adsorção de K ao solo.

Para a camada de 40 a 120 cm não foi observada nenhuma diferença, provavelmente em função de não ter havido efeito da calagem para esta profundidade.

#### 4.2.6. Efeito dos tratamentos no pH $H_2O$ e pH KCl no perfil do solo.

Os resultados da análise de variância estão apresentados nos apêndices 14 (pH  $H_2O$ ) e 15 (pH KCl). Houve efeito da profundidade e da interação profundidade amostragem x doses de  $K_2O$  aplicada para a variável pH  $H_2O$ . Para o pH KCl houve efeito de doses de  $K_2O$  aplicadas e da interação dos efeitos de doses x profundidades. A comparação das médias desses efeitos está apresentada no quadro 15.

QUADRO 15. pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl nas camadas de 0-40 e 40-120 cm em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) aplicadas na forma de KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Camadas (cm)	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha				Média
	60	120	240	480	
	----- pH H <sub>2</sub> O -----				
0-40	5,196 a <sub>B</sub>	5,187 a <sub>B</sub>	5,222 a <sub>B</sub>	5,497 a <sub>B</sub>	5,275 a
40-120	4,875 b <sub>A</sub>	4,862 b <sub>A</sub>	4,910 b <sub>A</sub>	4,890 b <sub>A</sub>	4,884 b
	----- pH KCl -----				
0-40	4,553 a <sub>B</sub>	4,543 a <sub>B</sub>	4,577 a <sub>B</sub>	4,843 a <sub>A</sub>	
40-120	4,553 ba <sub>A</sub>	4,578 a <sub>A</sub>	4,666 a <sub>A</sub>	4,630 b <sub>A</sub>	
MÉDIA	4,545 B	4,561 AB	4,622 AB	4,737 A	

DMS Tukey (5%) pH H<sub>2</sub>O e pH KCl para doses x profundidades = 0,135  
DMS Tukey (5%) pH KCl para doses = 0,182

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Comparações no sentido horizontal com letras maiúsculas, e no sentido vertical com minúsculas.



Observa-se maior pH  $H_2O$  na camada de 0 a 40 cm de profundidade, para todas as doses de  $K_2O$  aplicadas. Esses valores mais altos foram devidos ao efeito da calagem na camada superior.

Numa comparação das médias no sentido horizontal (Quadro 15), observa-se que o pH  $H_2O$  foi maior na dose de 480 kg/ha de  $K_2O$ . Para a camada de 40-120 cm não se notou efeito de doses no pH  $H_2O$ .

Para o pH KCl houve efeito das doses de  $K_2O$  aplicadas (comparação horizontal das médias no quadro 15), onde se observa uma tendência de aumentar o pH KCl com o aumento da dose de  $K_2O$ . Em relação à profundidade não se observou efeito na camada de 40 a 120 cm de profundidade; enquanto que na camada de 0 a 40 cm apenas a maior dose de  $K_2O$  aplicada é que se destacou dos demais elevando o pH KCl.

#### 4.2.7. Efeito dos tratamentos nas relações $(Ca + Mg)/K$ ; $Ca/K$ ; $Mg/K$ e $Ca/Mg$ no perfil.

Os resultados das análises de variância estão apresentados nos apêndices 16; 17; 18 e 19, respectivamente para  $(Ca+Mg)/K$ ;  $Ca/K$ ;  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$ . A comparação das médias se encontra no quadro 16.

O efeito das doses de  $K_2O$  aplicadas foi observado para todas as relações estudadas em relação à profundidade de amostragem. Observou-se que para as relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  e  $Mg/K$  os maiores valores são encontrados na profundidade de 40 a 120 cm,

QUADRO 16. Relações (Ca + Mg)/K, Ca/K, Mg/K e Ca/Mg nas camadas de 0-40 e 40-120 cm, em função das doses de K<sub>2</sub>O (kg/ha) e dos métodos de aplicação do KCl. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Variável	Camadas		
	0-40	40-120	
(Ca + Mg)/K	9,621 b	10,998 a	
Ca/K	Métodos de aplicação		
	Sulco	7,741 a A	4,584 b A
	Faixa 20 cm	7,027 a A	4,187 b A
	Faixa 40 cm	5,468 a B	3,615 b A
	Lanço	6,873 a A	4,393 b A
	MÉDIA	6,777 a	4,270 b
Mg/K	2,843 b	6,502 a	
Ca/Mg	Doses K <sub>2</sub> O		
	60	2,713 a B	0,932 b B
	120	2,675 a B	0,990 b AB
	240	2,579 a B	0,817 b B
	480	4,362 a A	1,572 b A
	MÉDIA	3,082 a	1,078 b

DMS Tukey (5%) para métodos x profundidades = 1,155

DMS Tukey (5%) para doses x profundidades = 0,618

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Comparações no sentido horizontal são feitas com letras minúsculas, e no sentido vertical com maiúsculas.

enquanto que para a relação Ca/Mg ocorreu o inverso, devido ao fato de que a camada superior recebeu alta dose de Ca por efeito da calagem. Os maiores valores para as relações (Ca + Mg)/K, Ca/K e Mg/K eram mesmo esperados na profundidade de 40 a 120 em função do teor de K ser mais elevado na superfície, como foi anteriormente discutido.

Para a relação Ca/K houve interação dos efeitos de métodos de aplicação x profundidade de amostragem. Numa comparação das médias no sentido horizontal (Quadro 16), observa-se que os maiores valores para esta relação foram encontrados na camada de 0 a 40 cm, devido ao fato da calagem ter sido feita na camada superior do solo, em todos os métodos de aplicação de  $K_2O$ . Numa comparação das mesmas médias no sentido vertical observa-se que, para a camada de 0 a 40 cm, apenas no método de aplicação em faixa de 40 cm é que a relação foi menor, provavelmente, em função de um desbalanço na solução. Enquanto que na camada de 40 a 120 cm não houve diferença entre os métodos de aplicação.

Para a relação Ca/Mg, numa comparação no sentido horizontal das médias do quadro 16, observa-se que os maiores valores para a mesma foram encontrados nas camadas superiores, para todas as doses de aplicação de K O. Numa comparação destas médias no sentido vertical observa-se <sup>2</sup> que na camada de 0 a 40 cm de profundidade o maior valor da relação foi encontrado para a maior dose de  $K_2O$ , sem haver diferença entre as outras doses. Isto significa que na dose mais elevada, provavelmente o K tenha competido mais facilmente com o Mg. Na profundidade de 40 a 120 cm, a

tendência foi a mesma.

Esse equilíbrio ideal entre cátions no solo deve ser considerado quando se almeja uma racionalização de adubação, apesar de ser muito difícil se pensar numa fórmula padrão de equilíbrio ideal, para o desenvolvimento de plantas, pois as variações entre solos e dentro de um mesmo perfil são muito grandes. Os resultados encontrados por GUEDES (25), mostraram claramente que as diferenças do equilíbrio catiônico na superfície e subsolo, são função das variações na composição mineralógica da superfície e subsolo. Esta composição mineralógica aliada a diferenças no conteúdo de matéria orgânica, acompanhada de interações organo-minerais, explicam estas diferenças de seletividade obtidas. Conforme esse autor, a preferência para Ca e Mg sobre o K na superfície do solo é bem explicada pelo efeito da valência; pois o equilíbrio na troca de íons envolvendo Ca-K, Mg-K e Ca-Mg, mostraram que Ca e Mg são preferencialmente retidos na superfície, enquanto que o K é preferencialmente adsorvido no subsolo. Os dados do quadro 16 mostram que o efeito de elevada concentração de K, quando altas doses de  $K_2O$  foram aplicadas, favoreceram a retenção do K na superfície. Esses resultados contrariam a lei da preferência de adsorção pela maior valência, seguindo a lei da força da maior concentração, FASSBENDER (21).

Outros autores também estudaram essas relações. Conforme USHERWOOD (75), as relações entre os cátions são frequentemente calculadas para se identificar qual a melhor relação do potássio com o magnésio e com o cálcio. Esse autor não encontrou uma boa

correlação, entre relações Ca/K e/ou (Ca + Mg)/K, para os solos e culturas. No milho a relação K/Ca variou com a fonte e quantidade de N aplicada. A medida que a produção de grãos aumentava, geralmente a relação K/Ca aumentava, enquanto que a relação (Ca + Mg)/K no tecido vegetal diminuía. Está de acordo com os resultados apresentados no quadro.2, apesar de não ter sido notada diferença significativa na produção quando se aumentou a dose de  $K_2O$  aplicada.

Um estudo das interações de K/Mg, em solos bastante intemperizados do Brasil Central, foi apresentado por USHERWOOD (75). Durante três anos de observação foi avaliada a reação da cultura ao K aplicado (dose de até 500 kg/ha), com e sem a aplicação de magnésio. Onde o Mg não foi aplicado os sintomas de sua deficiência tornaram-se evidentes no milho, no 2º ano. No 3º ano os níveis de Mg original do solo desceram aos limites de resposta. Quando o Mg foi aplicado na dose de 97 kg/ha, as produções de soja aumentaram 37% a mais que a testemunha (7 kg/ha Mg).

Quando se pensa no manejo da adubação potássica e calagem, essas relações devem ser consideradas. Aplicando calcário em solos que tenham uma relação (Ca + Mg)/K variando de 3,2 a 8,3, ou seja, solos que refletem níveis deficientes desses nutrientes, então os níveis de alumínio trocáveis serão neutralizados e aumentados os níveis de cálcio trocável. E se for utilizado um calcário dolomítico aumentará também o nível de Mg. Se uma grande quantidade de calcário calcítico for usada, a deficiência de Mg poderá restringir as produções, mesmo que o nível da relação

(Ca + Mg)/K ultrapasse 13.3, USHERWOOD (75). Do mesmo modo, a resposta da cultura ao potássio pode ser esperada quando esses solos recebem calagem para eliminar os fatores limitantes da produção causado pelo Al tóxico e/ou pelos baixos níveis de Ca e Mg.

Os dados discutidos podem ter uma grande implicação agrônômica. Em termos de concentração da solução do solo maior pluviosidade, induzindo uma maior quantidade de água no solo, provocará uma diluição da solução e uma maior adsorção de íons divalentes e trivalentes em relação aos monovalentes. Relacionando esses conceitos e seus efeitos ao manejo de uma adubação potássica em solos que são de baixíssima CTC com predominância de caulinita, óxidos e hidróxidos de Fe e Al e que em geral necessitam grandes doses de calcário para precipitar o Al e aumentar o pH, pode-se inferir que se a solução contiver elevada quantidade de íons di e trivalentes em função de manejo inadequado, uma diluição da mesma provocará, com certeza, maior lixiviação de K em relação aos outros cátions.

Na maioria dos solos altamente intemperizados da região tropical, existe baixa possibilidade de se encontrar teores de K suficientes e passíveis de serem absorvidos pelas culturas. Este fato aliado a enorme possibilidade de perda por lixiviação do potássio aplicado, leva a necessidade de se aumentar a eficiência de fertilizantes contendo este nutriente sendo os mesmos 100% importados.

Desde que consubstanciada a necessidade da aplicação de fertilizantes potássicos à grande maioria dos solos tropicais e

sub-tropicais, seriam, sem dúvida, altamente recomendáveis, ou tras pesquisas enfocando o problema de manejo de tais adubos, ob jetivando descobrir novas técnicas que minimizem as perdas por lixiviação e, conseqüentemente, possibilitem seu uso mais eficiente pelas culturas.

## 5. CONCLUSÕES

1. A liberação de K no solo por efeito da calagem explica porque a produção de grãos não respondeu às doses de  $K_2O$  aplicadas na forma de KCl.
2. Houve aumento proporcional da % de K na folha com o aumento da dose de  $K_2O$  aplicada sem haver aumento na produção, indicando "consumo de luxo" de potássio.
3. Com o aumento das doses de  $K_2O$  houve maior absorção de K e menor absorção de Ca e Mg pelas folhas de milho bem como diminuição nas relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  e  $Mg/K$ .
4. Os maiores teores de K-disponível no perfil foram encontrados para as maiores doses de  $K_2O$  aplicadas.
5. O contato do KCl com uma maior área de solo quando o mesmo foi aplicado em faixas, favoreceu uma maior retenção do K numa profundidade explorável pelas raízes das plantas.
6. A aplicação de cloreto de potássio concentrado numa área (aplicação em sulco) favoreceu a lixiviação de K para camadas mais profundas. As aplicações a lanço, mesmo nas doses mais



pesadas, também induziram a maiores perdas de K por lixiviação.

7. Em termos de movimentação de K no perfil do solo, com aplicação de doses mais elevadas de  $K_2O$  a lixiviação foi maior.

8. Os resultados obtidos indicam que, em termos práticos de recomendação de adubação potássica, para condições semelhantes as de realização do experimento, o mais aconselhável seria uma aplicação em faixa de 20 e 40 cm com doses de até 120 kg  $K_2O$ /ha, permitindo uma menor perda de fertilizantes potássicos por lixiviação.

## 6. RESUMO

A necessidade de se avaliar métodos de aplicação que aumentassem a eficiência do cloreto de potássio (que é totalmente importado no Brasil) levou a este estudo baseado na hipótese de que o contato deste fertilizante com maior área de solo resultaria em menores perdas de potássio por lixiviação e maior aproveitamento pela planta.

O estudo foi desenvolvido em um Latossolo Roxo Distrófico, sob vegetação de cerrado, recentemente desmatado, que apresentou caulinita, gibbsita, goethita e hematita além de traços de clorita na fração argila do horizonte Ap. Foram utilizadas 2,5 toneladas de calcário por hectare para corrigir a acidez e 240 kg de  $P_2O_5$  por hectare (na forma de superfosfato simples) como fosfatagem corretiva.

A cultura utilizada foi o milho híbrido Ag-301 que recebeu uma adubação convencional com 300 kg/ha de sulfato de amônio (100 kg no plantio e 200 kg em cobertura), 350 kg/ha de superfosfato simples, 20 kg/ha de sulfato de zinco e 9 kg/ha de borax.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso com 3 repetições, utilizando-se parcelas sub-divididas em faixas para estudos relacionados as plantas e parcelas sub-sub-divididas para as análises de solo. As doses de  $K_2O$  correspondem às parcelas, os métodos de aplicação às sub-parcelas e a profundidade de amostragem às sub-sub-parcelas.

Os tratamentos consistiram de quatro doses de  $K_2O$  na forma de KCl: 60, 120, 240 e 480 kg  $K_2O$ /ha para avaliação dos parâmetros nas amostras de solo, mais uma testemunha (zero kg  $K_2O$ /ha) para estudo de parâmetros de planta; e quatro métodos de aplicação de cloreto de potássio: sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm e lanço. Duas profundidades diferentes foram utilizadas para estudo das amostras de solo: 0 a 40 cm, considerada como área explorável pelo sistema radicular do milho e camada de 40 a 120 cm de profundidade considerada como não explorável pelo sistema radicular da maioria das culturas.

As variáveis analisadas em relação à planta foram: porcentagem de K, Ca e Mg; produção de grãos (ton/ha); e as relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$ . Em relação ao solo foram analisados os níveis de K, Ca, Mg, Al e CTC ( $meq/100\text{ cm}^3$ ), pH em  $H_2O$ , pH em KCl, e as relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  e  $Ca/Mg$ .

Não houve efeito significativo dos tratamentos na produção de grãos apesar desta ter sido maior nas maiores doses de  $K_2O$ . Aplicação de doses pesadas de  $K_2O$  proporcionou aumento na % de K e na relação  $Ca/Mg$  na folha do milho, além de causar uma diminuição nas % de Ca e Mg e nas relações  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  e

Mg/K.

De uma maneira geral observou-se na camada de 0-40 cm de profundidade, a medida que se aumentou a dose de  $K_2O$  aplicada, um aumento no teor de K-disponível, na CTC "efetiva", Al-trocável, na relação Ca/Mg e uma diminuição nos teores de Ca e Mg trocáveis, nas relações  $(Ca + Mg)/K$ , Ca/K e Mg/K.

Um aumento na área de contato do KCl com o solo em faixas de 20 e 40 cm, resultou em menores perdas de K por lixiviação. A aplicação do fertilizante em sulco provocou perda excessiva por lixiviação, provavelmente em função de uma elevada concentração numa pequena área de solo; enquanto que na aplicação a lanç, mesmo nas maiores doses, houve grande efeito de diluição da concentração do KCl favorecendo também a lixiviação.

Em relação a doses de  $K_2O$  aplicadas, independente do método de aplicação, uma menor movimentação do K para a camada de 40 a 120 cm foi observada nas doses de 60 e 120 kg  $K_2O/ha$ .

Com relação aos métodos de aplicação, maior aproveitamento foi observado nas aplicações em faixas de 20 e 40 cm para todas as doses de  $K_2O$  aplicadas.

Concluiu-se que aplicações de KCl em doses muito pesadas favoreceram perdas por lixiviação, "consumo de luxo" e, provavelmente, um desbalanço de cátions. Um aumento da eficiência da adubação potássica com KCl pode ser obtido com aplicações em faixas de 20 e 40 cm.

## 7. SUMMARY

The need for evaluating methods of application that would increase KCl efficiency (KCl is totally imported in Brazil) led to the present study which was based on the hypothesis that a larger fertilizer soil particles contact would result in lower K losses due to reduced leaching and consequently higher efficiency of the applied K-fertilizer.

The study was carried out under field conditions on a Dystrophic Dark Red Latosol, recently deforested soil originally under savanna vegetation. Mineralogical analysis of the clay fraction showed presence of kaolinite, gibbsite, goetite, and hematite, besides traces of chlorite in the Ap horizon. The soil was limed with 2.5 ton/ha limestone to correct soil acidity. Also, "build-up" phosphate fertilization was carried out with 240 kg/ha  $P_2O_5$  as simple superphosphate.

Plots were fertilized with 300 kg/ha ammonium sulphate (100 kg at planting and 200 kg side dressing), 350 kg/ha simple superphosphate, 20 kg/ha zinc sulphate and 9 kg/ha borax. After fertilization, a hybrid corn "Ag-301" was sown and cultivated until grain production.

The experimental design was in randomized blocks with three replications. A split-plot band system was used for plant analysis, and a split-split-plot for soil analyses. Rates of  $K_2O$  correspond to plots; methods of application to sub-plots; and depth of soil sampling to split-split-plots. Treatments consisted of four different rates: 60, 120, 240 and 480 kg  $K_2O$ /ha for soil sampling, plus one control sample (0 kg  $K_2O$ /ha) for plant variables; and the following methods of KCl application: furrow, 20 cm band, 40 cm band, and surface broadcast. Also depths of 0-40 cm and 40-120 cm were used for soil sampling.

Plant variables studied were: leaf percentage of K, Ca, Mg,  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$  and  $Ca/Mg$  ratios, and grain yield (ton/ha). Soil variables were: K, Ca, Mg, Al and CEC (meq/100  $cm^3$ ); pH in  $H_2O$ , pH in KCl,  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  and  $Ca/Mg$  ratios.

No significant effect of the treatments was observed on grain yield but a slight increase in yields were observed at the higher rates of  $K_2O$ . These rates of  $K_2O$  showed an increase in the percentage of K and  $Ca/Mg$  ratio and a decrease of Ca and Mg percentages,  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  and  $Ca/Mg$  on corn leaves. It was also observed an increase of available K in the soil, effective CEC, exchangeable Al,  $Ca/Mg$  ratio and a decrease in exchangeable Ca, Mg,  $(Ca + Mg)/K$ ,  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  ratios in the 0-40 cm layer. Changes in soil parameters were related to the rates of  $K_2O$  applied.

A higher contact area between KCl and soil, in 20 cm and 40 cm bands, reduced K losses due to leaching. Furrow KCl appli-

cation led to excessive leaching probably as a result of the high salt concentration in a small area of soil. The broadcast application, also favored K leaching, probably because of a dilution effects of the rates of KCl.

Rates of applied  $K_2O$  regardless to method of application, gave higher K movement to the 40 to 120 cm layer at rates of 60 and 120 kg  $K_2O$ /ha. Band applications of KCl gave higher efficiency at all rates of  $K_2O$  applied.

It was concluded that the use of KCl at very high rates favored losses of K due to leaching, "luxury consumption" and probably, soil cation unbalance.

An increased efficiency for KCl fertilizer application can be achieved by band applications, as compared to furrow and surface broadcast application.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, H. Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras-MG, em correlação com a geomorfologia da área. Lavras, ESAL, 1979. 84p. (Tese de Mestrado).
2. ARANTES, E.M. Efeitos da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentrações de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico do milho (Zea mays, L.). Lavras, ESAL, 1983. 62 p. (Tese de Mestrado).
3. BALIGAR, V.C. A brief outlook on fertilizer use efficiency in the tropics. Sete Lagoas, EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1980.
4. BARBER, S.A. Efficient fertilizer use. In: Agronomic research for food. Madison, American Society in Agronomy, 1976. p. 13-29 (ASA-Special Publication).
5. \_\_\_\_\_. Mechanism of potassium absorption by plants: In : KILMER, V.J. et alii. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. p.293 - 319.



6. BARBER, S.A.; MUNSON, R.D. & DANCY, W.B. Production marketing and use of potassium fertilizers. In: OLSON, S.A. et alii, Fertilizer technology and use. 2. ed. Madison, Soil Science Society of American, 1971. p. 303-34.
7. BEAR, F.C. & TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other soil cations. Soil Science, Maryland, 65-69-74, jan./jun. 1948.
8. BLACK, C.A. Soil plant relationships. 2. ed. New York, John Willey, 1967. 792 p.
9. BOUYOUCOS, C.J. The hidrometer method in the study of soils. Soil Science, Maryland, 25:365-9, 1928.
10. BOWER, C.A. Leaching of adsorbed potassium from humid tropical soils. Soil Science Society of American Proceedings, 39:594-96, Jan./Dez. 1975.
11. BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 6. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 647 p.
12. CARLSON, R.M.; BUCHANAN, J.R.; KAPUSTKA, T.E. & URIU, K. Displacement of fertilizer potassium in soil columns with gypsum. Journal of the American Society for Horticultural Science, 99(3):221-2, May/Jun. 1974.

13. CARMO, D.N. do. Caracterização, gênese e uso de Latossolos sob cerrado no município do Rio Paranaíba-MG. Lavras-MG., ESAL, 1977. 84p. (Tese de Mestrado).
14. COLEMAN, N.T. & THOMAZ, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, . . Soil acidity and liming. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
15. COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS . Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG , 1976. 80p.
16. CURI, N. Lithosequence and toposequenece of Oxissols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. Purdue, Purdue University West Lafayette, 1983. 158p. (Tese PhD).
17. DIBB, D.W. Potassium placement. In: POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE. Potassium for agricultura; a situation analysis. Atlanta, 1980. p.123-31.
18. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Cerrados. Relatório Técnico Anual de 1977-1978. Planaltina, 1979. 192p.
19. ENGELSTAD, O.P. & RUSSEL, D.A. Fertilizers for use under tropical conditions. Advances in Agronomy, New York, 27:175-204, 1975.

20. EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975. 341p.
21. FASSBENDER, H.W. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. São José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1980. 398p.
22. FRANCO, C.M. & MEDINA, H.P. Arrastamento de potássio e fósforo pela água de infiltração do solo. Bragantia, Campinas, 19:LXXII-LXXVI, abr. 1960. (Nota, 16).
23. GOEDERT, W.J.; SYERS, J.K. & COREY, R.B. Relações quantidade/intensidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronômica, Brasília, 10:(11):31-5, 1975.
24. GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 3. ed. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1966. 404p.
25. GUEDES, G.A.A. Effects of lime, P and water placements on corn responses and selected chemical properties of a Flórida Ultissol. Flórida, University of Flórida, USA, 1982. 208p. (Tese PhD).
26. HUNTER, H.A. Laboratory analysis of vegetal tissues samples. Raleigh, International Soil Fertility/Evaluation and Improvement Program, N.C.S.U., 1975. 5p. (Mimeografado).

27. HUNTER, H.A. Soil analysis for pH, 1N KCl extractable acidity, NH<sub>4</sub>, Ca and Mg. Raleigh, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, N.C.S.U., 1975. 3p. (Mimeografado).
28. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958. 498p.
29. \_\_\_\_\_. Soil chemical analysis; advanced course. 2. ed. Madison, University of Wisconsin, 1969. 875p.
30. KAMPRAH, E.J. & FOY, C.D. Lime-fertilizer plant interactions in acid soils. In: OLSON, R.A. Fertilizer technology and use. 2. ed. Madison, Soil Science Society of American, 1971. p.105-51.
31. KINJO, T. Curso de química do solo. Piracicaba, ESALQ, 1978, 74p. (Mimeografado).
32. LOPES, A.S. Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in brasilian cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. Raleigh, N.C.S.U., 1977. 189p. (Tese PhD).
33. \_\_\_\_\_. Calagem. Informe Agropecuário, Belo Horizonte , 81(7):28-34, set. 1981.

34. LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.51-65.
35. \_\_\_\_\_. A survey of the fertility status of soils "cerrado vegetation in Brazil". Raleigh, N.C.S.U., 1975, 138p. (Te se de Mestrado).
36. LOPES, D.F.; MOURA FILHO, W. & SILVA, F.B.R. da. Características mineralógicas de latossolo vermelho-escuro do Norte do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19., Curitiba, 1983. Programa e Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.35.
37. LOUÉ, A. Contribuição para o estudo da nutrição catiônica do milho, principalmente a do potássio. Fertilité, Paris, (20):23-50, nov./dez., 1983.
38. \_\_\_\_\_. Análise do potássio em plantas e sua interpretação In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.249-88.
39. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

40. MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1976. 528p.
41. \_\_\_\_\_. Nutrição mineral e adubação nos citros. Piracicaba, Ed. Franciscana, 1979. 122p. (Boletim Técnico, 5).
42. \_\_\_\_\_. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas Brasileiras. Piracicaba, Ed. Franciscana, 1980. 92p. (Boletim Técnico, 4).
43. \_\_\_\_\_. O potássio e a planta. Piracicaba, Ed. Franciscana, 1977. 62p. (Boletim Técnico, 1).
44. \_\_\_\_\_; CROCOMO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.95-162.
45. \_\_\_\_\_ & GARGANTINI, H. Nutrição mineral e adubação. In: INSTITUTO BRASILEIRO DA POTASSA. Cultura e adubação do milho. São Paulo, 1966. Cap.13, p.381-424.
46. \_\_\_\_\_ & USHERWOOD, N.R. Adubos e adubação potássica. Piracicaba, Ed. Franciscana, 1978. 56p. (Boletim Técnico, 3).

47. MENGEL, K. Exchangeable cations of plant roots and potassium absorption by the plant. In: KILMER, V.J. et alii . The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. p.311-19.
48. \_\_\_\_\_. Fatores que afetam a demanda de potássio pelas culturas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.195-212.
49. MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração. A experiência Brasileira. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA , Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.289-303.
50. \_\_\_\_\_. O potássio no solo. Piracicaba, Ed. Franciscana, 1980. 80p. (Boletim Técnico, 2).
51. \_\_\_\_\_ & SELBACH, P.A. Efeito de cultivos sucessivos sobre os parâmetros de potássio no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(2):120-5, maio/ago. 1978.
52. MORTLAND, M.M. The dynamic character of potassium release and fixation. Soil Science, Baltimore, 91:11-3, 1961.

53. MUNSON, R.D. Interaction of potassium and other ions. In : KILMER, V.J. et alii. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. p.321-53.
54. \_\_\_\_\_ . Potassium, calcium and magnesium in the tropics and subtropics. Alabama, USA, International Fertilizer Development Center, 1982. 62p. (Technical Bulletin) IFDC-T-23).
55. MURPHY, L.S. Potassium interactions with other elements. In: POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE. Potassium for agriculture ; a situation analysis. Atlanta, 1980. p.183-203.
56. NELSON, W.L. & HANSEN, C.M. Methods and frequency of fertilizer application. In: NELSON, L.B. Changing patterns in fertilizer use. Madison, Soil Science of America, 1968 , p.85-118.
57. RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (Suíça), 1981. 142p.
58. RITCHEY, K.D. Potassium fertility in oxissols and ultissols of the humid Tropics. New York, College of Agriculture and Life Science Cornell International Agriculture, 1979, 45p. (Bulletin, 37).



59. RITCHEY, K.D. Potassium fertility in oxissols and ultissols of the humid Tropics. New York, College of Agriculture and Life Science Cornell International Agriculture, 1979 . 45p. (Bulletin, 37).
60. \_\_\_\_\_ & SILVA, J.E. Adubação potássica em solos de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p.323-38.
61. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p.36.
62. \_\_\_\_\_. Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas , 1982. Acidez e Calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.109-25.
63. ROCHA, M. A indústria Brasileira de Fertilizantes; panorama atual e perspectivas. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1981. 25p. (Curso de atualização em Fertilidade do solo).
64. SANCHEZ, P.A. Suelos del trópico; características y manejo . San José, Costa Rica, IICA, 1981. 634p.

65. SANZONOWICZ, C. Fontes, doses e métodos de aplicação do potássio em solo com baixa retenção de cátions e sua utilização pelas plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983. 130p. (Tese de Mestrado).
66. SHEA, P.F.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. The inheritance of efficiency in potassium in potassium utilization in snap beans (Phaseolus vulgaris, L.). Proceedings of the American Society for Horticultural Science, St. Joseph, 91:286-93, dez. 1967.
67. SILVA, J.E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15(3):329-33, jul. 1980;
68. SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.D.; LOBATO, E. & GOEDERT, W.J. Potássio em solo de cerrado. II Balanço no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(1):33-6, jan./abr. 1979.
69. SUÁREZ DE CASTRO, F. Conservation de suelos. 3.ed. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1980. 315p.
70. THOMAS, G.W. & HANWAY, J. Determining fertilizer needs. In: NELSON, L.B. Changing patterns in fertilizers use. Madison, Soil Science Society of America, 1968. p.119-40.

71. THOMAS, G.W. & HIPPIE, B.W. Soil factors affecting potassium availability. In: KILMER, V.J. et alii. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. p.269-91.
72. TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan Publishing, 1975. 694p.
73. TUCCI, C.A.F. Efeito de corretivo, matéria orgânica e tempo de incubação na capacidade de troca de cátions em solos sob vegetação de cerrado. Lavras, ESAL, 1981. 106p. (Tese de Mestrado).
74. UEHARA, G. & KENG, J. Management implications of soil mineralogy in Latin America. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. Soil management in tropical América, Raleigh, N.C.S.U., 1975. p.351-62.
75. USHERWOOD, N.R. Interações do potássio com outros íons. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.227-48.
76. VASCONCELLOS, S.A.; SANTOS, H.L. dos & FRANÇA, G.E. de. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p.437-48.

77. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro ,  
Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo do MA., 1969 .  
24p. (Boletim Técnico, 7).
78. VIEIRA, L.S. Manual de Ciência do Solo. São Paulo, Ed .  
Agronômica Ceres, 1975. 464p.
79. WALKER, W.M. & PECK, T.K. Relationship between corn yield  
and plant potassium. Agronomy Journal, 67:(1):445-47 ,  
Jan./Feb. 1975.

APÉNDICE

APÊNDICE 1. Análise de variância do teor de K (%) do terço médio da primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,316063	0,158031	3,10 NS
Doses (D)	4	7,768612	1,942153	38,04 **
E (a)	8	0,408470	0,051059	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,110760	0,36920	1,86 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,119190	0,019865	
M x D	12	0,272723	0,022727	0,87 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	0,626477	0,026103	
TOTAL	59	9,622295		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.  
NS Não significativo

APÊNDICE 2. Análise de variância do teor de Ca (%) do terço médio da primeira folha abaxial e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo Lrd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,977922	0,488961	33,80**
Doses (D)	4	0,447248	0,111812	7,73**
E (a)	8	0,115722	0,014465	
Parcelas	14			
Metodos (M)	3	0,016673	0,005558	0,57 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,058369	0,009728	
M x D	12	0,093790	0,007816	0,57 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	0,328626	0,013693	
TOTAL	59	2,038351		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
NS Não significativo.

APÊNDICE 3. Análise de variância do teor de Mg (%) do terço médio da primeira folha abaxial e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido do Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,050691	0,025345	3,45 NS
Doses (D)	4	1,044606	0,261151	35,57 **
E (a)	8	0,058738	0,007342	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,007759	0,002586	0,99 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,015747	0,002624	
M x D	12	0,060282	0,005024	2,32*
E (b <sub>2</sub> )	24	0,052092	0,002170	
TOTAL	59	1,289912		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade  
 \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
 NS Não significativo.



APÊNDICE 4. Análise de variância da produção de grãos de milho (kg/ha) do híbrido Ag-301, cultivado em um LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	609307,8	304653,9	1,19 NS
Doses (D)	4	3225685,0	806421,3	3,16 NS
E (a)	8	2043749,0	255468,6	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	3869037,0	1289679,0	4,74 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	1632365,0	272060,8	
M x D	12	3298633,0	274886,1	0,68 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	9712729,0	404697,0	
TOTAL	59	24391510,0		

NS Não significativo

APÊNDICE 5. Análise de variância da relação (Ca + Mg)/K, do terço médio da primeira folha abaixo e posta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,217802	0,108901	1,60 NS
Doses (D)	4	13,671660	3,417915	50,26 **
E (a)	8	0,544100	0,068012	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,137119	0,045706	0,66 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,412459	0,068743	
M x D	12	0,967394	0,080616	1,10 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	1,756150	0,073173	
TOTAL	59	17,70668		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
NS Não significativo.

APÊNDICE 6. Análise de variância da relação Ca/K, do terço médio da primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pestoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,185971	0,092985	3,13 NS
Doses (D)	4	4,730772	1,182269	39,78 **
E (a)	8	0,356621	0,029718	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,045600	0,015200	0,52 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,175241	0,029207	
M x D	12	0,356621	0,029718	0,81 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	0,878695	0,036612	
TOTAL	59	6,626126		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.  
NS Não significativo.

APÊNDICE 7. Análise de variância da relação Mg/K, do terço médio da primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Miho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,0056609	0,0028305	0,313 NS
Doses (D)	4	2,3032430	0,575811	63,706 **
E (a)	8	0,0723080	0,0090385	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,0264812	0,0088271	1,073 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,0493676	0,0082279	
M x D	12	0,1608105	0,0134009	2,008 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	0,1602062	0,0066753	
TOTAL	59	2,778078		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
NS Não significativo.

APÊNDICE 8. Análise de variância da relação Ca/Mg, do terço médio da primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Blocos	2	0,182638	0,091319	0,063 NS
Doses (D)	4	62,665080	15,666270	10,849 **
E (a)	8	11,552580	1,444072	
Parcelas	14			
Métodos (M)	3	0,952342	0,317448	1,133 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	1,680573	0,280095	
M x D	12	5,612714	0,467726	1,838 NS
E (b <sub>2</sub> )	24	6,107080	0,254462	
TOTAL	59	88,753010		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
 NS Não significativo.

APÊNDICE 9. Análise de variância do teor de K-disponível ( $\text{meq}/100 \text{ cm}^3$ ) no perfil do solo, em função da variação das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,044086	0,014695	56,237 **
Blocos	2	0,009542	0,004771	18,259 **
E (a)	6	0,001568	0,000261	
Parcelas	11	0,055196		
Métodos (M)	3	0,000348	0,000116	1,526 NS
E ( $b_1$ )	6	0,000454	0,000076	
M x D	9	0,002801	0,000311	1,414 NS
E ( $b_2$ )	18	0,003963	0,000220	
Sub-Parcelas	47	0,062762		
Profundidade (P)	1	0,167962	0,167962	657,111 **
D x P	3	0,010791	0,003597	14,073 **
M x P	3	0,007083	0,002361	9,237 **
M x D x P	9	0,005783	0,000642	2,514 *
E (c)	32	0,008179	0,000256	
TOTAL	95	0,262560		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 10. Análise de variância do teor de Ca-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil do solo, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, feixe 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,831062	0,277020	2,228 NS
Blocos	2	0,164041	0,082020	0,660 NS
E (a)	6	0,745856	0,124309	
Parcelas	11	1,740958		
Métodos (M)	3	0,053045	0,017682	0,506 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,209788	0,034965	
M x D	9	0,267986	0,029776	0,824 NS
E (b <sub>2</sub> )	18	0,650153	0,036120	
Sub-Parcelas	47	2,921930		
Profundidades (P)	1	11,408469	11,408469	448,122 **
D x P	3	0,457137	0,152379	5,985 **
M x P	3	0,051336	0,017112	0,672 NS
M x D x P	9	0,189640	0,021071	0,828 NS
E (c)	32	0,814668	0,025458	
TOTAL	95	15,843180		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
NS Não significativo.

APÊNDICE 11. Análise de variância do teor de Mg-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil do solo, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,008814	0,002938	0,279 NS
Blocos	2	0,198035	0,099017	9,397 *
E (a)	6	0,063225	0,010538	
Parcelas	11	0,270073		
Métodos (M)	3	0,018221	0,006074	2,12 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,017160	0,002860	
M x D	9	0,084691	0,009410	2,73 *
E (b <sub>2</sub> )	18	0,062123	0,003451	
Sub-Parcelas	47	0,452269		
Profundidades (P)	1	0,114851	0,114851	21,956 **
D x P	3	0,002637	0,000879	0,168 NS
M x P	3	0,005120	0,001707	0,033 NS
M x D x P	9	0,022738	0,002526	0,483 NS
E (c)	32	0,167394	0,005231	
TOTAL	95	0,765010		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.



APÊNDICE 12. Análise de variância do teor de Al-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil do solo, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lenço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,077293	0,025764	3,136 NS
Blocos	2	0,055130	0,027565	3,356 NS
E (a)	6	0,049287	0,008214	
Parcelas	11	0,181709		
Métodos (M)	3	0,009843	0,003281	0,830 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,023706	0,003951	
M x D	9	0,057264	0,006363	0,950 NS
E (b <sub>1</sub> )	18	0,120569	0,006698	
Sub-Parcelas	47	0,393091		
Profundidades (P)	1	0,081084	0,081084	21,351 **
D x P	3	0,044776	0,014925	3,930 *
M x P	3	0,000734	0,000245	0,064 NS
D x M x P	9	0,018330	0,002037	0,536 NS
E (c)	32	0,121525	0,003798	
TOTAL	95	0,659541		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 13. Análise de variância da CTC "efetiva" (meq/100 cm<sup>3</sup>) no perfil do solo, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (60, 120, 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,673406	0,224469	2,844 NS
Blocos	2	0,943500	0,471750	5,977 *
E (a)	6	0,473571	0,078928	
Parcelas	11			
Métodos (M)	3	0,061436	0,020478	0,391 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,314341	0,052390	
M x D	9	0,372707	0,041412	1,270 NS
E (b <sub>2</sub> )	18	0,585399	0,032522	
Sub-Parcelas	47			
Profundidades (P)	1	19,493139	19,493139	787,577 **
D x P	3	0,427852	0,142617	5,762 **
M x P	3	0,041938	0,013979	0,565 NS
M x D x P	9	0,166336	0,018482	0,747 NS
E (c)	32	0,792025	0,024751	
TOTAL	95	24,345652		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 14. Análise de variância do pH em H<sub>2</sub>O no perfil do solo, em função da variação das doses de K<sub>2</sub>O (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRD. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,434212	0,144737	2,445 NS
Blocos	2	0,170198	0,085099	1,437 NS
E (a)	6	0,355224	0,059204	
Parcelas	11	0,959634		
Métodos (M)	3	0,132230	0,044077	2,240 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	0,118074	0,019679	
M x D	9	0,172783	0,019198	0,580 NS
E (b <sub>2</sub> )	18	0,600020	0,033334	
Sub-Parcela	47	1,982740		
Profundidades (P)	1	3,677754	3,677754	202,905 **
D x P	3	0,372386	0,124129	6,848 **
M x P	3	0,002880	0,000960	0,053 NS
M x D x P	9	0,169816	0,018868	1,041 NS
E (c)	32	0,580016	0,018126	
TOTAL	95	6,785594		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade  
 NS Não significativo.

APÊNDICE 15. Análise de variância do PH em KCl no perfil do solo, em função da variação das doses de  $K_2O$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	0,547430	0,182477	5,540 *
Blocos	2	0,013223	0,006612	0,201 NS
E (a)	6	0,197643	0,032940	
Parcelas	11			
Métodos (M)	3	0,059153	0,019718	1,134 NS
E ( $b_1$ )	6	0,104283	0,017380	
M x D	9	0,179207	0,019912	1,065 NS
E ( $b_2$ )	18	0,336626	0,018701	
Sub-Parcelas	47			
Profundidades (P)	1	0,017334	0,017334	0,962 NS
D x P	3	0,310497	0,103499	5,742 **
M x D	3	0,018770	0,006257	0,347 NS
M x D x P	9	0,118441	0,013160	0,730 NS
E (c)	32	0,576808	0,018025	
TOTAL	95	0,247942		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 16. Análise de variância da relação (Ca + Mg)/K no perfil do solo, em função da variação das doses de  $K_2O$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	105,694786	35,231594	1,513 NS
Blocos	2	680,922363	340,461182	14,623 **
E (a)	6	139,697617	23,282936	
Parcelas	11	926,314758		
Métodos (M)	3	26,774054	8,924684	1,170 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	45,861870	7,643345	
M x D	9	108,305458	12,033939	0,820 NS
E (b <sub>2</sub> )	18	262,995819	14,610879	
Sub-Parcelas	24	1370,251953		
Profundidades (P)	1	44,834610	44,834610	4,600 *
D x P	3	3,561109	1,187036	0,122 NS
M x P	3	64,646965	21,548988	2,211 NS
M x D x P	9	79,553474	8,839275	0,907 NS
E (c)	32	311,908966	9,747155	
TOTAL	95	1874,757080		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 17. Análise de variância da relação Ca/K no perfil do solo, em função da variação das doses de  $K_2O$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	34,725658	11,575219	0,858 NS
Blocos	2	122,689911	61,344955	4,549 NS
E (a)	6	80,911682	13,485280	
Parcelas	11	238,327255		
Métodos (M)	3	2,767077	0,922359	0,208 NS
E (b <sub>1</sub> )	6	26,620241	4,436707	
M x D	9	34,514191	3,834910	0,846 NS
E (b <sub>2</sub> )	18	81,574684	4,531927	
Sub-Parcelas	47	383,803436		
Profundidades (P)	1	150,871658	150,871658	114,103 **
D x P	3	6,412791	2,137597	1,617 NS
M x P	3	12,342275	4,114091	3,111 *
M x D x P	9	21,539381	2,393264	1,810 NS
E (c)	32	42,311748	1,322242	
TOTAL	95	617,281311		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 18. Análise de variância da relação Mg/K no perfil do solo, em função da variação das doses de  $K_2O$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	54,581913	18,193972	0,981 NS
Blocos	2	218,780212	109,390106	5,897 *
E (a)	6	111,305695	18,550949	
Parcelas	11	384,667816		
Métodos (M)	3	17,347734	5,782578	2,571 NS
E ( $b_1$ )	6	13,495897	2,249316	
M x D	9	32,841126	3,649014	1,078 NS
E ( $b_2$ )	18	60,901226	3,383401	
Sub-Parcelas	47	509,253815		
Profundidades (P)	1	321,256744	321,256744	43,475 **
D x P	3	3,864950	1,288316	0,174 NS
M x P	3	23,231329	7,743776	1,048 NS
M x D x P	9	26,511194	2,945688	0,399 NS
E (c)	32	236,462463	7,389452	
TOTAL	95	1120,580566		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.

APÊNDICE 19. Análise de variância da relação Ca/Mg no perfil do solo, em função da variação das doses de  $K_2O$  (60; 120; 240 e 480 kg/ha) e dos métodos de aplicação (sulco, faixa 20 cm, faixa 40 cm, lanço), nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.C.
Doses (D)	3	25,445885	8,481961	1,368 NS
Blocos	2	2,785283	1,392641	0,225 NS
E (a)	6	37,211903	6,201984	
Parcelas	11	65,443069		
Métodos (M)	3	0,421692	0,140564	0,090 NS
E ( $b_1$ )	6	9,335950	1,555992	
M x D	9	7,807414	0,867490	0,961 NS
E ( $b_2$ )	18	16,255514	0,903084	
Sub-Parcelas	47	99,263649		
Profundidades (P)	1	96,395691	96,395691	254,769 **
D x P	3	4,964326	1,654776	4,373 *
M x P	3	0,903908	0,301303	0,796 NS
M x D x P	9	2,257828	0,250870	0,663 NS
E (c)	32	12,107693	0,378365	
TOTAL	95	215,893066		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS Não significativo.



APÊNDICE 20. Teor de K (%) do terço médio da primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época do grão pastoso. Milho híbrido. Ag-301. Solo LRd, Lavras-MG. 1983.

Doses $K_2O$ kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	0,990	0,960	1,300
	Faixa 20 cm	0,880	1,130	0,910
	Faixa 40 cm	0,990	0,690	0,770
	Lanço	0,990	0,720	0,770
60	Sulco	1,820	1,130	1,210
	Faixa 20 cm	1,680	1,600	1,350
	Faixa 40 cm	1,650	1,210	1,210
	Lanço	1,540	1,460	1,410
120	Sulco	1,980	1,760	1,160
	Faixa 20 cm	1,710	1,920	1,600
	Faixa 40 cm	1,650	1,740	1,490
	Lanço	1,710	1,740	1,820
240	Sulco	1,710	2,090	1,650
	Faixa 20 cm	1,650	2,010	1,760
	Faixa 40 cm	1,760	1,900	1,760
	Lanço	2,090	2,010	1,840
480	Sulco	1,870	1,900	1,920
	Faixa 20 cm	1,920	1,840	1,790
	Faixa 40 cm	2,040	1,840	1,760
	Lanço	2,140	2,140	1,840

APÊNDICE 21. Teor de Ca (%) do terço médio da primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRD Lavras-MG. 1983.

Doses $K_2O$ kg/ha	Métodos de aplicação	Espetições		
		I	II	III
0	Sulco	1,231	1,046	0,632
	Faixa 20 cm	1,576	0,856	0,822
	Faixa 40 cm	1,131	1,114	1,542
	Lanço	1,107	1,031	1,035
60	Sulco	1,076	0,942	0,776
	Faixa 20 cm	3,794	0,863	0,836
	Faixa 40 cm	1,066	0,832	0,860
	Lanço	1,056	0,908	0,844
120	Sulco	1,128	0,739	0,856
	Faixa 20 cm	1,066	0,822	0,791
	Faixa 40 cm	1,059	0,801	0,766
	Lanço	1,045	0,646	0,725
240	Sulco	1,086	0,715	0,811
	Faixa 20 cm	1,090	0,726	0,694
	Faixa 40 cm	1,345	0,650	0,671
	Lanço	1,001	0,642	0,678
480	Sulco	1,042	0,774	0,636
	Faixa 20 cm	1,021	0,801	0,760
	Faixa 40 cm	1,034	0,677	0,804
	Lanço	0,796	0,639	0,781

APÊNDICE 22. Teor de Mg (%) do terço médio da primeira folha abaixo e oposta, a primeira espiga coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd, Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	0,545	0,596	0,378
	Faixa 20 cm	0,686	0,472	0,446
	Faixa 40 cm	0,584	0,594	0,532
	Lanço	0,602	0,628	0,625
60	Sulco	0,364	0,370	0,272
	Faixa 20 cm	0,290	0,315	0,252
	Faixa 40 cm	0,392	0,504	0,330
	Lanço	0,314	0,392	0,305
120	Sulco	0,320	0,274	0,374
	Faixa 20 cm	0,348	0,279	0,283
	Faixa 40 cm	0,258	0,212	0,305
	Lanço	0,282	0,238	0,226
240	Sulco	0,330	0,114	0,260
	Faixa 20 cm	0,310	0,219	0,202
	Faixa 40 cm	0,305	0,237	0,238
	Lanço	0,250	0,146	0,194
480	Sulco	0,286	0,198	0,116
	Faixa 20 cm	0,256	0,152	0,113
	Faixa 40 cm	0,243	0,154	0,147
	Lanço	0,160	0,130	0,124

APÊNDICE 23. Produção de grãos (kg/ha) do milho híbrido Ag-301, em função de doses e métodos de aplicação de KCl. Solo LRd, Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	3439,7	4023,1	4359,2
	Faixa 20 cm	3111,1	4235,7	3699,7
	Faixa 40 cm	3512,2	3149,0	3592,4
	Lanço	3501,2	2666,3	2104,8
60	Sulco	4119,0	3493,2	4427,3
	Faixa 20 cm	3759,3	3406,6	3842,7
	Faixa 40 cm	5226,6	4018,0	3802,3
	Lanço	3300,9	2816,0	4055,5
120	Sulco	3536,4	4199,7	4023,5
	Faixa 20 cm	5080,3	3610,1	3920,0
	Faixa 40 cm	3996,0	3222,2	4556,2
	Lanço	4511,1	3711,8	3607,3
240	Sulco	4058,5	3764,1	4138,0
	Faixa 20 cm	4448,0	4960,5	4921,7
	Faixa 40 cm	3165,3	5227,4	4124,4
	Lanço	3577,2	3035,9	3769,2
480	Sulco	4080,0	4179,0	4204,1
	Faixa 20 cm	3270,5	3697,4	5561,3
	Faixa 40 cm	4420,5	4590,4	3536,3
	Lanço	3971,2	3427,4	3920,0

APÊNDICE 24. Valores da relação (Ca + Mg)/K da primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	1,794	1,712	0,777
	Faixa 20 cm	2,570	1,175	1,393
	Faixa 40 cm	1,708	2,475	2,044
	Lanço	1,726	2,304	2,156
60	Sulco	0,791	1,161	0,866
	Faixa 20 cm	0,645	0,719	0,806
	Faixa 40 cm	0,664	1,104	0,983
	Lanço	0,690	0,890	0,815
120	Sulco	0,731	0,576	1,060
	Faixa 20 cm	0,627	0,573	0,671
	Faixa 40 cm	0,798	0,582	0,719
	Lanço	0,776	0,508	0,522
240	Sulco	0,828	0,397	0,649
	Faixa 20 cm	0,848	0,470	0,509
	Faixa 40 cm	0,767	0,467	0,516
	Lanço	0,599	0,392	0,474
480	Sulco	0,711	0,512	0,392
	Faixa 20 cm	0,665	0,516	0,486
	Faixa 40 cm	0,626	0,452	0,540
	Lanço	0,448	0,359	0,492

APÊNDICE 25. Valores da relação Ca/K da primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	1,243	1,092	0,486
	Faixa 20 cm	1,791	0,758	0,903
	Faixa 40 cm	1,118	1,614	1,330
	Lanço	1,118	1,430	1,344
60	Sulco	0,591	0,834	0,641
	Faixa 20 cm	0,473	0,539	0,619
	Faixa 40 cm	0,646	0,688	0,711
	Lanço	0,686	0,622	0,599
120	Sulco	0,570	0,420	0,738
	Faixa 20 cm	0,623	0,428	0,494
	Faixa 40 cm	0,642	0,460	0,514
	Lanço	0,611	0,371	0,398
240	Sulco	0,635	0,342	0,492
	Faixa 20 cm	0,661	0,361	0,394
	Faixa 40 cm	0,594	0,342	0,381
	Lanço	0,479	0,319	0,368
480	Sulco	0,557	0,407	0,331
	Faixa 20 cm	0,532	0,435	0,425
	Faixa 40 cm	0,507	0,368	0,457
	Lanço	0,373	0,299	0,424

APÊNDICE 26. Valores da relação Mg/K na primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	0,551	0,621	0,291
	Faixa 20 cm	0,780	0,418	0,490
	Faixa 40 cm	0,590	0,861	0,691
	Lanço	0,608	0,872	0,812
60	Sulco	0,200	0,327	0,225
	Faixa 20 cm	0,173	0,197	0,197
	Faixa 40 cm	0,238	0,416	0,273
	Lanço	0,204	0,268	0,216
120	Sulco	0,162	0,156	0,322
	Faixa 20 cm	0,204	0,145	0,177
	Faixa 40 cm	0,156	0,122	0,205
	Lanço	0,165	0,137	0,124
240	Sulco	0,193	0,055	0,158
	Faixa 20 cm	0,188	0,109	0,115
	Faixa 40 cm	0,173	0,125	0,135
	Lanço	0,120	0,073	0,105
480	Sulco	0,151	0,104	0,060
	Faixa 20 cm	0,133	0,083	0,063
	Faixa 40 cm	0,119	0,084	0,064
	Lanço	0,075	0,061	0,067

APÊNDICE 27. Valores da relação Ca/Mg na primeira folha abaixo e oposta a primeira espiga, coletada na época de grão pastoso. Milho híbrido Ag-301. Solo LRd, Lavras-MG. 1983.

Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Métodos de aplicação	Repetições		
		I	II	III
0	Sulco	2,259	1,758	1,672
	Faixa 20 cm	2,297	1,814	1,843
	Faixa 40 cm	1,396	1,875	1,959
	Lanço	1,839	1,642	1,656
60	Sulco	2,956	2,546	2,853
	Faixa 20 cm	2,738	2,740	3,318
	Faixa 40 cm	2,719	1,651	2,606
	Lanço	3,363	2,316	2,767
120	Sulco	3,535	2,697	2,289
	Faixa 20 cm	3,063	2,946	2,795
	Faixa 40 cm	4,105	3,778	2,512
	Lanço	3,706	2,714	3,208
240	Sulco	3,291	6,272	3,119
	Faixa 20 cm	3,516	3,315	3,436
	Faixa 40 cm	3,426	2,743	2,819
	Lanço	4,004	4,397	3,495
480	Sulco	3,618	3,909	5,483
	Faixa 20 cm	3,988	5,270	6,726
	Faixa 40 cm	4,255	4,396	5,469
	Lanço	4,988	4,915	6,292



APÊNDICE 28. Teores de K-disponível (meq/100 cm<sup>3</sup>) para cada método de aplicação do KCl., nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60; 120; 240 e 480 kg/ha, nas três repetições. Solo LRD, Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	0,115	0,061	0,100	0,042	0,084	0,026
	120	0,120	0,068	0,118	0,063	0,081	0,029
	240	0,126	0,052	0,112	0,061	0,119	0,056
	480	0,178	0,135	0,148	0,114	0,146	0,074
Faixa 20 cm	60	0,109	0,042	0,080	0,038	0,067	0,032
	120	0,105	0,047	0,144	0,034	0,107	0,032
	240	0,176	0,047	0,132	0,043	0,130	0,039
	480	0,176	0,079	0,234	0,057	0,188	0,032
Faixa 40 cm	60	0,140	0,046	0,087	0,043	0,080	0,020
	120	0,145	0,044	0,119	0,041	0,089	0,031
	240	0,189	0,038	0,144	0,042	0,128	0,036
	480	0,173	0,041	0,204	0,042	0,172	0,037
Lanço	60	0,120	0,040	0,101	0,063	0,071	0,019
	120	0,125	0,059	0,138	0,037	0,134	0,048
	240	0,125	0,059	0,113	0,044	0,113	0,041
	480	0,182	0,096	0,214	0,057	0,182	0,055

APÊNDICE 29. Teores de Ca-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) para cada método de aplicação do KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd, Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	0,661	0,127	0,829	0,133	0,740	0,164
	120	0,736	0,201	1,009	0,184	0,835	0,199
	240	0,715	0,076	0,438	0,096	0,577	0,087
	480	0,775	0,083	1,444	0,189	1,701	0,394
Faixa 20 cm	60	0,817	0,162	0,634	0,140	0,595	0,121
	120	0,894	0,219	0,517	0,126	0,612	0,145
	240	0,778	0,154	0,903	0,173	0,820	0,127
	480	0,443	0,064	0,905	0,183	1,485	0,324
Faixa 40 cm	60	0,642	0,102	0,682	0,162	0,970	0,127
	120	0,979	0,193	0,905	0,151	0,529	0,124
	240	0,750	0,122	0,849	0,124	0,920	0,136
	480	0,739	0,080	1,944	0,292	0,983	0,211
Lanço	60	0,659	0,282	0,598	0,212	0,865	0,121
	120	1,157	0,187	0,861	0,128	0,908	0,155
	240	0,550	0,092	0,757	0,214	0,881	0,181
	480	0,985	0,121	0,932	0,167	1,209	0,375

APÊNDICE 30. Teores de Mg-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) para cada método de aplicação da KCl , nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60 , 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	0,275	0,082	0,288	0,259	0,260	0,306
	120	0,243	0,106	0,418	0,285	0,288	0,314
	240	0,218	0,064	0,254	0,259	0,235	0,162
	480	0,271	0,109	0,461	0,285	0,243	0,102
Faixa 20 cm	60	0,304	0,139	0,276	0,285	0,252	0,224
	120	0,343	0,124	0,293	0,293	0,281	0,191
	240	0,302	0,174	0,343	0,406	0,406	0,264
	480	0,171	0,088	0,243	0,294	0,190	0,100
Faixa 40 cm	60	0,224	0,084	0,288	0,278	0,321	0,259
	120	0,306	0,110	0,298	0,344	0,270	0,292
	240	0,236	0,095	0,258	0,320	0,469	0,240
	480	0,249	0,301	0,279	0,317	0,204	0,090
Lanço	60	0,218	0,129	0,298	0,309	0,267	0,300
	120	0,361	0,103	0,295	0,356	0,261	0,271
	240	0,172	0,101	0,300	0,319	0,404	0,292
	480	0,340	0,269	0,346	0,299	0,432	0,237

APÊNDICE 31. Teores de Al-trocável (meq/100 cm<sup>3</sup>) para cada método de aplicação do KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	0,100	0,315	0,490	0,395	0,460	0,315
	120	0,310	0,225	0,310	0,290	0,420	0,235
	240	0,320	0,320	0,490	0,255	0,400	0,290
	480	0,250	0,190	0,240	0,300	0,180	0,225
Faixa 20 cm	60	0,260	0,225	0,410	0,405	0,560	0,490
	120	0,340	0,315	0,460	0,320	0,410	0,295
	240	0,340	0,280	0,320	0,260	0,310	0,215
	480	0,320	0,260	0,340	0,335	0,220	0,195
Faixa 40 cm	60	0,300	0,215	0,420	0,345	0,260	0,260
	120	0,280	0,240	0,360	0,390	0,460	0,270
	240	0,280	0,230	0,430	0,260	0,340	0,170
	480	0,360	0,260	0,170	0,375	0,310	0,275
Lanço	60	0,430	0,350	0,440	0,305	0,360	0,245
	120	0,270	0,315	0,330	0,270	0,350	0,270
	240	0,430	0,285	0,340	0,240	0,390	0,215
	480	0,240	0,230	0,320	0,345	0,250	0,280

APÊNDICE 32. CTC "efetiva" (meq/100 cm<sup>3</sup>) para cada método de aplicação do KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	0,154	0,588	1,712	0,833	1,547	0,814
	120	1,410	0,605	1,858	0,826	1,627	0,780
	240	1,384	0,520	1,298	0,674	1,337	0,599
	480	1,477	0,521	2,297	0,893	2,273	0,798
Faixa 20 cm	60	1,492	0,572	1,403	0,872	1,528	0,870
	120	1,687	0,712	1,417	0,776	1,414	0,666
	240	1,599	0,658	1,700	0,886	1,670	0,646
	480	1,110	0,495	1,724	0,872	2,084	0,654
Faixa 40 cm	60	1,309	0,449	1,480	0,831	1,634	0,669
	120	1,713	0,595	1,686	0,928	1,353	0,720
	240	1,457	0,489	1,686	0,838	1,861	0,586
	480	1,524	0,684	2,599	1,030	1,672	0,615
Lanço	60	1,431	0,803	1,440	0,892	1,568	0,689
	120	1,916	0,666	1,626	0,894	1,657	0,748
	240	1,292	0,540	1,514	0,820	1,791	0,733
	480	1,748	0,719	1,815	0,872	2,076	0,950

APÊNDICE 33. Valores de pH em H<sub>2</sub>O encontrados para cada método de aplicação de KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	5,770	5,000	5,070	4,835	5,130	4,825
	120	5,100	4,970	5,400	4,880	4,990	4,685
	240	5,200	4,845	5,240	5,125	5,200	5,000
	480	5,410	5,010	5,780	5,055	5,780	5,050
Faixa 20 cm	60	5,350	4,995	5,110	4,650	4,910	4,680
	120	5,160	4,950	5,150	4,905	5,090	4,915
	240	5,340	4,920	5,270	4,730	5,250	4,830
	480	5,310	4,870	5,210	4,630	5,570	5,120
Faixa 40 cm	60	5,330	5,020	5,130	4,830	5,180	4,815
	120	5,320	4,965	5,200	4,690	4,990	4,805
	240	5,330	5,090	5,020	4,775	5,230	4,890
	480	5,420	4,805	6,000	4,735	5,080	4,865
Lanço	60	5,070	5,115	5,210	4,895	5,090	4,835
	120	5,360	4,970	5,230	4,710	5,250	4,900
	240	5,260	4,935	5,230	4,765	5,100	4,920
	480	5,490	4,775	5,390	4,785	5,520	4,975

APÊNDICE 34. Valores de pH em KCl encontrados para cada método de aplicação de KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	5,270	4,575	4,440	4,480	4,520	4,560
	120	4,500	4,670	4,550	4,580	4,400	4,545
	240	4,690	4,645	4,450	4,645	4,560	4,635
	480	4,700	4,770	5,040	4,685	5,140	4,650
Faixa 20 cm	60	4,620	4,625	4,500	4,415	4,360	4,460
	120	4,490	4,500	4,480	4,585	4,480	4,585
	240	4,660	4,730	4,620	4,555	4,620	4,800
	480	4,580	4,600	4,730	4,550	4,980	4,695
Faixa 40 cm	60	4,500	4,510	4,500	4,555	4,640	4,630
	120	4,620	4,515	4,590	4,485	4,460	4,645
	240	4,620	4,715	4,440	4,630	4,630	4,775
	480	4,650	4,650	5,330	4,535	4,700	4,595
Lanço	60	4,340	4,555	4,450	4,545	4,500	4,520
	120	4,680	4,555	4,670	4,655	4,600	4,615
	240	4,410	4,555	4,590	4,570	4,640	4,735
	480	4,730	4,590	4,740	4,615	4,800	4,630

APÊNDICE 35. Valores da relação (Ca + Mg)/k encontrados para cada método de aplicação de KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)								
		I			II			III		
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120	0-40
Sulco	60	8,405	3,964	11,450	9,939	13,751	22,815			
	120	7,706	4,848	12,952	8,941	13,568	20,223			
	240	7,418	3,116	6,529	7,792	6,809	5,610			
	480	6,568	1,730	13,829	9,124	15,210	9,362			
Faixa 20 cm	60	9,797	7,281	11,236	11,530	14,247	11,558			
	120	11,969	7,082	6,607	14,122	8,436	12,094			
	240	7,192	7,931	9,255	16,224	9,270	11,977			
	480	3,912	3,450	5,788	10,431	11,474	15,384			
Faixa 40 cm	60	7,613	4,175	10,865	12,254	15,877	21,339			
	120	9,727	6,804	10,635	13,480	9,672	18,143			
	240	5,316	5,667	8,455	13,972	9,992	11,125			
	480	5,897	11,524	13,166	17,825	8,642	9,768			
Lanço	60	7,414	10,618	9,040	9,508	15,530	24,504			
	120	12,211	5,154	8,950	14,059	9,075	9,233			
	240	4,949	4,089	9,500	15,972	13,814	19,348			
	480	7,110	5,322	6,365	12,429	8,619	14,578			



APÊNDICE 36. Valores da relação Ca/K encontrados para cada método de aplicação de KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	5,694	2,404	8,026	2,946	9,298	7,254
	120	5,659	3,155	8,908	3,214	9,781	7,720
	240	5,487	1,767	3,826	2,075	4,555	1,952
	480	4,598	0,704	10,089	3,884	13,038	7,277
Faixa 20 cm	60	6,907	3,808	7,293	3,520	9,212	3,756
	120	8,475	4,475	3,662	3,820	5,374	5,193
	240	4,922	3,344	6,921	4,690	5,893	3,847
	480	2,555	1,462	4,364	3,569	9,902	10,009
Faixa 40 cm	60	5,452	2,274	6,993	4,323	11,474	6,965
	120	7,254	4,278	7,410	3,828	7,764	4,341
	240	3,877	2,907	6,080	5,548	6,193	3,853
	480	4,056	2,178	11,513	7,574	6,965	6,570
Lanço	60	5,460	7,203	5,635	3,721	11,450	6,835
	120	9,052	3,296	6,135	3,631	6,845	3,292
	240	3,635	1,786	6,377	5,596	8,549	6,020
	480	5,004	1,455	4,189	4,023	6,205	7,613

APÊNDICE 37. Valores da relação Mg/K encontrados para cada método de aplicação de KCl, nas camadas de 0 a 40 e 40 a 120 cm de profundidade, para as doses de 60, 120, 240 e 480 kg K<sub>2</sub>O/ha, nas três repetições. Solo LRd. Lavras-MG. 1983.

Métodos de aplicação	Doses K <sub>2</sub> O kg/ha	Profundidades (cm)					
		Repetições					
		I		II		III	
		0-40	40-120	0-40	40-120	0-40	40-120
Sulco	60	2,707	1,552	3,424	6,991	4,450	13,609
	120	2,044	1,689	4,036	5,725	3,779	12,509
	240	1,934	1,349	2,707	5,715	2,254	3,658
	480	1,973	1,020	3,744	5,242	2,176	2,086
Faixa 20 cm	60	2,878	3,469	3,939	8,009	5,031	7,804
	120	3,498	2,611	2,944	10,306	3,058	6,909
	240	2,274	4,588	2,968	11,519	3,448	8,128
	480	1,361	1,983	1,427	6,862	1,576	3,430
Faixa 40 cm	60	2,153	1,907	3,873	7,935	4,403	14,372
	120	2,465	2,523	3,225	9,651	3,912	11,854
	240	1,443	2,757	2,367	8,430	3,799	7,273
	480	1,845	9,352	1,658	10,360	1,669	3,196
Lanço	60	1,962	3,422	3,401	5,768	4,076	17,677
	120	3,163	1,856	2,820	10,429	2,227	5,942
	240	1,303	2,295	3,112	10,378	5,269	10,626
	480	2,114	3,865	2,168	8,414	2,410	5,017

APÊNDICE 39. Características químicas e físicas do perfil de solo utilizado.

Horizonte	Profundidade	Acidez total	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> livre	Ataque sulfúrico					Análise granulométrica			Classe Textural
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Argila	Silte	Areia	
	cm	meq/100g		%								
Ap	0-22	7,26	12,9	12,6	26,9	18,0	1,46	0,14	78,8	5,2	16,0	Muito argiloso
A3	22-45	5,61	14,0	18,3	28,7	18,5	1,26	0,13	81,8	8,2	10,0	Muito argiloso
B1	45-66	5,12	15,1	13,8	29,5	19,4	1,32	0,13	88,0	5,2	14,0	Muito argiloso
B21	66-141	3,30	14,8	11,8	30,3	18,5	1,28	0,12	76,8	9,2	14,0	Muito argiloso
B22	141-200 +	3,30	14,7	15,0	30,0	19,1	1,36	0,12	78,8	9,2	12,0	Muito argiloso

APÊNDICE 40. Descrição do perfil de solo utilizado.

Unidade taxonômica: Latossolo Roxo Distrófico muito argiloso re  
levo suave ondulado fase cerrado.

Localização: Município de Lavras, no Campus da Escola Superior  
de Agricultura de Lavras, em frente à carpintaria  
(distando desta aproximadamente 200 metros).

Situação e declive: Trincheira situada no terço médio de uma  
elevação com aproximadamente 5% de declive.

Relevo: Suave ondulado

Altitude: 918 metros

Material de origem: Produto de decomposição de rocha básica.

Erosão: Laminar ligeira

Drenagem: Acentuadamente drenado

Vegetação primária: Cerrado

Uso atual: Pastagem de capim gordura

Ap: 022 cm: bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4; úmi  
do); muito argiloso; moderada média a muito  
pequena granular; duro, friável, ligeiramen  
te plástico e ligeiramente pegajoso; transi  
ção gradual e plana.

- A3: 22-45 cm: bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido); muito argiloso, moderada pequena a muito pequena granular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B1 : 45-66 cm: bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido); muito argiloso, aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em fraca pequena granular; ligeiramente duro, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso ; transição difusa e plana.
- B21: 66-141 cm: bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4 , úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em fraca muito pequena blocos subangulares; muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- B22: 141-200 (ou +) cm: bruno-avermelhado-escuro ( 2,5 YR 3/4, úmido); muito argiloso; aspecto de maciça porosa "in situ" que se desfaz em fraca muito pequena blocos subangulares; macio, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Raízes: Comuns (fasciculadas grossas médias e finas) no Ap e A; poucas (finas e muito finas) no B1 e B21; raras (finas e muito finas) no B22.

Observações: Alguma atividade biológica de formigas no Ap.

## APÊNDICE 41. Análise mineralógica obtida pela difração do raio-X

As análises difratométricas foram realizadas nos laboratórios da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-MG., em aparelho Phillips modelo PW 1012/20, de fabricação holandesa.

A fonte de irradiação utilizada foi um tubo de cobre com filtro de níquel; a unidade de força trabalhou com 40 Kv a 20 mA, a velocidade de varredura foi de 1°/min e a velocidade do papel de 300 mm/hora; foi usado um contador Proporcional, operando com voltagem de 1600 V.

Para o preparo das lâminas removeu-se os sais solúveis, matéria orgânica e óxidos de ferro e de manganês livres, pelos métodos descritos por JACKSON (29), mediante emprego de acetato de sódio, de água oxigenada e de citrato-bicarbonato-ditionito de sódio, respectivamente.

Em algumas amostras de material de solo não foi efetuado tal pré-tratamento, visando aproximar-se tanto quanto possível das condições naturais.

Aliquotas da fração argila foram pipetadas para tubos de centrífuga de 100 ml, sendo saturadas com K e Mg, segundo JACKSON (29). Esse material foi transferido para lâminas de vidro pela técnica do esfragaço. As lâminas saturadas com potássio foram levadas ao aparelho de raio X à temperatura ambiente, denominadas "natural", e "aquecidas" à 350°C e 500°C, denominadas "aquecidas". A argila saturada com magnésio foi adicionado etileno -

glicol, denominada glicolada.

Alíquotas da fração argila obtidas sem pré-tratamento foram transferidas para lâminas de vidro pela técnica do esfragaço, não sendo saturadas com K ou Mg.

O intervalo de radiação utilizado foi de 2 a 28°.

Os difratogramas dos horizontes Ap e B22 (Figuras 9 e 10) do solo estudado revelaram dominância de caulinita, seguida de gibbsita, goethita e hematita; além de traços de clorita no Ap.



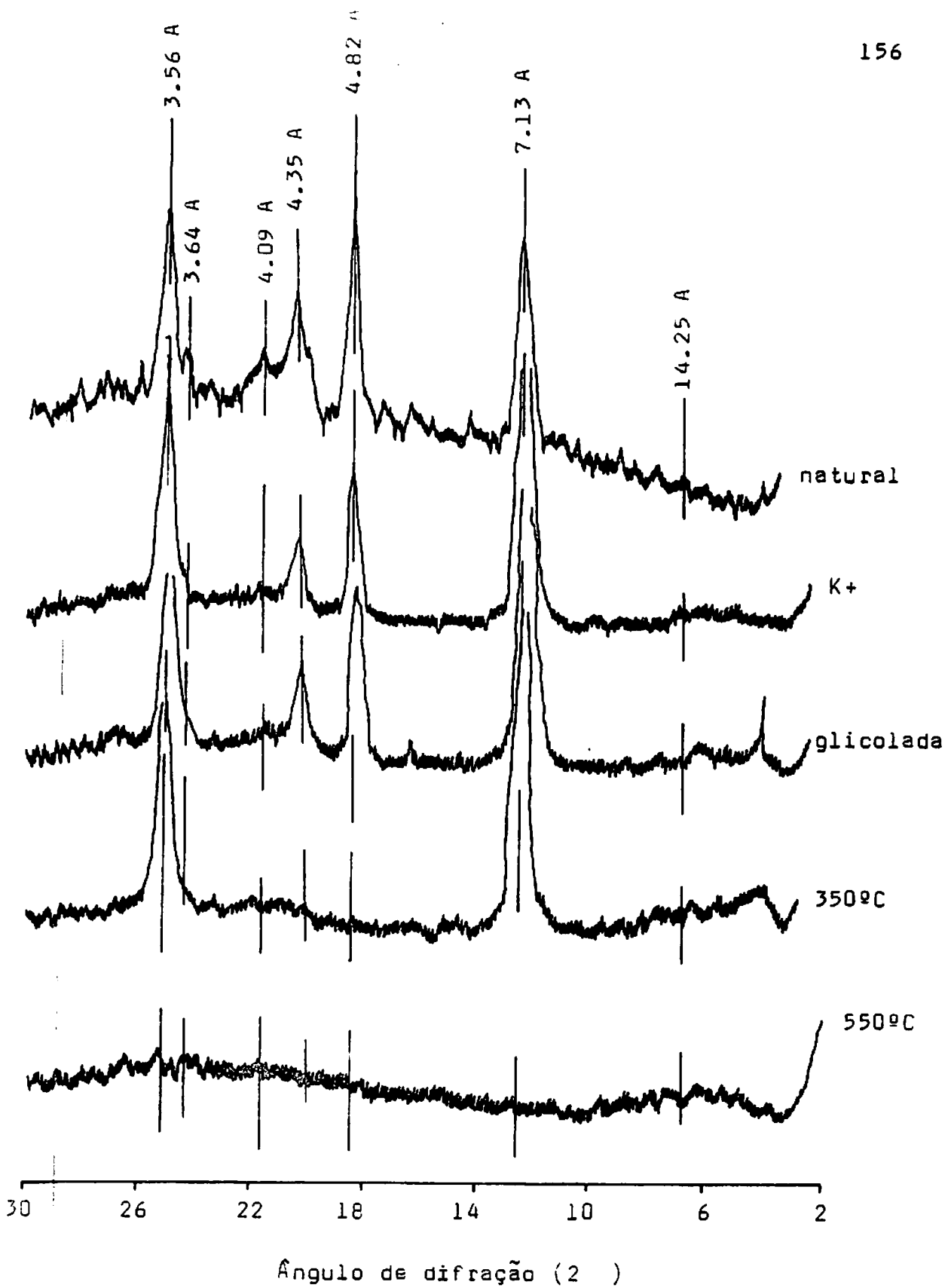


FIGURA 9. Difratoqramas da fração argila, horizonte Ap do perfil de Latossolo Roxo Distrófico. ESAL. Lavras-MG. 1983.

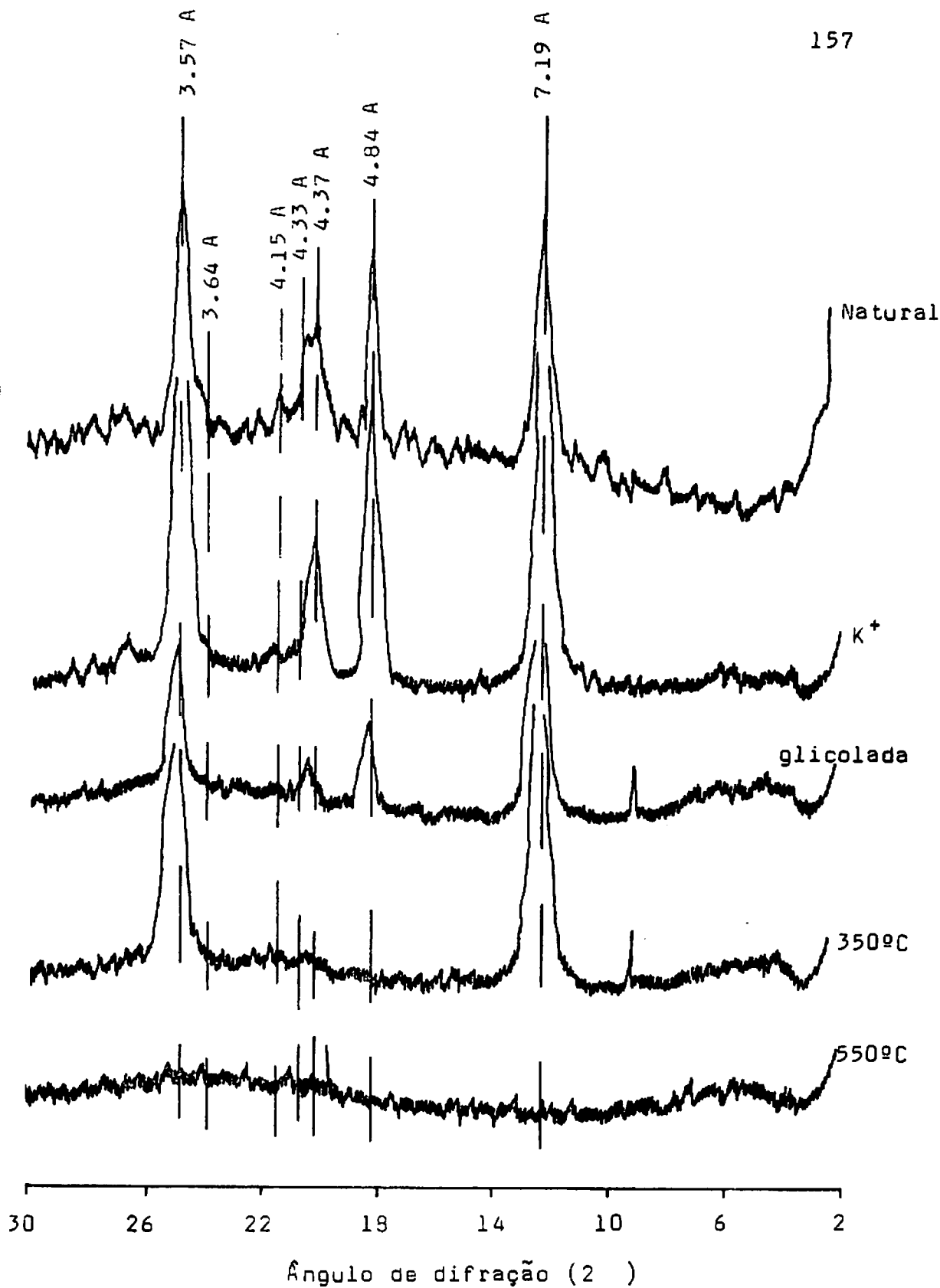


FIGURA 10. Difratoqramas da fração argila, horizonte B22 do perfil de Latossolo Roxo Distrófico. Lavras-MG. ESAL, 1983.

APÊNDICE 42. Análise do calcário utilizado (química e granulométrica) e análise do solo 0-20 cm de profundidade para determinação da dose do corretivo a utilizar. ESAL. Lavras-MG. 1983.

	Química		Granulometria (mesh)	
		%		
Calcário	MgO	48,2	10	0,4
	CaO	23,00	10-50	16,3
	PKNT	131,04	50	83,3
Fertilidade				
Al	Ca + Mg	K	P	pH
0,4	0,6	12	1	5,3
	meq/100 cm <sup>3</sup>	---	ppm	---

APÊNDICE 43. Dados de precipitação (mm) durante o período de experimentação (ago-81/ago-82).

