

TEORES DE POTÁSSIO EM SOLOS DE PIRACICABA  
E ESTABELECIMENTO DE SEU NÍVEL CRÍTICO

BRAZ VITOR DEFELIPO

Engenheiro-Agrônomo; M.S., Profes-  
sor Assistente da Universida-  
de Federal de Viçosa

Viçosa - Minas Gerais

Prof. Dr. Moacyr de Oliveira Camponez do Brasil Sobrinho  
Orientador

Tese apresentada à Escola Superior  
de Agricultura "Luiz de Queiróz" ,  
da Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

- 1974 -

Aos meus pais,  
À Irlene,  
À Adriane e  
Ao Alexandre.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado graças à ajuda e cooperação de muitas instituições e pessoas salientando:

À Universidade Federal de Viçosa que me ofereceu a oportunidade de fazer o curso de doutorado;

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz pela boa acolhida a mim dispensada;

A Coordenação do Aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES) pela necessária Bolsa de Estudo concedida;

Ao Dr. Moacir O. Camponez Brasil Sobrinho pela orientação na execução do seguinte trabalho;

Ao Dr. José Mário Braga pelas suas valiosas críticas construtivas e sugestões;

Ao Dr. Antônio Carlos T. Mendes, pelo seu auxílio no preparo de lâminas e interpretação dos difratogramas de raios-X de fração argila dos solos estudados;

Ao Dr. Víctor Hugo Alvarez e Dr. Onofre Cristo Brumano pelas sugestões;

Aos Professores da ESALQ, pelas suas amáveis e eficientes ensinamentos durante o curso;

Ao agrônomo Joaquim Cristino Filho pela ajuda nas

análises químicas;

Ao Toninho, Cleone Guerra e Ilka Guerra pelos servi  
ços de datilografia;

A todos, que de alguma forma contribuíram neste tra  
balho os meus sinceros agradecimentos.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS . . . . .	vi
LISTA DE FIGURAS . . . . .	ix
1. INTRODUÇÃO . . . . .	1
2. REVISÃO DE LITERATURA . . . . .	5
2.1. Generalidades . . . . .	5
2.2. Potássio solúvel . . . . .	7
2.3. Potássio trocável . . . . .	8
2.4. Potássio não trocável . . . . .	13
2.5. Potássio "disponível" . . . . .	22
2.6. Relação entre fatores capacidade e intensidade, Q/I de potássio. . . . .	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	34
3.1. Solos . . . . .	34
3.2. Caracterização física, química e identificação do tipo de argila dos solos estudados . . . . .	34
3.2.1. Análises mecânicas . . . . .	34
3.2.2. Análises químicas . . . . .	36
3.2.2.1. pH em água . . . . .	36
3.2.2.2. Complexo sortivo do solo. . . . .	36
3.2.2.3. Carbono orgânico . . . . .	37
3.2.2.4. Alumínio trocável . . . . .	37
3.2.2.5. Fósforo e potássio "disponíveis" . . . . .	37
3.2.2.6. Potencial de potássio . . . . .	39

	Página
3.2.2.7. Potássio trocável . . . . .	39
3.2.2.8. Potássio não trocável . . . . .	40
3.2.2.9 Potássio total . . . . .	41
3.2.2.10. Poder de fixação de potássio . . . . .	41
3.2.3. Determinação da relação quantidade/intensidade (Q/I) . . . . .	42
3.2.4. Identificação dos minerais de argila . . . . .	43
3.3. Trabalho em casa-de-vegetação . . . . .	43
3.4. Análise do material vegetal . . . . .	44
3.5. Produção relativa e nível crítico . . . . .	44
3.6. Análise estatística . . . . .	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	46
4.1. Generalidades . . . . .	46
4.2. Formas de potássio trocável, não trocável e total . . . . .	51
4.3. Potássio disponível . . . . .	56
4.4. Relação quantidade/intensidade (Q/I) dos solos estudados . . . . .	66
4.5. Ensaio na casa-de-vegetação . . . . .	73
5. CONCLUSÕES . . . . .	79
6. RESUMO . . . . .	81
7. SUMMARY . . . . .	84
8. LITERATURA CITADA . . . . .	87
9. APÊNDICE . . . . .	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Relação dos solos estudados em grandes grupos, série e porcentagem (%) da área do município . . . . .	35
2	Relação dos extratores para K e P "disponíveis". Nome, composição química, relação solo/extrator tempo agitação, referência bibliográfica . . . . .	38
3	Resultados das análises mecânicas dos solos e classificação textural . . . . .	47
4	Minerais de argila identificados nos solos	48
5	Resultados analíticos dos solos para pH, carbono orgânico (C.O.), capacidade de troca catiônica (T), Hidrogênio ( $H^+$ ) Alumínio ( $Al^{+++}$ ) Cálcio ( $Ca^{++}$ ) Magnésio ( $Mg^{++}$ ) trocáveis e fósforo (P) "disponível" . . . . .	50
6	Teores de potássio em ppm, média de 3 repetições, usando os extratores, acetato de amônio, ácido nítrico 1N e calor, ácido sulfúrico concentrado usando relação 1:1,2 e 1:25 ácido/água, ácido sulfúrico 6N, potássio liberado e total . . . . .	52
7	Coefficientes de correlação e equação de regressão ajustadas para os valores de potássio trocável, não trocável, liberado e potássio total . . . . .	54

Quadro		Página
8	Resultado de análise de potássio (ppm) a pós o tratamento de verificação do poder de fixação de K (médias de 3 repetições)	55
9	Teores de potássio (ppm) média de 3 repetições dos extratores: Carolina do Norte, Bray 1 e 2, Morgan, $H_2SO_4$ 0,05N, $HNO_3$ 0,05N e $CaCl_2$ na relação 1:2 e 5:80 solo/extrator . . . . .	57
10	Coefficiente de correlação e equação de regressão entre os valores de potássio obtidos pelos extratores Carolina do Norte, Bray 1, Bray 2, Morgan, $H_2SO_4$ 0,05N, $HNO_3$ 0,05N, $CaCl_2$ 1:2 e 5:80 e Neubauer.	60
11	Coefficiente de correlação entre os valores de potássio disponível, potássio trocável, não trocável e total dos solos estudados . . . . .	65
12	Equação de regressão entre valores de potássio trocável (X) e potássio disponível (Y) dos solos estudados . . . . .	67
13	Valores do potencial de potássio $ pK-1/2(pCa+Mg) $ , $-K_o$ , ARo, PBC e coefficiente de correlação entre Q e I dos solos estudados . . . . .	69
14	Coefficiente de correlação (r) entre o potencial de potássio $ pK-1/2(pCa+Mg) $ e potássio lábil ( $-K_o$ ) com o potássio trocável, não trocável, total e disponível . . . . .	72
15	Quadrados médios da análise de variância para os dados de produção de matéria seca . . . . .	73
16	Equação do 2. <sup>o</sup> grau sendo y = produção em mg de matéria seca e x = ppm de K adicionado. Produção máxima e crescimento relativo . . . . .	75



Quadro		Página
17	Coeficiente de correlação entre % de potásio na matéria seca e potássio absorvido com potássio disponível, trocável e total e valores de nível crítico . . . . .	76
1A	Resultados analíticos na determinação da relação quantidade ( $\frac{+}{-}$ K) e Intensidade (ARo) dos solos estudados . . . . .	101
2A	Resultado do peso da matéria seca após o 1.º corte (grama) . . . . .	103
3A	Resultado da porcentagem de potássio na matéria seca . . . . .	104
4A	Resultado da porcentagem de cálcio na matéria seca . . . . .	105
5A	Resultado da porcentagem de magnésio na matéria seca . . . . .	106
6A	Quadrados médios de Análise de Variância dos dados da porcentagem de $K^+$ , $Ca^{++}$ e $Mg^{++}$ na matéria seca . . . . .	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva dos valores Q/I obtidos por BECKETT (1964) . . . . .	33
2	Representação da relação Q/I caracterizando os valores - $K_o$ e A $R_o$ do solo número 9 . . . . .	71
1A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para potássio pela expressão $pK - 1/2 p(Ca+Mg)$ . . . . .	108
2A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para potássio lábil (- $K_o$ ) . . . . .	109
3A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON (1965) para potássio pelo extrator acetato de amônio . . . . .	110
4A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator Carolina do Norte . . . . .	111
5A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator Bray 2 . . . . .	112
6A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator Bray 1 . . . . .	113

Figura		Página
7A		
7A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator $H_2SO_4$ 0,05N . . . . .	114
8A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator Morgan . . . . .	115
9A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator $CaCl_2$ 0,01M relação 5:80 . . . . .	116
10A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator $CaCl_2$ 0,01M relação 1:2 . . . . .	117
11A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator $HNO_3$ 0,05M . . . . .	118
12A	Determinação do nível crítico (CATE & NELSON 1965) para potássio pelo extrator Neubauer . . . . .	119
13A	Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 1 e 2 . . . . .	120
14A	Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 3 e 4 . . . . .	121
15A	Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 5 e 6 . . . . .	122
16A	Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 7 e 8 . . . . .	123
17A	Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 9 e 10 . . . . .	124

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas dos técnicos que trabalham na área da fertilidade do solo é a sua avaliação, principalmente no que se diz respeito ao estabelecimento de níveis críticos, para auxiliar na recomendação de adubação.

Comprovado a essencialidade do elemento para as plantas, os estudos são dirigidos para se determinar seu nível crítico, ou seja o teor abaixo do qual há necessidade de dar a suplementação desse elemento às culturas, e acima do qual não se sugere essa suplementação.

Para melhor fazer esta suplementação, estudiosos desde tempos remotos vêm-se preocupando com o estado químico do nutriente no solo, objetivando predizer o sucesso ou o fracasso de uma adubação.

Com estudos desta natureza, a literatura está repleta de exemplos, sendo eles mais freqüentes no estrangeiro do que no Brasil, e principalmente com os macronutrientes fósforo e potássio.

Entretanto, a assertiva de que não se transfere conhecimento tecnológico (MALAVOLTA, 1973) é aqui mais uma vez comprovada, principalmente quando se trata de um nutriente como o potássio, que na planta pode constituir-se sem compos

tos altamente solúveis e em outros tão estáveis no protoplasma vivo que só se desfaz com a morte da célula. Do mesmo modo que no solo, pode-se ter potássio solúvel até potássio constituindo certos minerais, dos quais só poderá libertar-se quando esta estrutura mineral é destruída.

Já dizia ALBRECHT (1943), que o potássio em razão da sua abundância nos minerais da litosfera, sua alta solubilidade e conseqüente rapidez com que se converte da forma solúvel e é retido pelos colóides do solo, sua translação das plantas para o solo com o empobrecimento da parte aérea das plantas e as trocas ao nível das raízes o potássio tem caráter tão nômade que seu comportamento em uma situação particular é difícil de interpretar.

No Brasil, o estudo do nutriente potássio é de suma importância, uma vez que enquanto a literatura brasileira é escassa em exemplos de resposta de vegetais a este nutriente, a estatística de consumo de fertilizantes potássicos no Brasil mostra que as fontes de potássio ocupam o 2.<sup>o</sup> lugar entre os de maior consumo (GONÇALVES, 1972).

Encontrado sob várias formas no solo e havendo entre elas um equilíbrio dinâmico, o potássio é absorvido pelas plantas, tanto na forma solúvel na solução do solo como diretamente da micela do solo.

Por isto, o teor total de potássio no solo é um fraco índice para indicar sua disponibilidade às plantas. É mais importante o estágio de intemperismo do solo e a presença dos minerais supridores de K do solo tais como: as mica biotita e muscovita, e os feldspatos, ortoclásio e microclino. Assim, solos com teores iguais de potássio total diferem mui

to no poder de suprimento de potássio às culturas.

Com referência à disponibilidade do elemento, deve-se conceituar o fator intensidade, que é a atividade do elemento potássio na solução do solo em qualquer tempo, e o fator capacidade que é a quantidade de elemento potássio possível de passar à forma solúvel, à medida que decresce o teor em solução.

Numerosos métodos químicos e biológicos têm sido usados, desde muitos anos, para estimar a disponibilidade de potássio para as plantas, assim como o poder de suprimento dos solos deste nutriente para as formas solúvel em água, trocável e não trocável.

Pesquisas mais recentes usam a relação entre os fatores capacidade (Q) e intensidade (I), objetivando esclarecer melhor o comportamento do potássio na relação solo planta.

O presente estudo foi conduzido, durante o ano de 1974, nos laboratórios do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, com solos do Município de Piracicaba, com o objetivo de:

- 1.º) Conhecer os teores de potássio sob as formas solúvel, trocável, não trocável, total, disponível e os valores de potássio lábil ( $- \Delta K_o$ ), potencial de potássio lábil (ARo) e capacidade de tamponização de potássio lábil (PBC).
- 2.º) Determinar o comportamento da relação Q/I (quantidade intensidade).
- 3.º) Correlacionar os valores de crescimento relativo, porcentagem de potássio no material vegetal e potássio absorvi

de com os teores das diversas formas de K.

- 4.<sup>o</sup>) Determinar os níveis críticos de potássio no solo para os extratores Bray 1, Bray 2, Carolina do Norte, Morgan,  $H_2SO_4$  0,05N,  $HNO_3$  0,05N,  $CaCl_2$  0,01M na relação 1:2 e 1:15, potencial de K e potássio lábil e verificar as relações existentes entre estes extratores usados e verificar as relações existentes entre estes extratores.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades

Apesar de K se apresentar com 2,58% na litosfera, quando se considera a profundidade de 16 km, segundo Clarke, citado por CATANI (1954), o teor de potássio nas formas trocável, não trocável e na solução do solo é função da origem e do grau de intemperismo do solo (GARMAN, 1957 e WILKALNDER, 1954).

Também tanto a quantidade como a qualidade da argila tem influenciado no teor de potássio dos solos. MACLEAN e outros (1955) e SMITH & MATHEWS (1957) encontraram correlação positiva e significativa quando as variáveis eram potássio liberado e teor de argila.

Não é só a fração argila que tem merecido estudos relacionados com os teores de potássio, tem-se dedicado também estudos nas demais frações do solo, conforme cita MACLEAN e MATHEWS (1958), MARTINI (1966). Normalmente, o potássio é mais abundante na fração silte, MARTINI (1966) estima que 15-30% do potássio liberado provém daquela fração.

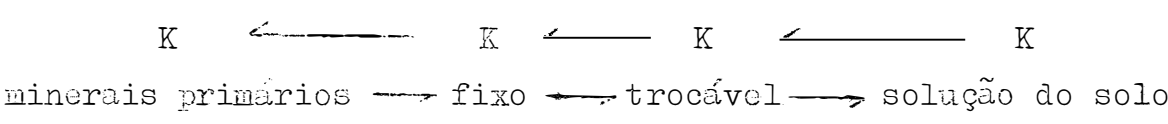
O teor de matéria orgânica existente no solo afeta a quantidade de K, conforme cita KALLA (1966) não só por adsor



ção por covalencia como também por efeito indireto na aera -  
ção e umidade do solo.

Alguns autores têm procurado caracterizar as diver -  
sas formas que o potássio se encontra no solo.

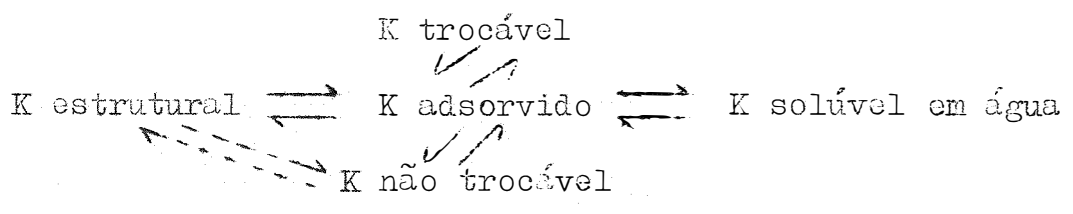
WOOD & DE TURK (1940) propuseram para os solos de  
Ilinóis (EUA) o seguinte esquema:



Apresentando uma extensa revisão de literatura, CATA  
NI (1954) em seu trabalho caracteriza o K no solo em uma das  
formas:

- a) integrante dos minerais primários;
- b) na matéria orgânica do solo;
- c) intimamente ligado à rede cristalina de certos tipos de  
argila como os do grupo montmorilonítico e ilítico;
- d) adsorvido à superfície das partículas coloidais do solo;
- e) como íon na solução do solo.

Recentemente, GARMAN (1957) apresenta um esquema on-  
de engloba os princípios básicos usados:



Apesar de outros esquemas terem sido apresentados co-  
mo os de REITEMEIER (1951) WILKLANDER (1954) e ARNOLD (1962),  
todos eles são iguais ao se referirem que não há separação

nítida entre as diversas formas e que ocorre em equilíbrio entre elas, em razão disto é que só se pode caracterizar o potássio extraído por um determinado extrator.

## 2.2. Potássio Solúvel

Para REITEMEIER (1951) é a fração de potássio dissolvido na água do solo em qualquer momento, sob condições normais de umidade e livres das forças de adsorção.

A determinação do potássio nesta forma é problemática, pois a simples diluição provocaria hidrólise do potássio trocável, provocando sua substituição por cátions divalentes, além da possível solubilização de minerais possuído res de potássio (REITEMEIER, 1951; CATANI, 1954).

O teor de potássio solúvel é quase sempre muito baixo, e esse teor não satisfaz em condições normais as necessidades das culturas (WILKLANDER, 1954).

O teor de potássio solúvel é baixo por causa do efeito do íon complementar, ou seja aquele íon que juntamente com o potássio satura o complexo coloidal do solo. O efeito do íon complementar é explicado pela termodinâmica ao considerar a diferença das energias livres na adsorção desses íons (REITEMEIER, 1951).

JENNY & AYERS (1939) mostraram que em solos com baixa saturação com potássio, as plantas absorviam mais deste nutriente, quando o íon complementar era o cálcio.

O efeito do íon complementar é maior quando o complexo coloidal do solo possui cargas dependentes de pH do que naqueles onde predomina cargas permanentes (BITTENCOURT,

1971).

Deste modo, verifica-se que o tipo de argila é importante, uma vez que conforme menciona THOMPSON (1962) em solos caoliníticos a relação K/Ca é 1:13 e em solos montmoriloníticos é 1:100.

MACLEAN (1960) verificou correlação positiva e significativa entre potássio solúvel em água e porcentagem de saturação de potássio dos solos. HOOD e Colaboradores (1956), demonstram a correlação positiva e significativa entre potássio solúvel e potássio total.

Com relação ao crescimento vegetal, MACKAY E DELONG (1955) encontraram correlação positiva e significativa entre potássio solúvel no solo e o teor de potássio na folha, resultados semelhantes foram obtidos por MACLEAN (1960 e 1961) HALSTEAD & HEENEY (1959), apesar de que STRASMAN e Colaboradores (1958) não confirmaram estes resultados.

### 2.3. Potássio Trocável

Pela definição o potássio trocável é a quantidade de potássio removido com definido extrator de específica concentração e a razão de diluição definida, não é uma característica inteiramente do solo (PEECH E BRADFIELD, 1943). Esta fração é retida eletrostaticamente pela carga negativa dos colóides orgânicos e inorgânicos do solo ao ser deslocado o potássio por outros cationtes, não se altera a natureza do material adsorvente (GARMAN, 1957).

Segundo REITEMEIER (1951), é difícil caracterizar o potássio trocável por não haver separação nítida entre potás

sio solúvel e potássio trocável, visto existir nos solos potássio dificilmente trocável que não é imediatamente deslocado pelos extratores comuns, e em razão da dissolução dos minerais pelo agente extrator.

Para HUNTER & PRATT (1957), a quantidade de potássio extraído por certo reagente depende da forma que o potássio está no solo, das propriedades do reagente e da cinética de reação.

Os primeiros trabalhos para se determinar o potássio trocável dos solos, conforme cita CATANI (1954), iniciaram-se em 1887, usando solução saturada de cloreto de amônio, mais tarde, em 1913, substituíram-se aquele extrator pelo acetato de amônia.

Em 1934, VOLK & TRUOG (1934) recomendavam o uso do acetato de amônio pH 6,8 na relação 1:15 solo/extrator com cinco minutos de agitação e consideravam que este método retira 96% de todo o potássio na forma trocável existente no solo.

Após os trabalhos de SCHOLLEMBERGER & SIMON (1945), generalizou-se o conceito de que potássio trocável é o extraído pelo acetato de amônio 1N pH 7,0, estando o solo seco. HUNTER & PRATT (1957), baseados no tipo de reação envolvida e ao curto tempo de reação, consideram que todo potássio extraído pelo acetato de amônio está na forma de trocável.

Os valores de potássio trocável tem sido correlacionados com outras características do solo, tais como, as frações texturais, matéria orgânica, pH, umidade equivalente e com as outras formas de potássio do solo.

A correlação significativa entre potássio trocável e

fração argila, encontrado por SCHEFFER & SCHACHSTACHAVEL (1966), não foi confirmada por DE DATTA E KALBANDE (1967) e BRAGA (1972).

Verificando a influência das frações granulométricas no teor de potássio trocável do solo, BRAGA (1972) demonstrou a influência do silte no potássio trocável. Estes resultados haviam sido constatados por DANIELS (1956) e MARTINI (1966).

Constatou-se haver correlação positiva significativa entre potássio trocável e teor de matéria orgânica em solos finlandeses, KALLA (1966), em solos brasileiros, BRAGA (1972).

A correlação significativa entre potássio trocável e pH dos solos encontrada por BRAGA (1972), é explicada pela ação indireta deste, uma vez que o pH reflete na saturação das bases trocáveis, principalmente cálcio e magnésio como íon complementar do K.

O potássio trocável tem sido relacionado como as outras formas de potássio no solo. Foi encontrada correlação significativa com potássio não trocável, segundo HUNTER & PRATT (1957); POPE & CHENEY (1957); CRISOSTOMO & CASTRO (1970) CASTRO e Colaboradores (1972); com potássio total RENGASWAMY e Colaboradores (1966) encontraram correlação significativa entretanto OLIVEIRA e Colaboradores (1971) e CASTRO e Colaboradores (1972), trabalhando com solos brasileiros, não confirmaram aqueles resultados.

Verificando a relação entre potássio trocável e crescimento vegetal, há tendência de se considerar o potássio de forma trocável como disponível.

Estudos da disponibilidade de potássio de VOLK &

TRUOG (1934) concluíram que o método de extração com acetato de amônio era o melhor deles, e apresentava correlação significativa com os métodos de Neubauer, Mitscherlich, do "Aspergilus niger" e com experimentos de campo. Na determinação do nível crítico, a influência da cultura, subsolo e clima deviam ser considerados.

A correlação positiva significativa entre potássio trocável e crescimento vegetal tem sido mostrado por vários autores com ALBRECHT (1943), BEAR e Colaboradores (1944); CHAMOLER e Colaboradores (1945); PRATT (1951); BISHOPP e Colaboradores (1954); SUTTON & SEAY (1958); GAMA (1967); BRAGA (1972).

BRELAND e Colaboradores (1950), com solos de Indiana (EUA), verificaram que as plantas reduziram o teor de potássio trocável do solo a um nível baixo constante, dependia da velocidade de reposição da passagem de potássio não trocável para potássio trocável. Essa velocidade de reposição é o poder de suplementação de potássio dos solos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Tabatabay citado por TABATABAY & HANWAY (1969), com solos de Kentucky (EUA), onde verificaram que as plantas reduzem o teor de potássio trocável dos solos, dependendo do teor inicial de K no solo. Quando o teor inicial é alto, a redução é maior do que quando o teor inicial é baixo. Esta redução cai a um nível mínimo, que é característico de cada solo. Além deste nível o potássio removido não causa redução no potássio trocável do solo. Até alcançar este nível mínimo o potássio da forma não trocável vai para a forma trocável, e quando alcança o nível mínimo há um equilíbrio entre as formas. A quanti

dade de potássio absorvido pelas plantas foi correlacionada com o nível mínimo de potássio trocável.

HOGG (1958), estudando o crescimento vegetal em Nova Zelândia, agrupou-os em duas categorias, baseada na relação entre potássio trocável e precipitação pluviométricas. Quando a precipitação pluviométrica estava acima de 45 polegadas/ano, os solos com potássio com mais de 0,5 eq. mg/100 g de solo não respondiam adubação potássica, independente da precipitação. Quando a precipitação era inferior a 45 polegadas/ano, os baixos níveis de potássio trocável não serviam para indicar a resposta adubação potássica.

Com o objetivo de verificar a relação do potássio trocável com o crescimento vegetal em solos brasileiros, realizaram-se alguns trabalhos.

FREITAS e Colaboradores (1966), trabalhando com solos de São Paulo e usando o algodão como planta indicadora, encontraram para potássio trocável e produção o valor de  $r = 0,677$ . O nível crítico para estes solos foi estimado em 39 ppm. MIRANDA (1972), com solos do sul da Bahia, verificou que o potássio trocável correlacionou-se com o potássio absorvido pelo milho; idênticos resultados foram obtidos por CRISOSTOMO & CASTRO (1970), com solos do Ceará. OLIVEIRA e Colaboradores (1971), com solos do Rio Grande do Sul e BRAGA (1972), com solos de Minas Gerais.

Apesar deste grande número de trabalhos concordes, REITEMEIER (1951) considera que o potássio trocável não corresponde exatamente ao potássio disponível. Ele argumenta que quando se determina o potássio trocável há inclusão de potássio solúvel no teor de potássio trocável, ocorre libera

ção de potássio nos minerais primários e argila, há fixação em formas dificilmente trocáveis durante o cultivo, diferença entre plantas na habilidade de obter potássio nas diversas formas, e que as plantas não absorvem completamente o potássio trocável do solo. Cita trabalhos de Volk com solos de Alabama (EUA), onde a previsão de adubação potássica, baseada no teor do potássio trocável, não foi significativo em todos os casos.

A falta de correlação significativa entre potássio trocável e crescimento vegetal foi demonstrado por STEWART & VOLK (1946), PEARSON (1952), PRATT (1951).

ROUSE & BERTRAMSON (1949), WILKLANDER (1954) mostraram que o potássio trocável não deveria ser tomado como índice de suprimento de potássio, uma vez que a quantidade presente no solo depende de fatores como capacidade de troca catiônica, tipo de argila, íon complementar e efeito de diluição.

Com solos brasileiros, MOHR (1959) verificou que o potássio trocável é um fraco índice para indicar o poder de suprimtação de potássio para solos do Rio Grande do Sul.

#### 2.4. Potássio Não Trocável

Para REITEMEIER (1951), todo potássio do solo, exceto o solúvel e o imediatamente trocável, está incluído no termo não trocável.

O potássio não trocável neutraliza a carga negativa das micas e vermiculita e toma parte na estrutura destes mi-



nerais, em função de sua posição ou de sua alta afinidade que ele tem para estas superfícies argilosas, o potássio não troca de lugar facilmente com outros íons (THOMAS & HIPF, 1968). Somente após muito tempo de reação ou precipitação do potássio deslocado seria removido o potássio. Em condições naturais, pequena quantidade de potássio dificilmente trocável é liberado por troca e as principais fontes deste potássio são biotitas, muscovita, ilita e vermiculita. A montmorilonita, caolinita e haloisita não contém potássio dificilmente trocável.

Para WILKLANDER (1961), o potássio não trocável é o constituinte de diversos minerais como ilita, muscovita, feldspato potássico, biotita, e que as proporções destes minerais no solo é muito variada. Em razão do seu comportamento, só pelos processos de intemperismo ele se torna assimilável pelas plantas. A quantidade do potássio que pode ser liberada desta forma é conhecida com o nome de reserva de potássio. Esta reserva não é assimilável rapidamente, mas vai sendo absorvida aos poucos, dependendo do teor de argila, silte e composição dos minerais presentes.

BRAY & DE TURK (1938) sugeriram que as argilas micáceas eram fontes importantes de potássio não trocável, e que este estava em equilíbrio com o potássio trocável.

O potássio trocável encontrado nos solos é normalmente menor do que a quantidade de potássio removido pela alfafa em dois cultivos sucessivos; entretanto, tais solos são cultivados por vários anos sem receber fertilização potássica. Baseado neste raciocínio, CHANDLER e Colaboradores (1945) sugerem que parte do potássio absorvido pelas culturas vem

do potássio não trocável ou por absorção direta ou por liberação desta forma para a trocável. Para fazer uma recomendação de adubação, eles sugerem o conhecimento do nível crítico e a velocidade de liberação do potássio não trocável para o trocável.

A composição mineralógica do solo foi considerada por GRAHAM (1941) como fator importante na avaliação da fertilidade do solo.

Conforme cita REITEMEIER (1951), o teor de mica no solo foi sugerido por Goldschmidt & Johnson como importante valor para aplicação de fertilizante potássico e Leenheer atribuiu falta de resposta a adubação potássica em solos da Bélgica, em virtude da presença de feldspato potássico.

A capacidade que os solos possuem de fornecer potássio às plantas advindo das formas trocável e não trocável é denominada de poder de suprimento de potássio dos solos (PEARSON, 1952; SUTTON & SEAY, 1958; WEBER & CALDWELL, 1965).

O estudo da liberação do potássio do solo é muito antigo, tendo talvez início em 1915, com Hoppkins & Aumer, conforme refere REITEMEIER (1951). Um método comumente usado para estudar o poder de suprimensão de potássio é o do cultivo contínuo, usando a mesma cultura ou alternando as culturas no mesmo solo. Muitos pesquisadores usaram este método como REITEMEIER (1947); ROUSE & BERTRANSON (1949); PRATT (1951); HUNTER & PRATT (1951); POPE & CHENEY (1957); ALNOLD & CLOSE (1961). Apesar de ser o melhor método, é muito demorado e por isto reagentes químicos tem sido utilizado. Para verificar o real valor destes métodos químicos são feitas correlações com o potássio total absorvido pelas plantas atra-

vés dos cultivos contínuos e os resultados são avaliados por meio dos coeficientes de correlação.

ATTOE & TRUOG (1945) mostram que a transformação de potássio não trocável para potássio trocável é uma reação reversível, sendo o sentido segundo os teores relativos das formas. Eles consideram que o potássio trocável, quando não é suficiente para abastecer as culturas, parte do potássio não trocável é translocado para esta forma, por causa disto, é preciso que se tenha um extrator com determinada característica química que indicaria também a quantidade de potássio não trocável, que com o tempo tornar-se-ia disponível ao vegetal.

WILLIAMS & JENNY (1953) demonstraram que a liberação de potássio por reagente químico é uma função direta do pH e que a ordem efetiva dos diferentes íons para deslocar o potássio é  $H > Na > Li > Ca > Mg > NH_4$ . Demonstraram ainda que a velocidade da liberação de potássio aumenta muito quando o pH alcança valores abaixo de 3.

Trabalhando com minerais triturados em diversos tamanhos para verificar o poder de extração de potássio com  $HNO_3$  1N, HCl pH 4 e HCl 0,4N, LEAF (1959) demonstrou o alto valor do  $HNO_3$  para extrair potássio da sienita, da biotita, do microclima, da muscovita, da vermiculita e da nefelina, minerais que possuem em grau variado o potássio não trocável.

Entretanto, com solos do Estado de São Paulo, CATANI (1954) verificou que a capacidade de extração do teor trocável de potássio daqueles solos, da solução de ácido nítrico 0,05 N é a mesma do acetato de amônio N pH 7,0. Em razão do

ponto de vista prático, sugere usar o ácido nítrico como extrator de potássio trocável. Ele verificou que o ácido nítrico 0,05 N pH 1,4 desloca o mesmo teor de potássio do solo do que o ácido nítrico 0,035 N pH 3,1, isto indicando, talvez, que, nos solos do Estado de São Paulo, o potássio está localizado nas partes mais externas dos colóides, e a sua troca com outros cationes testados se processa com relativa facilidade.

ATTOE & TRUOG (1943) sugerem o uso de HCl 0,5N com uma hora de contato e a temperatura ambiente. Verificam que o potássio extraído com aquele extrator foi correlacionado positiva e significativamente com o potássio absorvido pelas culturas.

WILKLANDER (1961) utiliza o HCl 1N na relação 1:30 e com 10 minutos de fervura para indicar o poder de suprimento de potássio dos solos.

MARTINI (1966), baseado em trabalhos de WILLIAMS & JENNY (1952), mostra que um reagente químico com pH abaixo de 3,0 retira potássio não trocável, baseando nisto alterou a normalidade de HCl de 0,05N para 0,01N e obteve correlação significativa com os teores de potássio absorvido pela cultura.

REITEMEIER e Colaboradores (1947), estudando alguns métodos para estimar o poder de suprimento de potássio dos solos, sugerem a eletrodialise do solo por apresentar maior coeficiente de correlação; entretanto, eles apresentam a extração ainda com o  $\text{HNO}_3$  1N com resultados significativos.

Estudando o efeito do tempo de agitação e a relação solo/extrator para o  $\text{HNO}_3$  1N, ROUSE & BERTRAMSON (1949) veri

ficaram que o potássio extraído pelo  $\text{HNO}_3$  1N em 10 minutos de fervura com a relação 1:10 apresentou correlação significativamente com o poder de suprimento de potássio dos solos. Estes resultados foram confirmados por muitos trabalhos como PRATT (1951); LEGG & BEACHER (1952); SCMITS & PRATT (1953); POPE & CHENEY (1957); GAMA (1967); CRISOSTOMO & CASTRO (1971) OLIVEIRA e Colaboradores (1971); CONYERS & McLEAN (1969) e BRAGA (1972).

RAO & SUBRAMANIAN (1971) empregaram o  $\text{HNO}_3$  0,5 N com aquecimento e consideraram este extrator como o melhor para estimar o potássio não trocável que poderá ser disponível para plantas de café.

Para avaliar o potássio nos solos da Nigéria, EKPETE (1972) sugeriu o uso do  $\text{HNO}_3$  1N pela sua precisão, rapidez, conveniência de operação e sua alta correlação com peso de matéria seca, porcentagem de resposta do sorgo e milho em trabalhos de casa-de-vegetação.

GARMAN (1957) verificou que o  $\text{HNO}_3$  retira mais potásssio do solo do que a quantidade removida pela cultura, isto em virtude de os minerais silicatados serem destruídos pelo tratamento severo na extração. Também OLIVEIRA e Colaboradores (1971), em trabalho com centeio em casa-de-vegetação, verificaram que a planta absorve até 5 vezes mais potássio do que o liberado pelo ácido nítrico 1N, este método subestimou muito o potássio disponível.

Também SALOMON & SMITH (1957) verificaram que o potássio não trocável liberado pelo  $\text{HNO}_3$  1N não correlacionou com a produção de feno.

METSON (1968), utilizando-se de um método em que as

formas de potássio solúvel e trocável eram descartadas do solo, depois desta extração procediam-se mais 3 extrações com o  $\text{HNO}_3$  1N, e considerava a média dessas extrações como poder de supriminação de potássio dos solos, representado por Kc. Para os solos estudados, verificou-se que quando o Kc maior do que 0,35 eq. mg/100 g de solo a resposta à adubação potássica era impossível independente de potássio trocável dos solos. Quando Kc menor do que 0,20 eq. mg/100 g de solo, estes eram deficientes em potássio.

POPE & CHENEY (1957) determinaram o potássio não trocável liberado pelo  $\text{HNO}_3$  1N como sendo o potássio extraído por este extrator subtraído do potássio trocável. Os valores obtidos mostraram altamente correlacionados com o potássio liberado pelas culturas. Determina-se potássio liberado pela cultura o potássio total absorvido por esta cultura subtraído da diferença entre o potássio trocável inicial menos o potássio trocável final.

O potássio liberado pelas culturas foi mostrado ser correlacionado com o potássio extraído com  $\text{HNO}_3$  (GAMA, 1967).

Outras soluções ácidas foram empregadas para extrair o potássio dos solos, como o ácido sulfúrico proposto por HUNTER & PRATT (1957). Eles consideraram as seguintes razões na escolha do ácido sulfúrico:

- 1) é altamente dissociado na água, fornecendo H que é efetivo para deslocar o potássio da posição de troca;
- 2) o ácido sulfúrico é agente efetivo para destruir minerais primários e secundários, liberando potássio da estrutura do cristal.

- 3) as películas de compostos orgânicos que recobrem os minerais são oxidadas, permitindo o potássio passar à forma solúvel;
- 4) a reação de destruição dos minerais e conseqüente liberação de potássio é acelerada, quando se fornece calor ao sistema. Este calor é fornecido ao adicionar-se o ácido à água.

HUNTER & PRATT (1957) recomendam usar um dos três métodos, empregando  $H_2SO_4$  concentrado na quantidade de 1 ml ou 10 ml em 25 ml de água e 25 ml de  $H_2SO_4$  6N. Os autores encontraram correlação significativa entre potássio determinado por estes métodos e o potássio absorvido pelo vegetal.

Resultados semelhantes foram encontrados por CRISOSTOMO & CASTRO (1970) OLIVEIRA e Colaboradores (1971); EKPETE (1972).

SUTTON & SEAY (1958) mostraram que apesar do potássio extraído pelo  $HNO_3$  ser correlacionado com potássio absorvido pelas plantas, como método para avaliar o poder de suprimento de potássio dos solos, o ácido sulfúrico 0,15N e 1,38N apresentaram melhor correlação.

Em razão do equilíbrio entre as formas de potássio não trocável, trocável e em solução (WOOD & DE TURK, 1940; CATANI, 1954; GARMAN, 1957) a determinação dos resultados analíticos podem ser alterados.

SUTTON & SEAY (1958) verificaram que em solos de Kentucky (USA), ao determinar-se o potássio trocável nos solos previamente secos, os resultados eram maiores do que nos solos úmidos, indicando que ao secar o solo para análises no

laboratório ou para trabalhos em casa-de-vegetação o potássio era liberado das formas não trocável para trocável. Estes resultados foram confirmados por LUEBS e Colaboradores (1956) SCOTT e Colaboradores (1957) e HANWAY & SCOTT (1957), com solos de Iowa (USA).

Reserva-se o termo 'fixação' de potássio ao processo pelo qual o potássio solúvel adicionado aos solos é convertido em potássio não trocável e o termo liberação ao potássio extrutural passando a potássio trocável (WILKLANDER, 1961).

A ação da secagem do solo em estufa ou ao ar pode aumentar a fixação de potássio adicionado, como foi demonstrado por VOLK (1933) ATTOE (1948). O efeito da secagem parece incidir sobre o equilíbrio de potássio trocável e potássio não trocável.

Para SCOTT e Colaboradores (1957), quando o nível de potássio trocável está abaixo do nível de equilíbrio ocorrerá liberação de potássio, e quando o teor potássio trocável estiver acima do nível haverá fixação de potássio adicionado.

A fixação está ligada fundamentalmente às argilas 2:1. Entretanto, por causa dos métodos de estudo e as variações no poder de fixação dentro de cada tipo de mineral, os resultados não são consistentes (RICHARDS & McLEAN, 1963).

Entre os tipos de mineral a illita é a principal argila fixadora de potássio, segundo GRIM (1953) e MAREL (1954). RICHARDS & McLEAN (1963) observaram que a illita em suspensão fixou muito potássio, porém ao secar fixou ainda mais. O mesmo ocorre com a vermiculita, segundo BARSHAD (1954).



Investigando a possibilidade de fixação de potássio, em solos de São Paulo, CATANI (1954) concluiu que a transformação de potássio adicionado aos solos para a forma não trocável ou "fixa" não tem importância naqueles solos.

### 2.5. Potássio "Disponível"

Forma disponível de um elemento no solo segundo conceito de BRAY (1944) é aquela em que suas variações em suas quantidades são responsáveis pela variação do crescimento vegetal.

Um aspecto importante relacionado com o potássio no solo é a previsão desta quantidade disponível. Isto porém é difícil, porque as formas de potássio que contribuem para aumentar a quantidade disponível deste nutriente são muitas. O problema da disponibilidade do nutriente para as plantas é encarado sob dois fatores:

Intensidade - que é a atividade do potássio na solução do solo em qualquer tempo; e

Capacidade - que é a quantidade de potássio possível de passar à forma solúvel à medida que as plantas absorvem este nutriente.

Para COREY (1965), a determinação do potássio na solução do solo é normalmente uma medida da disponibilidade de potássio na ocasião da determinação, mas não é boa medida da quantidade total disponível para o vegetal.

O potássio na solução do solo e o potássio trocável são considerados prontamente disponíveis e o potássio fixado

e na biotita é moderadamente disponível, enquanto o potássio da muscovita e nos feldspatos é dificilmente disponível (COREY, 1965).

O teor de potássio total dos solos é um fraco índice para indicar o potássio disponível, segundo METSON (1960), por ser mais importante a classe dos minerais presentes do que suas quantidades. Se o teor de potássio total é muito baixo, pode-se considerar este solo como sendo deficiente neste nutriente, entretanto, se o teor de potássio total for alto, não é bastante para conhecer sua capacidade de liberar potássio às culturas.

Para uma fertilização correta é necessário saber tanto o nível crítico de K no solo como a velocidade de liberação do potássio das formas trocável e não trocável, segundo CHANDLER e Colaboradores (1945).

Numerosos métodos químicos têm sido testados para estimar o teor de potássio disponível, como os de BRAY (1948) CATANI e Colaboradores (1955) REID (1969), HENDE & COTTENIE (1960) e o método químico biológico de Neubauer & Schneider, citado por CATANI & PAIVA NETO (1950).

O potássio trocável como índice de potássio absorvido pelas culturas tem-se comportado com valor muito diferente. BRAY (1947) encontrou relação significativa entre o teor de potássio trocável e o crescimento relativo de milho, obtendo a equação:

$$\text{Log } (100 - y) = \text{log } 100 - bX$$

onde:

$y$  = produção relativa,  
 $\bar{X}$  = teor de potássio trocável no solo,  
 $b$  = coeficiente de eficácia,  
 100 = valor do índice da produção máxima.

Verificou que para aqueles solos o valor de  $b$  é 0,0055 e nos locais onde os solos possuíam 110 kg/h de potássio trocável sua produção alcançava 70% da produção, caso recebesse adubação potássica.

A correlação entre potássio trocável e crescimento vegetal foi confirmada por trabalhos de PRATT (1951) PEARSON (1952); SCHIMIT & PRATT (1953); SUTTON & SEAN (1958) GRAHAM & FOX (1971) entretanto, outros como STEWART & VOLK (1946); ROUSE & BERTRANSON (1949), não confirmam estes resultados.

HOGG (1958), empregando o acetato de amônio pH 4,8, denominado de reativo de Morgan, no tempo de 1 minuto, verificou que quando o solo apresentar mais 40 ppm não responde adubação potássica, e solos com menos de 20 ppm necessitam de adubação. Com solos do Brasil, BRAGA (1972) encontrou o nível crítico de 62 ppm para o extrator de Morgan.

Com solos do Rio Grande do Sul, OLIVEIRA e Colaboradores (1971) verificaram que o extrator de Norte Carolina, mistura de HCl e  $H_2SO_4$ , correlacionou com o extrator de Bray mistura de HCl e  $HN_4F$ . Ambos os extratores apresentaram correlação significativa com o potássio observado pela cultura.

Em solos de Minas Gerais, BRAGA (1972) verificou o nível crítico, quando se usa o extrator Carolina do Norte, foi 56-80 ppm de potássio, com o Bray 1 63 ppm e com Bray 2 foi 51 ppm.

Utilizando o  $H_2SO_4$  0,05N, GARGANTINI e Colaboradores

(1970) verificaram que 98% dos solos de São Paulo tinham mais de 47 ppm de potássio disponível.

EKPETE (1972) verificou, com seus dados experimentais que, para solos da Nigéria, um dos melhores extratores químicos foi a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M na relação solo:solução de 1:16. Ele sugere o uso deste extrator por causa de sua simplicidade, rapidez e ter apresentado alta correlação com matéria seca e produção de milho em vasos.

Entre os métodos biológicos para estimar os nutrientes do solo tem sido usado o método de Neubauer e Schneider, sendo que os autores deste método sugerem que o nível crítico seria de 24 mg de potássio absorvido por 100 g solo (CATANI & PAIVA NETO, 1950).

Estudo do método de Neubauer e Schneider, com solos de São Paulo, CATANI & PAIVA NETO (1950) verificaram que em 35 solos estudados somente dois deles apresentam resultados acima de 24 mg de potássio absorvido.

Comparando a capacidade de liberar potássio do solo de alguns extratores químicos e o método de Neubauer e Schneider, tendo o arroz como planta indicadora, JORGE & GARGANTINI (1963) concluíram que a água e o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,002N tem capacidade inferior ao do método Neubauer. O  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1N pH 7,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N e  $\text{HNO}_3$  0,2N possuem capacidade semelhante ao método de Neubauer e o  $\text{HCl}$  0,05N,  $\text{HNO}_3$  0,05N extraem mais potássio do que o método de Neubauer.

Na escolha de extratores é necessário seja determinado o nível crítico do nutriente no solo.

Para o cálculo do nível crítico, tem-se empregado o método proposto por CATE & NELSON (1965).

## 2.6. Relação Entre os Fatores Capacidade e Intensidade (Q/I) do Potássio

Recentemente, BECKETT (1964 a e b) e TINKER (1964 a e b) sugeriram que a relação entre atividade de potássio e atividade de cálcio mais magnésio fosse relacionada ao potássio trocável para se obter um quadro mais claro entre os fatores quantidade e intensidade, na disponibilidade do potássio dos solos.

A distribuição de potássio entre adsorvido no solo e na solução do solo é função das espécies e quantidade do catione complementar. Na maioria dos solos cultivados o cálcio predominante, daí a razão de se estudar o equilíbrio cálcio/potássio (FASSBENDER, 1972).

Conforme cita SHOFIELD & TAYLOR (1955), Shofield, em 1947, comprovava os trabalhos de Mattson e Wilklander, os quais afirmavam que a razão entre  $|Ca|/|H|$  poderia esperar manter-se constante, quando o solo somente possuía cargas negativas ou predominância delas. Nestes experimentos, como não usaram a atividade dos íons, apesar de empregarem soluções diluídas, a correção deveria ter sido feita, de acordo com SHOFIELD & TAYLOR (1955). Estes mesmos autores afirmam que essa representação pode ser substituída pelo logaritimo de inverso das atividades. Como a razão entre as concentrações é constante, tem-se  $H/Ca$  ou expressando em logaritimo do inverso da atividade.

$$(H)/\sqrt{(Ca)} = pH - 1/2 pCa$$

Já em 1955, WOODRUFF (1955) sugerira que a energia livre de troca do cálcio pelo potássio caracterizava o estado do potássio no solo, desde que o cálcio fosse o íon trocável dominante e o potássio adsorvido a fonte principal deste elemento.

A expressão usada por WOODRUFF (1955) para o cálculo da energia livre de troca foi

$$\Delta F = - RT \ln a_k / \sqrt{a_{Ca}},$$

na qual F está expresso em calorias por equivalente gramas, R é a constante geral dos gases, T é a temperatura absoluta e  $a_k$  e  $a_{Ca}$  são as atividades de potássio e cálcio na solução do solo.

Baseado nas propriedades semelhantes de troca dos íons cálcio e magnésio, e em razão da facilidade nas análises químicas é comum usar a determinação de  $Ca^{++} + Mg^{++}$  em lugar de Ca. WOODRUFF & McINTOSH (1960) demonstraram que  $\Delta \bar{G}$ , com várias combinações de cálcio e de magnésio no complexo de troca, era suficientemente constante. Do mesmo modo BECKETT (1964) verificou em relação a um solo a constância da relação  $a_k/a_{Ca}$  mg em diferentes proporções de cálcio e de magnésio. Resultados idênticos foram obtidos por LEROUX & SUMNER (1968).

A energia de troca de potássio e cálcio é estritamente um índice de intensidade (WOODRUFF, 1955; ARNOLD, 1962), e a relação das atividades de potássio e cálcio mais magnésio, apresentada na sua forma cologarítmica  $pK - 1/2 pCa - Mg$ , é denominado de potencial potássico (MOSS, 1964), BARROW e

Colaboradores, 1965).

Segundo FASSBENDER (1972), o parâmetro capacidade se considera os cátions adsorvidos determinados por métodos adequados, e além do parâmetro intensidade para se ter uma idéia melhor acerca da disponibilidade do nutriente é necessário verificar a cinética de reposição dos íons na solução, o que é indicado pelo constante de Gapon, que pode ser calculado de acordo com a fórmula:

$$K_{(k/Ca)} = \frac{\text{eq. mg K trocável} \cdot \sqrt{(Ca)_e^2}}{\text{eq. mg Ca trocável} \cdot \sqrt{(K)_e}}$$

sendo

$K_{(k/Ca)}$  = constante de Gapon

$(Ca)_e$  e  $(K)_e$  = atividade de cálcio e potássio na solução de equilíbrio.

Com o uso da constante de Gapon tem-se dado em grande incentivo a trabalhos relacionado com a determinação físico-química da capacidade do solo de repor para a solução do solo os íons absorvidos pelas plantas ou lixiviados através do perfil (FASSBENDER, 1972).

BECKETT (1964 b) determinou o fator capacidade (Q) e sua relação com o fator intensidade (Q/I), após equilibrar o solo com uma série de solução de  $CaCl_2$  contendo quantidades variáveis de KCl. Pela diferença dentre K inicial e final de solução, determinou-se o  $\pm K$ , sendo o fator capacidade (Q) que representa a perda ou ganho de K do solo. O fator intensidade foi obtido através da relação de atividades de potássio e cálcio mais magnésio na solução de equilíbrio.

$$Ak/1/2 A_{Ca+Mg} = A_{Re}$$

Colocando em um sistema de coordenadas os valores de  $\Delta K$  (Y) e  $A_{Re}$  (X) obtém-se uma curva característica para cada solo, e cuja inclinação é a constante de Gapon (PASSBENDER, 1972). Por interpolação da parte linear da curva,  $Q/I$ , onde  $A_{Re} = 0$ , obtém-se  $\Delta K_0$  definido como potássio lábil ou imediatamente disponível. No ponto em que  $K = 0$  obtém-se o  $A_{R0}$ , que é o ponto natural do solo onde não se realiza fixação ou liberação de potássio. No ponto da curva onde o traçado é linear, calcula-se o  $Q/I$ , que é a capacidade de temporização do potencial lábil ( $PBC^k$  ou potencial buffer capacity) (BECKETT, 1964, a e b). As curvas obtidas por BECKETT (1964 a) apresentam na sua parte superior retilínea e na sua parte inferior apresenta curvilínea, conforme ilustra a Figura 1 na página 33.

O PBC serve principalmente para solos em que a nutrição potássica das plantas depende sobretudo do potássio de troca e para solos onde a liberação de potássio de formas não trocáveis é muito rápida para que o potencial inicial ( $A_{R0}$ ) não sofra acentuada alteração (GAMA, 1967).

THOMAS & HIPF (1968) discorrendo sobre a relação  $Q/I$  mostra que alto valor para  $Q/I$ , sugerem que a disponibilidade de potássio permanecerá constante durante longo período de tempo. Baixos valores para  $Q/I$  sugerem a necessidade de adubação freqüentes. Em determinados solos montmoriloníticos Nelson e Colaboradores encontraram que apesar do suprimento de potássio trocável (Q) ser inesgotável e a relação  $Q/I$  ser alto o valor da intensidade (I) era muito baixo para suportar -



tar bom desenvolvimento das plantas; em razão de o Q/I ser muito alto, grande quantidade de potássio devia ser adicionada ao solo para realizar qualquer alteração. Solos arenosos especialmente onde a matéria orgânica é a principal responsável pela capacidade de troca catiônica, o Q/I é tão baixo que o teor de potássio na solução do solo (I) em certo momento é inexpressivo, uma vez que chuvas pesada ou absorção rápida pelo vegetal podem esgotar o potássio disponível em poucos dias, por isto a relação entre potássio trocável e o potássio na solução do solo é boa medida na avaliação da fertilidade do solo.

Com solos da Nigéria, TINKER (1964 a e b) determinou os potenciais de potássio, verificando que ARE funciona bem em solos neutros, mas em solos ácidos deve ser introduzido a análise de alumínio, e o potencial deve ser expresso como  $pK - (1/2 pCa + Mg + 1/3 pAl)$  denominando-o de ARu. Verificou alta associação entre estes valores e a colheita de palma africana adubada com potássio.

Com solos Australianos, BARROW (1966) e BARROW e Colaboradores (1965), usando trevo subterrâneo como planta indicadora, obtiveram correlação significativa entre potencial de potássio e a produção no 1.º corte ( $r = 0,76$ ). Com a fertilização potássica ocorria aumento nos parâmetros  $- K_o$  e  $AR_o$  e com cultivo sucessivo diminuíam os valores de  $- K_o$  e  $AR_o$ .

GAMA (1966 e 1967), em casa-de-vegetação com cultivo de trevo e em seguida trigo, verificou que os valores de  $AR_o$  dos solos oscilaram de 0,0019 a 0,0071  $(M/l)^{1/2}$  enquanto que, segundo o FBC, os solos eram agrupados em dois grupos com va

lores de 150 e de 20 eq. mg/100 g/solo por  $(m/l)^{1/2}$ . O potássio absorvido pelas culturas não foi correlacionado com o potencial (ARo) nem com o PBC, mas quando se usou a correlação múltipla entre potássio absorvido pelo trigo e ARo e PBC a correlação foi significativa.

Com solos de Ghana, ACQUAYE e Colaboradores (1967) verificaram que os valores de  $pH - 1/2 pCa + Mg$  oscilaram de 2,32 a 2,63, enquanto o PBC de 2,9 a 81,6. Enquanto houve correlação significativa entre  $pK - 1/2 pCa + Mg$  e potássio absorvido, o PBC correlacionou com a capacidade de solo de fixar potássio e com as reservas de potássio não trocável.

LE ROUX & SUMNER (1968), trabalhando com solos da África do Sul, encontraram correlação significativa ( $r = -0,78$ )\*\* entre  $pK - 1/2 pCa + Mg$  e produção; e entre  $-\Delta Ko$  com produção ( $r = 0,78$ )\*\*. A melhor correlação foi obtida entre  $-\Delta Ko$  e K absorvido ( $r = 0,78$ )\*\*, por isto os autores sugerem que o potássio lábil  $-\Delta Ko$  é preferido como medida para indicar o poder de suprimento de potássio dos solos. Quanto aos valores de PBC os solos dividiram-se em 3 grupos com média de 14,35 e 110 para valores de PBC.

A capacidade de tamponização do potássio lábil (PBC) se relacionou com a absorção acumulativa de potássio pela planta, segundo TALIBUDEEN & DEY (1968).

ARNOLD e Colaboradores (1968) encontraram correlação significativa entre absorção de potássio pela batata e o parâmetro intensidade.

Com solos norte-americanos, NASH (1971) verificou a associação entre  $-\Delta Ko$ , K trocável e potássio absorvido pela girassol, entretanto obteve baixa associação entre parâme

tro ARO, PBC e absorção de potássio.

Correlacionando os valores de  $pK -1/2 p(Ca^{++} + Mg^{++})$  e o teor de  $K^+$  e  $Ca^{++} + Mg^{++}$  na planta de tomate, FASSBENDER & LAROCHE (1968) encontraram a equação

$$\log \frac{K^+}{Ca^{++} + Mg^{++}} = 3,00 - 0,88 (pK -1/2 p(Ca^{++} + Mg^{++}))$$

$$r = -0,93^{**}$$

KOCK e Colaboradores (1970), relacionando a produção de milho e o potássio lábil ( $-\Delta Ko$ ) concluíram que o nível crítico está entre 185 a 240 kg/ha de potássio.

Usando 21 solos de Minas Gerais, BRAGA (1972), verificou os valores de 1,64 a 2,714 para os potenciais daqueles solos e encontrou o valor de 2,039 para o nível crítico do  $pK -1/2 pCa + Mg$ .

Com solos tropical úmido ocupado por cacau, MIRANDA (1972) concluiu que a relação Q/I pode ser usada para explicar o suprimento de potássio. A calagem contriuiu para diminuir os parâmetros  $-\Delta Ko$  e ARO, porém não alterou o PBC. As adubações aumentaram os valores de  $-\Delta Ko$  e ARO e o cultivo sucessivo diminuía os valores de  $-\Delta Ko$  e ARO.

Resultados obtidos por FERGUS e Colaboradores (1972), relacionando potencial de potássio com teor de  $K^+$  na matéria seca da (Setaria spheculata eu. Nandi), obtiveram  $r = -89$  com a equação:

$$\% K.m.s. = 9,88 - 3,33 (pK -1/2 p(Ca + Mg))$$

Como o nível crítico da % de K para esta cultura é de 1%, os autores calcularam o nível crítico para o  $pK -1/2 p(Ca + Mg)$

igual a 2,67.

MOSS & COULTER (1964) verificaram que a intensidade de potássio no solo pode ser utilizado para predizer a resposta à adubação potássica. Determinaram o nível crítico do potencial de potássio no solo de 2,3 para a banana e de 2,8 para o cacau.

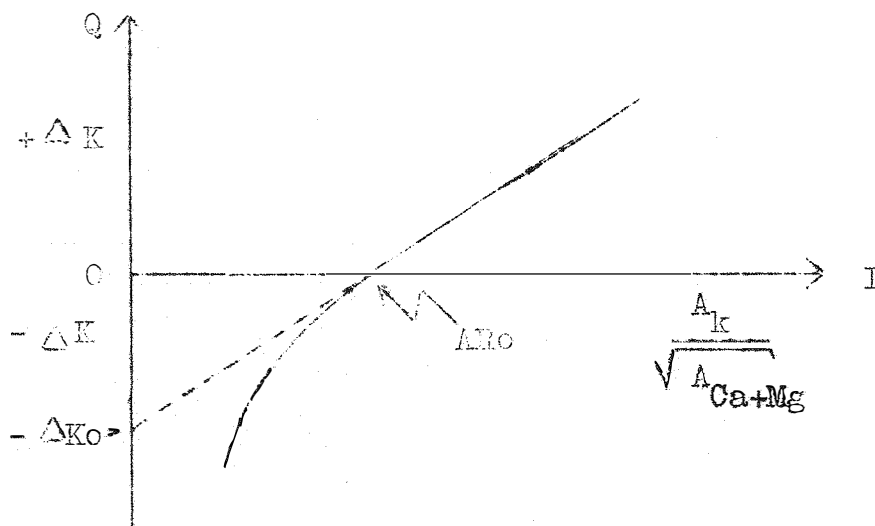


FIGURA 1. Curva dos valores  $Q/I$  obtidos por BECKETT (1964).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Solos

Coletaram-se, aproximadamente, oitenta quilos de solos até a profundidade de 25 cm em cada local, em dez séries de solo do Município de Piracicaba, segundo trabalhos de RANZANI e Colaboradores (1966), conforme Quadro 1.

Após seco, o solo foi peneirado em peneira de 2 mm. Em uma subamostra realizou-se as análises físicas e químicas, e outra amostra dos solos foi colocado em vasos de plástico de 2 litros de capacidade, para o ensaio em casa-de-vegetação.

#### 3.2. Caracterização física, química e identificação do tipo de argila dos solos estudados

##### 3.2.1. Análises mecânicas

As análises mecânicas dos solos foram realizadas pelo Centro de Estudos de Solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo.

QUADRO 1. Relação dos solos estudados, em grande grupos, série e por centagem (%) da área do município.

Solo	Grande grupo*	Série	% da área do município
1	Latosol Vermelho Escuro	Paredão Vermelho	7,6
2	Terra Roxa Estruturada	Luiz de Queiroz	5,1
3	Latosol Vermelho Escuro	Guaniua	6,2
4	Latosol Roxo	Iracema	2,2
5	Latosol Vermelho Escuro	Pau d'Alho	2,1
6	Podzólico Vermelho	Cruz Alta	7,3
7	Amarelo	Ibitiruna	4,5
8	Podzólico Vermelho	Ribeirão Claro	5,7
9	Regosol	Sertãozinho	0,4
10	Mediterrânico Vermelho	Beirrinho	0,4
	Amarelo		

\* Correspondência em Grande Grupo, de acordo com a Carta do Solo do Estado de São Paulo (1960).

Usou-se o calgon como dispersante e agitação durante 16 horas. Utilizando-se de uma peneira, separando-se a fração areia e por meio de pipeta a fração argila. O silte foi obtido por diferença.

### 3.2.2. Análises químicas

As análises químicas foram feitas em 3 repetições, sendo que na determinação do potássio usou-se o fotômetro de chama de emissão da E.B.L.; a determinação do fósforo, por colorimetria, baseada na formação do composto azul de molibidênio provocado pela redução do ácido fosfomolibídico pelo ácido ascórbico, medindo a intensidade da cor azul com o colorímetro KLETT-Summerson; o cálcio mais magnésio foram complexados com EDTA na presença do negro de eriocromo T, como indicador, (CATANI & JACINTO, 1974).

#### 3.2.2.1. pH em água

Determinou-se o pH do solo com potenciômetro Beckman G.H., usando-se a relação solo:água 1:2,5, após repouso durante 30 minutos e prévia agitação antes das leituras (VETTORI, 1969).

#### 3.2.2.2. Complexo sortivo do solo

A capacidade de troca catiônica  $C(T)$  foi determinado pela soma das bases trocáveis (S) com a acidez total (H+Al). As bases trocáveis foram  $K^+$  extraído pelo acetato de

amônio e  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  extraídos pelo cloreto de potássio 1N. A acidez total foi determinada por titulometria, após extração com acetato de cálcio 1N pH 7,0 (CATANI e Colaboradores 1955 b). A porcentagem de saturação de bases (V) foi estimada a partir da fórmula  $V = \frac{S.100}{\text{CTC}}$ .

#### 3.2.2.3. Carbono orgânico

Foi determinado por via úmida, usando o método de Wakley-Black, segundo técnica de JACKSON (1958).

#### 3.2.2.4. Alumínio trocável

Usou-se o extrator ECl 1N na relação 1:10 solo/extrator com 10 minutos de agitação. Filtrou-se, titulando-se o filtrado com hidróxido de sódio em presença de azul de bromo timol (VETTORI, 1969).

#### 3.2.2.5. Fósforo e potássio "disponíveis", segundo os extratores Bray 1, Bray 2, Carolina do Norte, Morgan, Ácido sulfúrico .05 N, Ácido nítrico .05 N, Cloreto de cálcio 0,01 M.

Consistiu em agitar o solo mais o extrator durante um tempo específico para cada método. Filtrou e determinou o fósforo e o potássio. No Quadro 2 vêem-se estes extratores com suas características químicas, relação solo/extrator, tempo de agitação e referência bibliográfica.



QUADRO 2. Relação dos extratores para M e E "disponíveis". Nome, composição química, relação solo/extrator, tempo agitação, referência bibliográfica.

Nome	Composição química	Relação solo/extrator	Tempo agitação (minutos)	Referência bibliográfica
Carolina do Norte	HCl 0,05 N + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025N	1:10	15'	VENNORI (1969)
Bray 1	NH <sub>4</sub> F 0,03 N HCl 0,025N	1:10	5'	BRAY (1948)
Bray 2	NH <sub>4</sub> F 0,03N HCl 0,10N	1:10	5'	BRAY (1948)
Morgan	Acetato de amonio pH 4,8	1:2	10'	HENDE e COMBIE(1960)
HNO <sub>3</sub> 0,05	HNO <sub>3</sub> 0,05N	1:10	10'	CATANI (1955)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	1:10	15'	CATANI (1973)
CaCl <sub>2</sub> 0,01M	CaCl <sub>2</sub> 0,01M	1:16	15'	WOODRUFF e KINFOSH(1960)
CaCl <sub>2</sub> 0,01M	CaCl <sub>2</sub> 0,01M	1:2	120'	WOODRUFF e KINFOSH(1960)

### 3.2.2.6. Potencial de potássio

Foi determinado em relação ao Ca + Mg, após extração com cloreto de cálcio 0,01 M na relação 1:16 (solo:solução), conforme a técnica de WOODRUFF & McINTOSH (1960) (Ver Quadro 2). Foi expresso em função do logaritmo do inverso das atividades, conforme TAYLOR (1958).

$$\text{Potencial de potássio} = pK - 1/2 pCa + Mg.$$

Na determinação das atividades calculou-se o coeficiente de atividade (f), usando a fórmula de Debye-Hückel

$$- \log f = 0.509Z^2 \sqrt{u},$$

onde Z é a valência do íon e u é a força iônica da solução calculada por

$$u = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (C_i Z_i^2 + \dots + C_n Z_n^2)$$

sendo C a concentração do íon, obteve

$$A = fC$$

### 3.2.2.7. Potássio trocável

Foi considerado como potássio trocável o extraído pelo acetato de amônio 1N pH 7.0.

Usaram-se 10g de solo mais 100 ml de acetato de amônio, agitou durante 15 minutos e filtrou-se. No filtrado foi determinado o potássio. Esta técnica foi seguida por BRAGA (1972).

## 3.2.2.8. Potássio não trocável

O potássio não trocável foi obtido por uma das seguintes técnicas:

I . Ácido nítrico 1N com 10 minutos de fervura.

(ROUSE e BERTRAMSON, 1949)

Tomaram-se 2g de solo em copos de 100 ml, adicionaram-se 25 ml de  $\text{HNO}_3$  1N, colocando tudo sobre uma chapa quente. Iniciada a fervura, deixou-se durante 10 minutos. Esfriou-se e neutralizou-se com  $\text{NH}_4\text{OH}$ , e em seguida, filtrou-se para balão de 100 ml lavando-se o resíduo com  $\text{HNO}_3$  0,1N. Completado o volume, determinou-se o potássio.

II . Ácido sulfúrico concentrado: relação 1:2,5 ácido/água

(HUNTER e PRATT, 1957)

Tomaram-se 10g de solo e acrescentaram-se 25 ml de água. Em seguida, colocaram-se 10 ml,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, agitando o copo. Deixou-se em repouso durante 30 minutos. Filtrou-se, neutralizou-se com  $\text{NH}_4\text{OH}$  e determinou-se o potássio.

III . Ácido sulfúrico concentrado na relação 1:25 ácido/água

(HUNTER e PRATT, 1957)

Idêntico ao procedimento do item II, sendo que se empregou 1 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado.

IV . Ácido sulfúrico 6N

(HUNTER e PRATT, 1957)

Tomaram-se 10g de solo em copo de 100 ml, adiciona-

ram-se 25 ml  $H_2SO_4$  6N. Agitou e deixou em repouso durante 30 minutos. Filtrou completando o volume com  $H_2SO_4$  0,1N. Antes de completar o volume, foi neutralizado com  $NH_4OH$ , em seguida, tomou-se alíquota para determinação do potássio.

#### V . Potássio liberado

Denominou-se potássio liberado, o teor de K extraído por ácido nítrico 1N, a quente, menos o potássio trocável extraído pelo acetato de amônio (PRATT & MORSE, 1954; SALOMON & SMITH, 1957).

#### VI . Método de Meubauer-Schneider

Para esta determinação usou-se a técnica de CATANI & PAIVA NETO (1950).

#### 3.2.2.9. Potássio total

Para determinação do potássio total, usou-se a técnica de JACKSON (1958). Tomou-se 0,1g de solo em cadinhos de platina. Ajuntando-se 5 ml de ácido fluorídrico e 0,5 ml de ácido perclórico. Aqueceu-se até secura. Solubilizou-se o resíduo com HCl 6N. Neutralizou-se com  $NH_4OH$  e filtrou-se a solução completando o volume para 100 ml. Tomou-se alíquota e determinando-se na mesma o potássio.

#### 3.2.2.10. Poder de fixação de potássio

Foi seguida a determinação recomendada por JACKSON (1958), na qual 10g de solo mais 10 ml solução contendo 1000 ppm de K eram agitados com 100 ml acetato de amônio, durante

15 minutos. Em seguida, filtrava-se e tomava-se a alíquota para determinação do teor de K. Em outra amostra de 10g de solo, após adicionar 10 ml da solução contendo 1000 ppm de potássio, o solo era seco a 70°C e adicionando-se em seguida, 10 ml de água e deixando-se secar novamente, sendo esta operação repetida dez vezes. Após este tratamento, adicionavam-se 100 ml do acetato de amônio e agitava-se durante 15 minutos filtrando-se a seguir. 0

### 3.2.3. Determinação da relação (Q/I) quantidade/intensidade

Para a relação Q/I, empregou-se a técnica de BECKETT (1964 a e b), onde 2g de solo mais 20 ml de  $\text{CaCl}_2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  contendo 0 - 5 - 10 - 20 e 30 ppm de  $\text{K}^+$ , foram agitados durante 17 horas, à temperatura ambiente. Após o equilíbrio, centrifugou-se e determinou-se o  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  e o  $\text{K}^+$  na solução de equilíbrio. Pela diferença entre o teor de K na solução inicial, e final determinou-se o  $\Delta \text{K} (Q)$ , sendo o fator intensidade (I) calculado pela fórmula:

$$I = \text{Atividade de K} / (\text{Atividade de Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})^{1/2}$$

Na determinação das atividades procedeu-se igual ao item 3.2.2.6.

Com base nos parâmetros Q e I, calculou-se por regressão linear os valores referentes a:

-  $\Delta \text{K}_0$  = potássio lábil do solo

$\Delta \text{R}_0$  = relação inicial onde não há fixação ou liberação de potássio (potencial de potássio lábil)

pela relação -  $\Delta Kc/ARo$  calculou-se:

PBC = capacidade de tamponização do potássio lábil  
(= potencial buffering capacity)

#### 3.2.4. Identificação dos minerais de argila

Para o preparo das lâminas, seguiu-se o método empregado por MENDES (1972). As leituras foram feitas em lâminas com radiação de cobre, usando-se filtro de níquel a 34 Kv e 20 mA numa velocidade de exploração de 2 graus/minuto e feito registro com uma velocidade do papel de 1/2 polegada/minuto. As análises de identificação do material foram realizados no Laboratório do IAC, Campinas.

#### 3.3. Trabalho em casa-de-vegetação

Mediram-se 2 litros de solo e colocou-os em vasos de plástico. Os solos sofreram calagem, baseada em seu pH e teor de matéria orgânica, segundo recomendações de COELHO e VERLENGIA (1972). Foram fertilizados com fósforo na razão de 500 ppm, teor este que saturava a capacidade máxima de adsorção, determinada pela isoterma de Langmuir, segundo FASSBENDER (1966).

Após a aplicação do fósforo e do cálcio adicionou-se água suficiente para atingir 70% da capacidade máxima de adsorção de água. Diariamente, irrigavam-se os solos com água destilada e, semanalmente, aplicavam-se 100 ml da solução nutritiva, contendo todos elementos essenciais e isenta de P e K, segundo recomendação de WAUGH e FITTS (1966). O  $K^+$

foi aplicado como solução de KCl, para se ter os níveis de 0 - 120 - 240 e 360 ppm de potássio. Usaram-se três repetições.

Plantaram-se 30 sementes de painço (Setaria italica Beauv), tendo sido feito o desbaste, posteriormente, deixando-se 20 plantas por vaso.

Quarenta dias após o plantio, o painço foi cortado rente ao solo e levado à estufa, onde permaneceu a uma temperatura de 70°C durante 10 dias.

Após este prazo, pesou-se o material vegetal que depois foi moído em moinho Willey, usando-se malha 40.

#### 3.4. Análise do material vegetal

Fez-se a digestão do material vegetal com ácido nítrico e ácido perclórico, recolhendo-se a solução mineral em balão de 50 ml, de onde tomou-se alíquota para a determinação do potássio por fotometria de chama de emissão e de cálcio e magnésio por fotometria de chama de absorção, usando-se o aparelho Perkin-Elmer, modelo 303 (MALAVOLTA, 1964).

#### 3.5. Produção relativa e nível crítico

Para a produção relativa do material vegetal foi seguido o mesmo critério de BRAY (1947)

$$P.R = \frac{\text{Produção do tratamento sem potássio}}{\text{Produção tratamento completo}} \times 100$$

Os dados de produções foram ajustados a equação quadrática  $Y = AX^2 + BX + C$  e no cálculo da produção relativa empregou-

se como numerador o valor de C e para denominador a produção máxima estimada, igualando-se a zero a derivada primeira da equação e encontrando o valor de  $X_1$ , dose de  $K^+$  capaz de fornecer o valor da produção máxima.

A quantidade de potássio absorvido foi determinada multiplicando-se o peso do painço do tratamento sem potássio (testemunha) pela porcentagem de potássio que ele contém.

O nível crítico de potássio no solo em relação ao crescimento relativo foram estabelecidos para cada extrator usando-se a técnica de CATE & NELSON (1965). Consiste esta em marcar em um sistema de coordenada os valores de P.R. no eixo dos Y e níveis de potássio nos eixos do X. Com o auxílio de um plástico transparente, contendo duas linhas perpendiculares que se cortam, dividindo o plástico em quatro quadrantes. Desloca-se o plástico por sobre o gráfico procurando-se colocar os pontos (X, Y) (P.R., ppm K) dentro de dois quadrantes 1.º e 3.º ou 2.º e 4.º. Assim, no eixo dos X onde a linha perpendicular do plástico cortar, fica demarcado o nível crítico para aquele extrator.

### 3.6. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do computador IBM 1130, utilizando programas já estabelecidos. Nas análises seguiram-se as técnicas recomendadas por GOMES (1966).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Generalidades

Primeiramente apresentam-se os resultados que servirão de base para caracterizar bem os solos estudados, tanto física como quimicamente. Assim, apresentamos os resultados da análise mecânica, minerais da fração argila, pH, carbono orgânico, alumínio trocável, capacidade da troca catiônica, fósforo "disponível", cálcio e magnésio trocáveis.

O Quadro 3 mostra os resultados da análise mecânica e classificação textural dos solos.

Pela análise mecânica, verifica-se que os solos 1, 6 e 8 (areia) e 7 e 9 (areia franca), o problema da lixiviação de nutrientes, principalmente em relação ao potássio, é possivelmente muito severo enquanto que nos solos 2, 5 e 10 (Franco argiloso) não é tão grave, e nos solos 3 e 4 (Argila) é bem menor).

Interpretando os diafratogramas mostrados pelas Figuras 14 a 18 do Apêndice, verificou-se que os minerais de argila identificadas nestes solos são caulinita, ilita, clorita, vermiculita, gibbsita, distribuídos nos solos conforme Quadro 4.

QUADRO 3: Resultados das análises mecânicas dos solos e classificação textural.

Solos	Areia %	Silte %	Argila %	Classe textural (S.B.C.S.)
1	92,2	0,5	7,3	Areia
2	37,6	32,0	30,4	Franco Argiloso
3	19,9	19,9	54,4	Argila
4	16,5	33,5	50,0	Argila
5	25,8	56,1	30,1	Franco Argiloso
6	89,9	1,8	8,3	Areia
7	82,8	10,0	7,2	Areia Franca
8	94,0	0,8	5,2	Areia
9	88,3	2,3	9,4	Areia Franca
10	26,9	45,2	27,9	Franco Argiloso

QUADRO 4. Minerais de argila identificados nos solos.

Solos	Minerais de argila
1	Caulinita, vermiculita, ilita.
2	Caulinita, vermiculita.
3	Caulinita, vermiculita, clorita, ilita, gibbisita.
4	Caulinita, vermiculita, clorita e gibbisita.
5	Caulinita, ilita, gibbisita.
6	Vermiculita, ilita.
7	Caulinita, vermiculita, ilita e gibbisita.
8	Caulinita, vermiculita e ilita.
9	Caulinita, vermiculita e ilita.
10	Caulinita e ilita.

A presença de caulinita é dominante em todos os solos, exceto no de número 6. A ilita que é de grande importância para o presente estudo, só não é constituinte da fração argila dos solos 2 e 4.

No Quadro 5 apresentam-se os resultados das análises químicas necessárias na avaliação da fertilidade de um solo. Estas análises são comumente realizadas pelos laboratórios de análise de solo do Brasil e sugeridas por VETTORI (1966) e CATANI & JACINTO (1974).

Segundo os critérios de interpretação dos resultados analíticos, propostos por CATANI & JACINTO (1974), todos os

QUADRO 5. Resultados analíticos dos solos para pH, carbono orgânico (C.O.) capacidade de troca catiônica (T), hidrogênio (H<sup>+</sup>) alumínio (Al<sup>+++</sup>) cálcio (Ca<sup>++</sup>) magnésio (Mg<sup>++</sup>) trocáveis e fósforo (P) disponível.

Solos	pH	C.O. %	eq. mg/100 g de solo					P ppm (2)
			T	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Ca <sup>++</sup> (1)	Mg <sup>++</sup> (1)	
1	5,3	0,42	2,68	2,04	0,25	0,40	0,18	2,2
2	5,7	1,32	9,54	3,28	0,10	4,18	1,84	3,2
3	5,5	1,56	6,37	5,52	0,20	0,54	0,26	7,0
4	5,4	1,80	11,87	6,80	0,10	3,30	1,55	1,6
5	6,3	1,62	14,26	3,44	0,39	8,00	2,51	6,5
6	5,4	0,66	6,16	3,20	0,10	1,66	0,87	3,9
7	5,5	0,66	4,70	2,32	0,20	1,22	0,94	1,9
8	5,3	0,30	2,17	1,32	0,20	0,53	0,27	5,6
9	5,2	0,75	3,78	2,20	0,20	0,99	0,47	2,6
10	6,1	1,38	12,41	3,12	0,16	0,58	2,36	4,5

(1) Extração com KCl 1N (CATANI & JACINTO, 1974).

(2) Extração com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N (CATANI & JACINTO, 1974).

solos estudados apresentam-se com baixos teores de fósforo "disponível", e os solos 1, 3, 6, 7, 8 e 9 com teores baixos de cálcio trocável; o solo 4 com teor médio e os solos 2, 5 e 10 com altos teores de cálcio. Com relação ao magnésio, o comportamento é bem diferente, uma vez que somente os solos 1, 3 e 8 têm baixos teores de magnésio, sendo que o solo 9 apresenta-se com teor médio e os demais com altos teores deste nutriente. No que se refere aos problemas da acidez dos solos, verifica-se que os solos 5 e 10 possuem valores de pH altos; enquanto os demais mostram valores de pH baixos. Em relação ao alumínio trocável, os teores são médios para o solo 5 e baixos para os outros solos. Os resultados de hidrogênio trocável são baixos para os solos 1, 7, 8 e 9, médios para os solos 2, 5, 6 e 10, e altos para os solos 3 e 4. Os teores de carbono orgânico se acham em níveis baixos para os solos 1 e 8, médios nos solos 6, 7 e 9 e altos nos demais solos.

Para interpretação dos resultados da capacidade de troca catiônica (T) e da porcentagem de saturação em bases (V), recorreremos aos níveis propostos pela PIPAEMG (1973). Para os valores de T, temos os solos 1, 7, 8 e 9 com valores baixos, os solos 2, 3 e 6 com valores médios e os solos 4, 5 e 10 com altos valores de T. Com referência à porcentagem de saturação em bases temos os solos 1, 3 e 8 com valores baixos, os solos 4, 6, 7 e 9 com valores médios e os solos 2, 5 e 10 com teores bons.

#### 4.2. Formas de potássio trocável, não trocável e total

O Quadro 6 apresenta os resultados analíticos de potássio trocável, não trocável, potássio total e o potássio liberado da forma não trocável.

Comparando estes resultados analíticos, com outros resultados obtidos com solos brasileiros em diferentes regiões, como cita CRISOSTOMO & CASTRO (1971), OLIVEIRA e Colaboradores (1971) e BRAGA (1972), nota-se que estes solos são relativamente pouco supridos com potássio, exceção feita aos solos 5, 6 e 10. Verifica-se que estes três solos são mais ricos em potássio através de análise de potássio total, e pelo potássio liberado. O solo número 5, apesar de não ter o maior nível de potássio total entre os demais apresenta maior teor de potássio trocável e não trocável, confirmando que o teor de potássio total dos solos não é um real índice de sua disponibilidade (MELSON 1960). Em contraposição, os solos que possuem menores teores de potássio são os de números 1, 8 e 9, sendo que dificilmente suportariam cultivos sem receber fertilização potássica. O material de origem destes solos é o Arenito Botucatu, conforme RANZANI e Colaboradores (1966), o que em parte explica este baixo nível de potássio.

Conforme foi conceituado, o potássio não trocável extraído pelo  $\text{HNO}_3$  1N (ROUSE & BERTRANSON, 1949)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (HUNTER & PRATT, 1957) e o potássio liberado pelo  $\text{HNO}_3$  (POPE & CHEENEY, 1957) são considerados como potássio liberado para as culturas durante o cultivo. No Quadro 6, verifica-se que estes valores são baixos, exceção feita aos solos 5 e 6, quan-

QUADRO 6. Teores de potássio em ppm, média de 3 repetições, usando os teores: acetato de amônio (NH<sub>4</sub> Ac), ácido nítrico 1N e calor (HNO<sub>3</sub> 1N) ácido sulfúrico concentrado na relação 1:25 e 1:2,5, ácido sulfúrico 6N, potássio e liberado e total.

Solos	Trocável			Não trocável			K <sup>+</sup> total
	NH <sub>4</sub> Ac	HNO <sub>3</sub> 1N	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:25	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:2,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N	K Liberado	
1	20	20	14	12	12	-	208
2	72	77	50	84	50	5	636
3	74	115	68	80	54	41	1.200
4	35	45	30	68	26	10	360
5	330	737	374	368	328	407	2.000
6	128	225	128	128	116	107	4.720
7	76	137	72	96	60	61	1.800
8	17	30	12	12	10	13	400
9	26	26	18	14	18	0	200
10	108	200	86	140	84	92	2.000

do comparado com os valores obtidos por CRISOSTOMO & CASTRO (1971), OLIVEIRA e Colaboradores (1971), BRAGA (1972). Verifica-se que só os solos 5 e 6 possuem mais de 200 kg/ha de reserva de potássio.

Com os valores de potássio do Quadro 6 fez-se uma análise da correlação e regressão entre solos, cujos resultados estão apresentados no Quadro 7. Nele, verifica-se que, com exceção ao potássio total, todos os teores de potássio extraído pelos demais extratores apresentaram-se relacionados entre si com coeficiente de correlação significativo ao nível de 1% de probabilidade. Estes resultados sugerem que o potássio ocupa no complexo posição de troca acessível a todos os extratores, sendo os resultados divergentes, em razão da concentração do extrator, tempo de contato, íons deslocadores, relação solo:extrator ou em consequência do procedimento analítico envolvendo algum catalizador de reação, como é o caso do calor empregado em algumas extrações.

Observando os coeficientes de regressão, Quadro 7, quando se relacionam os extratores acetato de amônio com ácido sulfúrico 1:25, ácido sulfúrico 1:2,5 ou ácido sulfúrico 6N, nota-se que eles são praticamente iguais à unidade, demonstrando a semelhança entre estes extratores. Usando o mesmo raciocínio, concluímos que o poder de extração do ácido nítrico 1N é o dobro destes extratores. A razão disto pode ser devido ao calor que se fornece ao sistema solo/extrator, com 10 minutos de fervura, enquanto que na extração com ácido sulfúrico o calor origina de sua própria reação com a água, no momento da análise.



CUADRO 7. Coeficientes de correlações e equações de regressão ajustadas para os valores de potássio trocável, não trocável, liberado e potássio total.

Y	Trocável		Não trocável		Liberado
	$\text{NH}_4\text{OAc 1N}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Conc.	$\text{H}_2\text{SO}_4 6N$	
Total	$r=0,500n.s.$ 7,51x+686,7	$r=0,470n.s.$ 6,07x+835,2	$r=0,473n.s.$ 6,29x+721,7	$r=486n.s.$ 7,05x+817,9	$r=0,457n.s.$ 2,96x+877,8
Liberado	$r=0,9836**$ 1,31x-43,31	$r=0,9922**$ 1,178x-23,94	$r=0,9721**$ 1,159x-42,13	$r=0,9909**$ 1,25x-25,10	$r=0,9972**$ 0,573x-19,07
$\text{HNO}_3 1N$	$r=0,9940**$ 2,31x-43,86	$r=0,9970**$ 1,99x-8,84	$r=0,9840**$ 2,02x-42,10	$r=0,9970**$ 2,27x-11,09	--
$\text{H}_2\text{SO}_4 6N$	$r=0,9971**$ 1,02x-14,47	$r=0,9990**$ 0,88x+1,07	$r=0,9835**$ 0,89x-13,38	--	--
$\text{H}_2\text{SO}_4 1:2,5$	$r=0,9901**$ 1,18x+1,14	$r=0,9806**$ 0,95x+19,14	--	--	--
$\text{H}_2\text{SO}_4$	$r=0,9949**$ 1,16x-17,39	--	--	--	--

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.  
n.s. não significativo.

QUADRO 8. Resultado de análise de potássio (ppm), após os tratamentos para verificação do poder de fixação de K (médias 3 repetições).

Solos	Sem umidecimento	Com umidecimento (10 vezes)
1	1.020	1.020
2	1.000	1.020
3	1.020	1.040
4	1.040	1.040
5	1.440	1.440
6	1.040	1.120
7	1.040	1.030
8	1.000	1.000
9	1.020	1.020
10	960	960

O potássio trocável dos solos 1, 8 e 9 aproxima-se dos resultados de potássio não trocável extraído pelo ácido nítrico 1N mais calor e supera ligeiramente aos valores obtidos pelo ácido sulfúrico; a provável explicação para este fato se prende ao efeito de solubilização de minerais potássicos, provocado pelos 100 ml do acetato de amônio auxiliado pela agitação mais ou menos intensa. Enquanto que na extração com o ácido sulfúrico usa somente 25 ml de extrator e sem agitação.

A verificação do poder de fixação de potássio pelos solos foi realizada pelo teor de potássio do sobrenadante.

Uma vez não variando o teor de potássio, tanto na amostra de solo que havia recebido o tratamento de umidecimento e secagem como na amostra que não havia recebido este tratamento, comprovou-se a não fixação de potássio destes solos.

No exame do Quadro 8, verifica-se que não ocorreu o fenômeno de fixação de potássio, pressupondo-se a ausência de argila do tipo 2:1, principalmente ilita. Como na análise do Quadro 4, constatou-se a presença de ilita em quase todos solos, supõe-se que o seu teor ainda não é suficiente para ocasionar uma significativa fixação de potássio. Também pode-se inferir que a metodologia empregada neste procedimento não satisfaz este objetivo. Em trabalhos anteriores com outros solos do estado de São Paulo, CATANI (1954) mostrou a ausência de fixação de potássio daqueles solos.

O problema discutido pela liberação ou fixação do potássio quando seca a amostra após sua coleta para análises ou experimento em casa-de-vegetação possivelmente não ocorrerá com estes solos.

#### 4.3. Potássio "disponível"

Os resultados de potássio "disponível" avaliados pelos extratores de Carolina do Norte, Bray 1, Bray 2, Morgan,  $H_2SO_4$  0,05N,  $HNO_3$  0,05N,  $CaCl_2$  nas relações 1:2 e 1:16 solo extrator e o método de Neubauer se vêem no Quadro 9. Os valores de potássio extraído pelo método Neubauer estão indicados em ppm de K e não em mg de potássio absorvido por 100g solo, para facilidades de interpretação.

QUADRO 9. Teores de potássio (ppm) média de 3 repetições dos extratores: Carolina do Norte, Bray 1 e 2, Morgan,  $K_2SO_4$  0,05N,  $HNO_3$  0,05N,  $CaCl_2$  0,011M na relação 1:2 e 1:16 solo/extractor e Neubauer.

Solos	Carolina do Norte	Bray 1	Bray 2	Morgan	$K_2SO_4$ 0,05N	$HNO_3$ 0,05N	$CaCl_2$ 0,01M		Neubauer
							1:2	1:16	
1	11	25	27	15	15	13	6,9	9,6	23,8
2	55	45	68	63	55	60	17,5	38,4	45,05
3	62	55	63	62	62	63	16,8	41,6	43,5
4	22	25	30	29	25	28	8,8	20,7	21,2
5	350	350	540	440	350	390	88,0	302,0	330,1
6	145	155	192	155	147	150	64,0	112,0	148,4
7	60	70	100	79	73	77	30,0	51,2	87,0
8	6	25	27	20	9	11	5,9	8,0	15,9
9	13	25	27	18	13	17	9,6	12,8	20,2
10	72	70	105	88	66	69	15,4	44,8	66,5
$\bar{x}$	80,4	84,5	117,9	96,9	81,5	81,5	26,3	64,2	80,3

ppm

Pelo exame dos dados do Quadro 9, nota-se que o  $\text{CaCl}_2$  0,01M extrai menor teor de potássio dos solos do que os demais extratores, em função de sua baixa concentração, esta solução tem somente afinidade para potássio solúvel e potássio fracamente adsorvido ao complexo sortivo do solo. Dos demais extratores o Bray 2 é o que mais potássio retira do solo, por causa de sua maior concentração em HCl. Os conteúdos de potássio dos solos 5 e 6 são bem superiores aos demais solos; nestes, de um modo geral, a amplitude de valores é pequena, variando de 16 a 100 ppm para todos os extratores mostrando serem os solos fracos em potássio "disponível". Adotando os níveis de fertilidade sugeridos por GARGANTINI e Colaboradores (1970), para solos de São Paulo, têm-se dois solos com teores altos, quatro com teores baixos e quatro com teores médios. Para quaisquer dos extratores considerados, os solos 1, 8 e 9 apresentam menores valores de potássio "disponível", o que em parte é explicado pelo seu material de origem, que é o arenito de Botucatu; além destes solos serem de baixa capacidade de troca catiônica, ácidos e terem baixos teores de matéria orgânica, possuem potássio trocável, não trocável e total em baixos níveis.

O método químico biológico de Neubauer-Schneider, quando apresenta resultado em que o centeio retira acima de 24 mg de potássio em 100g de solo, indica solos bem supridos com este nutriente, conforme cita CATANI & PAIVA NETO (1950). Nestes solos, somente o solo número 5 proporcionou absorção acima daquele valor. Como a capacidade de absorção de arroz, que foi empregada no ensaio, é maior do que a capacidade de absorção do centeio, como foi demonstrado por CATANI & PAIVA

NETO (1950), podemos inferir que realmente os solos possuem pouco potássio "disponível".

O  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:16 retira mais potássio dos solos do que na relação 1:2, evidenciando o valor da relação solo:extrator na caracterização dos métodos analíticos. Alguns extratores são empregados em diferentes relações como utiliza BRAGA (1972, o extrator Carolina do Norte nas relações 1:4 e 1:10. Solo extrator, havendo diferentes teores de potássio nestas relações.

Com os valores de potássio do Quadro 9, foram feitas as análises de correlações e regressão, cujos valores dos coeficientes de correlação e equações de regressão estão contidos no Quadro 10. Todos estes extratores mostram-se correlacionados entre si, apresentando valores de coeficientes de correlação significativos ao nível de 1% de probabilidade. Estes resultados são concordantes com outros em solos brasileiros, como cita OLIVEIRA e Colaboradores (1971), BRAGA (1972).

Estas correlações significativas demonstram a possibilidade de se usar em solos do Município de Piracicaba qualquer um dos extratores. A diferença entre valores que se obtém com os diversos extratores, em razão das suas características químicas, podem ser corrigidas empregando a respectiva equação de regressão. Para se escolher um destes extratores para uso nas análises de rotina destinadas ao atendimento das práticas de fertilização, sendo eles todos correlacionados, deve-se considerar a metodologia, número e qualidades de reagentes envolvidos e amplitude de valores fornecidos para um mesmo grupo de solos.

QUADRO 10. Coeficientes de correlações e equações de regressão entre os valores de potássio obtidos pelos extratores: Carolina do Norte, Bray 1, Bray 2, Morgan., H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N, HNO<sub>3</sub> 0,05N, CaCl<sub>2</sub> 1:2, CaCl 1:16 e Neubauer.

Y	X	Carolina do Norte	Bray 1	Bray 2	Morgan
Neubauer		r=0,99314** 0,93x + 5,05	r=0,9962** 0,95x + 0,12	r=0,9933** 0,62x + 8,02	r=0,9912** 0,75x + 7,58
CaCl <sub>2</sub> 1:16		r=0,9965** 0,86x - 4,80	r=0,9968** 0,88x - 9,80	r=0,9976** 0,57x - 2,50	r=0,9980** 0,69x - 3,13
CaCl <sub>2</sub> 1:2		r=0,9506** 0,25x + 5,84	r=0,9565** 0,26x + 4,22	r=0,9330** 0,16x + 6,92	r=0,9306** 0,20x + 6,78
HNO <sub>3</sub> 0,05N		r=0,9987** 1,10x - 0,73	r=0,9960** 1,12x - 4,02	r=0,9969** 0,72x + 2,46	r=0,9983** 0,89x + 1,54
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N		r=0,9995** 0,99x + 1,57	r=0,9966** 1,01x - 4,01	r=0,9945** 0,65x + 3,84	r=0,9961** 0,80x + 3,85
Morgan		r=0,9965** 1,23x - 2,16	r=0,994** 1,25x - 9,15	r=0,9990** 0,81x + 0,99	--
Bray 2		r=0,9945** 1,51x - 3,50	r=0,9962** 1,55x - 12,80	--	--
Bray 1		r=0,9959** 0,98x + 6,06	--	--	--

Continua

QUADRO 10. Continuação

Y	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	HNO <sub>3</sub> 0,05N	CaCl <sub>2</sub> 1:2	CaCl <sub>2</sub> 1:16
Neubauer	r=0,9950** 0,94X + 3,97	r=0,9937** 0,84X + 6,21	r=0,9637** 3,37X - 8,37	r=0,9929** 1,08X + 11,01
CaCl <sub>2</sub> 1:16	r=0,9974** 0,86X - 6,20	r=0,9991** 0,78X - 4,30	r=0,9425** 3,03X - 15,51	
CaCl <sub>2</sub> 1:2	r=0,9545** 0,26X + 3,37	r=0,9452** 0,23X + 6,16		
HNO <sub>3</sub> 0,05N	r=0,9991** 1,11X - 2,45			

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



Baseado na metodologia de análise o método de Neubauer não seria recomendado por ser demorado, oneroso e que além de envolver vários reagentes exige ainda material específico.

O método do  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:2 tem o grave inconveniente da estreita relação. Quando se for analisar solos com elevadas capacidades de adsorção d'água, como são os solos argilosos, a quantidade da alíquota do extrato é pequena e diminui na filtração, pois há adsorção pelo papel de filtro. Também a amplitude de valores obtidos é menor do que nos demais extratores. Outra grande desvantagem no emprego da solução diluída do  $\text{CaCl}_2$  nos laboratórios que utilizam a decantação do solo/extrator, é que os solos ricos em argila e matéria orgânica exigem maior espaço de tempo, acima do que seria prático usar na obtenção do extrato límpido. Quando se usa este extrator, adiciona-se pouco eletrólito ao sistema solo/extrator e os colóides inorgânicos e principalmente orgânico são muito resistentes à floculação.

O  $\text{HNO}_3$  0,05N ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N possuem requisitos favoráveis para funcionarem como extratores de potássio disponível, pois são constituídos de um só reagente; são ácidos fortes muito diluídos e não apresentam problemas de manuseio, além de fornecerem grande amplitude de resultados, como 11 a 390 ppm de K para o extrator  $\text{HNO}_3$  0,05N e 9 a 350 para o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N. O  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N é também o extrator de fósforo para solos do Estado de São Paulo (CATANI & JACINTO, 1974), e desse modo, com um só extrator, obtém-se os dois nutrientes, o fósforo e o potássio.

Como desvantagens do extrator de Morgan encontra-se

sua estreita relação solo:extrator, a exigência de ajustar seu pH a 4,8 e de custo elevado, em razão de usar o acetato de amônio 1N. Além destes fatos, o íon amônio nesta concentração dificulta a análise do potássio no extrato, sendo esta uma das razões por que CATANI (1954) sugere a substituição do extrator acetato de amônio pelo de  $H_2SO_4$  ou  $HNO_3$ , pois ambos apresentam os mesmos resultados analíticos.

Os extratores Bray 1 e Bray 2 são muito empregados na avaliação do fósforo disponível, visto possuírem o  $NH_4F$ , entretanto, por possuírem dois reagentes eles ficam em desvantagem com os ácidos diluídos que usam apenas um extrator.

O extrator de Carolina do Norte, tem sido usado há muito tempo pelos laboratórios do Brasil que fazem parte do programa nacional de fertilidade do solo (VETTORI, 1966, PI-PAEMG, 1973) como extrator para fósforo e potássio disponíveis; por esta razão ele apresenta vantagem de facilidade de manuseio, apesar de ser formado por dois reagentes.

Comparando os coeficientes de regressão quando se correlacionou os extratores, observou-se que o poder de extração do Bray 2 é maior do que os demais, sendo que isto pode ser devido à concentração do HCl 0,1N, que confere a ele menor pH e, logicamente, maior teor de  $H^+$  que são os valores indicadores do poder de reação do extrator com minerais potássicos presentes no solo.

Logo em seguida, o extrator de Morgan tem maior poder de extração de potássio, isto pela sua elevada concentração e acidez 1N e pH 4,8.

O poder de extração de potássio dos solos do método de Neubauer, é mais fraco do que do Bray 2, Morgan e

$\text{HNO}_3$  0,05N. Apresenta capacidade semelhante ao de Carolina do Norte, Bray 1,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N e  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:16. É superior ao  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:2. Resultados semelhantes foi obtido por JORGE & GARGANTINI (1963) com outros solos de São Paulo.

Os métodos de Carolina do Norte, Bray 1,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N e  $\text{HNO}_3$  0,05N apresentam coeficientes de regressão próximos à unidade, identificando estes extratores como semelhantes em poder de extração de potássio em solos do Município de Piracicaba. Por esta razão e pelas vantagens já discutidas anteriormente, o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  é sugerido como extrator do potássio "disponível" destes solos.

O  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:2 apresentou o coeficiente de regressão muito baixo, quando relacionado aos demais extratores e aliado às desvantagens já discutidas ele deve ser ignorado nesta relação, e quando empregado na relação 1:16 ele servirá muito bem como índice de atividade de potássio, como será discutido mais adiante.

Para se verificar a relação entre as formas de potássio "disponível" com as formas de potássio trocável, não trocável e total, fez-se uma análise de correlação entre estes valores e os coeficientes de correlação estão apresentados no Quadro 11. O potássio "disponível" avaliado pelos extratores está correlacionado com o potássio trocável e não trocável ao nível de 1% de probabilidade, mas com o potássio total não apresentaram correlacionados. Resultados semelhantes com outros solos brasileiros foram obtidos por OLIVEIRA e Colaboradores (1971), BRAGA (1972). A correlação significativa se deve ao fato de o potássio estar localizado em posição de

QUADRO 11. Coeficientes de correlações entre os valores de potássio "disponível", trocável, não trocável e total dos solos estudados.

	Disponível*	Não trocável				Total
		HNO <sub>3</sub> 1N	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:25	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:2,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N	
Bray 1	0,9819**	0,9841**	0,9912**	0,9554**	0,9905**	0,5310 n.s.
Bray 2	0,9875**	0,9920**	0,9960**	0,9672**	0,9293**	0,4740 n.s.
Carolina do Norte	0,9923**	0,9880**	0,9957**	0,9723**	0,9955**	0,5300 n.s.
Morgan	0,9916**	0,9939**	0,9981**	0,9737**	0,9978**	0,4730 n.s.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 005N	0,9889**	0,9856**	0,9945**	0,9680**	0,9934**	0,5290 n.s.
HNO <sub>3</sub> 005N	0,9895**	0,9883**	0,9964**	0,9696**	0,9952**	0,4970 n.s.
CaCl <sub>2</sub> 1:2	0,9157**	0,9014**	0,9216**	0,8794**	0,9214**	0,7120*
CaCl <sub>2</sub> 1:16	0,9847**	0,9866**	0,9950**	0,9629**	0,9935**	0,4810 n.s.
Neubauer	0,9795**	0,9803**	0,9871**	0,9561**	0,9865**	0,5520 n.s.

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

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

n.s. não significativo.

fácil acesso aos reagentes químicos, não apresentando forma de potássio dificilmente trocável ou fixo. Em razão da diferença no material de origem dos solos estudados que são arenitos, siltitos, rochas eruptivas e até calcários como é o solo n.º 10, os minerais potássicos estão presentes em qualidade, quantidade e estágios de intemperismo diversos, o que justifica a falta de correlação entre potássio total e potássio disponível.

Muitas vezes o potássio trocável é considerado como potássio "disponível" para as culturas, como se observa no Quadro 11 pela alta relação existente entre estas duas formas, é possível tal consideração para este grupo de solos. Além disso, observando o Quadro 12, onde aparecem as equações de regressão entre o potássio trocável e potássio "disponível" e os testes para  $b \neq 1$  e  $a \neq 0$ , conclui-se que o potássio extraído pelo Bray 1,  $\text{CaCl}_2$  1:16, Carolina do Norte e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N assemelha ao potássio trocável extraído pelo  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N. O potássio extraído pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N tem sido considerado como trocável por CATANI (1955).

Para estes solos, o extrator Bray 1 comporta-se com o mesmo valor do acetato de amônio, como se vê no Quadro 12, eles têm a mesma interseção ( $a=0$ ) e coeficiente de regressão igual a unidade.

#### 4.4. Relação Quantidade"Intensidade" (Q/I) dos solos estudados

O potencial de potássio ( $pK -1/2 pCa + Mg$ ) medido na solução de equilíbrio de solo com cloreto de cálcio 0,01M na

QUADRO 12. Equação de regressão entre valores de potássio trocável ( $\bar{x}$ ) e potássio disponível (Y) dos solos estudados.

Estratores (Y)	Equações $Y = a + bx$	$t \cdot 0,1(8)$ a 95% = 2,216		
		$b \neq 1$	$a \neq 0$	
Bray 1	$Y = 1,07 \bar{x} - 10,54$	0,995	1,64	
Bray 2	$Y = 1,67 \bar{x} - 30,27$	7,148	3,65	
Carolina do Norte	$Y = 1,10 \bar{x} - 17,66$	2,195	4,12	
Morgan	$Y = 1,36 \bar{x} - 24,25$	5,846	4,38	
CaCl <sub>2</sub> 1:2	$Y = 0,27 \bar{x} - 2,078$	7,137	0,55	
CaCl <sub>2</sub> 1:16	$Y = 0,94 \bar{x} - 19,54$	0,945	3,76	
MNO <sub>3</sub> 0,05 N	$Y = 1,21 \bar{x} - 20,00$	3,45	3,61	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 N	$Y = 1,09 \bar{x} - 15,70$	1,671	3,07	
Neubauer	$Y = 1,02 \bar{x} - 10,28$	0,292	1,56	

relação 1:16 está inserido no Quadro 13. Neste quadro, encontram-se também os valores de potássio lábil ( $- \Delta K_o$ ), potencial de potássio lábil (ARo), capacidade de tamponização do potássio lábil (PBC) e o coeficiente de correlação (r) entre os valores de Q x I. Para os solos em que o valor de r era significativo, serviu-se da equação de regressão para se determinar os parâmetros  $- K_o$  e ARo. Os resultados analíticos na determinação do potássio e cálcio mais magnésio e os resultados dos cálculos para ARE e  $\frac{1}{2} K$  estão Quadro 1 do Apêndice 1.

No exame do Quadro 13, pelos valores de r, nota-se que a curva que relaciona os valores Q x I é do tipo linear. Este fato sugere que o material responsável pela capacidade de troca catiônica não possui locais específicos para adsorver potássio. Caso a relação fosse curvilínea sugeriria a presença de argila do tipo ilita, pois elas podem reter o potássio em locais específicos, não sendo acessível ao cálcio e magnésio, conforme explica BOLT e Colaboradores (1963) e BRADFIELD (1969). No caso presente destes solos, há presença de ilita mas acontece que, como já explicado anteriormente, a quantidade deve ser insuficiente para provocar alteração no comportamento destes solos.

Os valores do potencial de potássio foram desde 2,23 para o solo número 5 a 3,84 para o solo 8. Comparando com os resultados obtidos por FASSBENDER (1972) com solos da América Central e com os de BRAGA (1972) com solos do Brasil, que foram desde 1,44 a 1,83 e 1,64 a 2,71, respectivamente, nota-se que os valores de potenciais de potássio para esses solos são relativamente altos, demonstrando serem os solos fra

QUADRO 13. Valores do potencial de potássio ( $pK_{-1/2} pCa + lg$ ),  $- \Delta Kc$ ,  $A_{Kc}$ , PBC e coeficientes de correlação entre Q e I dos solos estudados.

Solos	Potencial	$- \Delta Kc$ eq. mg/100 g	$A_{Kc}$ (mg/l) <sup>1/2</sup>	PBC eq. mg/100 g /(mg/l) <sup>1/2</sup>	r
1	3,74	0,113	0,0024	47	0,9975**
2	3,37	0,173	0,0033	52	0,9972**
3	3,30	0,068	0,0035	18	0,8380*
4	3,44	0,053	0,0040	13	0,9802**
5	2,23	2,325	0,0490	47	0,9370*
6	2,67	0,589	0,0230	25	0,9340*
7	3,44	0,259	0,0140	18	0,9530**
8	3,84	-0,001	0,0001	11	0,8300*
9	3,62	0,030	0,0082	4	0,6719n.s.
10	3,07	0,0180	0,0007	23	0,9220*

\*\*

Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\*

Significativo ao nível de 5% de probabilidade

n.s. não significativo



cos em potássio solúvel, exceção feita aos solos 5 e 6.

Para o potássio lábil ( $-\Delta K_o$ ) os valores foram de 0,001 a 0,589 eq. mg/100g de solo, sendo que o solo número 5 apresentou um valor muito alto 2,325. Estes valores estão em concordância com os encontrados por MIRANDA (1972) com solos tropicais úmidos, onde os valores foram de 0,100 a 0,530 eq. mg/100g de solo; LEROUX & SUMMER (1968) encontraram valores de 0,100 a 0,490 eq. mg/100g e BRADFIELD (1969) os valores de 0,100 a 0,379 eq. mg/100g de solo.

Os valores de  $AR_o$ , foram de  $7.10^{-4}$  a  $230 (M/l)^{1/2}$  para a maioria dos solos, apesar do solo 8 apresentar um valor muito baixo e o solo 5 valor muito alto  $1.10^{-4}$  e  $490.10^{-4}$ , respectivamente. Estes resultados são relativamente altos em comparação aos citados por AQUAIE e Colaboradores (1967), que encontraram valores de  $20.10^{-4}$  a  $60.10^{-4} (M/l)^{1/2}$ . GRAHAM & FOX (1971) em solos bem desenvolvidos encontraram valores de  $7.10^{-4}$  a  $70.10^{-4}$ . Além destes, outros autores como GAMA (1967) e BRADFIELD (1969) encontraram valores ainda mais baixo para  $AR_o$ .

Estimou-se  $-\Delta K_o$  e  $AR_o$  para o solo n.º 9, graficamente, devido a não significância do r, conforme a Figura 2.

A capacidade de tamponização do potássio lábil (PBC) mostrou-se com valores de 4 a 52 eq. mg/100g/(M/l)<sup>1/2</sup>. Estes resultados como os representados por GAMA (1966), AQUAIE e Colaboradores (1967), BRADFIELD (1969) e MIRANDA (1972).

Verificou-se a relação existente entre o potencial de potássio e o potássio lábil com o potássio trocável, não trocável, total e "disponível", os coeficientes de correlações estão mostrados no Quadro 14.

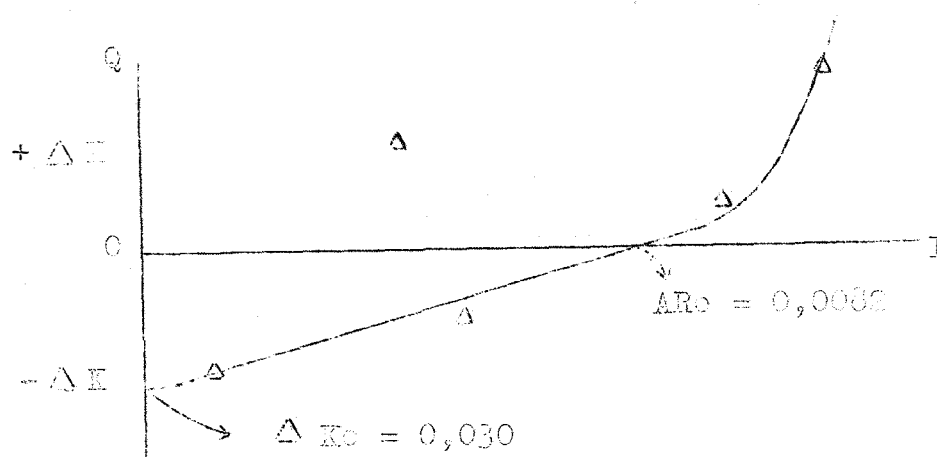


FIGURA 2. Representação da relação Q x I, caracterizando os valores  $-\Delta K_0$  e  $AR_0$  do solo n.º 9.

Os valores de potencial de potássio e potássio lábil mostraram-se altamente correlacionados com as outras formas de potássio do solo. Somente o potássio total não correlacionou com o potássio lábil e com o potencial de potássio a correlação foi ao nível de 5%. A correlação significativa entre o potencial de potássio e potássio lábil com o potássio disponível proporciona o uso destes dois parâmetros como prováveis índices para avaliar a fertilidade do solo, consistente com os trabalhos de LEROUX & SUMMER (1968).

QUADRO 14. Coeficientes de correlação (r) entre o potencial de potássio ( $pK - 1/2 pCa + Mg$ ) e potássio lábil ( $- \Delta Ko$ ) com o potássio trocável, não trocável, total e "disponível".

Formas de potássio	Potencial de potássio ( $pK - \frac{1}{2} pCa + Mg$ )	Potássio lábil ( $- \Delta Ko$ )
Trocável	-0,9332**	0,9517**
Não trocável		
HNO <sub>3</sub> 1N	-0,9030**	0,9636**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N	-0,9209**	0,9696**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado 1:2,5	-0,9259**	0,9246**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado 1:25	-0,9130**	0,9078**
Total	-0,720 *	0,3660 NS
"Disponível"		
Bray 1	-0,9176**	0,9774**
Bray 2	-0,8999**	0,9843**
Morgan	-0,9076**	0,9811**
Carolina do Norte	-0,9325**	0,9704**
Neubauer	-0,9146**	0,9728**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 005	-0,9268**	0,9741**
HNO <sub>3</sub> 005	-0,9162**	0,9801**
CaCl <sub>2</sub> 1:2	-0,9267**	0,9059**
CaCl <sub>2</sub> 1:16	-0,9072	0,9860**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

\* Significativo a 5% de probabilidade.

NS Não Significativo.

## 4.5. Ensaio na casa-de-vegetação

Com os dados de produção da matéria seca, apresentado no Quadro 2 do Apêndice, foi feito uma análise de variância, inclusive desmembrando o efeito linear e o quadrático para o tratamento, também apresentado no Apêndice pelo Quadro 3. Uma representação do quadro da análise de variância do resultado de produção está apresentado no Quadro 15, o qual evidencia a resposta significativa ao tratamento.

QUADRO 15. Quadrados médios da análise de variância para os dados de produção de matéria seca.

Causa variação	G.L.	Q.M.
Repetição	2	0,4196**
Tratamento	3	16,4309**
Solos	9	11,5220**
Int. Solos x Trat.	27	1,8408
Resíduo	78	0,2871
TOTAL	119	1,8966

C.V. = 13,04%.

Após desmembrada a soma de quadrados para tratamento e verificado o valor significativo do efeito quadrático em todos os solos, ajustou-se uma equação de 2.<sup>o</sup> grau com os dados de produção para cada solo.

Com a equação ajustada calcularam-se os valores de

potássio (x) que proporcionariam a produção máxima (y). Com a produção da testemunha (coeficiente de interseção) e a produção máxima estimada por intermédio da equação do 2.<sup>o</sup> grau, calculou-se o crescimento relativo, Quadro 16. Plotando o CR e o K do solo para cada extrator foi determinado o nível crítico.

Os resultados das análises de potássio na matéria seca estão apresentados no Quadro 3A do Apêndice, e a sua análise de variância no Quadro 6A. Com o peso da matéria seca do tratamento que não recebeu potássio e sua porcentagem em potássio, foi calculado o potássio absorvido pela cultura.

Uma vez que a quantidade de potássio absorvido pela cultura, assim como seu teor de potássio reflete a quantidade que o solo oferecia, foi verificada a relação existente entre estas duas variáveis e os teores de potássio nas formas de trocáveis, total e "disponíveis" pelos extratores Bray 1, Bray 2, Carolina do Norte, Morgan,  $\text{HNO}_3$  0,05N,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N  $\text{CaCl}_2$  1:2 e 1:16, Neubauer,  $\text{pK} = 1/2 \text{ pCa} + \text{Mg}$ , - Ko os resultados estão apresentados no Quadro 17.

No exame do Quadro 17, verifica-se que as relações entre porcentagem de potássio na matéria seca e potássio absorvido com o potássio "disponível" e trocável são altamente significativas, os maiores valores de r foram obtidos pela relação com potencial de potássio e a menor relação foi encontrada entre potássio lábil e porcentagem de potássio na matéria seca. Deste modo, todas estas variáveis podem ser usadas como índice na avaliação de fertilidade destes solos, o que foi feito usando a técnica de CATE & NELSON (1965) para a determinação do nível crítico, cujos gráficos estão re-

QUADRO 16. Equação 2.º grau sendo  $y$  = produção em mg de matéria seca e  $x$  = ppm de N. Produção máxima e crescimento relativo para os solos estudados.

Solos	Equação	Produção máxima (mg)	CR $(\frac{NP \cdot 100}{NPK})$
1	$y = 704,05 + 12,49x - 0,0293x^2$	2.031,35	34,66
2	$y = 3.379,55 + 14,27x - 0,0416x^2$	4.602,80	73,42
3	$y = 3.018,30 + 15,97x - 0,0288x^2$	5.229,35	57,72
4	$y = 1.911,19 + 16,98x - 0,0367x^2$	3.876,78	49,30
5	$y = 4.292,45 + 9,60x - 0,0312x^2$	5.030,44	85,33
6	$y = 3.603,15 + 3,27x - 0,0176x^2$	3.834,75	96,05
7	$y = 4.460,35 + 5,67x - 0,0138x^2$	5.845,58	76,30
8	$y = 846,36 + 36,22x - 0,0775x^2$	4.315,98	19,61
9	$y = 1.849,70 + 32,33x - 0,0668x^2$	5.759,34	32,12
10	$y = 3.743,25 + 8,11x - 0,0147x^2$	4.860,79	77,01

QUADRO 17. Coeficientes de correlações entre porcentagem de potássio na matéria seca e potássio absorvido com potássio "disponível", trocável e total e valores de nível crítico.

X ppm K	Variáveis dependentes (y)		Nível crítico (ppm de K)
	% potássio na matéria seca	Potássio absorvido (mg)	
Bray 1	0,01 X + 1,56 r = 0,8156*	0,69 X + 31,63 r = 0,8722**	60
Bray 2	0,01 X + 1,68 r = 0,8047**	0,44 X + 37,98 r = 0,8635**	70
Carolina do Norte	0,01 X + 1,60 r = 0,8432**	0,69 X + 34,29 r = 0,8933**	65
Morgan	0,01 X + 1,72 r = 0,8560**	0,55 X + 37,17 r = 0,8689**	70
HNO <sub>3</sub> 0,05N	0,01 X + 1,63 r = 0,8267**	0,62 X + 35,71 r = 0,8788**	65
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	0,01 X + 1,58 r = 0,8368**	0,70 X + 33,43 r = 0,8898**	65
CaCl <sub>2</sub> 1:2	0,05 X + 1,31 r = 0,8683**	2,65 X + 20,47 r = 0,9119**	35
CaCl <sub>2</sub> 1:16	0,01 X + 1,72 r = 0,8091*	0,78 X + 40,17 r = 0,8615**	35
Neubauer	0,01 X + 1,53 r = 0,8314**	0,74 X + 30,48 r = 0,8943**	50
pK -1/2 pCa + Mg	12,97 - 3,14 X - 0,9165**	579,86 - 149,92 X - 0,9309**	3,03 <sup>(1)</sup>
- ΔK <sub>o</sub>	1,76 X + 2,07 r = 0,7375*	89,21 X + 57,71 r = 0,7897**	44,85
K trocável	0,02 X + 1,33 r = 0,8475**	0,78 X + 21,12 r = 0,8990**	75
K total	-0,199 n.s.	0,706*	-

(1) Medidas de relação e não ppm.

\*\* Significativos ao nível de 1% de probabilidade.

\* Significativos ao nível de 5% de probabilidade.  
n.s. não significativo.

presentados pelas Figuras 1 a 12, no Apêndice.

Em relação ao potássio total não se observou correlação significativa com o potássio absorvido ou com a concentração na matéria seca, demonstrando ser de pouco valor na avaliação da fertilidade dos solos, conforme foi demonstrado por METSON (1960), outros autores também não encontraram relação com o potássio total e crescimento vegetal como OLIVEIRA e Colaboradores (1971).

Alguns autores encontraram correlação significativa entre crescimento vegetal e potássio trocável como BRAY (1947), PRATT (1951), SCHIMITZ & PRATT (1953), OLIVEIRA e Colaboradores (1971), MIRANDA (1972), BRAGA (1972), por esta razão o potássio trocável tem sido empregado para avaliar a fertilidade do solo. Nos solos de Piracicaba foi evidenciado pelo Quadro 14 que o potássio trocável correlacionou com os teores extraídos pelos extratores de potássio "disponível" e ele correlacionou significativamente com o teor na matéria seca e sua quantidade absorvida (Quadro 17). Para solos de Minas Gerais, BRAGA (1972) sugere o nível crítico para potássio trocável de 51 ppm. De acordo com Figura 3 do Apêndice, verifica-se que para estes solos o nível crítico é de 75 ppm.

Verificando os resultados obtidos por outros pesquisadores na determinação do nível crítico, mesmo em solos brasileiros, nota-se que os solos de Piracicaba mostram-se com valores mais elevado de nível crítico, possivelmente em razão da fraca ligação dos íons potássicos com o complexo sorbitivo do solo.

O  $H_2SO_4$  0,05N mostrou como nível crítico de 65 ppm,



enquanto GARGANTINI e Colaboradores (1970) sugeriram para solos de São Paulo o nível de 47 ppm como baixo e CATANI & JACINTO (1974) como de 40 ppm, porém, BRAGA (1974), em solos de Minas Gerais, sugeriu o nível de 63 ppm.

Baseando nas análises de correlações, nas facilidades de manuseio e economia de custo a semelhança entre os extratores Carolina do Norte e  $H_2SO_4$  0,05N foi mais uma vez demonstrado por possuírem o mesmo valor de nível crítico, ou seja, 65 ppm. Deve-se ressaltar que são os dois extratores mais empregados no Brasil pelos laboratórios de rotina; sugere-se a uniformização das análises de potássio com o extrator de  $H_2SO_4$  0,05N.

## 5. CONCLUSÕES

Das condições trabalhadas, as seguintes conclusões podem ser tiradas com os solos do Município de Piracicaba:

1. O teor de potássio trocável, não trocável e "disponíveis" mostraram-se correlacionados entre si.
2. O teor de potássio total não se mostrou correlacionado com as demais formas de potássio.
3. Os solos não apresentaram o poder de fixação de potássio.
4. A relação entre quantidade e intensidade de potássio foi linear.
5. O potencial de potássio foi melhor correlacionado com o potássio trocável, não trocável e "disponível" do que com o potássio total.
6. O potássio lábil apresentou alta correlação com o potássio trocável, não trocável e "disponível".
7. A quantidade de potássio absorvido pelo painço (Setaria italica B.) mostrou-se melhor correlacionada com o teor de potássio disponível e trocável do que com o potássio total.
8. A porcentagem de potássio na matéria seca mostrou-se altamente correlacionada com potássio "disponível", potencial de potássio, potássio lábil, trocável, e não foi correla-

cionado com o teor de potássio total

9. Os níveis críticos encontrados para estes solos foram:

Extratores	Níveis crítico (ppm)
Bray 1	60
Bray 2	70
Carolina do Norte	65
Morgan	70
HNO <sub>3</sub> 0,05N	65
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	65
CaCl <sub>2</sub> 0,01M 1:2	35
CaCl <sub>2</sub> 0,01M 1:16	35
Neubauer	50
Potássio lábil (- Δ Ko)	45
Potássio trocável	75
pK -1/2 p(Ca+Mg)	3,03 (relação)

10. O extrator de potássio "disponível" que possui maior soma de qualificações é o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N, na relação 1:10, com 10 minutos de agitação.

## 6. RESUMO

A estatística de consumo de fertilizantes no Brasil apresenta os de potássio em 2.<sup>o</sup> lugar. Entretanto, a resposta à adubação potássica em nossos solos com baixos teores deste nutriente nem sempre é verificada.

O potássio encontra-se no solo na forma solúvel, trocável e não trocável. Ocorre um equilíbrio químico entre estas formas e em razão disto, não há separação clara entre elas. A caracterização das formas é considerada segundo extractores químicos. Assim o potássio solúvel é extraído pela água, o potássio trocável é extraído pelo acetato de amônio 1N a pH 7,0 e a forma não trocável pode ser caracterizada pelo ácido sulfúrico em diversas concentrações e ácido nítrico 1N.

Um dos grandes problemas dos técnicos em fertilidade do solo, é a avaliação da quantidade de potássio disponível para as culturas e o estabelecimento de níveis críticos.

O grau de intemperismo dos constituintes potássicos do solo faz com que o teor de potássio total torna-se fraco índice para indicar sua disponibilidade. Esta disponibilidade é vista sob dois aspectos. Um é a intensidade, que é a atividade do nutriente na solução do solo em qualquer tem-

po. O outro é a capacidade, que é a quantidade do nutriente capaz de se solubilizar, à medida que decresce o teor de potássio da forma solúvel.

Para a avaliação do teor de potássio disponível são empregados reagentes químicos, como soluções diluídas de ácidos, misturas destas e soluções de sais, ou mesmo o método químico-biológico de Neubauer-Schneiter.

Recentemente vêm-se relacionando os fatores capacidade (Q) e intensidade (I) e, através destas relações, obtêm-se os valores de potássio lábil ( $-\Delta K_0$ ), potencial de potássio lábil (AR<sub>0</sub>) e capacidade de tamponização de potássio lábil (PBC).

O fator intensidade pode, também ser determinado pelo uso da expressão  $(pK - \frac{1}{2} p(Ca + Mg))$ .

O crescimento relativo e os valores do potássio no solo são utilizados para determinar os níveis críticos deste nutriente.

Com o objetivo de determinar o nível crítico de potássio em 10 solos do município de Piracicaba, e verificar a relação entre formas de potássio destes solos, foi conduzido este trabalho, o qual permitiu as seguintes conclusões:

1. O teor de potássio trocável, não trocável e "disponível" mostraram-se correlacionados entre si.
2. O teor de potássio total não se mostrou correlacionado com as demais formas de potássio.
3. Os solos não apresentaram o poder de fixação de potássio.
4. A relação entre quantidade e intensidade de potássio foi linear.

5. O potencial de potássio foi melhor correlacionado com o potássio trocável, não trocável e "disponível", do que com o potássio total.
6. O potássio lábil apresentou alta correlação com o potássio trocável, não trocável e "disponível".
7. A quantidade de potássio absorvido mostrou-se melhor correlacionada com o teor de potássio disponível e trocável do que com o potássio total.
8. A porcentagem de potássio na matéria seca mostrou-se altamente correlacionada com o potássio "disponível", potencial de potássio, potássio lábil, trocável e não foi correlacionado com o teor de potássio total.
9. Os níveis críticos encontrados para estes solos foram:

Extratores	Níveis críticos (ppm)
Bray 1	60
Bray 2	70
Carolina do Norte	65
Morgan	70
HNO <sub>3</sub> 0,05N	65
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	65
CaCl <sub>2</sub> 0,1M 1:2	35
CaCl <sub>2</sub> 0,1M 1:16	35
Neubauer	50
Potássio lábil (- Δ Ko)	45
Potássio trocável	75
pK -1/2 p(Ca + Mg)	3,03 (relação)

10. O extrator de potássio "disponível" que possui maior soma de qualificações é o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N na relação 1:10 com 10 minutos de agitação.

## 7. SUMMARY

The statistics about manure consumption in Brazil shows that the second more utilized is the fertilizers. On the other hand potassic fertilization in Brazilian soils with slow levels of potassium sometimes does not promote increasing in plant yield.

Potassium exists in soils in the following forms: soluble, exchangeable and non exchangeable potassium. There is a dynamic equilibrium among these forms and the separation of them is not clear. The characterization of these forms is made by using chemical reagents. In fact, the soluble potassium is obtained through water, the exchangeable potassium with ammonium acetate 1N pH 7,0 and the non exchangeable potassium with  $H_2SO_4$  or  $HNO_3$ .

It is very difficult to make evaluation of the available potassium and determination of its critical levels for crops. The weathering conditions of the potassic constituents of soils make it impossible to indicate the available potassium based on the total potassium level.

In order to measure the available potassium of soil, chemical reagents like diluted solutions of acids, salts and acid mixtures are used. It is also used the chemical bio-

gic Neubauer-Schneider's method.

The relationship between the quantity (Q) and intensity (I) factors has been studied and the potassium "labil" ( $-\Delta K_o$ ), the potassium "labil" potencial (ARo) and the potential buffer capacity (PBC) valores have been obtained on basis of these relationships.

The intensity factor can be also obtained by using the following expression  $pK - 1/2 (Ca + Mg)$ .

The relative growth and the potassium levels in soil are used to determine the nutrient critic levels.

This paper deals with the determination of the potassium critic levels and to study the potassium forms relationships in ten soils of Piracicaba.

On basis of the results it was possible to obtain the following conclusions:

1. It seems there to be a correlation between exchangeable, non exchangeable and available potassium.
2. The total potassium value did not show correlation with any potassium form.
3. The studied soils did not show potassium fixation power.
4. It is observed a linear relationship between the intensity and capacity factors.
5. The potassium potencial were more correlated with exchangeable, non exchangeable and available potassium than with total potassium.
6. The "labil" potassium show correlation with exchangeable, non exchangeable and available potassium.
7. The potassium level absorbed show more correlation with available and exchangeable potassium than with total po --



tassium.

8. The potassium content in dry mater were correlated with available, "labil", exchangeable potassium and potencial potassium but did not show any correlation with total potassium.
9. The critic levels found in these soils were:

Extractors	Critic levels (ppm)
Bray 1	60
Bray 2	70
North Caroline	65
Morgan	70
HNO <sub>3</sub> 0,05N	65
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05N	65
CaCl <sub>2</sub> 0,01M 1:2	35
CaCl <sub>2</sub> 0,01M 1:16	35
Neubauer	50
Potassium "labil"	45
Potassium exchangeable	75
pK -1/2 p(Ca+Mg)	3,03

10. The best available potassium extractor is the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05N in 1:10 rate, after 10 minutes of stirring.

## 8. LITERATURA CITADA

1. ALBRECHT, A. Potassium in the soil colloid complex and plant nutrition. Soil Sci. New Brunswick 55:13-21. 1943.
2. AQUAYE, D.K.; MACLEAN, A.J. & RICE, H.M. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. Soil Sci. New Brunswick 103(2):79-89. 1967.
3. ARNOLD, P.W.; RUNEWY, H. & HUNTER, F. Potassium status soil measurements and crop performance. In: 9. INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Adelaide, Australia. 1968. Transactions, Sydney, Australia International Society of Soil Science. 1968. V. 4, p. 613-20.
4. ARNOLD, P.W. Soil potassium and its availability to plants. Outlook on Agriculture - Bracknell, 3(6):263-67. 1962.
5. ARNOLD, P.W. & CLOSE, B.M. Release of non-exchangeable potassium from some british soils cropped in the glass house. J. Agric. Sci. Cambridge, 57(1):295-304. 1961.
6. ATTOE, O.J. & TRUOG, E. Exchangeable and acid soluble potassium ~~soils~~ regards availability and reciprocal relationships. Proc. Soil Sci. Soc. America, Madison, 10(1):81-6. 1945.
7. ATTOE, O.J. Fixation and recovery by oats of potash applied to soils. Proc. Soil Sci. Soc. America, Madison, 13:112-15. 1948.

8. BARROW, N.J.; OZANNE, P.G. & SHAW, T.C. Nutrient potential and capacity. I The concepts of nutrient potential and their application to soil potassium and phosphorus. Australian. J. Agri. Reser. Melbourne 16(1):61-76. 1965.
9. BARROW, N.J. Nutrient potential and capacity. II: Relationships Between Potassium Potential and Buffering Capacity and the Supply of Potassium to plants. Australian. J. Agri. Reser. Melbourne 17(6):849-61. 1966.
10. BARHARD, I. Cation exchange in soils. I. Ammonium fixation and its relation to potassium fixation and to determination of ammonium exchange capacity. Soil Sci., New Brunswick 72:361-71. 1951.
11. BEAR, Firman E.; PRINCE, Arthur L. & MALCOLM, John L. The potassium-supplying powers of 20 New Jersey Soils. Soil Sci. New Brunswick 58(2):139-49. 1944.
12. BECKETT, P.H.T. Studies on soil potassium I: Confirmation of the ratio Law: measurements of potassium potential. J. Soil Sci. Oxford, 15(1):1-8. 1964.
13. BECKETT, P.H.T. Studies on soil potassium II: The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. Oxford, 15(1):9-23. 1964.
14. BISHOP, P.R.F.; MACLEAN, A.J. & LUTWICK, L.E. Fertility studies on soil types: IV Potassium supply and requirement as shown by greenhouse studies and laboratory test. Can J. Agri. Sci. Oxford, 34:374-384. 1954.
15. BITTENCOURT, V.C. Complementary ion effect on K, Na and Ca release from Bentonite and Illite clay as affected by pH. Dependent charge cation exchange capacity and base saturation. Ohio - Ohio State University. 1972. 136 p. (Tese de Ph.D).
16. BRADFIELD, E.G. Quantity/Intensity relations in soils and the potassium nutrition of the strawberry plant (*Fragaria* sp) J. Sci. Fd. Agric. London 20(1):32-8. 1969.

17. BRAGA, J.M. Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais. Piracicaba. ESALQ. 1972. 143 p. (Tese de Doutorado).
18. BRAY, R.H. Correlation of soil test with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B. Diagnostic techniques for soils and crops. Washington. Am. Potash. Inst. 1947. 53-85.
19. BRAY, Roger H. Soil Plant relations I: The quantitative relations of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions. Soil Sci. New Brunswick, 58:305-24. 1944.
20. BRAY, R.H. & De TURK, E.E. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soils. Proc. Soil Sci. America, Madison 3:101-6. 1938.
21. BRELAND, H.L.; BERTRAMSON, B.R. & BORLAWD, J.W. Potassium supplying power of several Indiana soils. Soil Sci. New Brunswick, 70(2):237-47. 1950.
22. CATANI, R.A. A determinação do potássio pelos métodos do colbaltohexanitrito e de fotometria de chama sua aplicação no estudo do potássio nos solos do Estado de São Paulo. Piracicaba - ESALQ - USP. 1954. 145 p. (Tese para Catedrático).
23. CATANI, R.A.; GALLO, J.R. & GARGANTINI, H. Amostragem do solo, métodos de análise, interpretação e indicação gerais para fins de fertilidade. B. do Instituto Agrônomo. Campinas. n. 69. 1955. 28 p.
24. CATANI, R.A. & PAIVA NETO, J. O método de "Neubauer" aplicado ao estudo de potássio nos solos do Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, 10(1):27-32. 1950.
25. CATANI, R.A. & JACINTO, A.O. Análise Química para avaliar a fertilidade do solo. B. Técnico Científico. ESALQ. Piracicaba, n. 37. 1974. 57 p.

26. CATE, Robert. B. & NELSON, Larry A. Um método rápido para correlação de análise de solo com ensaio de adubação. B. Soil Testing Int. North Carolina. n.º 1. 1965.
27. CASTRO, A.F.; ANASTACION, L.A. & BARRETO, W.O. Potássio disponível em horizontes superficiais de alguns solos brasileiros. Pesq. Agrop. Bras. Série Agron. Rio de Janeiro, 7:75-80. 1972.
28. CHANDLER, Robert F.; PEECH, Michael, & CHANG, C.W. The release of exchangeable and nonexchangeable potassium from different soils upon cropping. J. Am. Agron. Washington 37(9):709-21. 1945.
29. COELHO, F.S. & VERLENGIA, F. Fertilidade do solo. Campinas, Inst. Camp. Ensino Agrícola. 1972. 180 p.
30. COREY, R.B. Análise de solo. Teoria e prática. (s.l.) . Universidade Wisconsin/Univ. Rio Grande do Sul. 1965. 178 p.
31. CRISOSTOMO, L.A. & CASTRO, A.F. Poder de suprimento de potássio de solos da zona fisiográfica de Baturité. Ceará, Brasil. Turrialba. Costa Rica. 20(4)425-33. 1970.
32. DANIELS, R.B. Relation between particle size and potassium release in the clarion and Marshall soils. Proc. Ta. Acad. Sci., 63:453-59. 1956.
33. DATTA, N.P. & KALBANDES, A.R. Correlation of response in paddy with soil test for potassium in different Indian soils. J. Indian Soc. Soil Sci. Madra. 15:1-6. 1967.
34. DE FREITAS, L.M.M.; McGLUNG, A.C. & PIMENTEL GOMES, F. Determinação das áreas deficientes em potássio para a cultura do algodão. Fertilité, Paris. 26:37-47. 1966.
35. EKPETE, D.M. Comparison of methods of available potassium assessment for castor Nigeria soils. Soil Sci. New Brunswick, 113(3):213-21. 1972.

36. FASSBENDER, H.W. & LAROCHE, L.A. The nutritive potentials of soil and the proportions of K:Ca:Mg in tomato plants. Plant Soil. The Hague, 28(3):431-41. 1968.
37. FASSBENDER, H.W. Equilíbrios catiónicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. Turrialba. Costa Rica, 22(4):388-97. 1972.
38. \_\_\_\_\_. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latino-Americana. Costa Rica. 3(1/2):203-16. 1966.
39. FERGUS, J.F.; MARTIN, A.E.; LITTLE, I.P. & HAYDOCK, K.P. Studies on soil potassium II: The Q/I relation and other parameters compared with plant uptake of potassium. Australian J. Soil Res. Melbourne, 10(1):95-111. 1972.
40. GAMA, Manuel Vasco. Potencial e capacidade de alguns solos em relação ao potássio e sua variação com o cultivo. Agro. Luzit. Oeiras. Portugal, 28(1):105-123. 1961.
41. GAMA, Manuel Vasco. Libertação e absorção de potássio em alguns solos. Agro. Luzit. Oeiras, Portugal, 29(1/2):99-115. 1967.
42. GARMAN, W.L. Potassium release characteristics of several soil from Ohio and New York. Proc. Soil Sci. Soc. America, Madison, 21(1):52-58. 1957.
43. GARGANTINI, Hermano; COELHO, Fernando, A.S.; VERLENGIA, Flávio & SCARES, Edmit. Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo. Campinas -- IAC -- Sec. Agric. São Paulo. Jun. 1970. 32 p.
44. GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 3 ed. Piracicaba. ESAIQ. 1966. 403 p.
45. GONÇALVES, J.A.T. Drumond. Política agrícola brasileira. São Paulo. ANDA. 1972. 13 p. (Apresentada na convenção da MANAH S.A. Comércio e Indústria. Serra Negra. Nov. 1972).

46. GRAHAM, E.R. & FOX, R.L. Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. Soil Sci. New Brunswick, 111(3):318-322. 1971.
47. GRAHAM, E.R. Soil development and plant nutrition: I - Nutrient delivery to plants by the sand and silt separates. Proc. Soil Sci. Soc. America, Madison, 6:259 - 62. 1941.
48. GRIM, Ralph, E. Clay mineralogy. New York. McGraw-Hill. Book Co. Inc. 1953. 384 p.
49. HALSTEAD, R.L. & HEENEY, L.M. Exchangeable and water-soluble potassium in soils and degree of saturation in relation on to tomato yields. Can. J. Soil Sci. Canada, 39(1):129-35. 1959.
50. HANWAY, J.J. & SCOTT, A.D. Soil potassium-moisture relations: II - Profile distribution of exchangeable K in Iowa soils as influenced by drying and rewetting. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 21(5):501-8. 1957.
51. HENDE, A.V.D. & COTTENIE, A.H. L'estimation de la fertilité du sol por les methods chimiques nouvelles. Bruxelles. Comp. Rend. de Recherches. 1960. 232 p.
52. HOOD, J.T.; BRADY, N.C. & LATHWELL, D.J. The relationship of water soluble and exchangeable potassium to yield and potassium uptake by ladino clover. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 20(2):228-31. 1956.
53. HOGG, D.E. El reparto del potássio accesible en los suelos. Revista de la Potassa. Berna. 11:1-11. Jul. 1958.
54. HUNTER, A.H. & PRATT, P.F. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 21(4):595-8. 1957.
55. JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs. N.J. Prentice Hall. Inc. 1958. 498 p.
56. JENNY, H. & AYERS, A.D. The influence of the degree of saturation of soil colloids on the nutrient intake by roots. Soil Sci. New Brunswick, 48:443-59. 1939.

57. JORGE, J.A. & GARGANTINI, H. Determinação do potássio do solo pelo método de Neubauer e por diversos extratos químicos. Bragantia. Campinas, 22(60):751-8.1963.
58. KAILLA, A. Fijación del potássio en suelos finlandeses. Rev. de la Potassa. Berna, 4(35):1-11. 1966.
59. KOCH, J.T.; ORCHARD, E.R. & SUMNER, M.E. Leaf composition and yield response of corn in relation to Quantity-Intensity parameters for potassium. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 34(1):94-97. 1970.
60. LEAF, A.L. Release of potassium from feldspathic rock and minerals. Soil Sci. New Brunswick, 87(1):11-12. 1959.
61. LEGG, J.O. & BEACHER, R.L. The potassium supplying power of representative Arkansas soils. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 16(2):210-14. 1952.
62. LEROUX, J. & SUMNER, M.E. Labile potassium soil I Factors affecting the quantity-intensity (Q/I) Parameters Soil Sci. New Brunswick, 106(1):35-41. 1968.
63. LEROUX, J. & SUMNER, M.E. Labile potassium in soils II Effect of fertilization and nutrient uptake on the potassium status of soils. Soil Sci. New Brunswick, 106(5):331-37. 1968.
64. LUEBS, R.E. STAMFORD, G. & SCOTT, A.D. Relation of available potassium to soil moisture. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 20(1):45-50. 1956.
65. MACLEAN, A.J. Water soluble K, per cent K - saturation, and  $pK^{-1/2} p(Ca+Mg)$  as indices of management effects on K status of soils. In: 7 th. International Congress of Soil Science, Madison. 1960. V. 4. p. 86-91.
66. MACLEAN, A.J.; LUDWICK, L.E. & BISHOP, R.F. Fertility studies on soil types. Am. J. Agric. Sci. Canada, 35:397-406. 1955.



67. MACKAY, D.D. & DELONG, W.A. Coordinated soil plant analysis. III Exchange equilibria in soil suspensions as possible indicators of potassium availability. Canadian J. Agric. Sci. Oxford. 35(2):181-87. 1955.
68. MALAVOLTA, E. Pesquisa agrícola e desenvolvimento econômico. Piracicaba, ESALQ. 1973. (Aula da disciplina Estudos de Problemas Brasileiros. Dia 11/04/73).
69. MALAVOLTA, E. Análise química dos teores totais. Piracicaba, IILCA-ESALQ. 1964. 36 p. (Curso Internacional de diagnose foliar).
70. MAREL, H.W. The amount of exchangeable cations of K-fixations soils. In: 8 th. Inst. Congress. Soil Sci. V. 11. p. 10-17. 1954.
71. MARTINI, J.A. Caracterización del estado de potássio en seis suelos de Panamá. Fitotecnia Latino-Americana - Costa Rica - IICA 3(1/2):163-86. 1966.
72. MCEWEN, H.B. & MATTHEWES, B.C. Rate of release of non exchange potassium by Ontário soils in relation to managements practice. Canadian J. Soil Sci. Oxford 38:36-43. 1958.
73. MENDES, A.C.T. Dispersão de solos minerais. Piracicaba. Lab. Mineralogia de Solos da ESALQ. 1970. 47 p.
74. METSON, A.J. The long-term potassium supplying power of New Zelandia soil. In Int. Congres. Soil Sci. Berna. 9. V. 2:621-30. 1968.
75. METSON, A.J. Algunos de los factores que afetan el estado del potasio en los suelos de Nueva Zelanda. Revista de la Potassa. Berna. Aug. 160, p. 1-11.
76. MIRANDA, Emo Rui. Relação Quantidade/Intensidade (Q/I) de potássio em alguns solos da zona cacauera do Brasil e de Costa Rica. Turrialba. IILCA. 1972. 50 p. (tese de M.S.).
77. MOHR, W. Teor e fornecimento de K dos solos do Rio Grande do Sul. In: VII Cong. Bras. Cienc. Solo, São Paulo. 1959.

78. MOSS, P. & COULTER, J.K. The potassium status of west Indian volcanic soils. J. Soil Sci. Oxford. 15(2): 284-98. 1964.
79. NASH, V.E. Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi coastal plain as revealed by various extracting agents. Soil Sci. New Brunswick, 111(5):313-17. 1971.
80. OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATTY, M.T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 35(5):763-7. 1971.
81. PEARSON, R.W. Potassium supplying power of eight Alabama soils. Soil Sci. New Brunswick, 74(4):301-309. 1952.
82. PEECH, M. & BRADFIELD, R. The effect of lime and magnesia on the soil potassium and on the absorption of potassium by plants. Soil Science, New Brunswick, 55: 37-48. 1943.
83. PROGRAMA INTEGRADO DE PESQUISA AGROPECUÁRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação do uso de fertilizantes para o Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte - Sec - Agricultura. 1972. 88 p.
84. POPE, A. & CHENEY, H.P. Potassium supplying power of several western Oregon soils. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 21(1):75-9. 1957.
85. PRATT, P.F. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. Soil Sci. New Brunswick, 72:107-17. 1951.
86. PRATT, P.F. & MORSE, H.H. Potassium release from exchangeable and non exchangeable forms in Ohio soil. B. Agric. Exp. Sta. Ohio. n. 747. 1954.
87. RANZANI, G.; FREIRE, O. & KINJO, T. Carta de solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos-ESALQ. 1966. 85 p.

88. RAO, W.K. & SUBRAMANIAN, T.R. Evaluation of some indexes of available potassium in soils for coffee seedlings. Turrialba - Costa Rica, 21:404-5. 1971.
89. REITEMEIER, R.F.; HOLMES, R.S.; BROW, I.C.; KLIPP, L.W. & PARKS, R.A. Release of nonexchangeable potassium by greenhouse. Neubauer and laboratory methods. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 12(2):158-62. 1947.
90. REITEMEIER, R.F. Soil potassium. In: NORMAN, A.C. Advances in Agronomy. New York. Acad. Press. 1951. V.2. p. 113-59.
91. REID, P.H. & COPELANO, C. Analytical methods used by the soil testing. Raleigh - Division, North Carolina Depart. of Agric. 1969. 19 p.
92. RENGASWAMY, P.A.; GOPALSWAMY, V. & NATARAJAN, R. Relationships between the total and critic soluble forms of phosphorus and potassium in the aluvial and lateritic soils of Adros State. J. Indian Soc. Soil Sci. Nova Delhi, 14:85-89. 1966.
93. RICHARDS, G.E. & McLEAN, E.O. Potassium fixation and release by clay minerals and soils clays on wetting and drying. Soil Sci. New Brunswick, 95(5):308-314. 1963.
94. ROUSE, R.D. & BERTRAMSON, B.R. Potassium availability in several Indian soils: its nature and methods of evaluation. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 14: 113-123. 1949.
95. SALOMON, M. & SMITH, J.B. A comparison of methods for determining extractable soil potassium in fertilizer test plots. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 21(2):222-5. 1957.
96. SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. Los elementos nutritivos para las plantas en el suelo: el potássio. Revista de la Potassa. Berna, 4(37):1-7. 1966.
97. SCHMITZ, G.W. & PRATT, P.F. Exchangeable and nonexchangeable potassium as indexes to yields increases and potassium absorption by corn in the greenhouse. Soil Sci. New Brunswick, 76(4):345-53. 1953.

98. SCHOFIELD, R.E. & TAYLOR, A.Wornold. The measurement of soil pH. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 31 (1):164-67. 1955.
99. SCHOLLEMBERGER, C.J. & SIMON, R.H. Determination of exchange capacity and exchangeable base in soil ammonium acetate methods. Soil Sci. New Brunswick, 59:13-24. 1945.
100. SMITH, J.A. & MATTHEWS, B.G. Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. Am. J. Soil Sci. Canada, 37(1):1-10. 1957.
101. STEWART, E.H. & VOLK, H.J. Relation between potash in soils and that extracted by plants. Soil Sci. New Brunswick, 61:125-9. 1946.
102. STRASMAN, A., QUIDET, R. & BLANCHET, R. Dynamique du potassium et alimentation potassique des plants. Paris. Ann. Agro. 10:635-58. 1958.
103. SUTTON, Paul, & SEAY, W.A. Relationship between the potassium removed by millet and red clover and K extracted by 4 chemical methods. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 22(2):110-15. 1958.
104. TABATABAY, H.A. & HARTWAY, J.J. Potassium supplying power of Iowa soils at their Mineral levels of exchangeable potassium. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 33 (1):105-9. 1969.
105. TALIBUDEEN, O. & DEY, S.K. Potassium reserves in British soils II: Soils from different parent materials. J. Agric. Sci. Cambridge, 71(1):405-411. 1968.
106. TAYLOR, V.A. Some equilibrium solution studies on Rothamsted soils. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 22(6):511-13. 1968.
107. TINKER, P.B. Studies on soils potassium III: Cation activity ratios in acid Nigerian soils. J. Soil Sci. Oxford, 15(1):24-34. 1964.

108. THOMAS, G.W. & HIPPE, Billy, W. Soil factors affecting potassium availability. In: KILMER, V.J. Younts, S.E. & BRADY, N.C. THE ROLE OF POTASSIUM IN AGRICULTURE. Madison, Am. Soc. Agron. Crop. Sci. Soc. Am. Soil Sci. Soc. Am. 1968. Xap. 13. p. 269-91.
109. THOMPSON, L.M. El suelo y su fertilidad. Barcelona Ed. Reverté. 1962. 407 p.
110. VETTORI, Leandro. Métodos de análises do solo. Boletim Técnico. Rio de Janeiro, EPE - MA n. 7. 1969. 24p.
111. VOLK, N.J. The fixation of potash in difficultly available form in soils. Soil Sci. New Brunswick, 37(4): 267-87. 1933.
112. VOLK, N.J. & TRUOG, E. A rapid chemical method for determining the readily available potash of soils. J. Am. Soc. Agro. Washington, 26(7):537-546. 1934.
113. WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. Soil test interpretation studies laboratory and potted plant. B. Int. Soil Test. North Carolina. N. 3. 1960. 33 p.
114. WEBER, J.B. & CALDWELL, A.G. The potassium supplying power of several Minnesota surface soils and subsoils. Soil Sci. New Brunswick, 100(1):34-44. 1965.
115. WILLIAMS, D.E. & JENNY, E. The replacement of nonexchangeable potassium by various acids and salts. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison, 16(2):216-21. 1952.
116. WIKLANDER, Lambert. Forms of potassium in the soil. Potassium Symposium - Berna. 109-21. 1954.
117. WIKLANDER, L. El potasio en suelos cultivados de la provincia de Skane (Suécia). Revista de la Potassa. Berna. 1-21. 1961.
118. WOOD, L.K. & DETURK, E.E. The absorption of potassium in soils in non replaceable forms. Proc. Soils Sci. Soc. America. Madison, 5:152-61. 1940.

119. WOODRUFF, C.M. & McINTOSH, J.L. Testing soils for potassium. In: 7 th. Int. Cong. Soil Sci. Madison. 1960. V. 4. p. 80-85.
120. WOODRUFF, C.M. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. Proc. Soil Sci. Soc. America. Madison. 19(2):167-71. 1955.

9. A P E N D I C E

QUADRO A1. Resultados analíticos na determinação da relação quantidade ( $\pm \Delta K$ )  
x intensidade (ARE) dos solos estudados.

Solo	K Adicionado	Solução equil. (molar)		ARE $\frac{K}{\sqrt{Ca + Mg}}$ $\times 10^{-3}(l)$	$\pm \Delta K$ eq. mg/100 g solo $\times 10^{-3}$		
		K	Ca + Mg				
1	0.00	5.6	$10^{-5}$	3.6	$10^{-3}$	1,02	- 56
	1.28	1.4	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	2,50	- 12
	2.57	1.9	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	3,54	58
	5.14	3.3	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	6,04	174
	7.71	4.7	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	8,54	289
2	0.00	8.4	$10^{-5}$	3.6	$10^{-3}$	1,59	- 96
	1.28	1.6	$10^{-4}$	3.5	$10^{-3}$	2,98	- 28
	2.57	2.1	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	3,83	43
	5.14	3.5	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	6,60	158
	7.71	4.8	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	8,94	289
3	0.00	8.5	$10^{-5}$	3.6	$10^{-3}$	1,54	- 84
	1.28	1.7	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	3,08	- 41
	2.57	2.0	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	3,60	58
	5.14	3.9	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	7,15	117
	7.71	6.5	$10^{-4}$	3.6	$10^{-3}$	11,92	120

Continua



QUADRO Al. Continuação

Solo	K Adicionado	Solução equil. (molar)		K/V Ca + Mg x 10 <sup>-3</sup> (1)	+ ΔK eq. mg/100 g solo x 10 <sup>-3</sup>		
		K	Ca + Mg				
4	0.00	5.6	10 <sup>-5</sup>	4.2	10 <sup>-3</sup>	0,90	56
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	4.2	10 <sup>-3</sup>	2,30	12
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	4.2	10 <sup>-3</sup>	4,10	2
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	4.2	10 <sup>-3</sup>	7,80	61
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	4.2	10 <sup>-3</sup>	11,70	92
5	0.00	1.2	10 <sup>-3</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	22,7	-1.241
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	23,8	-1.170
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	25,8	-1.170
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	28,3	-1.040
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	29,7	- 866
6	0.00	4.2	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	7,68	- 423
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	9,17	- 379
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	9,71	- 279
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	13,92	- 248
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	17,00	- 161
7	0.00	2.5	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	3,6	- 197
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	5,2	- 153
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	7,1	- 124
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	11,3	- 93
	7.71	10 <sup>-4</sup>	11.2	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	13,9

Continua

QUADRO A1. Continuação

Solo	K Adicionado	Solução equil. (molar)		K	Ca + Mg	$\sqrt{Ca + Mg}$ x 10 <sup>-3</sup> (1)	± ΔK eq. mg/100 g solo x 10 <sup>-3</sup>
		K	Ca + Mg				
8	0.00	5.0	10 <sup>-5</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	0,0	0,0
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	1,5	4,3
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	4,2	30
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	8,7	47
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	11,3	162
9	0.00	5.0	10 <sup>-5</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	0,5	28
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	5,2	12
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	3,6	58
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	9,4	5
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	12,1	120
10	0.00	5.0	10 <sup>-5</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	0,90	56
	1.28	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	1,45	43
	2.57	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	2,91	87
	5.14	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	6,58	146
	7.71	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	3.6	10 <sup>-3</sup>	10,25	205

(1) k e Ca + Mg calculado por = fC

$$- \log f = 509 Z^2 \sqrt{u} \quad \text{sendo } u = 1/2 \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2 + \dots + C_n Z_n^2$$

QUADRO A2. Resultado do peso de matéria seca, após 1.º corte (grama).

Tratamen- to	Repe- tições	Solos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	A	0,55	2,91	1,82	1,54	3,03	3,87	4,28	0,94	1,00	3,80
	B	0,51	2,29	2,83	2,52	5,14	3,87	4,84	0,40	2,03	3,80
	C	0,90	3,97	3,80	1,63	4,92	3,41	4,28	1,06	1,24	3,85
120	A	2,00	5,24	4,70	3,37	4,47	3,52	1,82	4,43	5,34	2,66
	B	1,90	6,33	5,16	3,40	4,22	3,85	5,06	4,33	5,20	5,33
	C	1,90	4,82	5,52	3,63	5,66	3,80	4,90	4,45	5,20	4,87
240	A	1,72	3,28	4,13	3,53	4,96	3,66	4,77	4,32	5,71	5,05
	B	2,04	2,00	4,80	4,25	4,40	3,41	5,25	5,14	5,56	5,40
	C	1,81	4,23	4,82	3,70	5,67	3,58	5,12	5,27	4,57	4,73
360	A	1,83	4,20	5,62	4,08	3,04	2,44	4,97	4,16	5,20	4,62
	B	1,30	2,90	4,85	2,83	4,03	2,15	4,93	3,50	5,10	5,08
	C	1,20	3,24	5,23	2,93	3,83	3,03	4,24	4,02	4,66	4,35

QUADRO A3. Resultado da % de E na matéria seca.

Tratamen to	Repo- tições	Solos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	A	1,260	3,360	1,764	1,680	6,048	4,300	2,680	0,960	0,960	3,360
	B	0,756	6,400	2,184	1,428	5,208	4,640	2,770	0,560	0,560	3,280
	C	1,176	2,480	1,932	1,680	5,712	4,960	2,856	1,040	1,20	3,040
120	A	5,796	4,800	4,620	5,880	5,628	6,000	5,208	4,800	3,640	6,000
	B	4,536	4,080	4,452	4,704	5,712	5,200	5,124	4,480	3,440	5,200
	C	4,200	5,600	4,452	5,376	5,712	5,360	4,704	4,480	4,160	4,960
240	A	6,216	5,680	5,544	6,216	5,712	5,920	5,460	6,080	5,760	6,080
	B	6,460	4,320	5,200	5,460	5,712	5,760	5,292	5,760	4,480	6,000
	C	5,460	6,480	5,628	5,796	5,544	6,000	5,124	5,920	5,600	5,520
360	A	6,552	6,640	5,712	6,048	5,712	5,040	5,376	6,000	6,000	5,360
	B	6,720	3,280	5,964	6,720	5,376	5,680	5,292	6,080	6,400	5,520

QUADRO A4. Resultado da % de Cálcio na matéria seca.

Tratamen- to ppm	Repe- tições	Solos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	A	1,20	0,95	1,02	1,02	0,54	0,93	1,04	2,29	1,13	0,77
	B	1,52	0,66	0,78	0,90	0,44	0,91	0,85	1,98	1,11	0,87
	C	1,15	1,10	0,80	0,98	0,57	0,97	0,99	1,77	1,20	0,88
120	A	0,77	0,57	0,54	0,52	0,57	0,72	0,64	1,12	0,70	0,62
	B	0,07	0,70	0,50	0,50	0,57	0,78	0,73	1,02	1,00	0,54
	C	0,81	0,69	0,52	0,57	0,59	0,79	0,70	1,09	0,96	0,60
240	A	0,62	0,68	0,44	0,53	0,50	0,68	0,64	0,80	0,61	0,50
	B	0,67	1,14	0,54	0,53	0,70	0,78	0,80	0,91	0,82	0,62
	C	0,60	0,67	0,48	0,48	0,47	0,83	0,66	0,84	0,70	0,57
360	A	0,56	0,60	0,42	0,48	0,51	0,69	0,57	0,95	0,56	0,48
	B	0,64	1,07	0,50	0,50	0,61	0,67	0,67	0,81	0,71	0,50
	C	0,69	0,48	0,45	0,51	0,56	0,70	0,52	0,72	0,56	0,49

QUADRO A5. Resultado da % de Magnésio na matéria seca.

Tratamen- to	Repe- tições	Solos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	A	0,41	0,69	0,59	0,78	0,34	0,41	0,53	0,59	0,58	0,55
	B	0,42	0,35	0,76	0,80	0,31	0,39	0,51	0,51	0,57	0,62
	C	0,42	0,78	0,79	0,78	0,34	0,39	0,50	0,57	0,44	0,66
120	A	0,32	0,44	0,56	0,40	0,36	0,35	0,34	0,41	0,39	0,30
	B	0,43	0,45	0,52	0,41	0,34	0,35	0,36	0,39	0,40	0,44
	C	0,30	0,48	0,50	0,46	0,36	0,34	0,35	0,41	0,41	0,43
240	A	0,28	0,33	0,38	0,36	0,34	0,30	0,33	0,34	0,29	0,33
	B	0,27	0,38	0,41	0,39	0,33	0,32	0,35	0,35	0,33	0,34
	C	0,25	0,43	0,37	0,37	0,26	0,33	0,34	0,35	0,28	0,35
360	A	0,25	0,41	0,29	0,37	0,26	0,32	0,28	0,33	0,27	0,31
	B	0,24	0,72	0,37	0,34	0,32	0,30	0,30	0,28	0,28	0,34
	C	0,24	0,33	0,33	0,36	0,29	0,29	0,28	0,30	0,28	0,30

QUADRO A6. Quadrados médios de análise de variância dos dados de % de K, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> na matéria seca.

Cause de variação	G.D.	%T	%Ca <sup>++</sup>	%Mg
Repetição	2	0,5829	0,0287	0,0022
Solos	9	2,7516**	0,4060**	5,1564**
Tratamento	3	60,9432**	1,1247**	0,3192**
Int. Solos x Trat.	27	2,5506**	0,0781**	1,1831**
Erro	78	0,3097	0,0117	0,0035
Total	119			
C.V.	-	11,64	14,17	14,82

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

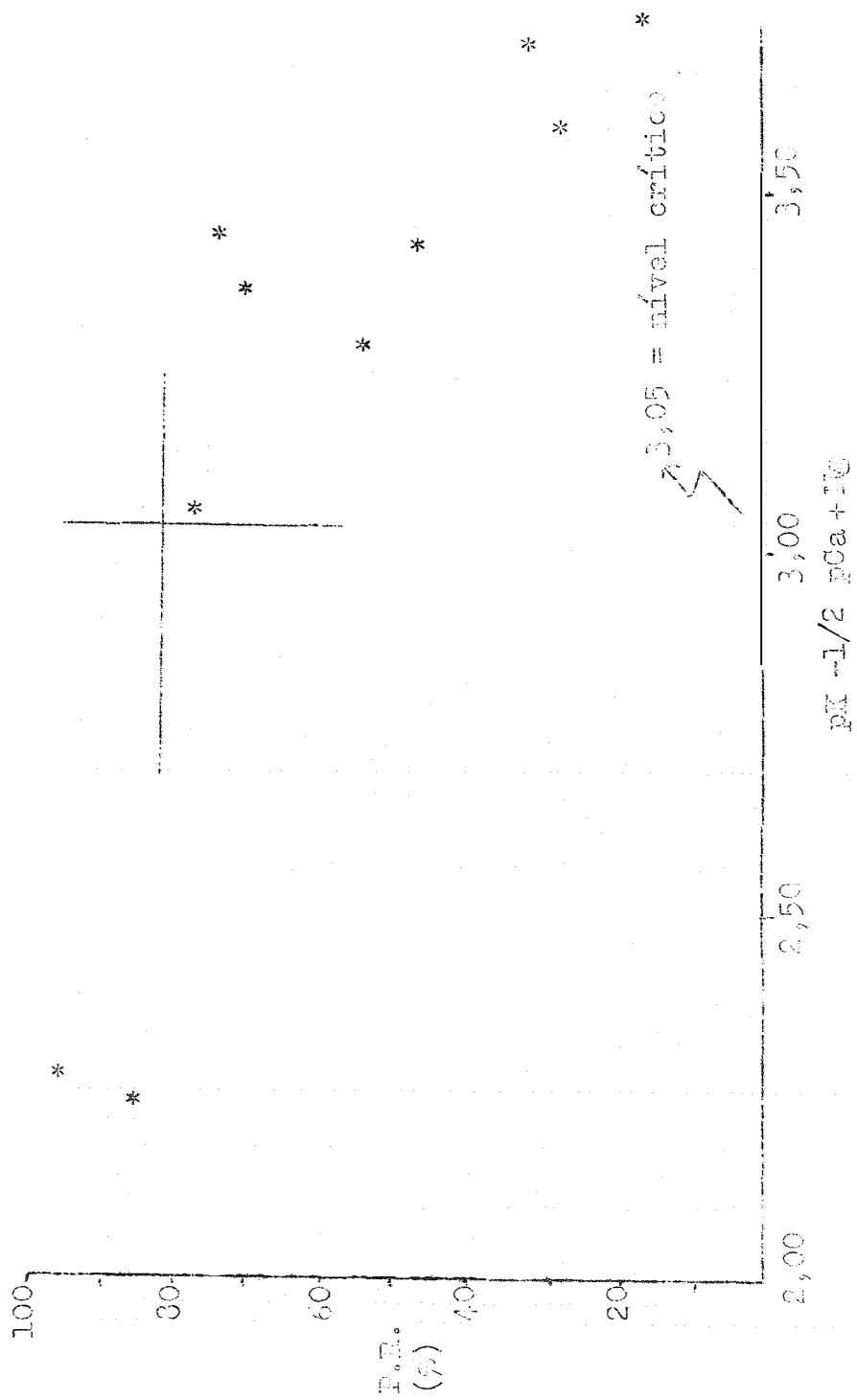


FIGURA 1. Determinação do nível crítico (GALT & NELSON, 1965) para E. pe  
 la expressão  $PX -1/2 pCa + IG$ .



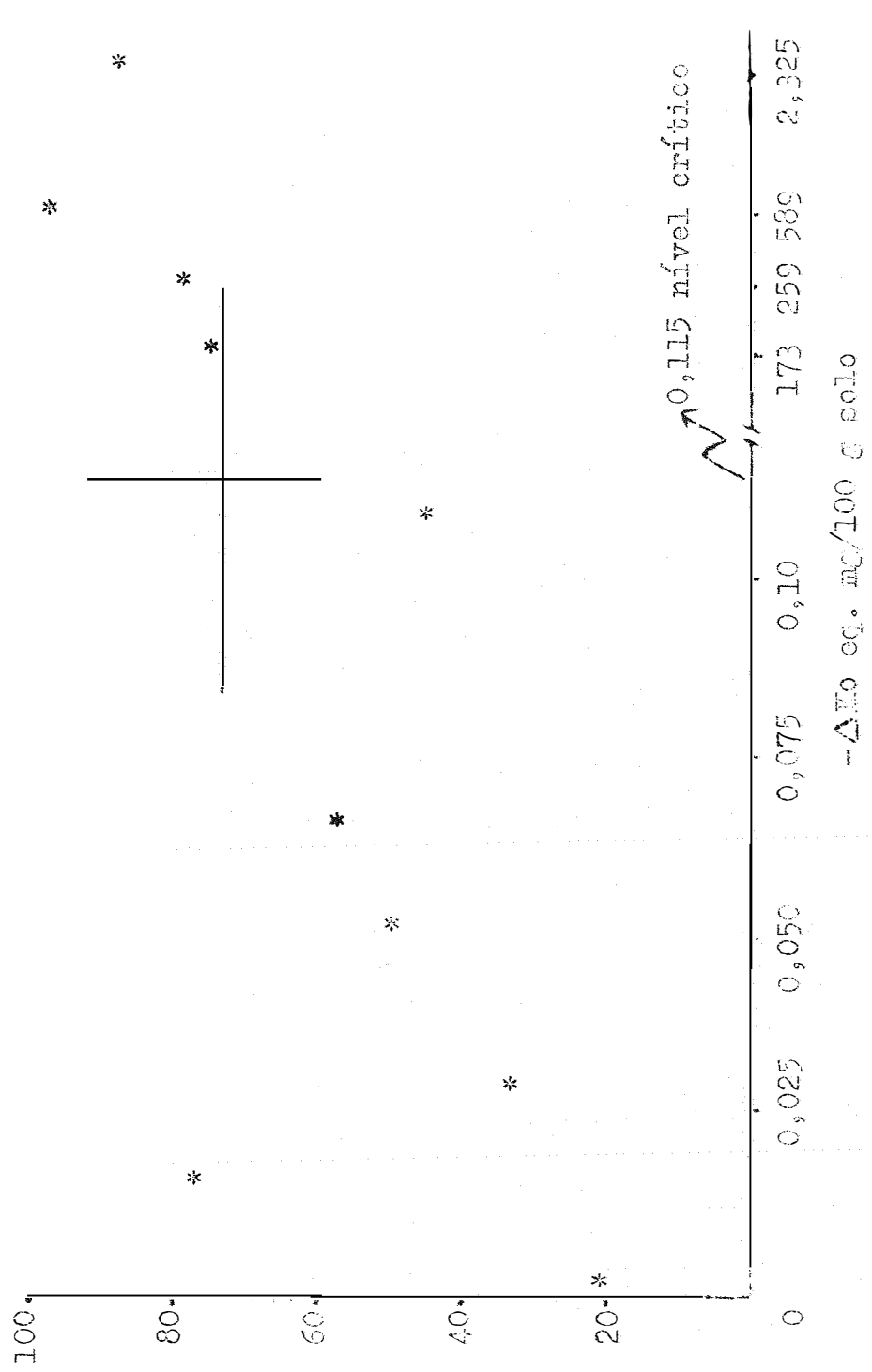


FIGURA 2A. Determinação do nível crítico (GATE & NELSON, 1965) para potássio lábil ( $-\Delta Ko$ ).

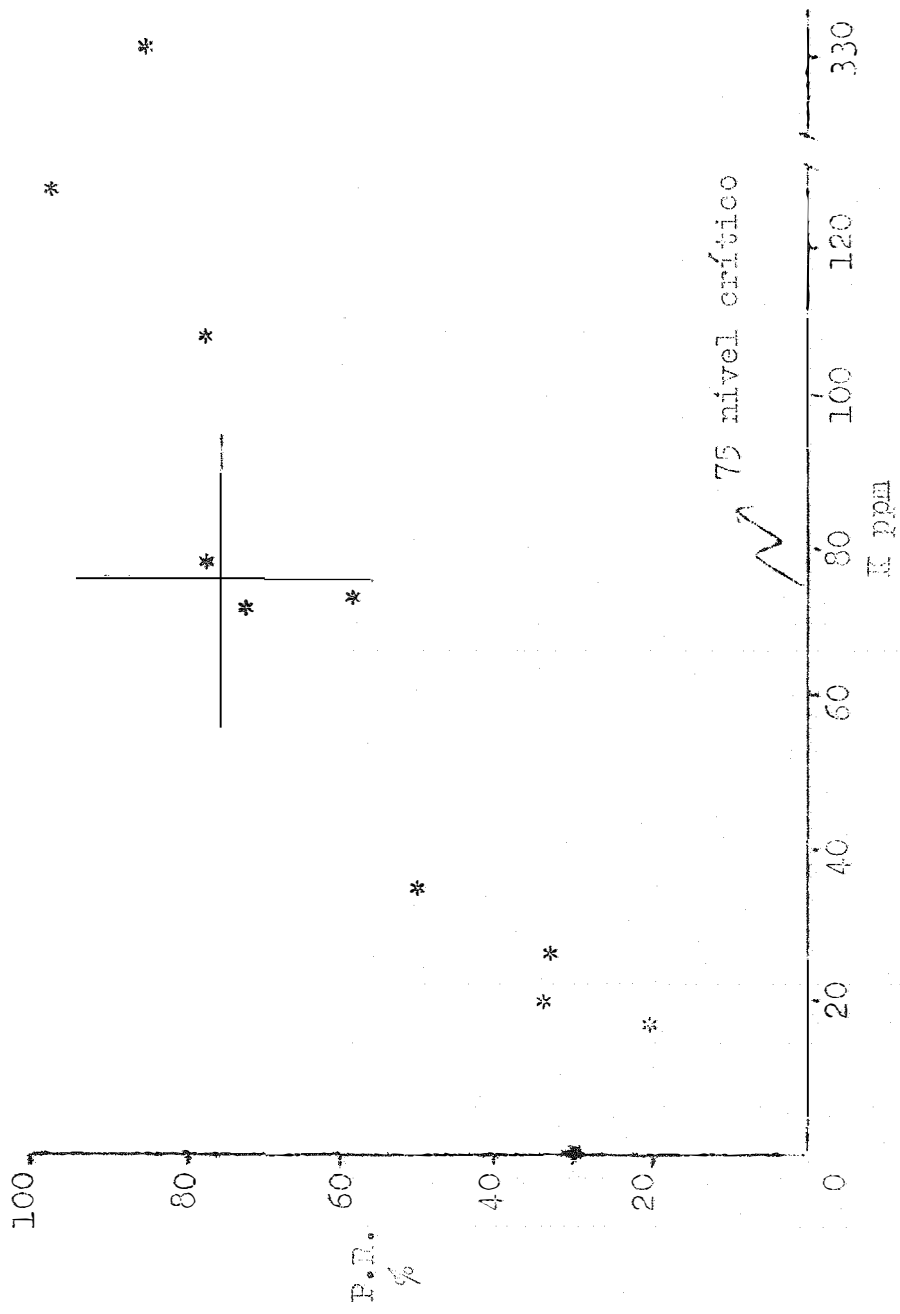


FIGURA 3A. Determinação do nível crítico (GATE & NELSON, 1965) para K extraído pelo acetato de amônio 1 N, pH 7,0.

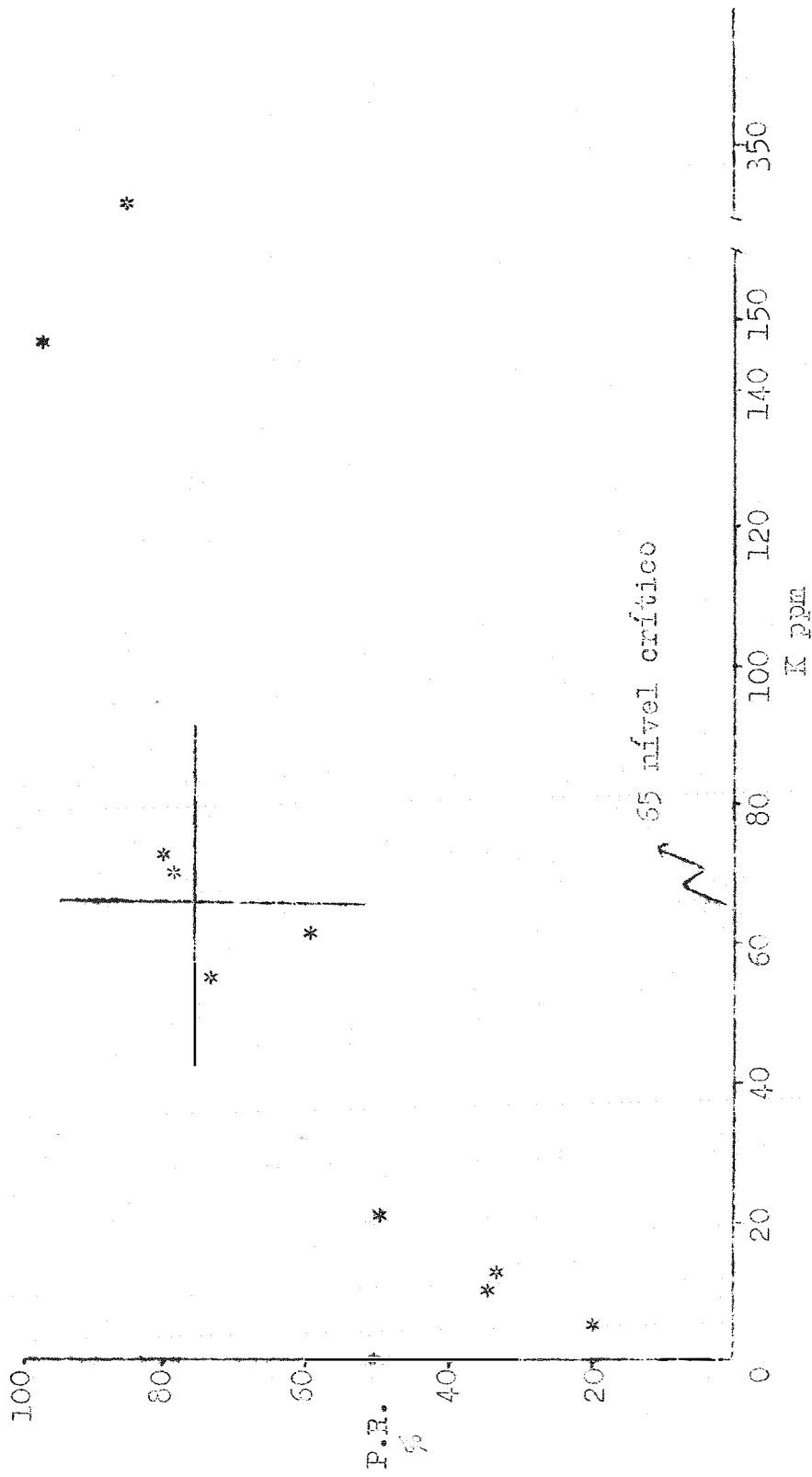


FIGURA 41. Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para K pelo extrator de Norte Carolina.

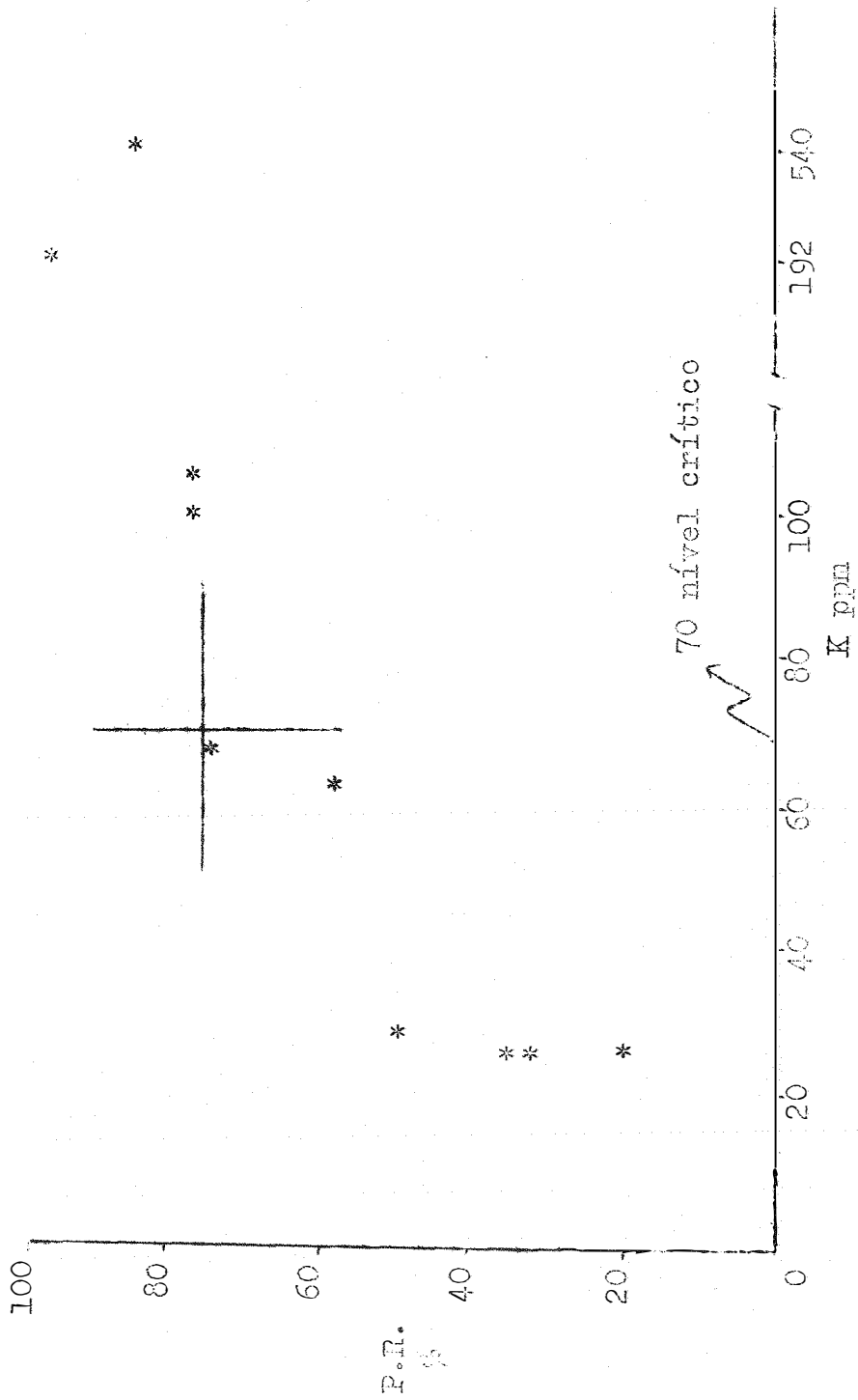


FIGURA 5L. Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para M pelo extrator Bray 2.

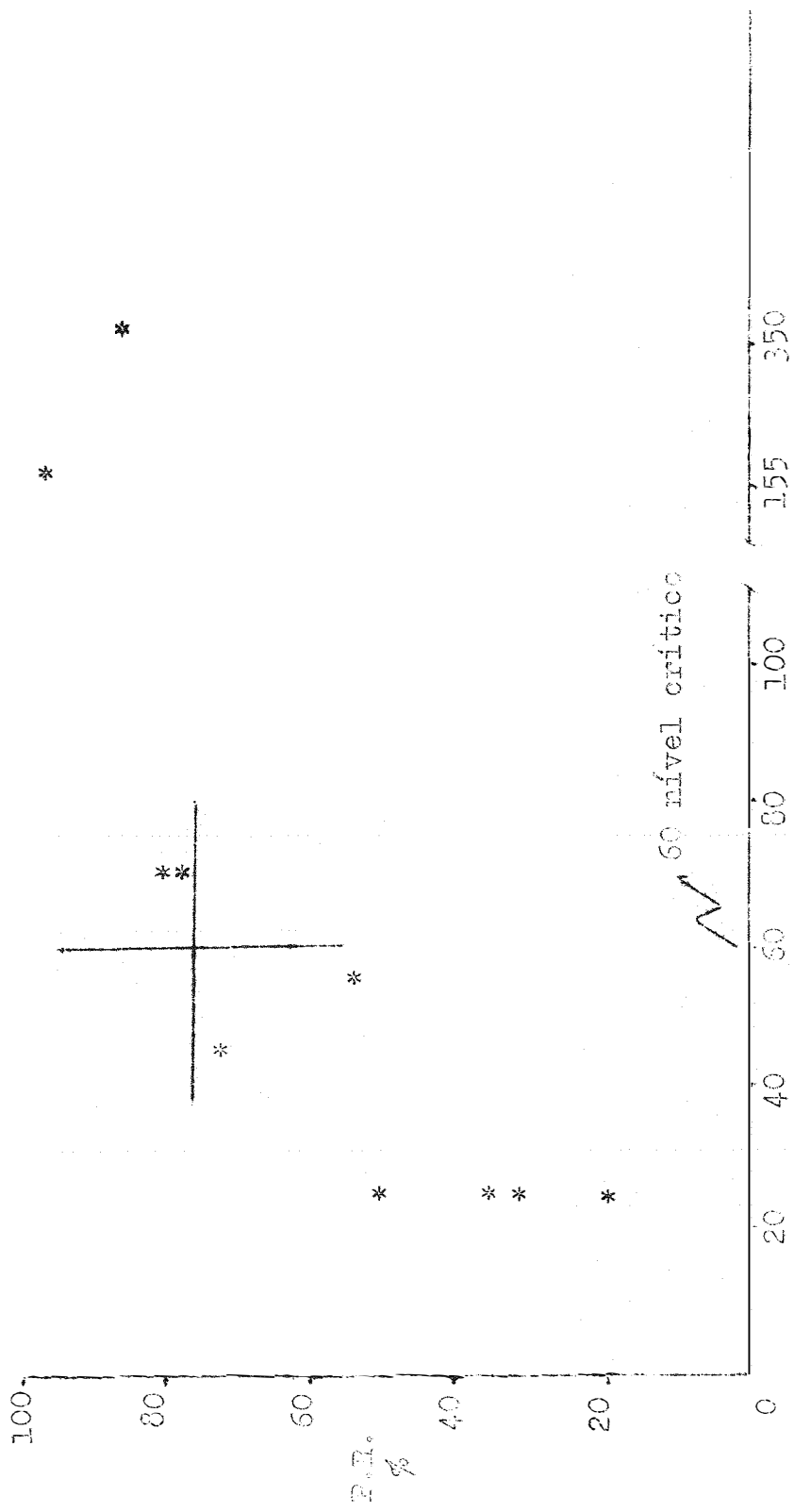


FIGURA 6a. Determinação do nível crítico (GATE & NELSON, 1965) para o pelo em-  
 trator Grey I.

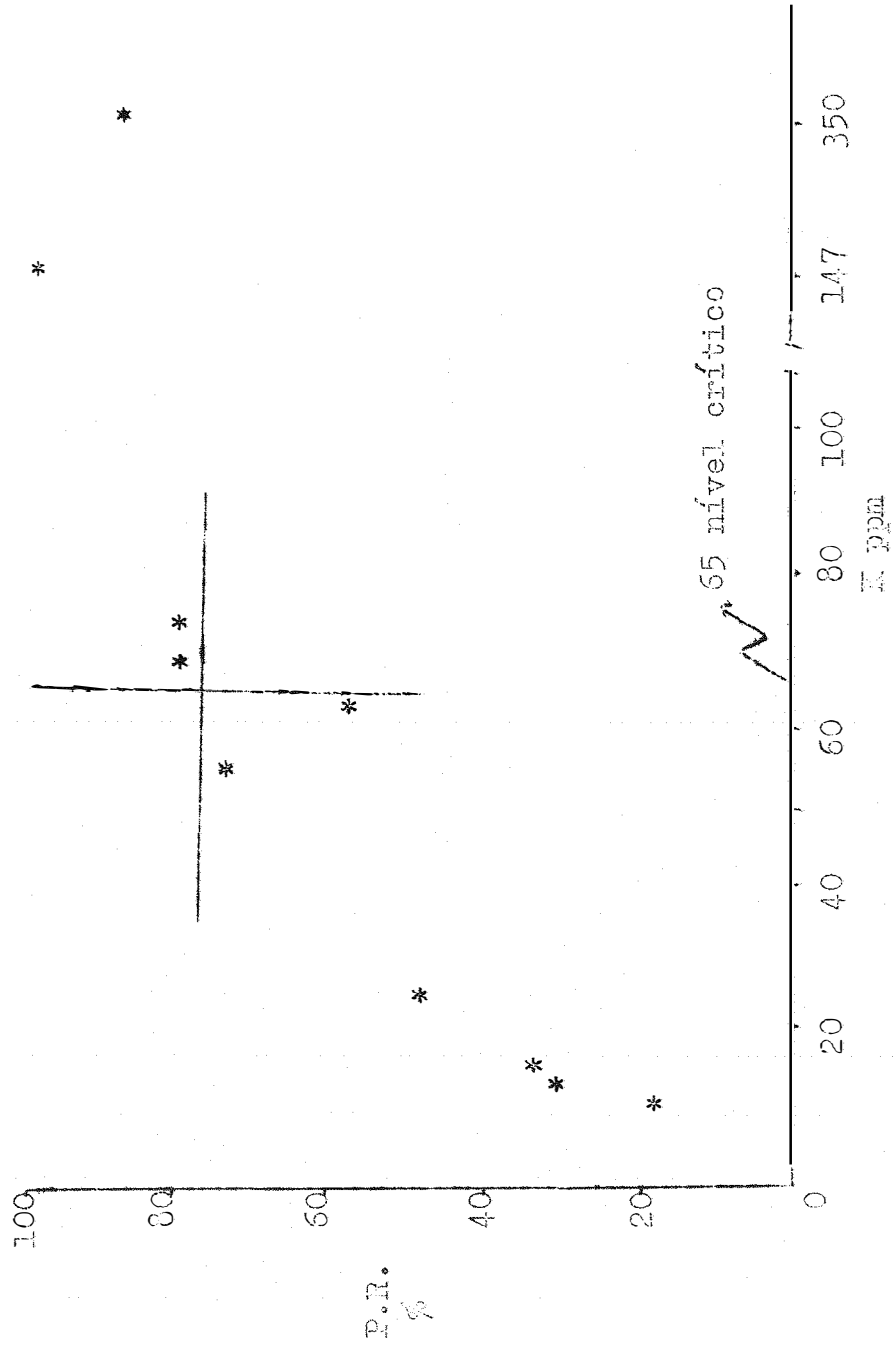


FIGURA 74. Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para K pelo extrato H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N.

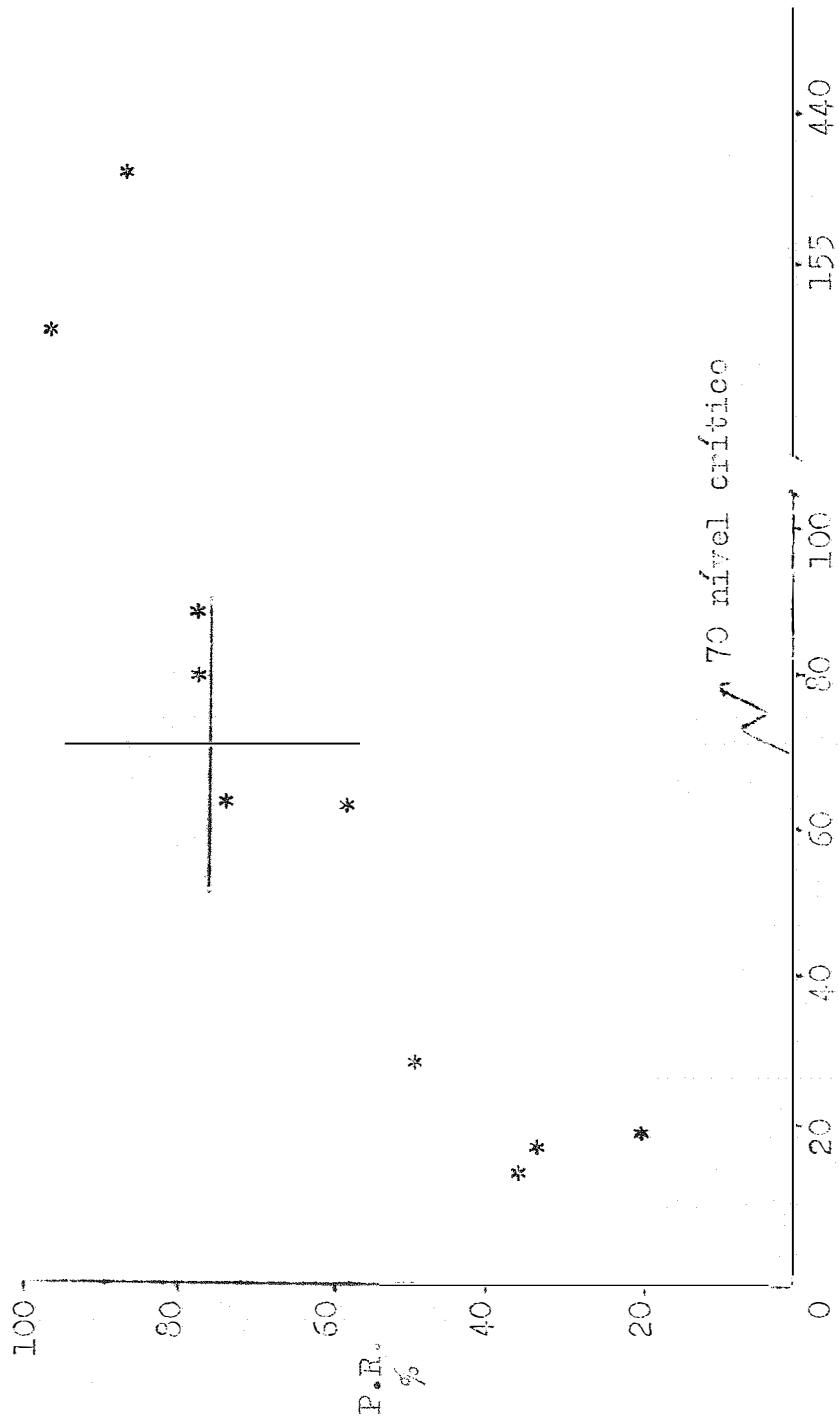


FIGURA 8A. Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1965) para K pelo extrator ilorçan.

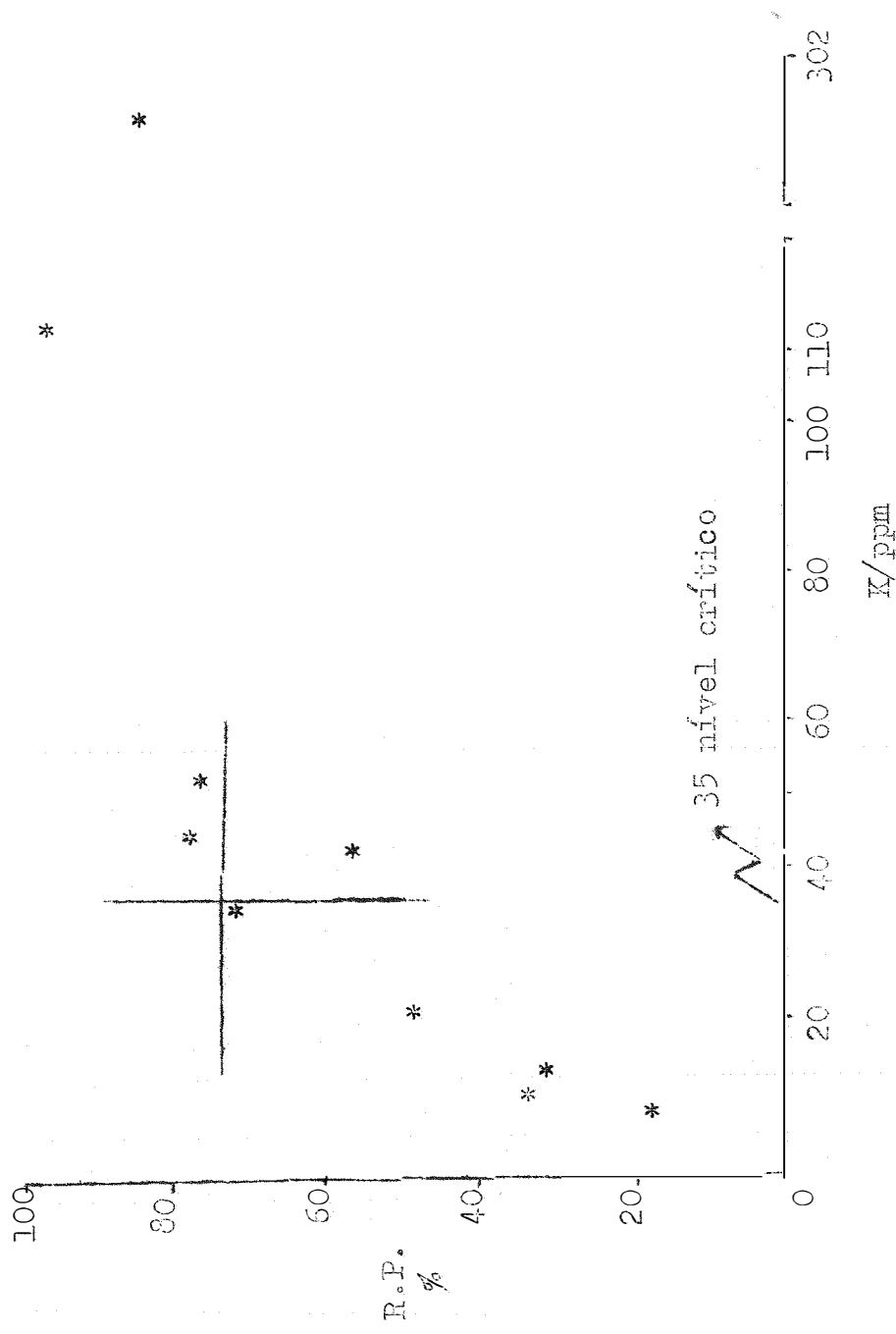


FIGURA 9A. Determinação do nível crítico (CAME & NELSON, 1965) para K pelo  $\text{CaCl}_2$  0,01 5:80.



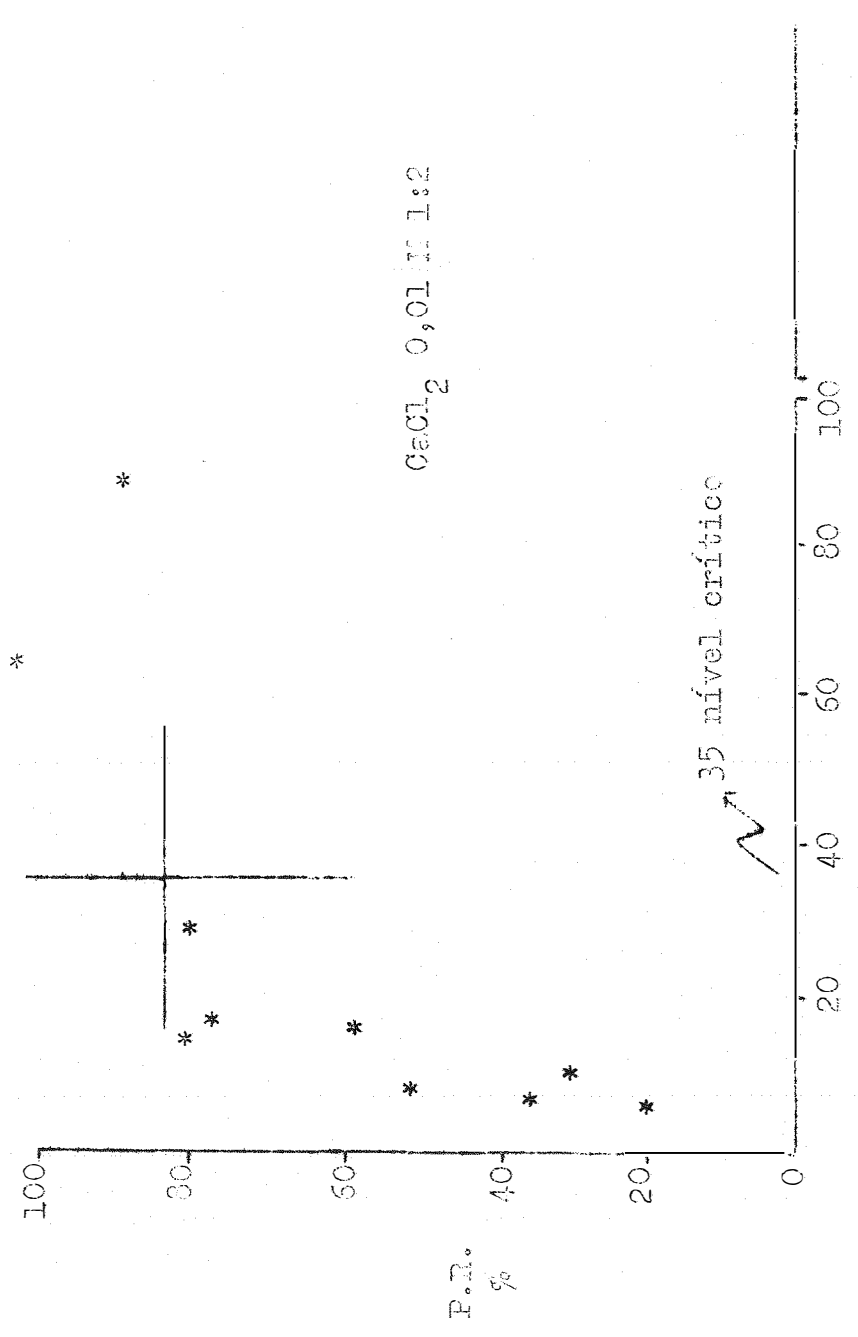


FIGURA 10A. Determinação do nível crítico (CATE & NELSON, 1955) para X pelo extrator de CaCl<sub>2</sub> 0,01 M 1:2.

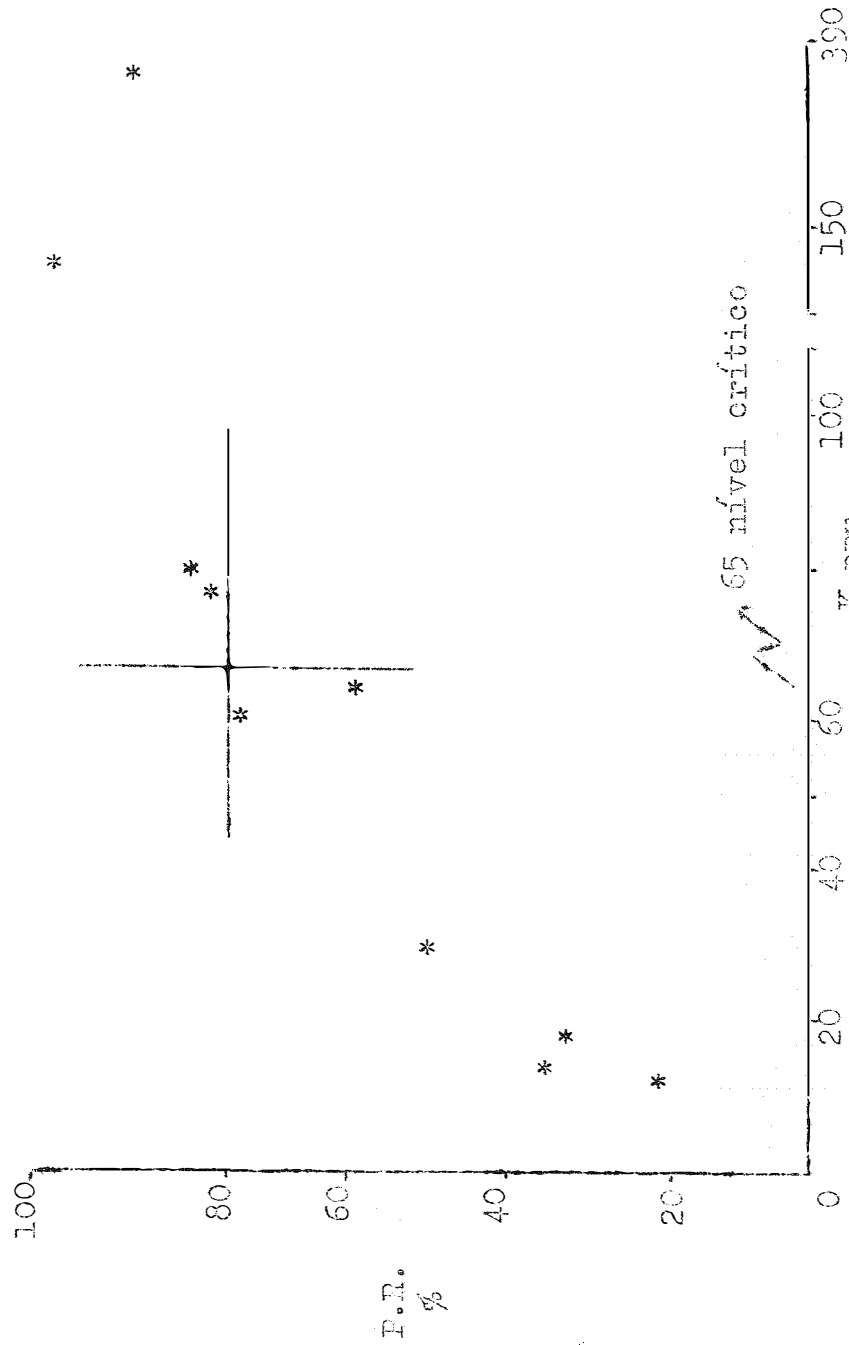


FIGURA 11A. Determinação do nível crítico (GATE & NELSON, 1965) para  $\text{NiO}_3$  0,005 N.

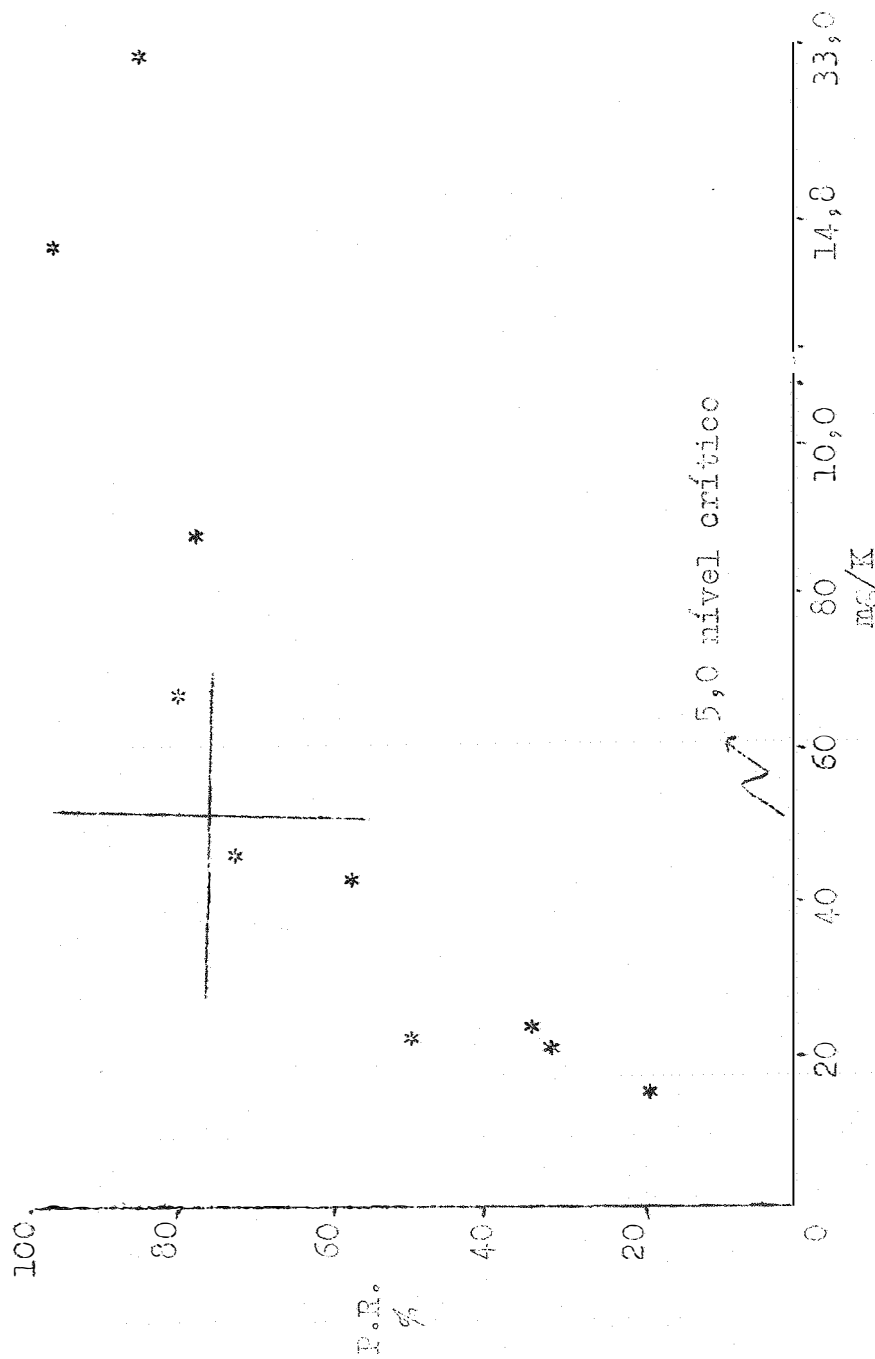


FIGURA 12A. Determinação do nível crítico (CARE & NELSON, 1965) para o entretator Neubauer.

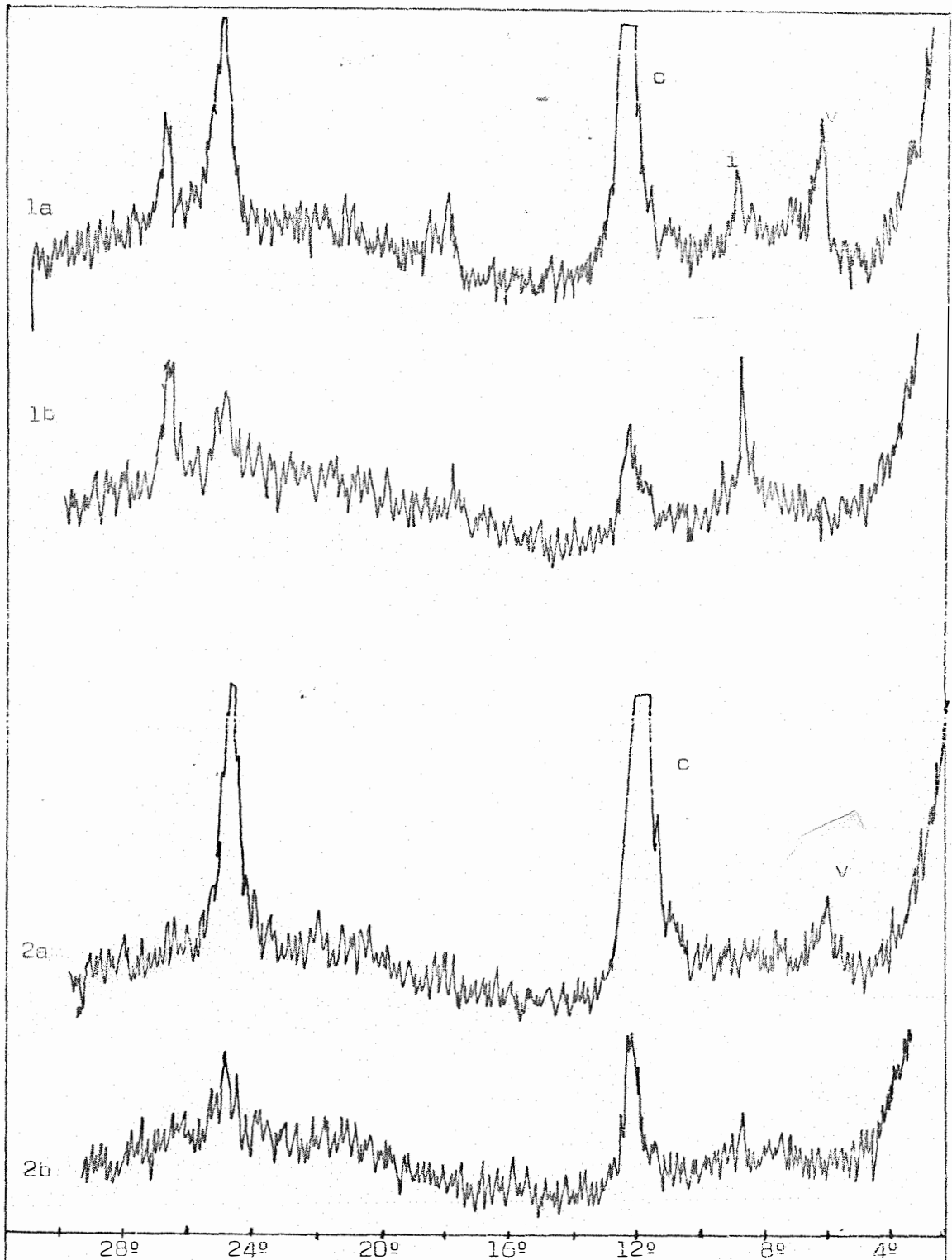


FIGURA 13A - Difratoogramas de raios-X da fração argila dos solos

1 e 2: a) Sem aquecimento. b) Com aquecimento a 500°C.

c = caulinita    v = vermiculita    i = illita

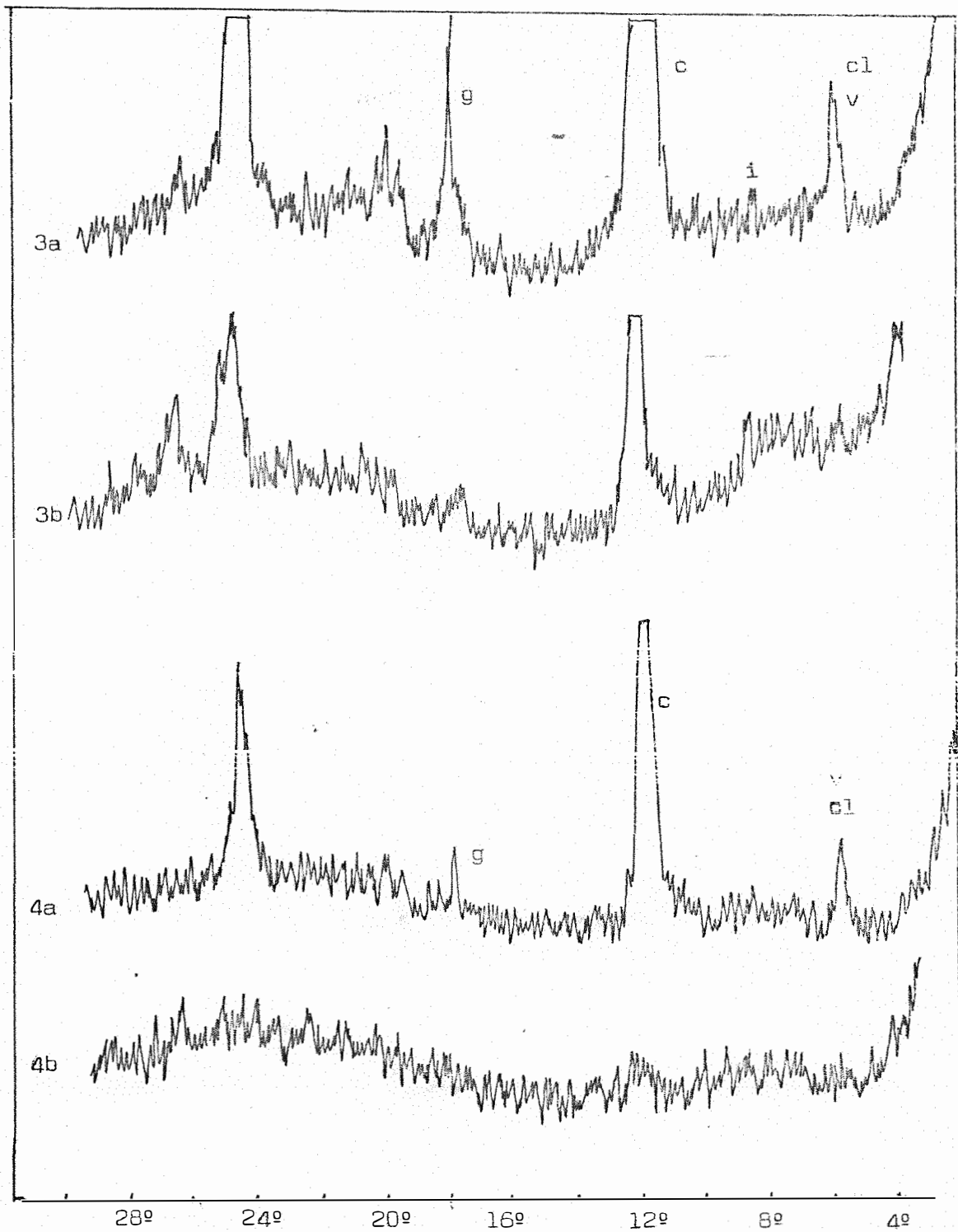


FIGURA 14A - Difratoogramas de raios-X da fração argila dos solos 3 e 4: a) Sem aquecimento. b) Com aquecimento a 500°C.  
 c = caulinita v= vermiculita i = ilita g = gibsita  
 cl = clorita

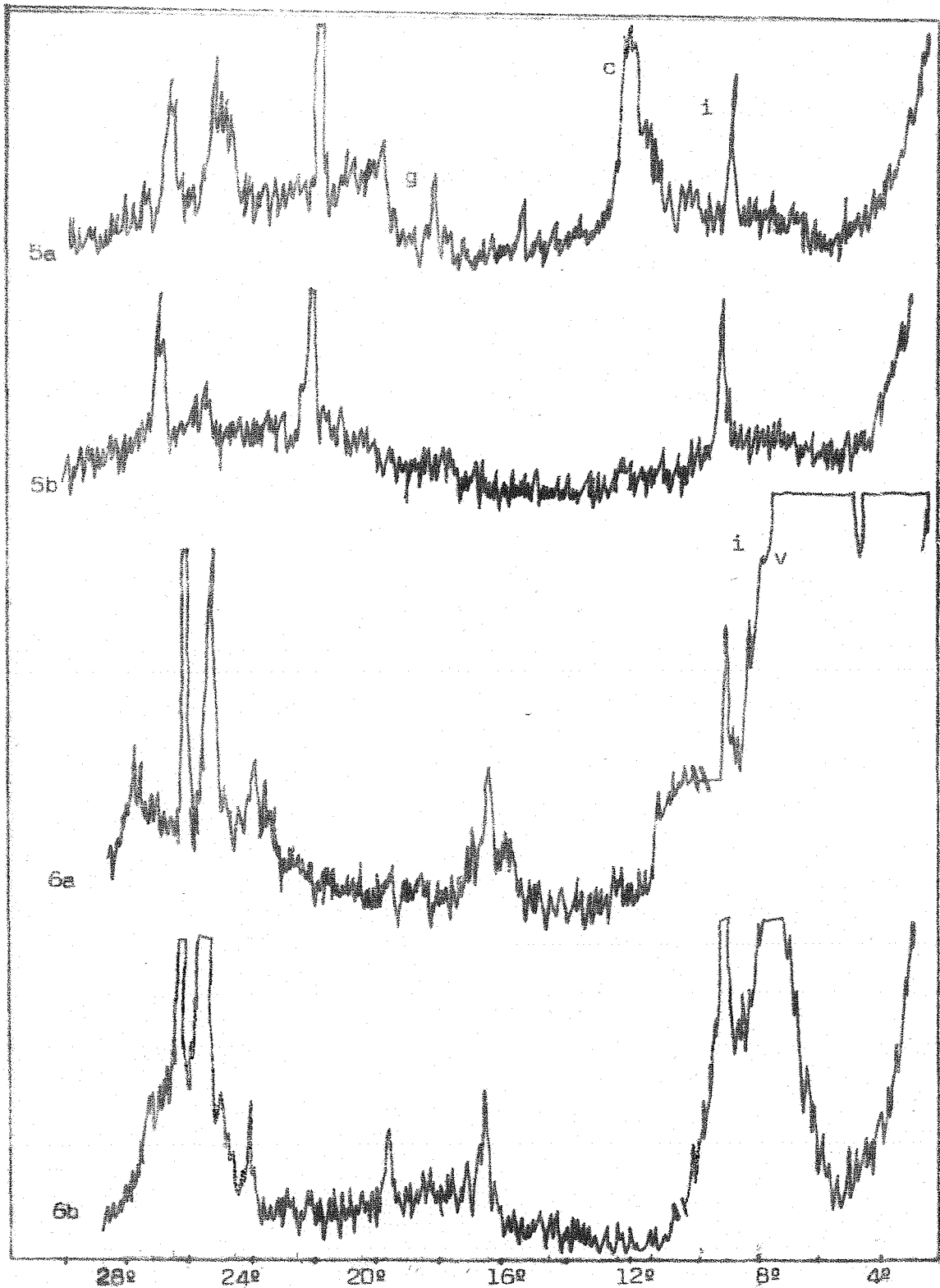


FIGURA 15A - Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 5 e 6: a) Sem aquecimento. b) Com aquecimento a 500°C.  
 c = caulinita v = vermiculita i = illita g = gibbsita.

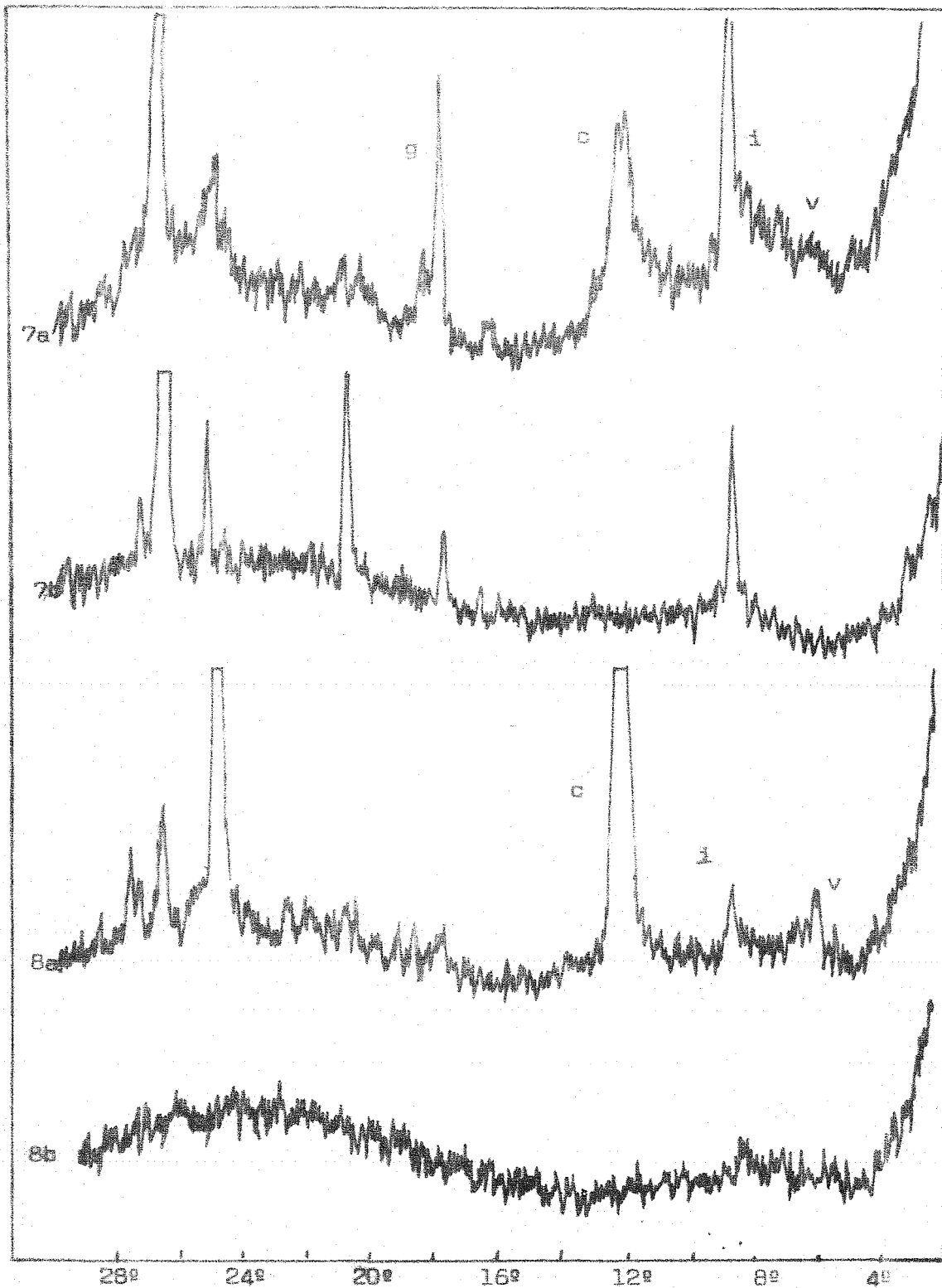


FIGURA 16A - Difratoqramas de raios-X da fração argila dos solos

7 e 8: a) Sem aquecimento. b) Com aquecimento a 500°C

c = caulinita v = vermiculita i = illita g = gibbsita.

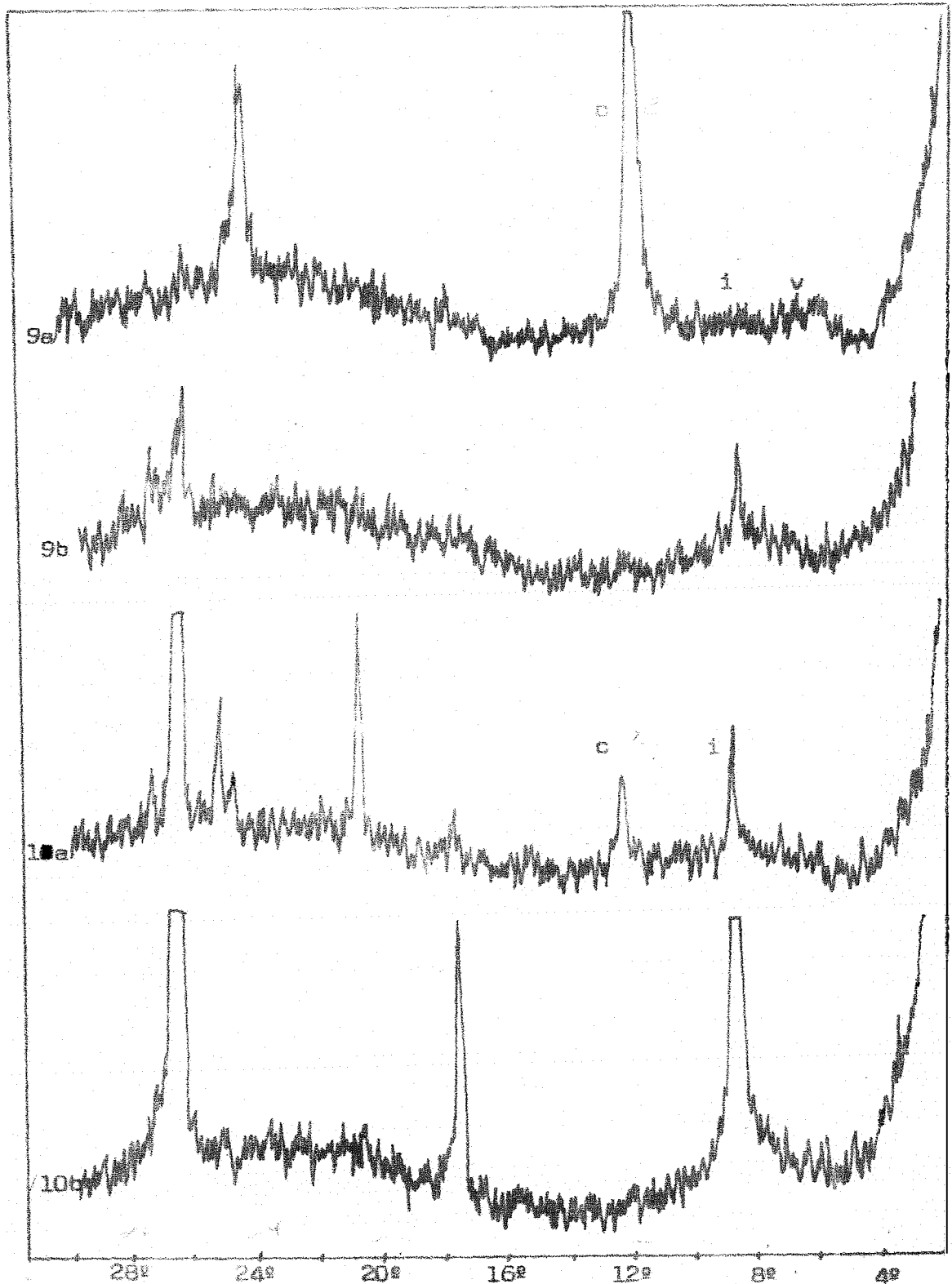


FIGURA 17A - Difratogramas de raios-X da fração argila dos solos 9 e 10: a) Sem aquecimento. b) Com aquecimento a 500°C.  
 c = caulinite      v = vermiculite      i = illite