

NÍVEIS CRÍTICOS DE POTÁSSIO «DISPONÍVEL» PARA SOLOS DE PIRACICABA*

Braz Vitor Defelipo.
Moacir O. C. Brasil Sobrinho**

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a quantidade de solos analisados tem crescido assustadoramente nos laboratórios de solo do Brasil. O grande objetivo destas análises refere-se às indicações de classe de fertilidade dos solos, para auxiliar na recomendação de adubação. Entre os elementos analisados encontra-se o potássio, cujas respostas inesperadas à adubação vêm trazendo enorme dificuldade para sua avaliação, pois é comum solos com baixo teor de potássio não responderem à adubação, e solos ricos em potássio terem suas produções aumentadas, quando se usa este nutriente.

Muitos trabalhos vêm sendo realizados no exterior, e outros, poucos, no Brasil, para se determinar o extrator para potássio «disponível» e o nível crítico deste nutriente no solo (1, 2, 4, 9, 14, 18).

Para o Brasil, o estudo do potássio é de suma importância, uma vez que, enquanto a literatura brasileira é escassa em exemplos de respostas de vegetais a este nutriente, a estatística de consumo de fertilizantes, no Brasil, mostra que os fertilizantes de potássio ocupam o 2.º lugar entre os de maior consumo, além de serem totalmente importados (11).

Comprovada a essencialidade do elemento para as plantas, os estudos são dirigidos para avaliar sua disponibilidade, determinando seu nível crítico no solo, ou seja, o teor abaixo do qual há necessidade de se dar uma suplementação desse elemento às culturas, e acima do qual não se sugere esta suplementação.

A biotita, a muscovita, o ortoclásio, o microclínio, a vermiculita e a illita são alguns dos minerais que fornecem potássio ao solo; e como a capacidade que eles têm de liberar o potássio difere entre eles, o teor total deste nutriente no solo é índice fraco para indicar seu grau de disponibilidade (14).

Conforme o conceito de BRAY (2), a forma disponível de um elemento é aquela em que as variações de suas quantidades respondem pela variação do crescimento vegetal.

Numerosos métodos químicos e biológicos têm sido usados, desde muitos anos, para estimar a disponibilidade de potássio nas plantas. Prever a quantidade de potássio disponível é aspecto tão importante quanto difícil, uma vez que as diversas formas de potássio (solúvel em água, trocável e não trocável), além de estarem em equilíbrio dinâmico entre eles, contribuem de maneira diferente para aumentar o teor de potássio disponível.

Segundo COREY (8), a determinação do potássio na solução do solo é nor-

* Recebido para publicação em 12-02-1976.

** Respectivamente, Professores Adjuntos da ESA — U.F.V. e ESALQ — USP.

malmente uma medida da disponibilidade de potássio na ocasião da determinação, mas não é boa medida com relação à quantidade total disponível para vegetal.

O potássio na solução do solo e o potássio trocável são considerados prontamente disponíveis, o da biotita é moderadamente disponível, enquanto o potássio da muscovita e dos feldspatos são dificilmente disponíveis (8).

São muitos os métodos químicos que têm sido utilizados para estimar os teores de potássio disponível, como os sugeridos por BRAY, 1947, que recomenda uma mistura de ácido clorídrico com fluoreto de amônia. REID e COPELANO (20) empregam uma mistura de ácido clorídrico e ácido sulfúrico, conhecida como extrato de Carolina do Norte. CATANI e colaboradores (3) utilizam o ácido sulfúrico 0,05 N ou o ácido nítrico 0,05 N como extratores para P e K. Outro extrator empregado é o cloreto de cálcio 0,01 M, na relação 1:2 e 1:16 solo: extrator, conforme recomendam WOODRUFF e McINTOSH (23). Outras soluções de ácidos diluídos, ou sais, também são empregadas, assim como métodos químicos biológicos, como é o de Neubauer e Schneider, conforme a técnica de CATANI e PAIVA NETO (4).

Na escolha do extrator, é necessário que se reconheça, além do seu custo operacional, que os resultados por eles fornecidos correlacionam-se com os teores do elemento na folha e com a quantidade de potássio absorvido pelo vegetal. Além disto, é necessário que se possibilite a determinação dos níveis críticos.

Para o cálculo do nível crítico, tem-se empregado o método proposto por CATE e NELSON (6 e 2), que pode ser obtido graficamente ou por meio estatístico.

Com os solos do Rio Grande do Sul, OLIVEIRA e colaboradores (16) verificaram que o extrator Carolina do Norte correlacionou-se com o extrator Bray. Ambos os extratores apresentaram correlação significativa com o potássio absorvido pela cultura.

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

Utilizando o H_2SO_4 0,05 N, GARGANTINI e colaboradores (10) verificaram que 98% dos solos de São Paulo tinham mais de 47 ppm de potássio disponível.

EKPETE (9) verificou, com seus dados experimentais, que, para os solos da Nigéria, um dos melhores extratores químicos foi a solução de $CaCl_2$ 0,01 M, na relação solo: solução de 1:16. EKPETE sugere o uso deste extrator em razão de sua simplicidade, rapidez e pelo fato de ter ele apresentado alta correlação com matéria seca e produção de milho em vasos.

Entre os métodos biológicos para estimar 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 de solo, segundo CATANI e PAIVA NETO (4).

Estudando o método de Neubauer e Schneider, com solos de São Paulo, CATANI e PAIVA NETO (4) verificaram que, em 35 solos estudados, somente dois deles apresentaram resultados 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 e GARGANTINI (12) concluíram que a água e o H_2SO_4 0,002 N têm capacidade inferior à do método Neubauer. O NH_4Ac 1 N pH 7, H_2SO_4 0,05 N e HN_3 0,2 N possuem capacidade semelhante à do método de Neubauer e o HCl 0,05 N HNO_3 0,05 N extraem mais potássio do que o extraído pelo método de Neubauer.

O presente estudo foi conduzido durante o ano de 1974, nos Laboratórios do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, com solos de Piracicaba, com o objetivo de conhecer os teores de potássio «disponível» pelos extratores de Bray 1 e 2, Carolina do Norte, H_2SO_4 0,05, HNO_3 0,05 e $CaCl_2$ 0,01 N, e determinar os níveis críticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Solos

Coletaram-se, aproximadamente, oitenta quilos de solos até a profundidade de 20 cm em cada local, em dez séries de solos do município de Piracicaba, segundo trabalhos de RANZANI e colaboradores (19), conforme o Quadro 1.

QUADRO 1 - Relação dos solos estudados em grandes grupos, séries e % da área do município (19).

| Solo | Grande grupo | Série | % da área do município |
|------|--------------------------------|------------------|------------------------|
| 1 | Latossolo Vermelho-Escuro | Paredão Vermelho | 7,6 |
| 2 | Terra Roxa Estruturada | Luiz de Queiroz | 6,1 |
| 3 | Latossolo Vermelho-Escuro | Guanium | 6,2 |
| 4 | Latossolo Roxo | Iracema | 2,2 |
| 5 | Latossolo Vermelho-Escuro | Pau-d'Alho | 2,1 |
| 6 | Podzólico Vermelho-Am. | Cruz Alta | 7,3 |
| 7 | Podzólico Vermelho | Ibitiruna | 4,5 |
| 8 | Regossolo | Ribeirão Claro | 5,7 |
| 9 | Regossolo | Sertãozinho | 0,4 |
| 10 | Mediterrânico Vermelho-Amarelo | Bairrinho | 0,4 |

* Correspondência em grande grupo, de acordo com a carta do solo do Estado de São Paulo (1960).

Depois de seco, o solo foi peneirado em peneira de 2 mm. Em uma subamostra, realizaram-se as análises físicas e químicas, e em outra mediram-se 2 litros, que foram colocados em vasos de plástico, para o ensaio em casa-de-vegetação.

2.2. Caracterizações Física e Química dos Solos

Para as caracterizações químicas e físicas dos solos (Quadros 2 e 3), seguiu-se a metodologia recomendada por VETTORI (21). A análise de potássio disponível, segundo os extratores Bray 1, Bray 2, Carolina do Norte, ácido sulfúrico, 0,05 N, HNO₃ 0,05 N e cloreto de cálcio 0,01 M, consistiu em agitar o solo mais o extrator durante o tempo específico para cada método, conforme o Quadro 4. Em seguida, filtrou-se a mistura e determinou-se o potássio pelo fotômetro de chama.

2.3. Trabalho em Casa-de-Vegetação

Após a aplicação do fósforo e do cálcio, adicionou-se água suficiente para atingir 70% da capacidade máxima de adsorção de água. Os solos foram irrigados diariamente, sendo aplicada, semanalmente, solução nutritiva isenta de P e K, segundo recomendação de WAUGH e FITTS (22). O K⁺ foi aplicado como solução de KCl, para se obterem 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. Pesou-se o material vegetal seco. Após moído, sofreu a digestão nitroperclórica, de onde se tomou alíquota para a determinação do potássio, por fotometria de chama de emissão (13).

2.4. Produção Relativa de Matéria Seca e Nivel Crítico de Potássio

Para o cálculo da produção relativa da matéria seca seguiu-se o critério de BRAY (2), segundo o qual

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

Os dados obtidos na produção de matéria seca, para o cálculo da produção relativa, foram ajustados à equação quadrática $Y = AX^2 + C$. No cálculo da produção relativa, empregou-se como numerador o valor de C, e como denominador a produção máxima estimada.

QUADRO 2 - Resultado das análises mecânicas e minerais de argila.

| Solos | Areia % | Silte % | Argila % | Classe textural (S.B.C.S.) | Minerais de argila |
|-------|---------|---------|----------|----------------------------|--------------------|
| 1 | 92,2 | 0,5 | 7,3 | Areia | C, i, V |
| 2 | 37,6 | 32,0 | 30,4 | Franco-argiloso | C, v |
| 3 | 19,9 | 19,9 | 54,4 | Argila | C, v, i, cl |
| 4 | 16,5 | 33,5 | 50,0 | Argila | C, V, i, cl |
| 5 | 25,8 | 36,1 | 38,1 | Franco-argiloso | c, i, g |
| 6 | 89,9 | 1,8 | 8,3 | Areia | v, i |
| 7 | 82,8 | 10,0 | 7,2 | Areia franca | c, i, v, g |
| 8 | 94,0 | 0,8 | 5,2 | Areia | c, i, v, |
| 9 | 88,3 | 2,3 | 9,4 | Areia | c, i, v, |
| 10 | 26,9 | 45,2 | 27,9 | Franco-argiloso | c, i |

C = Caulinita; v = vermiculita; i = ilita; g = gibbisita; cl = clorita.

QUADRO 3 - Resultado analítico do solo para pH, carbono orgânico (C.O), capacidade de troca catiônica (T), hidrogênio (H^+), alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}) trocáveis e fósforo (P) disponível.

| Solos | pH 1:2,5 | C.O % | eq.mg/ 100 g de solo | | | | | P ppm (2) |
|-------|----------|-------|----------------------|------|------|--------|--------|-----------|
| | | | T | H | Al | Ca (1) | Mg (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 1 N (5).

(2) Extração com H_2SO_4 0,05 N (5).

QUADRO 4 - Relação dos extratores, natureza química, relação solo:extrator e referência bibliográfica.

| Nome | Nat. química | Tempo agit. | Relação solo:extrator | Referência bibliográfica |
|---------------------------------------|---|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| Bray 1 | HCl 0,025 N +NH ₄ F 0,03 N | 5 min. | 1:10 | Bray (2) |
| Bray 2 | HCl 0,100 N +NH ₄ F 0,03 N | 5 min. | 1:10 | Bray (2) |
| Carolina do Norte | H ₂ SO ₄ 0,025 N +HCl 0,05 N | 10 min. | 1:10 | REID e COPELANO (20) |
| H ₂ SO ₄ 0,05 N | | 10 min. | 1:10 | CATANI e COL. (4) |
| HNO ₃ 0,05 N | | 10 min. | 1:10 | CATANI e COL. (4) |
| CaCl ₂ 1:16 1:12 | | 10 min. 10 min. | 1:12 1:16 | WOODRUFF e McINTOST (23) |
| Neubauer | | - | - | CATANI e P. NETO (4) |

Em seguida à obtenção da produção relativa, determinou-se a quantidade de potássio absorvido pelo vegetal (painço). Para esta determinação, multiplicou-se o peso do painço do tratamento sem potássio (testemunha) pela percentagem que ele contém.

O nível crítico de potássio nos solos estudados, em relação ao crescimento relativo, foi estabelecido para cada extrator, usando-se técnicas de CATE e NELSON (6 e 7).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Generalidades

A disponibilidade do potássio para as culturas é regida pelo fator intensidade e pelo fator capacidade. O primeiro se refere ao teor de K solúvel na solução do solo, e o segundo à quantidade de potássio capaz de se tornar solúvel. Também é muito importante a resistência que o solo oferece à alteração do teor de potássio solúvel. Esta resistência é denominada poder tampão do solo.

Quando o poder tampão é fraco, o teor de K na solução do solo é inexpressivo, visto que a perda de potássio pela lixiviação ou pela absorção intensiva pelas plantas pode esgotar em poucos dias este potássio solúvel. Pela análise mecânica, (Quadro 5) verifica-se que, nos 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 nos solos 2, 5 e 10 (franco-argilosos) não é tão grave, e nos solos 3 e 4 (argila) é bem menor.

Os extratores químicos que avaliam os teores denominados potássio «disponível» estimam o fator capacidade.

3.2. Potássio «Disponível»

Pelo exame dos dados do Quadro 5, nota-se que o CaCl_2 0,01 M extrai menos potássio dos solos do que os demais extratores, em consequência de sua baixa concentração. Esta solução somente tem afinidade com potássio solúvel e potássio fracamente adsorvido ao complexo sortivo do solo. Dos demais extratores, o Bray 2 é o que retira mais potássio do solo, por causa de sua maior concentração em HCl. Os conteúdos de potássio dos solos 5 e 6 são bem superiores aos dos demais solos; nos outros, de modo geral, a amplitude de valores é menor, variando

QUADRO 5 - Teores de K disponível (ppm)

| So- los | Carolina do Norte | Bray 2 | Bray 2 | H_2SO_4 0,05N | HNO_3 0,05 N | Ca_2Cl | 0,01M | Neu- bauer |
|------------|----------------------|-----------|-----------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|-------|---------------|
| | | | | | | 1:2 | 1:16 | |
| 1 | 11 | 25 | 27 | 15 | 13 | 6,9 | 9,6 | 23,8 |
| 2 | 55 | 45 | 68 | 55 | 60 | 17,6 | 38,4 | 45,05 |
| 3 | 62 | 55 | 63 | 62 | 63 | 16,8 | 41,6 | 43,5 |
| 4 | 22 | 25 | 30 | 25 | 28 | 8,8 | 20,7 | 21,2 |
| 5 | 350 | 350 | 540 | 350 | 390 | 88,0 | 302,0 | 330,1 |
| 6 | 145 | 155 | 192 | 147 | 150 | 64,0 | 112,0 | 148,4 |
| 7 | 68 | 70 | 100 | 73 | 77 | 30,0 | 51,2 | 87,8 |
| 8 | 6 | 25 | 27 | 9 | 11 | 5,9 | 8,0 | 11,9 |
| 9 | 13 | 25 | 27 | 13 | 17 | 9,6 | 12,8 | 20,2 |
| 10 | 72 | 70 | 105 | 66 | 69 | 15,4 | 44,8 | 66,5 |
| \bar{x} | 80,4 | 84,5 | 117,9 | 81,5 | 81,5 | 26,3 | 64,2 | 80,3 |

de 6 a 100 ppm para todos os extratores, mostrando serem os solos fracos em potássio «disponível». Adotando os níveis de fertilidade sugeridos por GARGANTI-NI e colaboradores, (10), para solos de São Paulo, têm-se os solos 5 e 6 com teores altos, 1, 4, 8 e 9 com teores baixos e 2, 3, 7 e 10 com teores médios. Para quaisquer 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. Estes solos são também de baixa capacidade de troca catiônica, ácidos e possuem baixos teores de matéria orgânica.

Pelo método químico biológico de Neubauer e Schneider, (Quadro 5), somente o solo n.º 5 apresenta resultado acima de 24 mg de potássio, em 100 g de solo, indicando solo bem suprido com este nutriente (4). Como a capacidade de absorção do arroz, que foi usado no ensaio, é maior do que a capacidade de absorção do centeio, segundo CATANI e PAIVA NETO (14), podemos inferir que realmente os solos possuem pouco potássio disponível.

O 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 (1) 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 5 foram feitas as análises de correlação e regressão. Todos estes extratores mostram-se correlacionados positivamente entre si, ao nível de 1% de probabilidade. Estes resultados concordam com outros obtidos em solos brasileiros, como os de OLIVEIRA e colaboradores (16) e os de BRAGA (1).

Estas correlações significativas demonstram a possibilidade de se usar, nos solos do município de Piracicaba, qualquer um dos extratores. A diferença entre os valores que se obtêm com os diversos extratores, em razão das suas características químicas, pode ser corrigida empregando-se a respectiva equação de regressão. Para se escolher um desses extratores para uso nas análises de rotina, destinados ao atendimento das práticas de fertilização, sendo eles todos correlacionados, devem-se considerar a metodologia, o número e as qualidades de reagentes envolvidos e a amplitude de valores fornecidos para um mesmo grupo de solos.

Baseado na metodologia de análise, o método de Neubauer não seria recomendado, visto ser demorado, oneroso e envolver vários reagentes e material específico.

O método de CaCl_2 0,01 M, na relação 1:2, tem o grave inconveniente da estreita relação. Quando se analisam solos com elevadas capacidades de adsorção d'água, tais como solos argilosos, a quantidade de alíquota do extrator é pequena e diminui na filtragem, pois há uma embebição pelo papel de filtro. Há também grande desvantagem no emprego da solução diluída CaCl_2 nos laboratórios que utilizam a decantação do solo/extrator, máximo nos solos ricos em argila e matéria orgânica, os quais exigem maior espaço de tempo, acima daquele que seria prático usar na obtenção do extrato límpido.

Os colóides, principalmente os orgânicos, tendem a manter-se dispersos em meio carente de eletrólitos. Quando se usa o extrator CaCl_2 , a floculação torna-se difícil, porque nesse caso se adiciona pouco eletrólito ao sistema solo: extrator.

O HNO_3 0,05 N e o H_2SO_4 0,05 N possuem qualidades 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 se pode verificar pelo Quadro 5, isto é, de 11 a 390 ppm de K para o extrator HNO_3 0,05 N e de 9 a 350 para o H_2SO_4 0,05 N. Além disso, o H_2SO_4 0,05 N é também o extrator de fósforo empregado pelos laboratórios do Estado de São Paulo (5); desse modo, com um só extrator obtêm-se dois nutrientes: o fósforo e o potássio.

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 apresentam desvantagens em relação aos ácidos diluídos, os quais contêm apenas um reagente.

O extrator Carolina do Norte tem sido usado há muito tempo pelos laboratórios do Brasil, que pertencem ao programa nacional de fertilidade do solo (17-21), como extrator para fósforo e potássio disponíveis.

Além desta vantagem, ele apresenta facilidade de manuseio, apesar de ser formado por dois reagentes.

Os resultados obtidos utilizando estes extratores foram analisados estatisticamente, comparando-se os coeficientes de regressão; quando se correlacionaram extratores, observou-se que o poder de extração do Bray 2 é maior que o dos demais, sendo que isto pode ser causado pela concentração de HCl 0,01N, que confere a ele menor pH e, logicamente, maior teor e H^+ , que são os valores indicadores do poder de reação do extrator com minerais potássicos presentes no solo.

O poder de extração do potássio dos solos pelos reagentes usados no método de Neubauer é menor que o dos reagentes do Bray 2, do HNO_3 0,05 N. Apresentam capacidade semelhante ao do Carolina do Norte, Bray 1, H_2SO_4 0,05 N e $CaCl_2$ 0,01 N, na relação 1:16. São superiores ao $CaCl_2$ 0,01 M, na relação 1:2. Resultados semelhantes foram obtidos por JORGE e GARGANTINI (12), com outros solos de São Paulo.

Os métodos de Carolina do Norte, Bray 1, H_2SO_4 0,05 N e HNO_3 0,05 N apresentam coeficientes de regressão próximos à anuidade, identificando estes extratores como semelhantes em poder de extração de potássio, em solos do município de Piracicaba. Por esta razão e pelas vantagens do H_2SO_4 , já discutidas anteriormente, ele pode ser sugerido como extrator de potássio «disponível» destes solos.

O $CaCl_2$ 0,01 M, na relação 1:2, apresentou coeficiente de regressão muito baixo, quando relacionado com os demais extratores. Aliado às desvantagens já discutidas, ele deve ser ignorado nesta relação, e quando empregado na relação 1:16 servirá muito bem como índice de atividade de potássio 4.5.

Com os dados de produção da matéria seca foi feita a análise de variância, inclusive desmembrando o efeito linear quadrático de variância, inclusive para doses de K adicionadas. Parte do quadro da análise de variância do resultado de produção está apresentada no Quadro 6, o qual evidencia a resposta significativa aos tratamentos.

QUADRO 6 - Quadrados médios da análise de variância para os dados de produção de matéria seca.

| Causa variação | G.L. | Q.M. |
|----------------------|------|-----------|
| Repetição | 2 | 0,4196 |
| Doses de K | 3 | 16,4309** |
| Solos | 9 | 11,5220** |
| Int. solos x doses K | 27 | 1,8408** |
| Resíduo | 78 | 0,2871 |
| Total | 119 | |

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 do 2.º grau com os dados de produção para cada solo.

Com a equação ajustada calcularam-se os valores de produção máxima.

Com a produção da testemunha e da produção máxima calculou-se a Produção Relativa (P.R.), Quadro 7.

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 «disponíveis» pelos extratores Bray 1, Bray 2, Carolina do Norte, HNO_3 0,05 N, H_2SO_4 0,05 N $CaCl_2$ 0,01 M 1:2 e 1:16 e Neubauer. Os resultados estão apresentados no Quadro 8.

No exame do Quadro 7, verifica-se que as relações entre porcentagem de po-

tássio na matéria seca e potássio absorvido com o potássio «disponível» são altamente significativas. Deste modo, todas estas variáveis podem ser usadas como índice na avaliação de fertilidade destes solos, o que foi feito usando as técnicas de CATE e NELSON (6, 7) para a determinação do nível crítico.

QUADRO 7 - Valores de produção relativa (P.R.) porcentagem de potássio na testemunha e potássio absorvido pelas testemunha.

| Solos | Prod. relativa | % K | K absorvido mg/vaso |
|-------|----------------|------|---------------------|
| 1 | 34,66 | 1,06 | 7,1 |
| 2 | 73,44 | 4,08 | 114,3 |
| 3 | 57,72 | 1,96 | 55,8 |
| 4 | 49,30 | 1,60 | 29,7 |
| 5 | 85,33 | 5,66 | 244,0 |
| 6 | 96,05 | 4,80 | 178,2 |
| 7 | 76,30 | 2,77 | 123,8 |
| 8 | 19,61 | 0,85 | 7,4 |
| 9 | 32,12 | 1,04 | 17,2 |
| 10 | 77,01 | 3,23 | 123,1 |

Para esclarecimento dos meios como foram determinados os níveis críticos, quer gráfica ou estatisticamente, foram utilizados os resultados das análises obtidas com o extrator Carolina do Norte e as respectivas produções relativas.

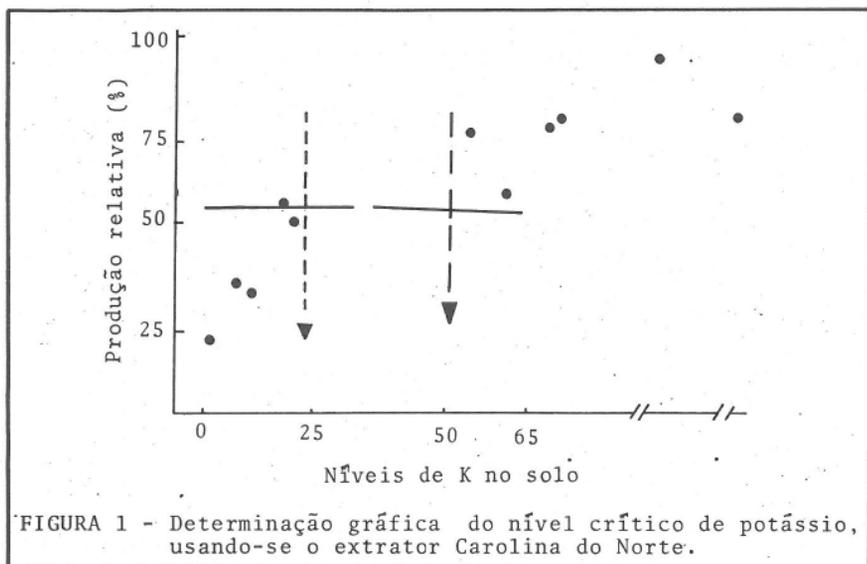
Na Figura 1, foi representada graficamente a determinação do nível crítico de potássio. Nota-se que há várias opções que satisfazem o princípio do método, ou seja, o de colocar o máximo de pontos dentro dos quadrantes 1 e 3. Poderíamos escolher 25,50, ou mesmo 65 ppm. A solução seria apresentarmos faixa de nível crítico, como fez BRAGA (1), sendo, neste caso, de 25 a 50 ppm.

QUADRO 8 - Correlação entre porcentagem de K na matéria seca e K absorvido com K "disponível".

| Extratores | % potássio matéria seca | Potássio absorvido (mg) |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bray 1 | 0,8156 * | 0,8722 ** |
| Bray 2 | 0,8047 ** | 0,8635 ** |
| Carolina do Norte | 0,8432 ** | 0,8933 ** |
| HNO ₃ 0,05 N | 0,8267 ** | 0,8788 ** |
| H ₂ SO ₄ 0,05 N | 0,8388 ** | 0,8898 ** |
| C aCl ₂ 0,01 M 1:2 | 0,8683 ** | 0,9119 ** |
| Neubauer | 0,8314 ** | 0,8943 ** |

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

* Significativo, ao nível de 5 % de probabilidade.



Empregando o valor de R^2 , não há opção, uma vez que o maior valor de R^2 determina o nível crítico. Para este extrator, o nível crítico foi de 38,5 ppm média de 22 a 55 ppm, correspondente a $R^2 = 0,784$. Para ilustração, deve-se observar o Quadro 9, onde se encontram os resultados e a seqüência de cálculo para esta determinação.

QUADRO 9 - Resultados de cálculos para a determinação de níveis críticos, usando-se o processo estatístico (7).

| ppm K | P. R. | SQ_1 | SQ_2 | $SQ_1 + SQ_2$ | R^2 | \bar{X} ppm K |
|-------|-------|----------|----------|---------------|-------|--------------------|
| 6 | 19,61 | 0,0 | 4.020,28 | 4.020,28 | 0,312 | 8,5 |
| 11 | 34,66 | 113,25 | 3.008,00 | 3.121,25 | 0,466 | 12,0 |
| 13 | 32,12 | 129,82 | 1.503,21 | 1.633,03 | 0,720 | 17,5 |
| 22 | 49,30 | 445,11 | 814,47 | 1.259,98 | 0,784 | 38,5 ** |
| 55 | 73,42 | 1.693,15 | 793,52 | 2.486,67 | 0,574 | 58,5 |
| 62 | 57,72 | 1.903,69 | 254,46 | 2.158,46 | 0,630 | 65,0 |
| 68 | 76,30 | 2.772,09 | 182,22 | 2.954,31 | 0,494 | 70,0 |
| 72 | 77,01 | 3.457,67 | 57,46 | 3.515,13 | 0,398 | 108,0 |
| 145 | 96,05 | 5.142,19 | 0,0 | 5.142,19 | 0,120 | 247,5 |
| 350 | 85,33 | 5.846,56 | - | 5.846,56* | 0,0 | - |

* igual à soma do quadrado total.

** valor de nível crítico.

No Quadro 10, vêem-se os resultados de níveis críticos para os demais extractores.

QUADRO 10 - Níveis críticos de K, segundo vários extractores, utilizando-se o processo estatístico.

| Extractor | Níveis críticos (ppm K) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Carolina do Norte | 38,5 |
| Bray 1 | 35,0 |
| Bray 2 | 65,5 |
| H ₂ SO ₄ 0,05 N | 40,0 |
| HNO ₃ 0,05 N | 44,0 |
| Neubauer | 44,2 |
| CaCl ₂ 0,01 N relação 1:16 | 48,00 |

Para se compreender melhor como é determinado o nível crítico, pelo método estatístico, e como foi observado para completar o Quadro 9, mostramos as operações:

1 — Ordenar, em ordem crescente, os valores de níveis de K, no solo, com as respectivas produções relativas.

2 — Separar as populações 1 e 2, iniciando com o primeiro valor da P. R.

Ex: População 1 = 19,61.

População 2 = 34,66, 32, 12 ... 85,33.

3 — Determinar as somas de quadrados das populações 1 e 2 (SQ₁ e SQ₂)

4 — Calcular

$$R^2 = \frac{SQt - (SQ_1 + SQ_2)}{SQt}$$

5 — Calcular as médias entre o último nível de K da população e o primeiro nível de K da população 2.

4. RESUMO

A estatística de consumo de fertilizantes, no Brasil, apresenta o de potássio em 2.º 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. Ocorre um equilíbrio químico entre estas formas, e em razão disto não há separação clara entre elas.

O grande problema dos técnicos em fertilidade do solo consiste na avaliação da quantidade de potássio disponível para as culturas e no estabelecimento de níveis críticos.

O grau de intemperismo dos constituintes potássicos do solo faz com que o teor de potássio total seja tido como índice fraco para indicar sua disponibilidade.

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

O crescimento relativo de determinado plantio 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, utilizando o painço (*Setaria italica* Beauw), o qual permitiu que se chegasse às seguintes conclusões:

1 — A quantidade de potássio absorvido mostrou-se altamente relacionada com o teor de potássio disponível.

2 — A porcentagem de potássio na matéria seca mostrou-se altamente correlacionada com o potássio «disponível».

3 — Os níveis críticos encontrados para estes solos foram:

| Extratores | Níveis críticos (ppm) |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Bray 1 | 35,0 |
| Bray 2 | 65,5 |
| Carolina do Norte | 38,5 |
| HNO ₃ 0,05 N | 44,0 |
| H ₂ SO ₄ 0,05 N | 40,0 |
| CaCl ₂ 0,1 M 1:16 | 48,0 |
| Neubauer | 44,2 |

4 — O extrato de potássio «disponível» que possui maior soma de qualificação é o H₂SO₄ 0,05 N, na relação 1:10, com 10 minutos de agitação.

5. SUMMARY

Statistics on fertilizer consumption in Brazil show potassium in second place. However, application of potassium fertilizers to Brazilian soils with low levels of this nutrient does not always promote increased yields.

It is very difficult to evaluate the available potassium content and determine the critical level for crops. Potassium exists in soils in soluble, exchangeable and non-exchangeable forms. There is a dynamic equilibrium between forms, and the separation of them is not clear. The weathering conditons of the potassic constituents of soils make the total potassium level a weak indication of available potassium.

In order to measure the available potassium of soil, chemical reagents such as dilute solutions of acids and salt and acid mixtures are used.

Neubauer-Schneider's biochemical method can also be employed.

In this study relative growth and the potassium levels in soil are used to determine the critical levels of potassium and to study the relationships between forms of potassium in ten soils from Piracicaba.

The following conclusions were reached:

1. The amount of absorbed potassium was strongly related to the available potassium content.

2. The potassium content in dry matter was strongly correlated with available potassium.

3. The critical levels found in these soils were:

| Extractors | Critical levels (ppm) |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Bray 1 | 35,0 |
| Bray 2 | 65,5 |
| North Carolina | 38,5 |
| 0,05N HNO ₃ | 44,0 |
| 0,05N H ₂ SO ₄ | 40,0 |
| 0,01M CaCl ₂ 1:16 | 48,0 |
| Neubauer | 44,2 |

4. The best available potassium extractor is the 0.05N H₂SO₄ in 1:10 ratio with 10 minutes of stirring.

6. LITERATURA CITADA

1. BRAGA, J. M. *Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais*. ESALQ, 1972. 143 p. (Tese de Doutorado).
2. BRAY, R. H. Correlation of soil test with response to added fertilizers and with fertilizers requirements. In: KITCHEN, H. B. *Diagnostic techniques for soils and crops*. Washington, Am. Potash. Inst., 1947 p. 53-85.
3. CATANI, R. A.; GALLO, J. R. & GARGANTINI, H. *Amostragem do solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade*. Campinas Instituto Agrônomo. 1955. 28 p. (Bol. n.º 69).
4. CATANI, R. A. & PAIVA NETO, J. O. O método de «Neubauer» aplicado ao estudo de potássio nos solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 10(1):27-32. 1950.
5. CATANI, R. A. & JACINTO, A. O. *Análise química para avaliar a fertilidade do solo*. Piracicaba, ESALQ. 1974, 57 p. (Bol. Técnico-Científico).
6. CATE, R. B. & NELSON, L. A. *Um método rápido para correlação de análise de solo com ensaio de adubação*. Noth Carolina Soil Testing Int., 1965. 18 p. (Bol. n.º 1).
7. CASTRO, A. F.; ANASTACIOM, L. A. & BARRETI M. W. O. Potássio disponível em horizontes superficiais de alguns solos brasileiros. *Pêsq. Agrop. Bras., Série Agron.* 7:75-80. 1972.
8. COREY, R. B. *Análise de Solo. Teoria e prática*. (s.l.) Universidade Wisconsin/Univ. Rio Grande do Sul, 1965. 178 p.
9. EKPETE, D. M. Comparasion of methods of available potassium assesement for caster Nigeria soils. *Soils Sci.* 113(3):213-21. 1972.
10. GARGANTINI, H.; COELHO, F. A. S.; VERLENGIA, F. & SCARES, E. *Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo*. Campinas, Inst. Agrônomo, 1970. 32 p.
11. GONÇALVES, L. A. T. T. *Política Agrícola brasileira*. São Paulo. ANDA. 1972. 13 p. (Apresentada na conservação de MANAH S. A. Comércio e Indústria. Serra Negra. Nov. 1972).
12. JORGE, J. A. & GARGANTINE, H. Determinação do potássio do solo pelo método de Neubauer e por diversos extratores químicos. *Bragantia* 22(60):751-8. 1963.
13. MALAVOLTA, E. *Análise química dos teores totais*. Piracicaba, IICA-ESALQ. 1964. 36 p. (Curso Internacional de Diagnose Foliar).
14. METSON, A. J. The long-term potassium suplying power of New Zelandia soil. In: *Int. Congres. Soil Sci.* 9.º Berna. 1968, 2, p. 621-630.
15. MIRANDA, E. R. *Relação Quantidade/Intensidade (Q/I) de potássio em alguns solos da zona cacaueteira do Brasil e de Costa Rica*. Turrialba, IICA, 1972. 50 p. (Tese de M.S.).
16. OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A. E. & BEATTY, M. T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extration methods. *Proc. Soil. Sci. America.* 35(5):763-7. 1971.
17. PROGRAMA INTEGRADO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendação do uso de fertilizantes para o Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Sec. Agricultura, 1972. 88 p.

18. PRATT, P. F. Potassium removal from Iowa soils by green house and laboratory procedures. *Soil Sci.* 72:107. 1951.
19. RANZANI, G.; FREIRE, O. & KINJO, T. *Carta de solos do Municipio de Piracicaba*. Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, ESALQ, 1966. 85 p.
20. REID, P. H. & COPELANO, C. *Analytical methods used by soil testing*. Raleigh, North Carolina. Dep. of Agric. 1969, 19 p.
21. VETTORI, L. *Métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, EPE — MA 1969. 24 p. (Bol. n.º 7).
22. WAUGH, D. L. & FITTS, J. W. *Soil test interpretation studies: laboratory and potted plant*. North Carolina, 1960. 33 p. (Bol. n.º 3).
23. WOODRUFF, C. M. & McINTOSH, J. L. Testing soils for potassium. *In: 7 th. Int. Cong. Soil Sci.* Madison, 1960. V. 4. p. 80-85.