

COMPARAÇÃO ENTRE FOSFATOS APLICADOS AO FEIJOEIRO:

I - TRABALHOS EM CASA DE VEGETAÇÃO*

José Mário Braga**

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro tem respondido relativamente bem à aplicação de fósforo, em solos de Viçosa, como mostram os resultados obtidos por VIEIRA e GOMES (7), FONTES et alii (3) e BRAGA et alii (2).

Em geral, o fertilizante aplicado é o superfosfato simples, não havendo dados disponíveis que permitam comparar a eficiência deste com outros fosfatos.

Os dados obtidos com a comparação entre fontes de elementos podem ser interpretados de diversas maneiras. Um dos critérios é a comparação entre os coeficientes de disponibilidade, os quais são obtidos pelo comportamento do vegetal, frente ao fertilizante usado. De acordo com o que preconiza BLACK e SCOTT (1), o coeficiente de disponibilidade é a razão entre a quantidade disponível do elemento no fertilizante e a quantidade usada desse fertilizante. Usando-se a como coe-

* Projeto nº 32-68 da Diretoria Geral de Experimentação e Pesquisas da UREMG.

Recebido para publicação em 5-8-1968.

** Professor Adjunto de Solos e Adubos da Escola Superior de Agricultura, UREMG, Viçosa (bolsista do CNPq).

O autor agradece todas as sugestões que lhe foram apresentadas pelos Professores: Bairon Fernandes, Clibas Vieira, Laede Maffia e Fábio Ribeiro Gomes.

ficiente de disponibilidade, b como a quantidade disponível do elemento no fertilizante e c como a quantidade usada do nutriente, pode-se estabelecer que: $a = b/c$. Desta expressão obtém-se $b = ac$.

Comparando-se, como neste caso, fosfatados, tem-se que admitir que os valores de b são iguais para todos os fertilizantes usados. Assim, $b_1 = b_2$, ou então, que $a_1 \cdot c_1 = a_2 \cdot c_2$ que permite obter a razão isolada a_1/a_2 , isto é, comparar dois coeficientes de disponibilidade.

Quando se compara mais de duas fontes ou quando se realizam ensaios diferentes, é possível admitir uma fonte como padrão e determinar todos os outros coeficientes de disponibilidade em relação ao padrão. Os valores obtidos podem ser assim comparados, recebendo, cada um deles, a denominação de índice do coeficiente de disponibilidade (ICD).

Entretanto, este índice é um valor numérico que necessita, a fim de ser determinado, do estudo do comportamento do vegetal, frente às fontes em estudo.

O comportamento pode ser verificado tanto pela quantidade do elemento que é absorvido pelo vegetal como pela produção de grãos ou de matéria seca. Quando a estimativa é feita pela quantidade de grãos ou pela quantidade de matéria seca, o índice é resultante da interação da disponibilidade do elemento na fonte. Pode-se expressar esta relação como sendo $y = f_a(u)$, onde Y representa a produção, f a função da fonte A e u a disponibilidade do elemento na fonte. Considerando-se duas fontes (1 e 2), tem-se $Y = f_1(a_1)$ e $Y = f_2(a_2)$ e que $f_2(a_2) = f_1(a_1/a_2)$. Como a_1/a_2 é o índice do coeficiente de disponibilidade, pode-se considerar então $f_2(a_2) = f_1$ (índice do coeficiente de disponibilidade).

Quando o valor do índice for igual a 1, isto significa que a forma na qual o elemento se encontra nas duas fontes é a mesma, e as quantidades para se obter igual produção são equivalentes.

No caso dos fosfatos, o termo de comparação pode ser feito pelo superfosfato simples, por ser este o mais facilmente encontrado na maioria dos casos e ser o mais tradicional dos fertilizantes fosfatados.

A técnica experimental, neste caso, pode ser a das retas concorrentes, que WHITE et alii (8) recomendam, devendo os estudos começarem na casa de vegetação, terminando os ensaios no campo.

Em trabalhos de estufa, o coeficiente de disponibilidade

pode ser estudado pela quantidade absorvida pelo vegetal em estudo. Esta quantidade, chamada quantidade recuperada, é obtida pelo produto da percentagem do elemento no material vegetal seco pelo peso seco desse mesmo material (5). Nestes casos, para se obter melhor ajustamento, TERMAN (6) aconselha trabalhar com diversos níveis do elemento em estudo.

Realizou-se o trabalho em estufa, com o objetivo de estudar a aplicação do método em fontes de fósforo, na cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.).

2. MATERIAL E MÉTODO

Para a realização deste ensaio, utilizou-se amostra composta obtida de diversas amostras simples, tirada de um solo localizado em patamar antigo, dentro do campus da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais e em terras da Divisão de Agronomia.

Este tipo de amostragem teve a finalidade de obter dados de estufa que pudessem ser, posteriormente, comparados com dados de campo de ensaios comparativos de fosfatos a serem instalados na mesma área.

O solo, depois de seco, foi triturado, passado em peneiras de 2 mm, sendo expurgado e pesado três quilos, que foram colocados em vasos de cerâmica, revestidos com folhas de plástico.

Fiz-se, em todos os vasos, uma calagem para elevar o pH do solo a 6,5, e aplicou-se uma adubação básica formada de 200 quilogramas de nitrogênio, por ha, na forma de sulfato de amônio, de 60 kg de K₂O, por hectare, na forma de KCl e micronutrientes, sendo que estes foram aplicados de uma só vez e após terem sido misturados antecipadamente, de tal modo a fornecer em kg/ha as seguintes dosagens: Mg-9,5; Fe-9,5; Mn-7,5; Zn-8; Cu-3 e B-1.

Foram testadas seis fontes de fósforo, a saber: superfosfato simples (20% de P₂O₅, solúvel em água); farinha de ossos (20% de P₂O₅, solúvel em ácido cítrico a 2%); termofosfato (20% de P₂O₅, solúvel em ácido cítrico a 2%); ácido fosfórico (83% de P₂O₅); fosfato diamônico (53% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2%).

Estas fontes foram usadas nos níveis de 100, 200 e 300 kg de P₂O₅, por hectare.

Calculadas as quantidades de fertilizantes a serem usadas em cada vaso, foram estas misturadas separadamente com

o solo do vaso e depois de bem homogenizadas foram recolocadas nos vasos. O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso, com três repetições.

Além dos tratamentos que continham fósforo, foi acrescentada uma testemunha sem fósforo, porém com os outros elementos comuns a todos os tratamentos.

A quantidade de água foi calculada para 75% da capacidade de retenção máxima, e após ter sido a mesma aplicada plantou-se feijão (variedade 'Rico 23') a uma profundidade de 5 cm. Depois de 81 dias de nascido, o feijão foi colhido, suas vagens secas colocadas em estufas e as sementes pesadas. Obtido o dado de peso, foram os grãos moídos, em moinho Wiley, e o teor de fósforo analisado com vanadato-molibdato de amônio, após digestão com mistura de ácido nítrico e perclórico (4).

O teor de fósforo recuperado foi obtido pelo produto da percentagem de fósforo no grão pelo peso do grão.

O modelo matemático para análise estatística foi o de retas concorrentes, conforme WHITE *et alii* (8).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de produção de grãos estão contidos no quadro 1 e representados na figura 1, podendo-se notar que as

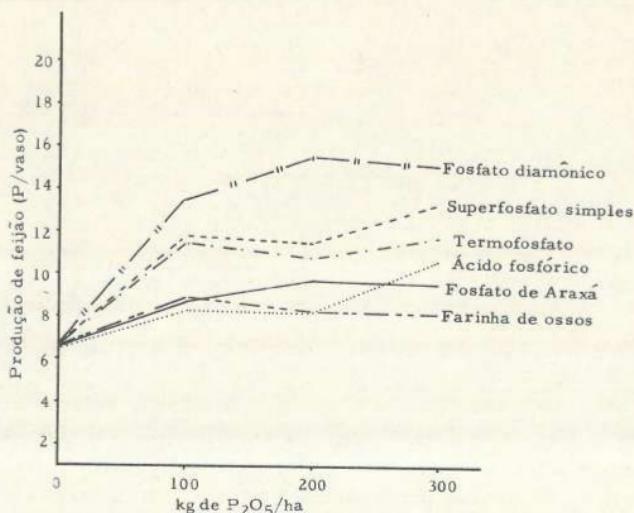


FIG. 1 - Comportamento de fontes de fósforo, conforme os níveis usados e resposta de produção.

maiores produções foram obtidas com o fosfato diamônico, em todos os três níveis testados. Considerando apenas o fosfato diamônico, a maior produção foi obtida com a aplicação de 200 kg de P₂O₅. Além deste nível, há uma diminuição de produção, possivelmente ocasionada pela nitrificação acentuada das quantidades elevadas do amônio, que o fosfato diamônico contém como elemento complementar.

QUADRO 1 - Produção de grãos de feijão (g/vaso), média de três repetições

Fonte de fósforo	Nível (kg de P ₂ O ₅ /ha)		
	100	200	300
Fosfato de Araxá	8,54	9,70	9,43
Superfosfato simples	11,88	11,47	13,37
Termofosfato	11,59	10,93	11,70
Farinha de ossos	8,63	8,20	8,27
Fosfato diamônico	13,53	17,49	15,22
Ácido fosfórico	8,28	8,27	10,90
Testemunha	6,59		

Com os dados, realizou-se a análise de variância, que está contida no quadro 2.

QUADRO 2 - Análise de variância dos dados de produção de grãos de feijão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Repetição	2	18,42	9,21	1,50
Tratamentos	18	412,83	22,935	3,97**
Erro	36	207,88	5,774	

** Significante a 1%.

O valor obtido para F, no tratamento, permitiu estudar o comportamento das diversas fontes, desde que ajustadas as linhas retas concorrentes no eixo dos y. Para isto, escolheu-se o modelo matemático:

$$y_{ijk} = a + b_i x_j + s_k + e_{ijk}$$

onde a é o valor da interseção das retas no eixo dos y; b_i é a declividade das diversas retas; s_k é o efeito de repetição e e_{ijk} o erro experimental.

Aplicando nesta equação o método dos quadrados mínimos, como adotado por WHITE et alii (8), obtém-se os seguintes valores:

$$b_i = \frac{P_i - r(\sum_j x_{ij}) \hat{a}}{r \sum_j x_{ij}^2} \quad a = \frac{G(\sum_j x_{ij}^2) - (\sum_j x_{ij})(\sum_j P_i)}{r(mn+s)(\sum_j x_{ij}^2) - n(\sum_j x_{ij})^2}$$

$\sum_j P_i = \sum_{jik} (x_{ij} y_{ijk})$, onde b é a declividade das retas, r o número de repetições, n o número de fertilizantes, m o número de níveis usados e s o número de testemunhas, que neste caso é 1.

QUADRO 3 - Valores da declividade da reta (b) de cada fonte, quando ajustados pela produção de grãos de feijão

Fonte de fósforo	Valor de <u>b</u>
Fosfato diamônico	2,8881
Superfosfato simples	1,505
Termofosfato	1,501
Ácido fosfórico	0,263
Fosfato de Araxá	0,172
Farinha de ossos	0,280

Os valores obtidos para as declividades das diversas retas (quadro 3), implicaram numa verificação do modelo usa-

do. Tal verificação seria testada pelo desmembramento dos graus de liberdade dos tratamentos em mais duas causas de variação: a regressão e o desvio da regressão. A soma dos quadrados da regressão é dada por

$$AG + \sum_i \hat{b}P_i - \frac{G}{r(mn-s)}$$

A análise estatística encontra-se no quadro 4.

QUADRO 4 - Análise de variância dos dados de produção de grãos de feijão. Estudo da regressão dos tratamentos

Causa da variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	18	412,83	22,935	3,97**
Regressão	6	320,15	53,358	9,24**
Desvios	12	92,68	7,723	1,33
Erro	36	207,88	5,774	-

O maior valor de b (quadro 3) foi o do fosfato diamônico, e tudo indica que a influência do nitrogênio tenha sido mais marcante que a dos outros elementos acessórios nas outras fontes. Porém, isto deve ser tomado como característica da própria fonte. O estímulo ao crescimento pelo nitrogênio foi mais acentuado, e o impacto de crescimento provocou maior absorção do elemento principal, o fósforo.

As demais fontes não se mostraram com comportamento muito eficiente, isto em razão principalmente do curto período em que foi realizado o ensaio em estufa.

Tomando o superfosfato como referência, os valores dos índices do coeficiente de disponibilidade para os diversos elementos são os que se vêem no quadro 5 e figura 2.

O maior índice coube ao fosfato diamônico para as condições deste ensaio, e isto sugere que o valor considerado possa ter implicações de ordem econômica, isto é, o valor econômico do fosfato diamônico pode ser considerado como o dobro do valor do superfosfato simples.

Muitas vezes o comportamento do fósforo, na base de

QUADRO 5 - Valores do índice do coeficiente de disponibilidade

Fonte de fósforo	Índice do coeficiente de disponibilidade	Erro-padrão
Fosfato diamônico	1, 914	0, 570
Termofosfato	0, 698	0, 313
Ácido fosfórico	0, 174	0, 300
Fosfato de Araxá	0, 114	0, 313
Farinha de ossos	-0, 186	0, 350

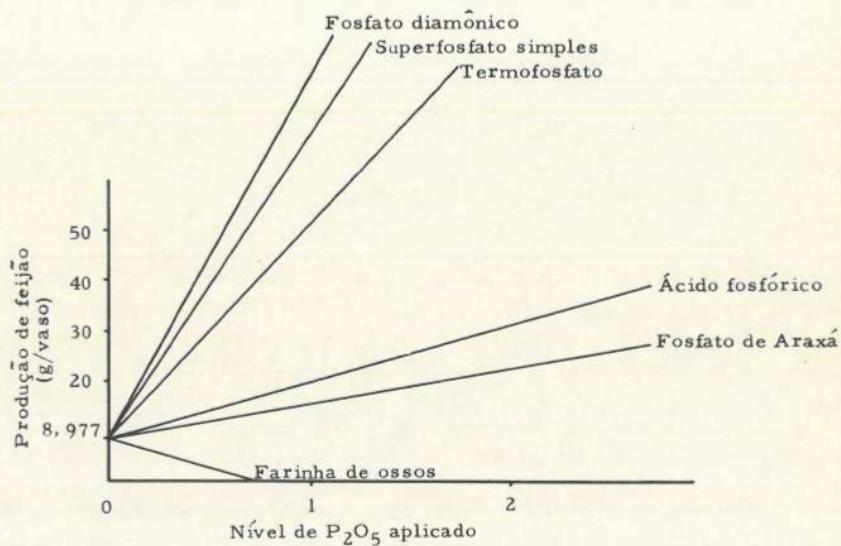


FIG. 2 - Representação dos coeficientes em termos de produção de feijão.

produção de grãos de feijão, pode não estimar a quantidade do elemento que foi absorvida pelo vegetal. Neste caso, os fatores de crescimento têm a mesma influência, e no presente ensaio foi analisado, pelo mesmo método, a possibilidade do estudo comparativo das fontes em termos de absorção do elemento

QUADRO 6 - Fósforo recuperado, média de três repetições, em mg P/vaso

Fonte de fósforo	Nível (kg de P_2O_5 / ha)		
	100	200	300
Fosfato de Araxá	3,690	4,527	4,703
Superfosfato	6,708	6,874	9,272
Termofosfato	7,019	6,206	7,189
Farinha de ossos	3,269	3,458	3,888
Fosfato diamônico	7,910	11,445	9,025
Ácido fosfórico	3,766	4,498	5,996
Testemunha	2,206		

Os valores de fósforo absorvido estão no quadro 6 e foram representados pela fig. 3 e com êles foi possível fazer a análise de variância que está lançada no quadro 7.

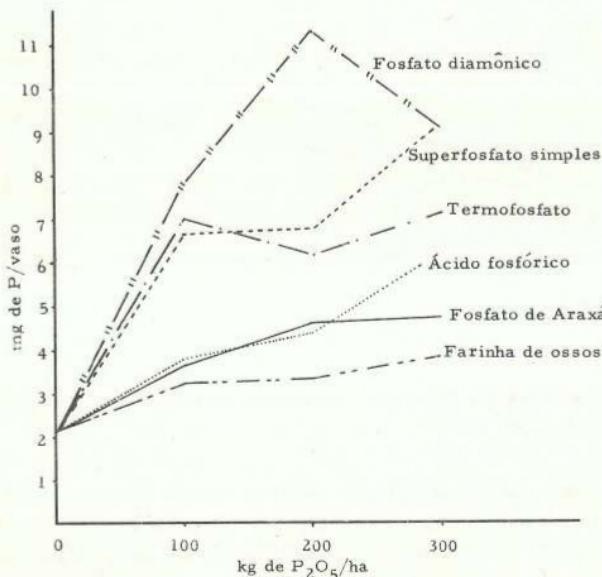


FIG. 3 - Comportamento de fontes de fósforo, conforme os níveis usados e quantidade de fósforo recuperado.

QUADRO 7 - Análise de variância dos dados de fósforo absorvido pelo feijoeiro

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Repetição	2	9,0226	4,5113	
Tratamento	18	317,2948	17,627	5,31**
Erro	36	119,4401	3,317	
Total	56	445,7575	-	-

Diante dos resultados obtidos no quadro 7 e com os valores de fósforo recuperado, que se encontram no quadro 6, fez-se, segundo o mesmo modo aplicado na produção de grãos, o cálculo para se encontrar o valor da declividade das retas para as diversas fontes. Estes valores foram colocados no quadro 8.

O efeito da regressão foi significativo (quadro 9) o que nos permite aceitar, como válidos, os diversos coeficientes, assim como o ICD, tendo o superfosfato como padrão, como se vê no quadro 10.

QUADRO 8 - Valores da declividade da reta (b) de cada fonte quando ajustados pelo fósforo absorvido

Fonte de fósforo	Valor de b
Fosfato diamônico	2,389
Superfosfato simples	1,702
Termofosfato	1,182
Ácido fosfórico	0,451
Fosfato de Araxá	0,173
Farinha de ossos	-0,184

O maior índice foi alcançado com o fosfato diamônico, ficando ainda o valor menos positivo com o fosfato de Araxá.

QUADRO 9 - Análise de variância dos dados de produção de grãos de feijão. Estudo da regressão dos tratamentos

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	18	317,294		
Regressão	6	246,459	41,076	12,3**
Desvios	12	70,835	5,903	1,77
Erro	36	119,4401	3,317	

Comparando os valores dos diversos desvios-padrões obtidos, usando-se como base de avaliação a produção de grãos e o fósforo recuperado (quadros 5 e 7), pode-se considerar que o sistema de usar o fósforo recuperado seja melhor, graças aos menores valores dos desvios-padrões obtidos.

QUADRO 10 - Valores do índice do coeficiente de disponibilidade para fontes de fósforo, tomando como base o superfosfato simples

Fonte de fósforo	Índice do coeficiente de disponibilidade	Desvio-padrão
Fosfato diamônico	1,403	0,290
Termofosfato	0,694	0,205
Ácido fosfórico	0,264	0,194
Fosfato de Araxá	0,101	0,218
Farinha de ossos	-0,108	0,207

O ácido fosfórico aumentou o valor do ICD, quando se tratou de fósforo recuperado, o que sugere que o fator complementar no fertilizante não favoreceu a interação crescimento e absorção. A figura 4 representa os coeficientes de disponibilidade dos fosfatos em termos de fósforo recuperado.

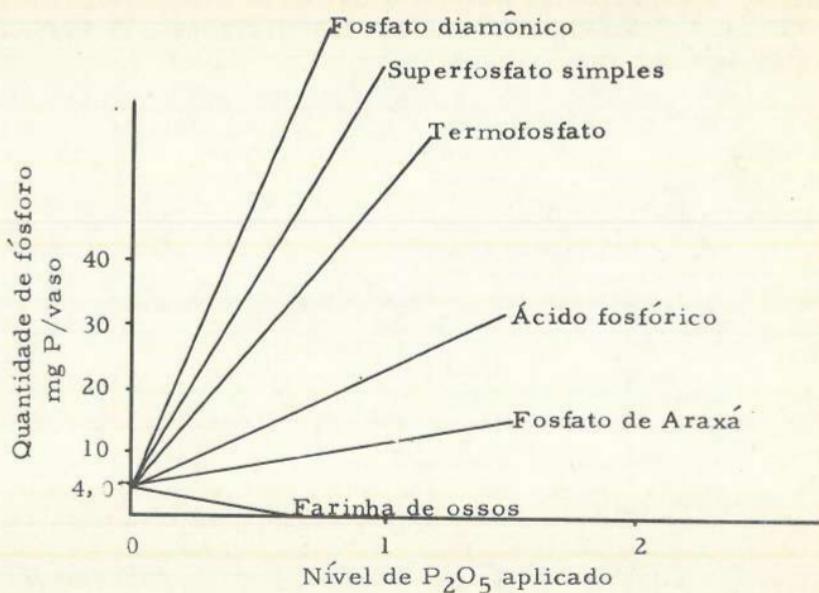


FIG. 4 - Representação dos coeficientes de disponibilidade dos fosfatos em termos de fósforo recuperado.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho relata os resultados de um estudo comparativo entre fontes de fósforo, em Viçosa, aplicadas na cultura do feijoeiro. Foram testados superfosfato simples, fosfato diamônico, farinha de ossos, termofosfato, fosfato de Araxá e ácido fosfórico nos níveis de 100, 200 e 300 quilogramas de P_2O_5 , por hectare. O ensaio foi realizado em casa de vegetação.

As fontes foram comparadas pelos valores das declividades das retas, que tiveram um único ponto de concorrência, situado no eixo dos y.

Os valores obtidos com os dados deste ensaio permitem concluir:

1 - Os valores do índice do coeficiente de disponibilidade variaram com as fontes de fósforo usadas neste ensaio. Esta variação atingiu um valor máximo para o fosfato diamônico.

co e um mínimo para a farinha de ossos. Os demais fertilizantes obedeceram à seguinte ordem: termofosfato, ácido fosfórico, fosfato de Araxá.

2 - Os valores do índice do coeficiente de disponibilidade de cada fonte tiveram o mesmo comportamento, tanto considerando o peso de grãos como a quantidade de fósforo que foi recuperada.

3 - Os dados deste ensaio sugerem que o índice do coeficiente de disponibilidade possa ser usado para estimar os valores de substituição econômica entre as diversas fontes. Assim, a relação entre o fosfato diamônico e o superfosfato simples, em relação a preços, deve ser de 2.

5. SUMMARY

Several sources of phosphorus applied in beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Rico 23') were studied in greenhouse, in comparative study in Viçosa, Minas Gerais. They are simple superphosphate, di-ammonium phosphate, bones flour, termophosphate, Araxá phosphate and phosphoric acid at the levels of 100, 200 and 300 kg. of P_2O_5 per hectare.

The sources of phosphorus were compared by the value of the slope of the regression line.

Using the value of simple superphosphate as an index, the results showed that di-ammonium phosphate had the highest value for disponibility coefficient following termophosphate, phosphoric acid, and Araxá phosphate. Bone flour had a negative value.

6. LITERATURA CITADA

1. BLACK, C. A. & SCOTT, C.O. Fertilizer evaluation: I. Fundamental principles. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proceedings.*, Madison, 20(2): 176-179. 1956.
2. BRAGA, LUIZ JULIÃO, YAHNER, J. & FONTES, LUIZ A. N. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de N-P-Ca na Zona da Mata, Minas Gerais. UREMG, Viçosa, 1968. (Dados não publicados).
3. FONTES, L. A. N., GOMES, F. R. & VIEIRA, C. Resposta do feijoeiro à aplicação de N, P, K e calcário na Zona da Mata, Minas Gerais. *Rev. Ceres*, Viçosa 12(71):265-285. 1965.

4. MALAVOLTA, EURÍPEDES. Análise química dos teores totais. In: Curso Internacional de Diagnose Foliar. Piracicaba, 1962. 36 p.
5. TERMAN, G. L., BOULDIN, D. R. & WEBB, J. R. Evaluation of fertilizers by biological methods. Advances in Agronomy, New York 14:265-319. 1962.
6. TERMAN, G. L. Commonly occurring in interpretations of yield results from nutrient comparisons. Agronomy Journal, Madison 59(3):285-286. 1967.
7. VIEIRA, CLIBAS & GOMES, FÁBIO RIBEIRO. Ensaios de adubação química do feijoeiro. Rev. Ceres, Viçosa 11(65): 253-264. 1961.
8. WHITE, R.F., KEMPTHORNE, O., BLACK, C. A. & WEBB, J. R. Fertilizer evaluation:II. Estimation of availability coefficiente. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 20 (2): 179-186. 1956.