

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Aumento dos Teores de Fósforo e de Molibdênio  
em Sementes de Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)  
Via Adubação Foliar**

**Flávio Yuudi Kubota**

**2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**AUMENTO DOS TEORES DE FÓSFORO E DE MOLIBDÊNIO EM  
SEMENTES DE FEIJOEIRO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) VIA  
ADUBAÇÃO FOLIAR.**

**FLÁVIO YUUDI KUBOTA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Adelson Paulo de Araújo**  
*e Co-orientação do Pesquisador*  
**Marcelo Grandi Teixeira**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências** em  
Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ.

Fevereiro de 2006

635.652

K95a

T

Kubota, Flávio Yuudi, 1979-

Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar / Flávio Yuudi Kubota. – 2006.

58 f. : il.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 47-55.

1. Feijão – Adubos e fertilizantes – Teses. 2. Feijão – Semente – Teses. 3. Adubação foliar – Teses. 4. Plantas – Efeito do fósforo – Teses. 5. Plantas – Efeito do molibdênio – Teses. 6. Nitrogênio – Fixação – Teses. I. Araújo, Adelson Paulo de. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**FLÁVIO YUUDI KUBOTA**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17 / 02 / 2006

---

Adelson Paulo de Araújo, Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Marcelo Grandi Teixeira, Dr. EMBRAPA-CNPAB

---

Jorge Jacob Neto, Ph.D. UFRRJ

---

Bruno José Rodrigues Alves, Dr. EMBRAPA-CNPAB

## **DEDICATÓRIA**

A meu pai **MILTON TOURO KUBOTA** (*in memoriam*) e à minha mãe **RUTH GONÇALVES KUBOTA**, pelo ensinamento correto da vida e pela forte estrutura familiar;

À minha noiva **ROBERTA DE FREITAS SOUZA**, por dividir e compartilhar os momentos bons e difíceis nesta etapa de minha vida;

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus...

A CAPES pela bolsa concedida durante o curso;

Ao CPGA-CS, pela oportunidade da formação concedida;

Ao Professor Adelson Paulo de Araújo, meu orientador, pelo apoio, compreensão, críticas, ensinamentos, incentivo e amizade;

Ao Dr. Marcelo Grandi Teixeira, meu co-orientador, pela amizade e inestimável auxílio prestado na elaboração do presente trabalho;

Ao Dr Daniel Vidal Perez, pela valiosa contribuição nas análises de molibdênio.

Ao Dr Segundo Urquiaga, pelo apoio e valiosas sugestões.

Aos amigos da Pós-Graduação, Joventino, Flávio Cordeiro, Eleandro e Elias Melo, pela companhia e momentos de distração;

Aos funcionários da Embrapa Agrobiologia, Altiberto Baêta, Roberto Andrade, Selmo, Geraldo Baêta, Monalisa, Flávio Lages, Ernani, Cláudio Pereira, Rosinaldo, Silvio Telles, Enivaldo Maia e Eugênio José, pelo auxílio e dedicação fundamentais para realização deste trabalho;

Aos funcionários da Embrapa Gado de Leite, Wilson Eduardo Gomes Carvalho e Marcos Macedo Junqueira, pelo apoio no trabalho de campo;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho;

**MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.**

## **BIOGRAFIA**

Flávio Yuudi Kubota nasceu na cidade de São Gonçalo, RJ, em 10 de novembro de 1979, filho de Milton Touro Kubota e Ruth Gonçalves Kubota. Em 1997 foi diplomado em Técnico em Edificação na Escola Técnica Estadual Henrique Lage - RJ. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1999, diplomando-se em Engenheiro Agrônomo em 2003, onde foi Bolsista CNPq-PIBIC e monitor de Pedologia. Em 2004 iniciou o Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foi bolsista da Capes.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 O Molibdênio no Solo.....	3
2.2 O Fósforo no Solo .....	4
2.3 Interações do P com Mo.....	5
2.4 Efeito do Molibdênio na Fixação Biológica de Nitrogênio de Leguminosas.....	5
2.5 Efeito do Fósforo na Fixação Biológica de Nitrogênio de Leguminosas.....	6
2.6 Adubação Foliar .....	7
<b>3. CAPÍTULO I - AUMENTO DOS TEORES DE FÓSFORO E DE MOLIBDÊNIO EM SEMENTES DE FEIJOEIRO VIA ADUBAÇÃO FOLIAR.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	14
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
3.3.1 Rendimento de Grãos.....	19
3.3.2 Teores de N e P nas Sementes.....	21
3.3.3 Teores de Mo nas Sementes.....	28
3.4 CONCLUSÕES.....	32
<b>4. CAPÍTULO II - EFEITO DO AUMENTO DO TEOR DE MOLIBDÊNIO EM SEMENTES NO CRESCIMENTO E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DE TRÊS CULTIVARES DE FEIJOEIRO.....</b>	<b>33</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>34</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>35</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	36
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4.4. CONCLUSÃO .....	45
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>56</b>



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Teor e conteúdo de molibdênio em sementes de três cultivares de feijoeiro, obtidas de plantas crescidas na ausência ou presença de adubação foliar com 120 g Mo ha <sup>-1</sup> aos 45 e 60 dias após emergência, sob dois níveis de P aplicado ao solo, em experimento de campo conduzido na Embrapa Agrobiologia (Teixeira & Araújo, dados não publicados).....	<b>10</b>
<b>Tabela 2.</b> Produção de sementes e componentes de produção, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo.....	<b>20</b>
<b>Tabela 3.</b> Produção de sementes e componentes de produção, de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de três cultivares .....	<b>21</b>
<b>Tabela 4.</b> Teor e conteúdo de N e P nas sementes, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo. ....	<b>22</b>
<b>Tabela 5.</b> Teor e conteúdo de N e P nas sementes, de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de três cultivares. ....	<b>24</b>
<b>Tabela 6.</b> Teor de N nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ).....	<b>25</b>
<b>Tabela 7.</b> Teor e conteúdo de P nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ).....	<b>26</b>
<b>Tabela 8</b> Alguns valores de conteúdo de P (mg P planta <sup>-1</sup> ) em feijoeiro em diferentes épocas e níveis de P no solo encontrados na literatura, e a possível contribuição das sementes com alto teor de P para o aumento do conteúdo de P destas plantas.....	<b>27</b>
<b>Tabela 9.</b> Conteúdo de P nos caules, palhada das vagens e total (incluindo sementes), e índice de colheita de P, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo.....	<b>27</b>
<b>Tabela 10.</b> Conteúdo de P total (incluindo sementes) de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de três cultivares e dois tratamentos de adubação foliar com Mo.....	<b>28</b>
<b>Tabela 11.</b> Teor e conteúdo de Mo nas sementes, de três cultivares de feijoeiro que receberam adubação foliar com Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ); médias de dois tratamentos de adubação foliar com P.....	<b>29</b>

<b>Tabela 12.</b> Teor e conteúdo de Mo nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam adubação foliar com Mo, na ausência ou presença de adubação foliar com P, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha <sup>-1</sup> ).....	<b>30</b>
<b>Tabela 13.</b> Alguns valores de conteúdo de Mo (µg Mo semente <sup>-1</sup> ) em sementes de feijoeiro encontrados na literatura.....	<b>31</b>
<b>Tabela 14.</b> Massa de parte aérea, raiz e nódulos, massa unitária e número de nódulos de três cultivares de feijoeiro originadas de sementes com baixo e alto teor de Mo, em duas épocas de amostragem.....	<b>41</b>
<b>Tabela 15.</b> Atividade da nitrogenase, atividade específica da nitrogenase, teor de N na parte aérea e conteúdo de N na parte aérea de três cultivares de feijoeiro originadas de sementes com baixo e alto teor de Mo, em duas épocas de coleta.....	<b>43</b>
<b>Tabela 16.</b> Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da primeira coleta do experimento de casa de vegetação.....	<b>56</b>
<b>Tabela 17.</b> Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da primeira coleta do experimento de casa de vegetação.....	<b>56</b>
<b>Tabela 18.</b> Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da segunda coleta do experimento de casa de vegetação.....	<b>57</b>
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da segunda coleta do experimento de casa de vegetação.....	<b>57</b>
<b>Tabela 20.</b> Exemplo de quadro de análise de variância do teor de P nas sementes do experimento de campo, com as decomposições das somas dos quadrados para contrastes ortogonais.....	<b>58</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Esquema da amostragem em subsubparcelas do campo experimental, na Fazenda Santa Mônica.....**18**

**Figura 2.** Três cultivares (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi) originados de sementes com Alto e Baixo Mo, ao 20 DAP do experimento de casa de Vegetação.....**44**

## RESUMO GERAL

KUBOTA, Flávio Yuudi. **Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar.** Seropédica: UFRRJ, 2006. 58f. (Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade de aumentar os teores de fósforo (P) e de molibdênio (Mo) em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) através da adubação foliar, e o efeito do maior teor de Mo em sementes no crescimento e na fixação biológica de N<sub>2</sub> para a cultura. Para isso foram realizados dois experimentos. O primeiro, em condições de campo, objetivou aumentar os teores de P e de Mo em sementes de feijoeiro via adubação foliar. O delineamento adotado foi um esquema fatorial 2×4×3 em blocos ao acaso com quatro repetições: nas parcelas foram testados dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>), nas subparcelas quatro tratamentos de adubação foliar (sem adubação foliar, adubação foliar com P, adubação foliar com Mo, adubação foliar com P e Mo), e nas subsubparcelas três cultivares (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi). As aplicações foliares foram efetuadas aos 52 e 71 dias após emergência, para cada tratamento, nas doses de 5 kg P ha<sup>-1</sup> e 120 g Mo ha<sup>-1</sup>. Quando da maturação das sementes, na área útil de 5 m<sup>2</sup> de cada subparcela foi mensurado o rendimento das sementes, e em uma amostra de sementes foram determinados os teores de N, P e Mo. A adubação foliar com P aumentou o teor de P nas sementes, na ausência ou presença de adubação foliar com Mo, mas este aumento foi significativo apenas no menor nível de P aplicado ao solo. A adubação foliar com P reduziu o teor de Mo nas sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo, indicando um possível efeito de competição entre o P e o Mo quando da absorção pelas folhas e transporte para as sementes. A adubação foliar com Mo forneceu sementes com teores médios de 9,7 µg Mo g<sup>-1</sup>, enquanto nas plantas que não receberam adubação foliar com Mo os teores nas sementes estiveram em torno de 0,02 µg Mo g<sup>-1</sup>. O segundo experimento, em condições de casa de vegetação, teve como objetivo avaliar o efeito do aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas através da adubação foliar, no crescimento e na fixação biológica de N<sub>2</sub> de três cultivares de feijoeiro. O experimento foi realizado em delineamento em blocos ao acaso com cinco repetições, em um fatorial 3×2×2: três cultivares de feijoeiro (Manteigão, Carioca e Rio Tibagi), dois teores de Mo na semente (baixo e alto teor de Mo), e duas épocas de coleta (aos 30 e 45 dias após emergência). Foram crescidas duas plantas por vaso com 3 kg de solo. O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa e o conteúdo de N na parte aérea, em todas as cultivares, nas duas épocas de coleta. O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade da nitrogenase, nas cultivares Carioca e Manteigão na primeira coleta, e na cultivar Manteigão na segunda coleta. O maior teor de Mo nas sementes reduziu o número de nódulos na cultivar Carioca, na primeira coleta, e nas cultivares Carioca e Manteigão, na segunda coleta, provavelmente devido à precocidade das plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo. Pode-se concluir que a adubação foliar mostrou-se uma possibilidade tecnológica para a produção de sementes de feijão com maiores teores de P e de Mo, cujo efeito se traduz em uma maior fixação biológica de N<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** Crescimento, nitrogenase, fixação biológica de nitrogênio, cultivar

## GENERAL ABSTRACT

KUBOTA, Flávio Yuudi. **Increase of P and Mo concentration in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds by foliar fertilization.** Seropédica: UFRRJ, 2006. 58p. (Dissertation, Master of Science in Agronomy, Soil Science).

The present study had as objective to evaluate the viability to increase the concentration of phosphorus (P) and molybdenum (Mo) in bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) through the foliar fertilization, and the effect of the highest concentration of Mo in seeds in the growth and the nitrogen biological fixation for the plant. Two experiments were carried out for this purpose. The first, under field conditions, had the objective of increasing the concentration of P and Mo in bean seeds by foliar fertilization. The experimental design was a 2x4x3 factorial in a randomized block with four repetitions: in the plots two levels of P applied to the soil were tested (0 and 50 kg P ha<sup>-1</sup>), in the subplots four treatments of foliar fertilization (without foliar fertilization, foliar fertilization with P, foliar fertilization with Mo, foliar fertilization with P and Mo), and in the subsubplots three cultivars (Carioca, Manteigão and Rio Tibagi). The foliar applications were accomplished at 52 and 71 days after emergence, for each treatment, in the dosages of 5 kg P ha<sup>-1</sup> and 120 g Mo ha<sup>-1</sup>. At grain maturity, in the useful area of 5 m<sup>2</sup> within each subplot, the grain yield was measured, and the concentrations of N, P and Mo were determined in a seed sample. The foliar fertilization with P increased the concentration of P in the seeds, in the absence or presence of foliar fertilization with Mo, but this increase was significant only for the lower level of P applied to the soil. The foliar fertilization with P reduced the concentration of Mo in the seeds, in the two levels of P applied to the soil, indicating a possible effect of competition between P and Mo, when leaf absorption and transport to the grains occur. The foliar fertilization with Mo provided seeds with an average concentration of 9.7 µg Mo g<sup>-1</sup>, whereas in the plants that did not receive foliar fertilization the seed concentration was around 0.2 µg Mo g<sup>-1</sup>. The foliar fertilization with Mo increased the seed concentration of Mo about 50 times, when compared with the foliar fertilization without Mo. The second experiment, in the greenhouse, had as objective to evaluate the effect of the increased Mo concentration in bean seeds, obtained by the foliar fertilization, in the growth and biological N<sub>2</sub> fixation of three bean cultivars. The experiment had a randomized block design with five repetitions, in a 3x2x2 factorial: three bean cultivars (Manteigão, Carioca and Rio Tibagi), two concentrations of Mo in the seed (low and high Mo concentrations), and two dates of harvesting (30 and 45 days after emergence). Two plants were grown per pot with 3 kg of soil. The higher Mo concentration in seeds increased the mass and N content in shoots, in all cultivars, at the two harvests. The higher Mo concentration in seeds increased the nitrogenase activity in cultivars Carioca and Manteigão at the first harvest, and in the cultivar Manteigão at the second harvest. The higher seed Mo concentration reduced the number of nodules in cultivars Carioca, at first harvest, and in the cultivars Carioca and Manteigão at the second harvest, probably due to the earliness of plants originated from seeds with high Mo concentration. It can be concluded that foliar fertilization arises as a technological alternative for producing bean seeds with higher concentrations of P and Mo, therefore higher N<sub>2</sub> biological fixation.

**Key words:** Growth, nitrogenase, nitrogen biological fixation, cultivar

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), produzindo nos anos de 2002 e 2003, aproximadamente, 3,0 milhões de toneladas ano<sup>-1</sup>, em uma área cultivada de 4,2 milhões de hectares, o que resulta em uma produtividade média de 714 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2003). Esse nível de produtividade pode ser considerado baixo, uma vez que em monocultivo com alta tecnologia tem-se obtido, em experimentos, mais de 4.000 kg ha<sup>-1</sup> (VIEIRA et al., 1999).

O consumo de feijão no Brasil representa o principal complemento protéico, além de importante fonte energética, para a população de baixa renda. Atualmente, cultivos mais rentáveis, tais como o da soja, têm deslocado essa cultura para áreas marginais. Os riscos inerentes à produção, os baixos rendimentos e a instabilidade dos preços, aliado à dificuldade de mecanização, têm contribuído para que a produção de feijão se concentre nas pequenas propriedades rurais sob exploração familiar, que responderam por 67% da produção nacional em 1995 (SOARES et al., 2002). Esta produção em pequenas propriedades implica em uso contínuo da terra, exigido a aplicação de insumos nem sempre disponíveis aos pequenos produtores. Entre as 406 mil propriedades rurais, que têm o feijoeiro como seu principal cultivo, apenas 20% usam algum tipo de fertilizante químico ou calcário, o que se reflete na baixa produtividade da cultura.

Existe um descrédito quanto à capacidade do feijoeiro de fixar nitrogênio atmosférico em quantidade suficiente para suprir as exigências da produção, quando em associação com *Rhizobium*, recomendando-se indistintamente o uso de fertilizante nitrogenado para cultura (EMBRAPA, 1993). Entretanto, resultados de vários anos de pesquisa sugerem que é possível que a cultura do feijoeiro se beneficie, em nível de campo, da fixação biológica de nitrogênio, mas para isso, vários fatores devem ser levados em consideração, entre os quais podem ser destacadas as disponibilidades adequadas de P (GRAHAM et al., 2003) e Mo (HUNGRIA et al., 2003).

Vários fatores podem interferir na disponibilidade de Mo nos solos, entre os quais o pH, a matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (SANTOS, 1991). A deficiência de molibdênio afeta o metabolismo do nitrogênio devido à sua participação como componente da nitrogenase, enzima relacionada à fixação do nitrogênio pelas leguminosas, e da redutase do nitrato, responsável pela redução deste em nitrito no processo de assimilação do nitrogênio (ZIMMER & MENDEL, 1999).

O conteúdo total de P nos solos está entre 0,02 a 0,5%, mas apenas uma pequena fração está presente em formas disponíveis para os vegetais (BARBER, 1984). A deficiência de fósforo afeta diretamente a fixação biológica de nitrogênio, pois o P atua diretamente sobre a iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos (ISRAEL, 1987), aumentando sua atividade (GRAHAM & ROSAS, 1979; PEREIRA & BLISS, 1987) e causando simultâneo aumento na acumulação de N (OTHMAN et al., 1991), ou através do estímulo ao crescimento do hospedeiro (GATES & WILSON, 1974). A deficiência de P pode reduzir a produção de biomassa do hospedeiro e a demanda por N<sub>2</sub> fixado, reduzindo a força do dreno para os produtos dos nódulos (ROBSON et al., 1981; SINGLETON et al., 1985).

Sendo assim, sementes de feijoeiro com maiores teores de P e Mo podem estimular a fixação biológica de N. A adubação foliar constituiria uma alternativa tecnológica para elevar os teores de P e Mo nas sementes, pois não acarretaria significativos aumentos no custo de produção, uma vez que pequenas quantidades de nutrientes são necessárias, e estas aplicações podem ser combinadas com o controle sanitário (OLIVEIRA et al., 1998).

Altos teores de P em sementes estimularam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N de cultivares de feijoeiro, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo (TEIXEIRA et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002). Como o suprimento limitado de P causa atrasos no desenvolvimento da nodulação no feijoeiro (ARAÚJO & TEIXEIRA, 2000), o maior teor de P em sementes de feijão poderia aumentar a disponibilidade do nutriente em estádios iniciais de infecção e formação dos nódulos, particularmente sob condições de baixa disponibilidade de P (THOMSON et al., 1991).

Em experimento de campo sob dois níveis de P aplicado ao solo, foram testados três estágios de adubação foliar onde foram aplicados 500 L ha<sup>-1</sup> de uma solução contendo 10 g P L<sup>-1</sup> em três cultivares de feijoeiro, verificando-se que a adubação foliar aos 45 e 60 dias após emergência aumentou o teor de P nas sementes de dois cultivares apenas na maior dose de P no solo (TEIXEIRA & ARAÚJO, 2002). Neste mesmo experimento, foram testadas aplicações foliares de 120 g Mo ha<sup>-1</sup> aos 45 e 60 dias após emergência, obtendo-se um grande aumento do teor e conteúdo de Mo nas sementes das três cultivares sob baixa dose de P no solo.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a possibilidade tecnológica de produção de sementes de feijão com maiores teores de P e de Mo através da adubação foliar, avaliando-se inclusive a pulverização simultânea destes elementos, sob diferentes condições de disponibilidade de P no solo, e avaliar o efeito do aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas através da adubação foliar, no crescimento e fixação biológica de N<sub>2</sub> de três cultivares de feijoeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O Molibdênio no Solo

O molibdênio (Mo) é um elemento encontrado em toda a crosta terrestre, principalmente em solos provenientes de rochas sedimentares (BATAGLIA et al., 1976). Porém, sua concentração nos solos é sempre baixa, excedendo 0,04% somente em depósitos marinhos (GUPTA & LIPSET, 1981). Por causa de sua baixa concentração nos solos e utilização sem a devida reposição, o Mo tem-se esgotado, tornando-se comum a sua deficiência, principalmente, nos solos de cerrado (SFREDO et al., 1994, 1997).

A deficiência de molibdênio tem sido relatada em vários sistemas agrícolas do mundo (MURPHY & WALSH, 1972). O teor de Mo total no solo encontra-se na faixa de 0,5 a 5,0 mg kg<sup>-1</sup>, onde ocorre nas seguintes fases: solução do solo, adsorvido na fração coloidal, retido na rede cristalina dos minerais primários e imobilizado pela matéria orgânica (GUPTA & LIPSET, 1981).

Vários fatores podem interferir na disponibilidade de Mo nos solos, entre os quais o pH, a matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (SANTOS, 1991). Devido à exportação de Mo pelas sementes, à deficiência natural de alguns solos, à intensificação da produção e à não realização de adubação molíbdica pela maioria dos agricultores, aos poucos estão se esaurindo as reservas naturais de Mo no solo, o que pode afetar a capacidade produtiva das culturas.

Em condições de pH extremamente baixo, o Mo existente na solução do solo encontra-se predominantemente em forma não dissociada de ácido molíbdico (H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>). Com aumento do pH, o H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> se dissocia em HMoO<sub>4</sub><sup>-</sup> e, posteriormente, a molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), o qual se torna a forma predominante em solos de pH neutro e alcalino (KRAUSKOPF, 1972). O suprimento para as plantas é feito principalmente na forma de MoO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, presente na solução do solo, via fluxo de massa (KRAUSKOPF, 1972).

A disponibilidade de Mo para a planta é afetada por vários fatores incluindo o pH da solução do solo, a textura do solo, umidade de solo, temperatura, conteúdo de óxidos, conteúdo de matéria orgânica, e mineralogia da argila (REISENAUER et al, 1973). As reações de adsorção do Mo têm sido investigadas em função de vários fatores químicos, incluindo concentração do Mo em equilíbrio, pH da solução, força iônica, competição de ânions e temperatura (GOLDBERG et al., 2002).

O Mo é facilmente liberado dos minerais primários pela intemperização. Comparado com os outros micronutrientes, ele permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente solúveis (BOLLAND & BACKER, 2000). Entretanto, esses molibdatos são adsorvidos nas superfícies de minerais primários e da fração coloidal, fazendo com que a disponibilidade de Mo no solo seja dependente do pH. A correção do pH dos solos ácidos, através da calagem, aumenta a disponibilidade de molibdênio, justificando-se esta ocorrência com o mecanismo de troca dos ânions de molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) por hidroxila (OH<sup>-</sup>) (PALACHE et al., 1944).

Embora as quantidades de Mo sejam reduzidas em todos os solos, relativas aos outros nutrientes minerais, há a contrapartida deste nutriente ser requerido em quantidades muito reduzidas nos processos biológicos (GUPTA & LIPSET, 1981). No



entanto, raros são os solos que apresentam disponibilidade adequada de Mo para as culturas agrícolas (GUPTA, 1997), uma vez que é vasto o número de estudos que relatam resposta positiva de diversas culturas à aplicação de Mo (GUPTA & LIPSET, 1981; GUPTA, 1997).

## 2.2 O Fósforo no Solo

O conteúdo total de P nos solos está entre 0,02 a 0,5%, mas apenas uma pequena fração está presente em formas disponíveis para os vegetais (BARBER, 1984). O P presente no solo pode ser dividido em quatro amplas categorias (BARBER, 1984): P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; P componente da matéria orgânica. As plantas só absorvem o P da solução do solo, cujas concentrações são usualmente baixas, variando entre 0,1 e 1 mg P L<sup>-1</sup> (LARSEN, 1967). O P na solução do solo está nas formas iônicas de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, e complexos solúveis destes íons; a distribuição destas formas iônicas é determinada principalmente pelo pH da solução (LARSEN, 1967).

Em função da sua elevada reatividade, o P presente no solo pode estar indisponível à planta (HOLFORD, 1997) e, freqüentemente, em teor inferior ao adequado para diversas culturas (AL-NIEMI et al., 1997; HINSINGER, 2001), especialmente quando se considera solos de regiões tropicais e subtropicais (HINSINGER, 2001). Essa condição é característica de muitos solos nativos (NIELSEN et al., 1998), e limita o crescimento de plantas em diversos ecossistemas terrestres (BONSER et al., 1996; FAN et al., 2003; HO et al., 2004). O baixo teor de P disponível no solo é a limitação nutricional mais generalizada para produção agrícola nos trópicos e sub-trópicos (FERNANDES & ASCENCIO, 1994; RAGHOTHAMA, 1999; FAGERIA et al., 2004; PARRA et al., 2004).

Os solos tropicais são caracterizados pelo elevado grau de intemperização e pelos baixos teores de P na forma disponível às plantas, localizado, preferencialmente, nos horizontes superficiais, e decrescendo com a profundidade do solo (BONSER et al., 1996). Nessas regiões, em que a fertilidade do solo restringe a produção agrícola (LYNCH et al., 1992; LÓPEZ-BUCIO et al., 2002), localizam-se agrossistemas que sustentam ampla fração da humanidade (FAN et al., 2003). Estima-se que 5,7 bilhões de hectares apresentem baixa disponibilidade de P para uma produção agrícola ótima (HINSINGER, 2001).

Das áreas produtoras de feijão na América Latina, 50% estão com baixa concentração de P disponível, situação esta semelhante às áreas da África (YAN et al., 1996). Em condições extremas de intemperismo, como é o caso de alguns Latossolos do cerrado, o solo é um forte dreno de P (NOVAIS & SMYTH, 1999) e mais de 80% do Pi existente no solo apresenta-se adsorvido, precipitado ou convertido à forma orgânica (SCHACHTMAN et al., 1998).

Vários fatores determinam o fluxo de P do solo para as raízes, que podem ser agrupados em (FOX & KAMPRATH, 1970): o fator intensidade, representado pela concentração de P na solução do solo; o fator quantidade, que corresponde ao P lábil nos solos; o fator capacidade, que indica o poder tampão do solo, ou sua condição de manter os níveis de P em solução durante sua depleção; o fator mobilidade, que inclui uma série de fatores relacionados com o transporte e difusão de P até as raízes. O P lábil do solo não é homogêneo, com grandes variações entre diferentes frações na energia de ativação (RUSSEL et al., 1957).

A maior parte do P é suprido para as plantas através do mecanismo de difusão: a absorção vegetal cria uma zona de depleção do nutriente em volta da raiz, e os íons se difundem por gradiente de concentração até atingir a superfície radicular (BARBER, 1962). Em alta dose de P no solo, a concentração de P trocável na superfície radicular de nabo foi reduzida em cerca de 30% no 2º dia e 40% no 4º dia, e aumentou lentamente após o 8º dia (BHAT & NYE, 1974). A concentração de P na rizosfera decaiu a valores de 30 – 50% inferiores aos iniciais após poucos dias de absorção, e a zona de depleção estendeu-se até cerca de 2 mm da superfície radicular (JUNGK, 1987). A forma da zona de depleção de P dependeu da textura do solo, do pH da rizosfera e do comprimento dos pêlos radiculares (JUNGK, 1987).

Quando o fertilizante fosfatado é aplicado ao solo, pode sofrer reações de adsorção na superfície de óxidos de Fe e Al, ou precipitar-se como fosfatos de Al, Ca e Fe, quando as quantidades aplicadas são elevadas (BARBER, 1984). As reações de adsorção e dessorção de P em solos tropicais foram profundamente tratadas por BARROW (1987).

A utilização da adubação foliar para o aumento do teor de P em sementes de feijoeiro e o benefício deste aumento para a cultura, é uma possibilidade tecnológica de produção de sementes de feijão que reduza a dependência desta cultura pelo P do solo. O P armazenado na semente supriria a plântula nos estádios iniciais durante o período de crescimento e de desenvolvimento. Em condições de campo sob adequado suprimento de P no solo, duas aplicações de 500 L ha<sup>-1</sup> de uma solução com 10 g P L<sup>-1</sup> no estágio de início de formação das vagens causaram aumento na concentração de P nas sementes de duas cultivares de feijoeiro, sem afetar o rendimento de grãos (TEIXEIRA & ARAÚJO, 1999).

### **2.3 Interações do P com Mo.**

Os mecanismos de adsorção do íon molibdato são semelhantes aos ocorrentes com os íons fosfatos no solo, no entanto, os sítios de adsorção específica destes poliânions no solo são estereoquimicamente menos perfeitos para o molibdato que para o fosfato, fazendo com que ocorra formação de apenas duas ligações covalentes entre as hidroxilas com o molibdato, ao invés das três que ocorrem com o íon fosfato (MENGEL & KIRKBY, 1982). O nível de fosfato correlaciona-se positivamente com o do molibdato na solução do solo, uma vez que o fosfato desloca o molibdato da superfície de adsorção para a solução do solo; em consequência, a disponibilidade de Mo no solo é bastante afetada pelo nível de P no solo (MENGEL & KIRKBY, 1982). Em áreas onde doses suficientes P foram aplicadas, algumas culturas não apresentaram resposta à aplicação de Mo (MCLACHLAN, 1955).

### **2.4 Efeito do Molibdênio na Fixação Biológica de Nitrogênio de Leguminosas**

A importância do Mo no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) foi primeiramente descrita por BORTELS (1930, citado por JACOB-NETO, 1985), que demonstrou que *Azotobacter vinelandii*, quando inoculado em meio de cultura sem N combinado, necessitava de Mo para crescer, o que não ocorria se a fonte de N do meio de cultura fosse o amônio. Posteriormente, BULEN & LECONTE (1966) demonstraram que a nitrogenase purificada continha Mo.

Hoje, é sabido que o Mo faz parte do co-fator ferro molibdênio, o grupo prostético da fração dinitrogenase do complexo enzimático nitrogenase (MARTENS & WESTERMANN, 1991). Sendo assim, a deficiência de Mo afeta o metabolismo do nitrogênio devido à sua participação como componente da nitrogenase, enzima relacionada à fixação do nitrogênio pelas leguminosas, e da redutase do nitrato, responsável pela redução deste em nitrito no processo de assimilação do nitrogênio (MARSCHNER, 1995; ZIMMER E MENDEL, 1999).

Por participar da estrutura e de ser ativador de diversas enzimas, o Mo é de fundamental importância a todos os vegetais. Essa importância aumenta no caso do feijoeiro, que tem a capacidade de estabelecer simbiose com microrganismos fixadores de N<sub>2</sub> pertencentes à família Rhizobiaceae. Esses microrganismos infectam as raízes do feijoeiro e formam os nódulos, em cujo interior é sintetizado um complexo enzimático, denominado nitrogenase, que rompe a tripla ligação existente entre os átomos de N que formam a molécula do N<sub>2</sub> e utilizam esses átomos para produzir duas moléculas de amônia (NH<sub>3</sub>), que são fornecidas à planta, para sintetizar os compostos nitrogenados (TEIXEIRA, 1998). Um dos principais efeitos da aplicação foliar de Mo em feijoeiro consiste na manutenção de taxas adequadas de fixação de N<sub>2</sub> em estádios tardios de crescimento (PESSOA et al., 2001).

A adubação foliar é uma forma de aumentar o conteúdo de nutrientes nas sementes. Os nutrientes armazenados na semente suprem a plântula nos estádios iniciais durante o período de crescimento e de desenvolvimento. Cultivares com capacidade de acumular molibdênio nas sementes podem ser usados para produção de sementes em solos que possuam quantidades favoráveis desse nutriente para serem utilizadas, posteriormente, em solos ácidos e com deficiência de Mo (FRANCO & MUNNS, 1981).

TANNER (1979), estudando o efeito do Mo na qualidade das sementes de milho, constatou que a população de plantas, a massa foliar e a produção foram significativamente reduzidas quando o conteúdo do nutriente na semente era baixo. BRODRICK et al. (1992) verificaram que feijoeiros originados de sementes com maior conteúdo de molibdênio apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais nitrogênio e produziram mais sementes.

## **2.5 Efeito do Fósforo na Fixação Biológica de Nitrogênio de Leguminosas**

Estudos sobre a influência do P na fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) têm recebido considerável atenção em leguminosas, em razão do alto requerimento desse elemento, durante as fases de iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos radiculares (AL-NIEMI et al., 1997). Observa-se que o P potencializa a fixação simbiótica do N<sub>2</sub> por estimular o crescimento da planta hospedeira, além de afetar diretamente o crescimento do rizóbio e do nódulo (CHAUDHARY & FUJITA, 1998). Como a fixação biológica de N<sub>2</sub> é um processo de grande demanda energética, e como o P tem um papel chave no metabolismo energético das células, a deficiência de P tem um impacto negativo no status energético dos nódulos (SA & ISRAEL, 1991). O P teria um efeito benéfico na fixação biológica de N<sub>2</sub>, atuando diretamente sobre a iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos (ISRAEL, 1987), aumentando sua atividade (GRAHAM & ROSAS, 1979; PEREIRA & BLISS, 1987) e causando simultâneo aumento na acumulação de N (OTHMAN et al., 1991), ou através do estímulo ao crescimento do hospedeiro (GATES & WILSON, 1974). Os nódulos atuam como fortes drenos de fotoassimilados, que são metabolizados para gerar ATP e poder redutor,

essenciais à redução do  $N_2$  atmosférico (MARSCHNER, 1995). Essa redução do  $N_2$  pela nitrogenase consome cerca de 60% a 80% do ATP sintetizado no nódulo (TWARY & HEICHEL, 1991).

A sacarose translocada pelo floema, das folhas para os nódulos, fornece a energia e os esqueletos carbônicos para a fixação do  $N_2$ , assimilação do amônio e síntese "de novo" de purinas (SA & ISRAEL, 1995). Essas observações corroboram a hipótese de que a deficiência de Pi pode reduzir o suprimento de fotossintatos para os nódulos, resultando em um impacto negativo sobre a assimilação do nitrogênio em plantas de feijoeiro devido à redução no suprimento de esqueletos carbônicos e energia para efetuar o processo assimilatório do  $NH_4^+$  (SA & ISRAEL, 1995). Em soja, em que os nódulos apresentam crescimento determinado e transportam o N principalmente como ureídeos, a deficiência de Pi diminui a concentração de nitrogênio, tanto na parte aérea quanto nos nódulos (RIBET & DREVON, 1995). Contudo, em alfafa, em que os nódulos apresentam crescimento indeterminado e o nitrogênio fixado simbioticamente é transportado principalmente na forma de amidas e aminoácidos, os efeitos do ressuprimento de P nas fases vegetativas e reprodutivas podem ser distintos dos da soja (GOMES, et al., 2002).

Em alfafa, a baixa disponibilidade de P nos solos reduziu a produção de fotoassimilados, afetando negativamente a capacidade dos nódulos de manter a taxa de fixação de  $N_2$  (VANCE et al., 1979). A deficiência de P pode reduzir a produção de biomassa do hospedeiro e a demanda por  $N_2$  fixado, reduzindo a força do dreno para os produtos dos nódulos (ROBSON et al., 1981; SINGLETON et al., 1985). A atividade específica da nitrogenase e a concentração de ATP nos nódulos de soja foi reduzida sob suprimento limitado de P (SA & ISRAEL, 1991). O baixo suprimento de P reduziu o conteúdo de N e os teores de N-amino e alantoína no exsudado xilemático de caupi (OTHMAN et al., 1991).

Plantas de soja dependente da fixação de  $N_2$  apresentaram maior requerimento de P para obtenção de crescimento ótimo do que plantas supridas com nitrato em solução nutritiva (ISRAEL, 1987), e os parâmetros associados à fixação de  $N_2$  foram mais responsivos ao P do que o próprio crescimento vegetal (CASSMAN et al., 1980; ISRAEL, 1987). O estresse de P em soja sob fixação biológica de  $N_2$  afetou o equilíbrio entre a biomassa de nódulo e raiz de forma mais intensa do que o equilíbrio entre raiz e parte aérea (CASSMAN et al., 1980), e a deficiência de P em soja aumentou a proporção do P retido nos nódulos e raízes (LAUER & BLEVINS, 1989). Apesar da redução de teor de P nos vários tecidos vegetais do feijoeiro com menor suprimento de P, a concentração de P nos nódulos foi pouco afetada (PEREIRA & BLISS, 1987).

Os nódulos de feijoeiro mostraram ser um forte dreno de P, com grande resposta às doses do nutriente (GRAHAM & ROSAS, 1979). As concentrações de N e de P nos nódulos de caupi foram 2-2,5 vezes superiores que na parte aérea (OTHMAN et al., 1991), e o teor de P nos nódulos de trevo subterrâneo excedeu em muito os teores na parte aérea e raiz (ROBSON et al., 1981).

## 2.6 Adubação Foliar

Em plantas terrestres, a absorção de solutos pela superfície das folhas é restrita devido à presença, nas paredes externas das células da epiderme, da cutícula e da camada de ceras. Abaixo da cutícula existe uma camada cutinizada, mais espessa, que consiste em um esqueleto de celulose incrustado com cutina, cera e pectina. Essas duas camadas têm diversas funções, sendo a principal reduzir a perda de água e nutrientes

pela transpiração excessiva (SITTE & RENNIER, 1963). A forma e a estrutura da cutícula sofrem mudanças junto com o crescimento dos órgãos (MILLER, 1984). Há uma deposição contínua de cera na epicutícula durante o crescimento da folha, mas isto decresce e pára completamente com o cessar do crescimento (HALLAM, 1970).

A epiderme superior da folha, logo abaixo da cutícula, pode apresentar estruturas que favorecem a entrada de íons: os *tricomos* (pêlos) que aumentam a propriedade de molhamento da folha, e os *ectodesmas* (protuberâncias do citoplasma), que se projetam na cutícula, reduzindo o percurso do íon da superfície externa até a membrana celular (MALAVOLTA, 1980).

Os estômatos, presentes na superfície foliar em número variável com a espécie, podem ser importantes vias de acesso para os íons (MALAVOLTA, 1980).

De acordo com FRANKE (1964), a absorção foliar de P e de outros elementos se faz em três passos, depois de sua deposição na superfície da folha: os nutrientes (ou outros elementos) penetram na cutícula lipídica e as paredes epidérmicas por difusão; os nutrientes (ou outros elementos) são absorvidos na superfície do plasmalema; os nutrientes (ou outros elementos) passam através da membrana plasmática e entram no citoplasma.

Diferentes fatores, externos e internos, influenciam a velocidade de absorção dos elementos aplicados nas folhas, isto é, a quantidade absorvida por unidade de peso de tecido na unidade de tempo. Segundo MALAVOLTA (1980), os fatores podem ser externo e internos:

Os fatores externos são: a) Ângulo de contato - Para que a penetração do elemento tenha lugar é necessário que a superfície foliar seja molhada. A capacidade da solução para molhar a superfície é função do ângulo de contato, o que depende de sua tensão superficial e da natureza da superfície em questão; b) Temperatura e umidade - A temperatura e a umidade relativa do ar afetam a velocidade de secamento da solução aplicada e, portanto, a possibilidade de estabelecimento duma película líquida na superfície da folha: quando essas duas variáveis se combinam diminuindo o gradiente na pressão de vapor em dita superfície, pode-se esperar maior absorção. Deve-se ter presente, porém, que a absorção prossegue durante consideráveis períodos de tempo quando a superfície parece estar seca, provavelmente devido a películas de umidade formadas às custas da água transpirada, que poderão ser mais importantes para o processo do que água da própria solução aplicada; c) Concentração da solução - Admitindo-se que a solução seque rapidamente pode-se supor que em alguma parte da superfície da folha encontram-se concentrações de 100%. A velocidade de absorção e o transporte, entretanto, devem impedir que essa condição seja atingida. A concentração do elemento em solução pode aumentar na prática agrícola desde que o volume aplicado seja reduzido; d) Luz - Como a luz funciona como fonte de energia – através da fosforilação fotossintética que promove – no escuro deve-se esperar menor velocidade de absorção. O papel da luz na absorção foi também comprovado medindo a velocidade do processo em folhas verdes e em estioladas: somente nas primeiras foi notado estímulo. A influência da luz poderia também ser devida ao seu efeito na permeabilidade da plasmalema ou na promoção da abertura dos estômatos: aplicações feitas no campo antes do sol nascer tem demonstrado conduzir a uma menor absorção do que depois.

Os fatores internos são: a) Umidade da cutícula - Como o caminhar da solução através da cutícula em direção à parede de uma célula epidérmica ou de um ectodesma se faz, acredita-se, por difusão, a existência de umidade é necessária. A água, por outro lado, é indispensável para que as células-guardas se abram, o que forma a cavidade estomática disponível para o processo de absorção, desde que seja

relativamente baixa a tensão superficial da solução; b) Superfície da folha – Os tricomas ou pelos formados de células com grande volume de citoplasma podem, em princípio, ajudar no processo de absorção, pois com sua presença aumentam a superfície de contato da folha com a solução. Na parte inferior da folha, o revestimento cuticular é mais delgado e aí muitas vezes predominam as aberturas estomatais. Por esse motivo, deve-se esperar maior absorção das soluções quando aplicadas na superfície ventral das folhas. Se o período de contato da folha com a solução for, entretanto, suficientemente longo a diferença na velocidade de absorção pelas duas superfícies tende a desaparecer; c) Idade – A resistência oferecida pelas folhas à penetração da solução parece resultar do desenvolvimento muito grande da cutícula. Além disso, a folha velha pode diferir da nova em outros aspectos tanto morfológicos quanto metabólicos os quais, por sua vez, podem influenciar a absorção, a maior intensidade fotossintética ou respiratória da folha nova. Sendo assim, folhas novas e recém-maduras têm maior habilidade de absorver íons, pois apresentam maior atividade metabólica, cutículas mais finas, maior velocidade de absorção e maior demanda por nutrientes; d) Concentração iônica interna – A capacidade de absorção foliar, em igualdade de condições, pode ser limitada pela quantidade do elemento já contido nas folhas. Assim, sabe-se que as plantas deficientes em fósforo absorvem o elemento mais rapidamente do que as cultivadas em meio rico em P. Um alto nível de P no sistema vascular pode também retardar o transporte a partir das folhas em vez de influenciar a absorção propriamente dita.

A capacidade das plantas de absorverem nutrientes, como dito anteriormente, varia com a idade da folha, sendo as folhas jovens metabolicamente mais ativas que as folhas maduras, diferenças estas atribuídas principalmente a condições físicas da folha e ao status fisiológico da planta (KANNAN, 1990). A adubação foliar com macronutrientes não tem sido muito empregada em cultivos comerciais. Nas concentrações usuais destes nutrientes são muito baixas nos adubos foliares, exigindo várias aplicações durante o ciclo da cultura, enquanto soluções com altas concentrações salinas geralmente causam injúrias foliares (ALEXANDER & SCHROEDER, 1987). Entretanto, os efeitos da adubação foliar no feijoeiro têm sido avaliados em termos de rendimento de sementes no próprio cultivo, o que tem originado resultados inconsistentes (LAUER, 1982).

Aplicações foliares de Mo causaram estímulos à nodulação e aumentos nas atividades da nitrogenase e da nitrato redutase, com conseqüentes aumentos na acumulação de N e no rendimento de grãos. A aplicação foliar de molibdênio eleva os teores de nitrogênio nas folhas do feijoeiro, que se tornam bem mais verdes, com freqüente aumento no tamanho dos grãos, número de vagens por planta e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos (AMANE et al., 1994; ALVARENGA, 1995; ANDRADE et al., 1998). Segundo BERGER et al. (1996), a adubação foliar com molibdênio proporcionou aumento de 250% na produção dessa leguminosa. A utilização da adubação foliar para o aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, e o benefício deste aumento para a cultura, é uma possibilidade tecnológica de produção de sementes de feijão que reduziria a dependência desta cultura ao Mo do solo.

Em experimento de campo sob dois níveis de P aplicados ao solo, foram testados três épocas de adubação foliar com solução contendo 10 g P L<sup>-1</sup> em três cultivares de feijoeiro. Verificou-se que a adubação foliar aos 45 e 60 dias após emergência aumentou o teor de P nas sementes de dois cultivares apenas na maior dose de P no solo (TEIXEIRA & ARAÚJO, 2002). Neste mesmo experimento, foram testadas aplicações foliares de 120 g Mo ha<sup>-1</sup> aos 45 e 60 dias após emergência, obtendo-se um grande aumento do teor e conteúdo de Mo nas sementes das três cultivares sob baixa dose de P no solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Teor e conteúdo de molibdênio em sementes de três cultivares de feijoeiro, obtidas de plantas crescidas na ausência ou presença de adubação foliar com 120 g Mo ha<sup>-1</sup> aos 45 e 60 dias após emergência, sob dois níveis de P aplicado ao solo, em experimento de campo conduzido na Embrapa Agrobiologia (Teixeira & Araújo, dados não publicados).

Adubação foliar	5 kg P ha <sup>-1</sup>				50 kg P ha <sup>-1</sup>			
	Carioca	Manteigão	Rio Tibagi	Média	Carioca	Manteigão	Rio Tibagi	Média
	Teor de Mo (µg g <sup>-1</sup> )							
Sem Mo	1,40 b	1,83 b	1,66 b	1,63 b	3,17 b	1,34 b	3,47 b	2,66 b
Com Mo	9,35 a	7,86 a	13,54 a	10,25 a	5,89 a	6,88 a	6,64 a	6,47 a
	Conteúdo de Mo (µg semente <sup>-1</sup> )							
Sem Mo	0,32 b	0,79 b	0,39 b	0,50 b	0,71 b	0,61 b	0,84 b	0,72 b
Com Mo	2,15 a	3,55 a	3,20 a	2,97 a	1,35 a	3,03 a	1,54 a	1,97 a

Letras comparam colunas pelo teste de Duncan a 5%.

**3.      CAPÍTULO I - AUMENTO DOS TEORES DE FÓSFORO E  
DE MOLIBDÊNIO EM SEMENTES DE FEIJOEIRO VIA  
ADUBAÇÃO FOLIAR**



## RESUMO

Altos teores de fósforo (P) em sementes estimularam o crescimento, a nodulação e a acumulação de nitrogênio de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo, e plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio (Mo) mantiveram a atividade da nitrogenase similar à de plantas que receberam Mo nas raízes. Desta forma, seria desejável a produção de sementes com altos teores de P e de Mo, para permitir o melhor estabelecimento da cultura e o estímulo à simbiose do feijoeiro com bactérias diazotróficas. Este experimento objetivou avaliar a viabilidade de aumentar os teores de P e de Mo em sementes de feijoeiro via adubação foliar. O experimento foi conduzido em condições de campo, de setembro a dezembro de 2004, em solo Argissolo vermelho-amarelo, na Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença-RJ, em um solo com baixa disponibilidade de P. O delineamento adotado foi um esquema fatorial  $2 \times 4 \times 3$  em blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas divididas: nas parcelas foram testados dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>), nas subparcelas quatro tratamentos de adubação foliar (sem adubação foliar, adubação foliar com P, adubação foliar com Mo, adubação foliar com P e Mo), e nas subsubparcelas três cultivares (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi). As aplicações foliares foram efetuadas aos 52 e 71 dias após emergência, para cada tratamento, nas doses de 5 kg P ha<sup>-1</sup> e 120 g Mo ha<sup>-1</sup>. Quando da maturação das sementes, na área útil de 5 m<sup>2</sup> de cada subparcela foi mensurado o rendimento das sementes. Na área de 1 m<sup>2</sup> dentro das linhas centrais de cada subparcela foi retirada uma amostra de sementes para a determinação dos teores de P, N e Mo. A adubação de P no solo acarretou aumento do rendimento das sementes, de 217 para 269 g m<sup>-2</sup> para os níveis de 0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média dos diferentes tratamentos de adubação foliar e das três cultivares. A adubação foliar com P ou Mo não afetou significativamente o rendimento das sementes. A adubação foliar com P aumentou o teor de P nas sementes, na ausência ou presença de adubação foliar com Mo, mas este aumento foi significativo apenas na ausência de aplicação de P ao solo. Foram obtidos, na ausência de adubação fosfatada no solo, teores de 3,1 e 3,7 mg P g<sup>-1</sup> nas sementes, na ausência e presença de adubação foliar com P, respectivamente, na média das três cultivares. A adubação foliar com P reduziu o teor de Mo nas sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo, indicando um possível efeito de competição entre o P e o Mo quando da absorção pelas folhas e transporte para as sementes. A adubação foliar com Mo forneceu sementes com teores médios de 9,7 µg Mo g<sup>-1</sup>, enquanto nas plantas que não receberam adubação foliar com Mo os teores nas sementes estiveram próximos ao limite inferior de detecção do equipamento, em torno de 0,02 µg Mo g<sup>-1</sup>. Pode-se concluir que as aplicações foliares com P e Mo aumentaram os teores destes nutrientes nas sementes de feijoeiro, e que existe um efeito de competição entre P e Mo quando aplicados via foliar.

## ABSTRACT

High concentration of phosphorus (P) in seeds stimulated the growth, the nodulation and the accumulation of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, particularly under low P availability in the soil, and bean plants originated from seeds with high concentration of molybdenum (Mo) kept the nitrogenase activity similar to the plants that received Mo in the roots. Hence, the production of seeds with high concentration of P and Mo would be desirable, to allow a better establishment of the crop and the stimulation of the symbiosis with diazotrophic bacteria. This experiment had the objective to evaluate the viability to increase the concentrations of P and Mo in bean seeds by foliar fertilization. The experiment was conducted in field conditions, from September to December of 2004, in an Haplic Acrisol, in the Santa Mônica Farm of Embrapa Gado de Leite, in the county of Valença-RJ, in a soil with low P availability. The experimental design was a randomized block in a split-plot 2x4x3 factorial with four repetitions: in the plots two levels of P were applied to the soil (0 and 50 kg P ha<sup>-1</sup>), in the subplots four treatments of foliar fertilization (without foliar fertilization, foliar fertilization with P, foliar fertilization with Mo, foliar fertilization with P and Mo), and in subsubplots three cultivars (Carioca, Manteigão and Rio Tibagi). The foliar applications were done at 52 and 71 days after emergence, for each treatment, at levels of 5 kg P ha<sup>-1</sup> and 120 g Mo ha<sup>-1</sup>. At grain maturity, in the useful area of 5 m<sup>2</sup> within each subplot the grain yield was measured. In the area of 1 m<sup>2</sup> within the central lines of each subplot a sample of seeds was collected for the determination of the concentrations of P, N and Mo. The fertilization of P in the soil increased the grain yield, from 217 to 269 g m<sup>-2</sup> for the levels of 0 and 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, in the average of the different treatments of foliar fertilization and three cultivars. The foliar fertilization with P or Mo did not affect significantly the grain yield. The foliar fertilization with P increased the P concentration in the seeds, in the absence or presence of foliar fertilization with Mo, but this increase was significant only in the lower level of P applied to the soil. In the absence of P fertilization in the soil, concentration of 3.1 and 3.7 mg P g<sup>-1</sup> in the seeds were obtained, in the absence and presence of foliar fertilization with P, respectively, in the average of the three cultivars. The foliar fertilization with P reduced the concentration of Mo in the seeds, in the two levels of P applied to the soil, indicating a possible effect of competition between P and Mo when absorbing by the leaves and the transport to the grains. The foliar fertilization with Mo provided seeds with an average concentration of 9.7 µg Mo g<sup>-1</sup>, whereas in the plants that did not receive foliar fertilization the seed concentration was near the lower limit of detection of the equipment, around 0.2 µg Mo g<sup>-1</sup>. It was concluded that the foliar applications of P and Mo increased the concentration of these nutrients in bean seeds, and that there is an effect of competition between P and Mo when applied in leaves.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro tem sido considerado uma espécie com baixa capacidade de fixação biológica de  $N_2$ , quando comparada a outras leguminosas de grão, em parte em virtude da suscetibilidade da espécie a estresses nutricionais e ambientais, ao curto período vegetativo (PIHA & MUNNS, 1987; CHAVERRA & GRAHAM, 1992), e à sensibilidade da simbiose à presença de nitrato no solo (WESTERMANN et al., 1981; LEIDI & RODRÍGUEZ-NAVARRO, 2000).

Como o feijoeiro muitas vezes responde à adubação nitrogenada (WESTERMANN et al., 1981), os produtores freqüentemente aplicam nitrogênio mineral no plantio, o que por sua vez contribui para inibir a nodulação e a simbiose (GRAHAM & RANALLI, 1997). A nodulação insuficiente e a ausência de respostas à inoculação em muitos solos têm dificultado a substituição da adubação mineral pela simbiose (HUNGRIA et al., 2003). Entretanto, a fixação simbiótica do  $N_2$  contribuiu com até  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  em vários cultivos de feijão, o que representou de 40 a 50 % do conteúdo total de N mensurado próximo à maturidade fisiológica (WESTERMANN et al., 1981). Em uma rede de experimentos realizado em sete países incluindo cerca de 20 cultivares de feijoeiro, foram observados valores médios e máximos de, respectivamente, 35% e 70% do total de N derivado da atmosfera (HARDARSON et al., 1993).

Como a fixação biológica de  $N_2$  é um processo de grande demanda energética, e como o P tem um papel chave no metabolismo energético das células, a deficiência de P tem um impacto negativo no status energético dos nódulos (SA & ISRAEL, 1991). Plantas de soja dependentes da fixação de  $N_2$  apresentaram maior requerimento de P para obtenção de crescimento ótimo do que plantas supridas com nitrato em solução nutritiva (ISRAEL, 1987), e os parâmetros associados à fixação de  $N_2$  foram mais responsivos ao suprimento de P do que o próprio crescimento do hospedeiro (CASSMAN et al., 1980; ISRAEL, 1987). A deficiência de P pode reduzir a produção de biomassa do hospedeiro e a demanda pelo  $N_2$  fixado nos nódulos (ROBSON et al., 1981; SINGLETON et al., 1985). Altos teores de P em sementes estimularam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N por cultivares de feijoeiro, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo (TEIXEIRA et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002). Como o suprimento limitado de P causa atrasos no desenvolvimento da nodulação no feijoeiro (ARAÚJO & TEIXEIRA, 2000), o maior teor de P em sementes de feijão poderia aumentar a disponibilidade do nutriente em estádios iniciais de infecção e formação dos nódulos, particularmente sob condições de baixa disponibilidade de P (THOMSON et al., 1991).

O metal de transição Mo participa como cofator em quatro enzimas catalisadoras de reações redox em plantas, entre as quais estão a nitrato redutase e a nitrogenase presente em microrganismos diazotróficos (MENDEL & HÄNSCH, 2002). Em condições de baixa disponibilidade, o Mo é alocado preferencialmente nos nódulos, de forma a manter concentrações adequadas para a fixação de  $N_2$  (JACOB-NETO & FRANCO, 1989; BRODRICK & GILLER, 1991). Aplicações foliares de Mo causaram estímulos à nodulação e aumentos nas atividades da nitrogenase e da nitrato redutase, com conseqüentes aumentos na acumulação de N e no rendimento de grãos (VIEIRA et al., 1998a; OLIVEIRA et al., 1998; PESSOA et al., 2001). Um dos principais efeitos da aplicação foliar de Mo em feijoeiro consiste na manutenção de taxas adequadas de

fixação de N<sub>2</sub> em estádios tardios de crescimento (VIEIRA et al., 1998b; PESSOA et al., 2001). Em leguminosas, as sementes podem conter uma grande proporção das quantidades de nutrientes exigidas pelas culturas. Cultivares com capacidade de acumular molibdênio nas sementes podem ser usados para produção de sementes em solos que possuam quantidades favoráveis desse nutriente para serem utilizadas, posteriormente, em solos ácidos e com deficiência de Mo (FRANCO & MUNNS, 1981).

Desta forma, seria desejável a produção de sementes com altos teores de P e de Mo, para permitir o melhor estabelecimento da cultura e o estímulo à simbiose do feijoeiro com bactérias diazotróficas. A obtenção de sementes de feijão enriquecidas com P e Mo através do aumento das doses de adubo no solo pode aumentar proibitivamente o custo de produção de sementes, em virtude da elevada adsorção destes elementos nos solos tropicais. Por outro lado, a embebição de sementes com solução com P atrasou a germinação de sementes de cevada (ZHANG et al., 1990) e do próprio feijoeiro (TEIXEIRA et al., 1999).

O fornecimento de Mo através de pélete pode dificultar as trocas gasosas da semente, prejudicando a germinação, e diversas outras formas de aplicação de Mo têm sido descritas. Alguns autores afirmam que o melhor é aplicar o Mo no solo, antes do plantio (JOHANNES & GUNARTO, 1987; VARGAS & RAMIREZ, 1989); entretanto, em face da sua imobilização no solo, a sua eficiência seria muito inferior, requerendo, para isso, quantidades de Mo superiores em dez vezes às necessidades das culturas, para equiparar a eficiência com a de outros métodos.

Experimentos conduzidos na Embrapa Agrobiologia vêm buscando ajustar a metodologia de adubação foliar em feijoeiro visando o aumento do teor de P e Mo na semente. Testando combinações entre quatro concentrações de P no adubo foliar e seis estágios de aplicação em casa de vegetação, TEIXEIRA & ARAÚJO (1999) observaram que concentrações de 16 g P L<sup>-1</sup> foram prejudiciais à produção das sementes, e que pelo menos duas aplicações foliares foram necessárias para aumentar o teor de P nas sementes. Em condições de campo sob adequado suprimento de P no solo, duas aplicações foliares de solução com 10 g P L<sup>-1</sup> no estágio de início de formação das vagens causaram aumento na concentração de P nas sementes de duas cultivares de feijoeiro, sem afetar o rendimento das sementes (TEIXEIRA & ARAÚJO, 1999).

Diante do exposto, a adubação foliar constituiria uma alternativa tecnológica para elevar os teores de P e Mo nas sementes, pois estes nutrientes, quando absorvidos pelas folhas, podem ser transportados para outras partes da planta em curtos períodos de tempo (JACOB-NETO, 1985; JACOB-NETO & FRANCO, 1986; KANNAN, 1990; BRODRICK & GILLER, 1991).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade tecnológica de produção de sementes de feijão com maiores teores de P e de Mo através da adubação foliar, avaliando-se inclusive a pulverização simultânea destes elementos, sob diferentes condições de disponibilidade de P no solo.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, de setembro a dezembro de 2004, em um solo classificado como Argissolo vermelho amarelo, com baixa disponibilidade de P ( $2 \text{ mg P dm}^{-3}$ ), na Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença-RJ. Foi adotado um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 4 \times 3$  em parcelas subdivididas: nas parcelas foram testados dois níveis de P aplicados ao solo (0 e  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$ ), e nas subparcelas, quatro tratamentos de adubação foliar (sem adubação foliar, adubação foliar com P, adubação foliar com Mo, adubação foliar com P e Mo), e nas subsubparcelas três cultivares de distintas arquiteturas e tamanho de sementes (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi). As aplicações foliares foram efetuadas aos 52 e 71 dias após emergência, para cada tratamento, nas doses de  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$  (TEIXEIRA & ARAÚJO, 1999) e  $120 \text{ g Mo ha}^{-1}$  (PESSOA et al., 2000).

Análises de solo, efetuadas de acordo com EMBRAPA (1997), indicaram na amostra de 0-20 cm: pH em água 5,7,  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ Ca dm}^{-3}$ ,  $1,3 \text{ cmol}_c \text{ Mg dm}^{-3}$ ,  $0,0 \text{ cmol}_c \text{ Al dm}^{-3}$ ,  $305 \text{ mg K dm}^{-3}$ ,  $2 \text{ mg P dm}^{-3}$ , e textura franco argilo-arenosa (62 % de areia, 10 % de silte e 28 % de argila). Na amostra de 20-40 cm, indicaram: pH em água 5,6,  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ Ca dm}^{-3}$ ,  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ Mg dm}^{-3}$ ,  $0,0 \text{ cmol}_c \text{ Al dm}^{-3}$ ,  $300 \text{ mg K dm}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg P dm}^{-3}$ , textura franco argilo-arenosa (60 % de areia, 12 % de silte e 28 % de argila). O solo foi arado e gradeado, optando-se por não aplicar calcário, devido aos baixos valores de  $\text{Al}^{+3}$  trocável e adequados valores de  $\text{Ca} + \text{Mg}$  observados na análise de solo. As subsubparcelas ficaram com uma área de  $12 \text{ m}^2$ , com 6 linhas de 4 m de comprimento espaçadas 0,5 m entre si (Figura 1). Os fertilizantes foram colocados no fundo do sulco, nas doses de  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  como uréia,  $40 \text{ kg K ha}^{-1}$  como cloreto de potássio, e os níveis de P de cada tratamento (0 e  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) como superfosfato triplo moído. Foram semeadas 15 sementes por metro linear. Foi efetuada uma aplicação em cobertura de  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$  como uréia aos 30 DAE.

A adubação foliar foi efetuada com pulverizador costal. Nas parcelas que receberam adubação foliar com P, foram aplicados  $500 \text{ L ha}^{-1}$  de uma solução com  $10 \text{ g P L}^{-1}$  como  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , equivalente a uma dose de  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$ . Nas parcelas que receberam adubação foliar com Mo, foi aplicado  $500 \text{ L ha}^{-1}$  de uma solução com  $0,24 \text{ g Mo L}^{-1}$  como  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , equivalente a  $120 \text{ g Mo ha}^{-1}$ , na qual foi adicionado N para equiparar a dose de N aplicada na adubação foliar com P. De forma similar, nas parcelas que não receberam adubação foliar com P ou Mo, foi aplicada solução de uréia com dosagem de N equivalente à usada nos adubos foliares com P. Em todos os adubos foliares foi adicionado  $0,2 \text{ ml L}^{-1}$  de surfactante (Extravon). As pulverizações foram efetuadas no período final da tarde, para diminuir a possibilidade de danos causados por injúrias foliares (POOLE et al., 1983).

Foram realizadas duas pulverizações pós-emergência para o controle das plantas espontâneas: a primeira foi com o herbicida Robust, específico para feijoeiro, aos 10 DAE, a segunda com o herbicida Basagram para folhas largas, ao 30 DAE. Como o plantio foi realizado no período de outono-inverno, utilizou-se a irrigação por aspersão, sempre que necessário. Durante o período experimental, os parâmetros climatológicos, obtidos na Estação Climatológica da Embrapa Gado de Leite localizada na Sede da Fazenda Santa Mônica, distante cerca de 3 km do local do experimento, foram:

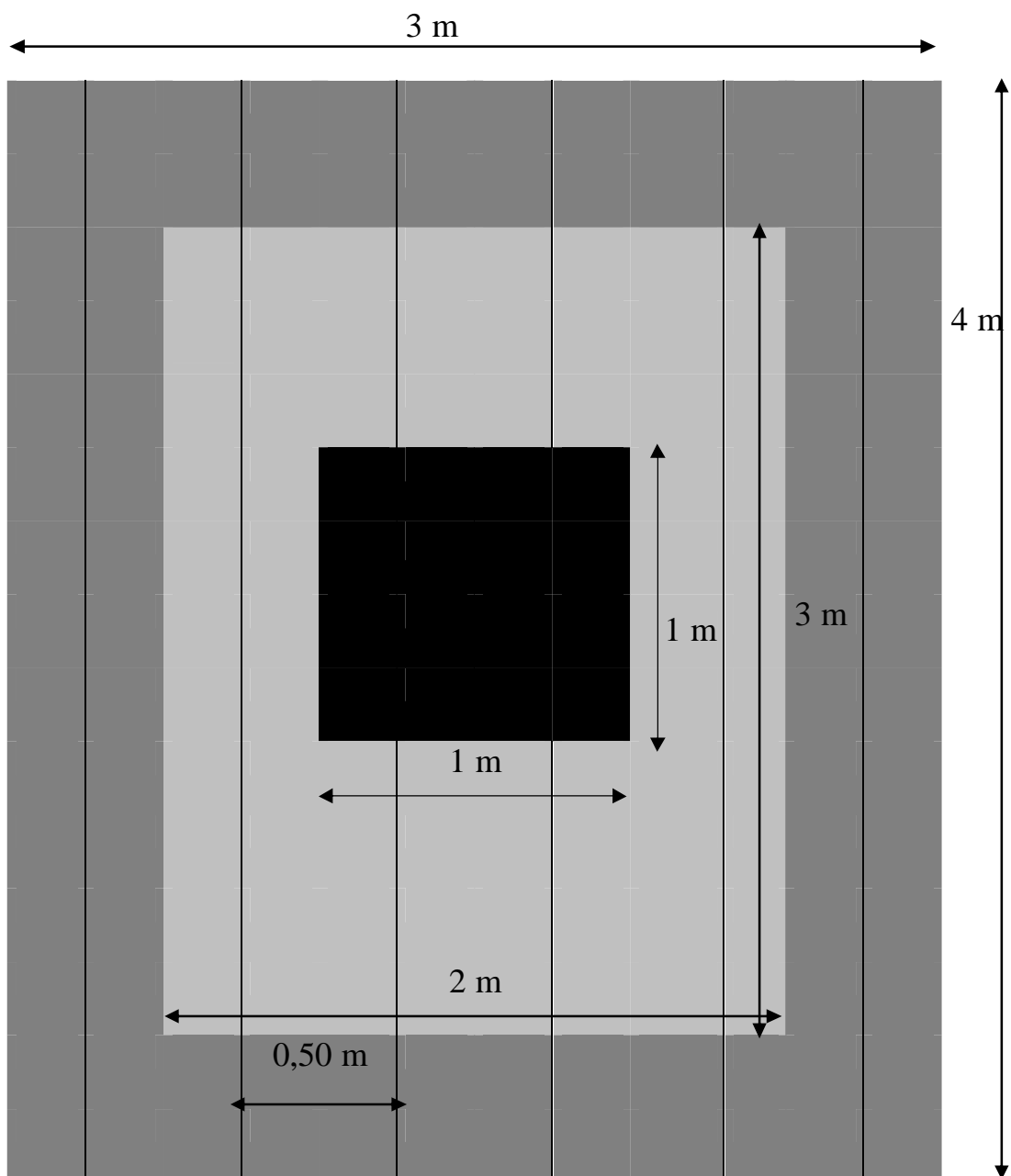
temperatura média de 23 °C, umidade relativa de 69%, evaporação de tanque classe A 4,6 mm dia<sup>-1</sup>.

Por ocasião da maturação, verificada aos 85 DAE para as cultivares Manteigão e Carioca, e aos 87 DAE para a cultivar Rio Tibagi, delimitou-se uma área de 1 m<sup>2</sup> entre as linhas centrais de cada subparcela (Figura 1), arrancando-se as plantas e acondicionando-as em saco de algodão até completar a secagem. Foram mensurados o número de plantas, o número de vagens, o número de sementes e a massa de sementes, calculando-se os componentes de produção (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e massa de 100 sementes). O caule e a palhada das vagens foram secos em estufa, pesados e moídos, sendo calculado o índice de colheita (razão entre a massa das sementes e a massa total de parte aérea). Nos 5 m<sup>2</sup> restantes da área útil da subparcela, utilizou-se igual procedimento adotado no m<sup>2</sup> das subparcelas, trilhando-se manualmente as plantas para determinação da produção das sementes.

Amostras das sementes da área central de 1 m<sup>2</sup> de cada subparcela foram secas em estufa, pesadas e moídas. Determinou-se o teor de umidade para padronização em 13 %. Nestas amostras foram determinados os teores de P por digestão nitro-perclórica e dosagem colorimétrica pelo molibdato de amônio, teor de N pelo método semi-micro Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1989), e o teor de Mo determinado por extrato de digestão nitro-perclórica, e espectrometria de emissão atômica com indução de plasma, tal com descrito a seguir: O molibdênio foi mineralizado por digestão nítrico-perclórica, de um grama de material vegetal, após adição de 3 mL de ácido nítrico-perclórico às amostras acondicionadas em tubos para digestão, ficando em repouso por 16 horas. Após este período, o material foi levado ao bloco digestor, em câmara com exaustão de gases, onde foram adicionados 2 mL de ácido nítrico-perclórico. Elevou-se a temperatura gradualmente até 200 °C, até completa mineralização do Mo. O resíduo mineral teve o volume completado até 25 mL com água ultrapura (18,3 Mohm's cm<sup>-2</sup> de resistividade) em balão volumétrico, acondicionados em tubos plásticos. Os extratos mineralizados foram utilizados para a determinação direta do teor de Mo no Laboratório de Análises de Solos e Plantas do Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA, na cidade do Rio de Janeiro, em aparelho ICP-EAS, marca Perkin-Elmer. O aparelho foi calibrado através da leitura de curva padrão, preparada em matriz aquosa. A máxima emissão do elemento Mo foi observada no comprimento de onda de 202 nm, no qual o limite mínimo para a detecção foi de 0,02 mg L<sup>-1</sup>.

Nos caules e palhada das vagens obtidos na área central de 1 m<sup>2</sup> de cada parcela, também foram determinados os teores de P por digestão nitro-perclórica e dosagem colorimétrica.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, avaliando-se os efeitos da adubação do solo, da adubação foliar (como subparcela), das cultivares (como subsubparcelas) e de suas interações. Foi efetuado um rearranjo da soma dos quadrados da análise de variância, de forma a obter um contraste entre tratamentos com adubação foliar (com P ou Mo) dentro de cada nível de P no solo e de cada cultivar, através do teste F com um grau de liberdade (NETER et al., 1990), utilizando uma planilha elaborada especificamente para esta análise no software Excel. Um exemplo desta análise de variância é apresentado na Tabela 18 no Anexo. As médias das cultivares, quando foi o caso, foram comparadas através do teste Tukey a 5%.



**Figura 1.** Esquema da amostragem em subsubparcelas do campo experimental, na Fazenda Santa Mônica.

	m <sup>2</sup> - Análise das sementes e componentes de produção.
	Restante- Produtividade
	Bordadura.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Rendimento de Grãos

Todas as cultivares apresentaram maior produção de sementes na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo em comparação à ausência de adubação, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 2). A adubação de P no solo acarretou aumento significativo do rendimento das sementes, de 217 para 269 g m<sup>-2</sup> para os níveis de 0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média das três cultivares, o que corresponde a um aumento de 24 %. Cabe ressaltar que a adição de P ao solo acelerou o ciclo da cultura, pois a colheita dos grãos foi efetuada aos 90 e 83 dias após a emergência, respectivamente, para os níveis de 0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>, na média das três cultivares e dos diferentes tratamentos de adubação foliar. Este resultado demonstra a importância do P na cultura do feijoeiro, já que o fósforo é o nutriente que mais tem aumentado a produção de grãos de feijão (MALAVOLTA, 1972). Considerando o cerrado, que é uma macrorregião pobre em fósforo, cálcio, magnésio, potássio, zinco e matéria orgânica o maior número de respostas positivas tem sido obtido com a aplicação de fósforo (OLIVEIRA et al., 1996). Nas médias dos dois níveis de P aplicados ao solo, a cultivar Carioca apresentou a maior produtividade, diferindo estatisticamente de Rio Tibagi e Manteigão (Tabela 2).

Não foi verificada diferença significativa no número de plantas entre os níveis de P aplicado ao solo e entre as cultivares, demonstrando uma homogeneidade na germinação das sementes e no estabelecimento da cultura (Tabela 2).

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo aumentou o número de vagens por planta das cultivares Carioca e Rio Tibagi, na média dos diferentes tratamentos de adubação foliar. O número de vagens foi o componente que mais influenciou o aumento de produtividade nas cultivares Carioca e Rio Tibagi. De fato, o componente de produção do feijoeiro mais afetado pela adubação é o número de vagens (DINIZ et al., 1995). A cultivar Rio Tibagi obteve o maior número de vagens por planta, seguida por Carioca que foi significativamente diferente de Manteigão (Tabela 2).

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo aumentou o número de sementes por vagem na cultivar Manteigão, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 2). Manteigão foi a cultivar que apresentou o menor número de sementes por vagem na média dos dois níveis de P aplicado ao solo, mas este é um dado normal, pois segundo VILHORDO & MULLER (1981) as cultivares do grupo manteigão, apesar de terem legumes maiores do que as dos demais grupos comerciais, apresentam menor número de sementes por vagem.

A cultivar Manteigão foi a única que apresentou aumento na massa de 100 sementes no nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar, e foi a cultivar que obteve a maior massa de 100 sementes, na média dos dois níveis de P aplicado ao solo (Tabela 2).

O aumento no rendimento das sementes observado na maior dose de P aplicado ao solo foi obtido de forma distinta pelas três cultivares: enquanto Manteigão apresentou aumento no número de sementes por vagem e na massa de 100 sementes na maior dose de P aplicado ao solo, sem variação no número de vagens por planta, as cultivares Carioca e Rio Tibagi tiveram aumento no número de vagens por planta, mas sem efeito no número de sementes por vagem e na massa de 100 sementes (Tabela 2).



Com exceção da cultivar Rio Tibagi, houve redução significativa do índice de colheita em todas as cultivares testadas, na dose de P aplicado ao solo de 50 kg P ha<sup>-1</sup>, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 2). Nas médias dos dois níveis de P aplicados ao solo, a cultivar Carioca apresentou o maior índice de colheita, enquanto as cultivares Rio Tibagi e Manteigão não diferiram entre si (Tabela 2). Isto confirma os resultados de Araújo & Teixeira (2003), que observaram que cultivares de feijoeiro de hábito prostrado (como Carioca), com menor massa de caule na maturação, apresentam maior índice de colheita que cultivares de hábito ereto (como Manteigão e Rio Tibagi), que apresentam caules mais rígidos e maior massa de caule na maturação.

**Tabela 2.** Produção de sementes e componentes de produção, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo.

Cultivares	0 kg P ha <sup>-1</sup>	50 kg P ha <sup>-1</sup>	Média	0 kg P ha <sup>-1</sup>	50 kg P ha <sup>-1</sup>	Média
	Produção de sementes (g m <sup>-2</sup> )			Número de plantas (m <sup>-2</sup> )		
Manteigão	214	249*	231 b	26,2	26,1	26,2
Carioca	245	298*	271 a	26,9	27,6	27,2
Rio Tibagi	194	261*	227 b	26,6	26,8	26,7
Média	217	269*		26,6	26,8	
CV (%)	16,60			6,13		
Número de vagens por planta			Número de sementes por vagem			
Manteigão	6,0	5,9	6,0 c	3,5	3,9*	3,7 c
Carioca	8,3	9,3*	8,8 b	4,5	4,7	4,6 b
Rio Tibagi	9,6	12,1*	10,9 a	5,0	4,9	5,0 a
Média	8,0	9,1*		4,3	4,5	
CV (%)	15,42			6,99		
Massa de 100 sementes (g)			Índice de colheita (g g <sup>-1</sup> )			
Manteigão	43,5	45,1*	44,3 a	0,56	0,52*	0,54 b
Carioca	26,1	25,2	25,7 b	0,67	0,63*	0,65 a
Rio Tibagi	17,3	17,7	17,5 c	0,56	0,55	0,56 b
Média	29,0	29,4		0,60	0,57*	
CV (%)	4,99			5,18		

\* Diferença significativa entre níveis de P no solo pelo teste F a 5%.

Letras comparam cultivares pelo teste Tukey a 5%.

Não houve diferença significativa na produção de sementes entre os diferentes tratamentos de adubação foliar, nos dois níveis de P aplicado ao solo, nas médias das três cultivares. Na média dos tratamentos de adubação foliar de P, a adubação foliar com Mo não acarretou aumento significativo na produção de sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo, nas médias das três cultivares (Tabela 3). Este dado discorda dos obtido por (PESSOA, 1998) que, em experimento de campo com aplicações foliares de Mo que variaram de 0 a 120 g Mo ha<sup>-1</sup>, aos 25 DAE, obtiveram aumento no rendimento de grãos.

Um fator importante a ser considerado é que as adubações foliares de P e Mo foram efetuadas tardiamente (52 e 71 dias após emergência), sendo assim, muito provavelmente estes nutrientes não foram utilizados para o aumento da produtividade,

pois o propósito do presente trabalho não foi de aumentar a produtividade, e sim de aumentar o conteúdo de P e Mo nas sementes. BURKIN (1971) adicionando Mo via foliar no período de enchimento de grãos em feijão, verificou que esta adição não estimulou os processos fisiológicos da planta.

A adubação foliar com P e Mo não acarretou efeito significativo sobre o número de plantas, número de vagens por planta, número de sementes por vagem e o índice de colheita, nas médias de três cultivares, nos dois níveis de P aplicado ao solo, resultado esperado, pois a adubação foliar com P e Mo não acarretou aumento de produtividade (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produção de sementes e componentes de produção, de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de três cultivares

	0 kg P ha <sup>-1</sup>			50 kg P ha <sup>-1</sup>		
	Sem P	Com P	Média	Sem P	Com P	Média
Produção de sementes (g m <sup>-2</sup> )						
Sem Mo	224	208	216	266	263	264
Com Mo	225	212	219	266	283	274
Média	225	210		266	273	
Número de plantas (m <sup>-2</sup> )						
Sem Mo	26,8	26,6	26,7	28,1	26,3	27,2
Com Mo	27,1	25,8	26,5	26,4	26,6	26,5
Média	26,9	26,2		27,3	26,4	
Número de vagens por planta						
Sem Mo	8,2	7,9	8,1	9,0	9,5	9,2
Com Mo	7,6	8,3	7,9	8,8	9,2	9,0
Média	7,9	8,1		8,9	9,3	
Número de sementes por vagem						
Sem Mo	4,4	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5
Com Mo	4,5	4,3	4,4	4,6	4,6	4,6
Média	4,4	4,3		4,5	4,6	
Massa de 100 sementes (g)						
Sem Mo	29,3	28,1 b	28,7	28,9	29,7	29,3
Com Mo	29,0	29,6 a	29,3	29,3	29,6	29,4
Média	29,1	28,9		29,1	29,7	
Índice de colheita (g g <sup>-1</sup> )						
Sem Mo	0,61	0,59	0,60	0,57	0,57	0,57
Com Mo	0,60	0,61	0,60	0,56	0,57	0,57
Média	0,60	0,60		0,57	0,57	

\* Diferença significativa entre adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

### 3.3.2 Teores de N e P nas Sementes

O teor de N nas sementes não foi influenciado pelos níveis de P aplicado ao solo, nas três cultivares (Tabela 4). Nas médias dos dois níveis de P aplicado ao solo, as

cultivares Manteigão e Rio Tibagi apresentaram maior teor de N nas sementes que a cultivar Carioca (Tabela 4).

A adubação de P no solo acarretou aumento significativo no conteúdo de N nos grãos, de 6,21 para 7,41 g N m<sup>-2</sup> para os níveis de 0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média das diferentes cultivares (Tabela 4). Este aumento no conteúdo de N foi devido à maior produtividade apresentada no nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup>, já que os teores de N nas sementes não foram afetados pela aplicação de P no solo (Tabela 4). O P é de grande importância na absorção do N do solo, um vez que a redução do nitrato em amônia é um processo que requer muita energia e é fundamental na fosforilação da serina, que é uma enzima responsável pela regulação da nitrato redutase (PROVAN et al., 2006).

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo aumentou o conteúdo de N nas sementes nas cultivares Carioca e Rio Tibagi, na média dos diferentes tratamentos de adubação foliar. Não houve diferença significativa no conteúdo de N nas sementes entre as cultivares, nas médias dos dois níveis de P aplicados ao solo (Tabela 4).

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo aumentou o teor de P nas sementes, nas cultivares Carioca e Rio Tibagi, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar. A cultivar Rio Tibagi apresentou maior teor de P nas sementes que as cultivares Manteigão e Carioca, na média dos dois níveis de P aplicado ao solo (Tabela 4).

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo também aumentou o conteúdo de P por m<sup>2</sup> nas sementes em todas as cultivares, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 4). Nas médias dos dois níveis de P aplicado ao solo, as cultivares Carioca e Rio Tibagi apresentaram maior capacidade de acumulação de P nas sementes, quando comparado com a cultivar Manteigão (Tabela 4). YAN et al. (1995) demonstraram que genótipos de feijoeiro diferem quanto à eficiência no uso do P para o crescimento e a produção. Esta variação de eficiência no uso de P por diferentes genótipos pode ser um critério útil de seleção para cultivo em que o suprimento de P é limitante (ARAÚJO et al., 1998).

**Tabela 4.** Teor e conteúdo de N e P nas sementes, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo.

Cultivar	0 kg P há <sup>-1</sup> 50 kg P ha <sup>-1</sup> Média			0 kg P ha <sup>-1</sup> 50 kg P ha <sup>-1</sup> Média		
	Teor de N (mg N g <sup>-1</sup> )			Conteúdo de N (g N m <sup>-2</sup> )		
Manteigão	31,5	32,2	31,8 a	6,33	7,27	6,80 a
Carioca	27,6	28,6	28,1 b	6,21	7,44*	6,82 a
Rio Tibagi	32,4	30,9	31,6 a	6,09	7,54*	6,81 a
Média	30,5	30,6		6,21	7,41*	
CV (%)	7,19			21,58		
Cultivar	0 kg P há <sup>-1</sup> 50 kg P ha <sup>-1</sup> Média			0 kg P ha <sup>-1</sup> 50 kg P ha <sup>-1</sup> Média		
	Teor de P (mg P g <sup>-1</sup> )			Conteúdo de P (g P m <sup>-2</sup> )		
Manteigão	3,19	3,41	3,30 b	0,64	0,77*	0,71 b
Carioca	3,29	3,71*	3,50 b	0,74	0,96*	0,85 a
Rio Tibagi	3,69	3,97*	3,83 a	0,68	0,96*	0,82 a
Média	3,39	3,70		0,69	0,90*	
CV (%)	10,87			20,36		

\* Diferença significativa entre níveis de P no solo pelo teste F a 5%.

Letras comparam cultivares pelo teste Tukey a 5%.

A adubação foliar com P reduziu o teor de N nas sementes, no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, entretanto, esta redução só foi significativa na presença de Mo na adubação foliar (Tabela 5). Na média dos tratamentos de adubação foliar de P, a adubação foliar com Mo não modificou o teor de N nas sementes, nos dois níveis de P aplicados ao solo. No nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo não houve efeitos dos diferentes tratamentos de adubação foliar sobre o teor de N nas sementes, na média das três cultivares (Tabela 5), indicando que a adubação foliar tardia de P e Mo não trouxe efeito sobre o metabolismo de N e conseqüentemente não afetando a produtividade. Na média dos tratamentos de adubação foliar de Mo, a adubação foliar com presença de P não modificou o teor de N nas sementes (Tabela 5).

Os diferentes tratamentos de adubação foliar não provocaram diferenças significativas no conteúdo de N nas sementes em nenhum dos níveis de P aplicado ao solo, nas médias de três cultivares (Tabela 5). Na média de adubação foliar de P, a adubação foliar com Mo não modificou o teor de N nas sementes e na média dos tratamentos de adubação foliar de Mo, o tratamento de adubação foliar com P não apresentou aumento no conteúdo de N nas sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo (Tabela 5).

A adubação foliar com P aumentou o teor de P nas sementes, na ausência ou presença de adubação foliar com Mo, mas este aumento foi significativo apenas no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, nas médias de três cultivares (Tabela 5). Na média dos tratamentos de adubação foliar de Mo, o tratamento de adubação de P aumentou o teor de P nas sementes, no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo e não apresentou diferença significativa na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 5). Não foi observada diferença significativa entre os diferentes tratamentos de adubação foliar, sobre o teor de P nas sementes, na média das três cultivares, na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 5). Esse efeito pode estar associado ao fato de que a capacidade de absorção foliar, em igualdade de condições ambientais pode ser limitada pela quantidade do elemento já contido nas folhas. Assim, sabe-se que as plantas deficientes em P absorvem o elemento mais rapidamente através das folhas do que as cultivadas em meio rico em P (MALAVOLTA, 1980). Um alto nível de P no sistema vascular pode também retardar o transporte a partir das folhas, em vez de influenciar a absorção propriamente dita (MALAVOLTA, 1980). Isto contradiz resultados anteriores, onde a adubação foliar aumentou os teores de P nas sementes de feijoeiro apenas no nível mais alto de P aplicado ao solo (TEIXEIRA & ARAÚJO, 2002).

A adubação foliar com P aumentou o conteúdo de P por m<sup>2</sup> nas sementes, na presença de Mo na adubação foliar, independente dos níveis de P aplicado ao solo, nas médias de três cultivares (Tabela 5). Nas médias dos tratamentos de adubação foliar de Mo, a adubação foliar com presença de P, apresentou maior conteúdo de P por m<sup>2</sup> nas sementes, na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 5).

Observa-se que na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> a adubação foliar com P aumentou o conteúdo de P por m<sup>2</sup> nos grãos sem aumentar o teor (Tabela 5), pois houve um pequeno aumento (não significativo) na produção de sementes (Tabela 3), ou seja, houve uma diluição do P nas sementes.

**Tabela 5.** Teor e conteúdo de N e P nas sementes, de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de três cultivares.

	0 kg P ha <sup>-1</sup>			50 kg P ha <sup>-1</sup>		
	Sem P	Com P	Média	Sem P	Com P	Média
	Teor de N (mg N g <sup>-1</sup> )					
Sem Mo	31,1	29,3	30,2	30,5	30,4	30,4
Com Mo	32,2	29,3*	30,7	29,9	31,5	30,7
Média	31,7	29,3*		30,2	30,9	
	Conteúdo de N (g N m <sup>-2</sup> )					
Sem Mo	6,56	5,61	6,08	7,42	7,41	7,41
Com Mo	6,68	5,99	6,33	6,93	7,89	7,41
Média	6,62	5,80		7,18	7,65	
	Teor de P (mg P g <sup>-1</sup> )					
Sem Mo	3,03	3,64*	3,33	3,49	3,77	3,63
Com Mo	3,19	3,71*	3,45	3,68	3,86	3,77
Média	3,11	3,67*		3,58	3,82	
	Conteúdo de P (g P m <sup>-2</sup> )					
Sem Mo	0,64	0,68	0,66	0,86	0,92	0,89
Com Mo	0,66	0,76*	0,71	0,85	0,96*	0,90
Média	0,65	0,72		0,85	0,94*	

\* Diferença significativa entre adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

A adubação foliar com P reduziu o teor de N nas sementes, na presença de Mo na adubação foliar, na cultivar Manteigão, na dose de 0 kg P ha<sup>-1</sup>. No nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, não houve nenhuma diferença significativa entre os diferentes tratamentos de adubação foliar sobre o teor de N nas sementes (Tabela 6).

Na cultivar Carioca, não houve diferença significativa no teor de N nas sementes, entre os diferentes tratamentos de adubação foliar, independente dos níveis de P aplicado ao solo. Também, não apresentou diferença significativa nas media dos tratamentos de adubação foliar de Mo e P.

O teor de N nas sementes foi reduzido quando da aplicação de P foliar na cultivar Rio Tibagi, independente da adubação foliar com Mo, no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo. Na média dos tratamentos de adubação de Mo, o tratamento de adubação foliar com P reduziu o teor de N nas sementes. No nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, houve um aumento no teor de N nas sementes, nas plantas que receberam adubação foliar com P, na presença de adubação foliar com Mo (Tabela 6).

No nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, a adubação foliar com P aumentou significativamente o teor de P nas sementes das cultivares Manteigão e Carioca, na presença ou ausência de adubação foliar de Mo. Na cultivar Rio Tibagi a adubação foliar com P aumentou significativamente o teor de P nas sementes apenas na presença de Mo na adubação foliar (Tabela 7).

Na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, a cultivar Manteigão teve um aumento no teor de P, na adubação foliar com P e na ausência de Mo. A cultivar Rio Tibagi teve um aumento no teor de P, na adubação foliar com P, na presença de Mo (Tabela 7). A cultivar Carioca não apresentou diferença significativa entre os diferentes tratamentos

de adubação foliar, sobre o teor de P nas sementes, na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 7).

**Tabela 6.** Teor de N nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>).

Cultivar	0 kg P ha <sup>-1</sup>			50 kg P ha <sup>-1</sup>		
	Sem P	Com P	Média	Sem P	Com P	Média
Teor de N (mg N g <sup>-1</sup> )						
<b>Manteigão</b>						
Sem Mo	32,1	29,5	30,8	32,4	32,7	32,6
Com Mo	33,5	30,6*	32,1	31,2	32,6	31,9
Média	32,8	30,1*		31,8	32,6	
<b>Carioca</b>						
Sem Mo	27,2	28,3	27,8	28,7	27,7	28,2
Com Mo	27,2	27,8	27,5	29,1	29,0	29,1
Média	27,2	28,0		28,9	28,4	
<b>Rio Tibagi</b>						
Sem Mo	34,0	30,2*	32,1	30,4	30,7	30,5
Com Mo	36,0	29,3*	32,7	29,4	33,0*	31,2
Média	35,0	29,7*		29,9	31,8	

\* Diferença significativa entre adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

Os aumentos dos teores de P nas sementes obtidas pela adubação foliar com P foram de pequena magnitude: 2,86 para 3,53 mg P g<sup>-1</sup> para a cultivar Manteigão, 2,99 para 3,58 mg P g<sup>-1</sup> para a cultivar Carioca, 3,48 para 3,90 mg P g<sup>-1</sup> para a cultivar Rio Tibagi, todos no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 7). Como exemplo, para a cultivar Manteigão, este aumento de 0,67 mg P g<sup>-1</sup>, corresponde a 0,17 mg P semente<sup>-1</sup>, e considerando a densidade de plantio de 240.000 sementes ha<sup>-1</sup>, o aumento no teor de P corresponde a 40,8 g P ha<sup>-1</sup> altamente disponível para planta. Apesar de 0,17 mg P semente<sup>-1</sup> parecer pouco expressivo, quando comparado com valores de P absorvido por plantas aos 20 dias, que foi de 0,87 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 0 mg P kg de solo, 1,50 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 30 mg P kg de solo e 2,49 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 60 mg P kg de solo (ARAÚJO et al., 2002), e aos 36 dias, que foi de 0,82 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 15 mg P kg de solo, 1,06 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 30 mg P kg de solo e 1,54 mg P planta<sup>-1</sup> para dose de 45 mg P kg de solo (TEIXEIRA et al., 1999), este aumento passa a assumir uma grande importância (Tabela 8), representando um aumento de cerca de 20% no conteúdo de P absorvido por uma planta de feijoeiro no início do crescimento.

Como o suprimento limitado de P causa atrasos no desenvolvimento da nodulação no feijoeiro (ARAÚJO & TEIXEIRA, 2000), o maior teor de P em sementes de feijão poderia aumentar a disponibilidade do nutriente em estádios iniciais de infecção e formação dos nódulos, particularmente sob condições de baixa disponibilidade de P (THOMSON et al., 1991). Segundo TEIXEIRA et al. (1999) e ARAÚJO et al. (2002), altos teores de P em sementes estimularam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N de cultivares de feijoeiro, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo.

No nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, a adubação foliar com P aumentou o conteúdo de P por semente da cultivar Manteigão, na presença ou ausência de adubação foliar de Mo (Tabela 7). No nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, a adubação foliar com P aumentou o conteúdo de P por semente da cultivar Manteigão, apenas na ausência de adubação foliar de Mo. Não houve diferença significativa no conteúdo de P por semente, nas médias dos tratamentos de adubação foliar de P e Mo, nos dois níveis de P aplicados ao solo (Tabela 7).

A adubação foliar com P aumentou o conteúdo de P por semente na cultivar Carioca, na presença de Mo na adubação foliar, na dose de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, mas este aumento não foi observado na dose de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 7).

Não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos de adubação foliar, sobre o conteúdo de P por sementes, nas duas doses de P aplicado ao solo, na cultivar Rio Tibagi (Tabela 7).

**Tabela 7.** Teor e conteúdo de P nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P e Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>).

Cultivar	0 kg P ha <sup>-1</sup>			50 kg P ha <sup>-1</sup>		
	Sem P	Com P	Média	Sem P	Com P	Média
Teor de P (mg P g <sup>-1</sup> )						
Manteigão						
Sem Mo	2,79	3,38*	3,08	2,89	3,64*	3,26
Com Mo	2,94	3,68*	3,31	3,48	3,64	3,56
Média	2,86	3,53*		3,19	3,64*	
Carioca						
Sem Mo	3,00	3,49*	3,25	3,63	3,66	3,64
Com Mo	2,98	3,68*	3,33	3,76	3,82	3,79
Média	2,99	3,58*		3,69	3,74	
Rio Tibagi						
Sem Mo	3,31	4,03*	3,67	3,96	4,02	3,99
Com Mo	3,65	3,77	3,71	3,79	4,13*	3,96
Média	3,48	3,90*		3,87	4,08	
CV (%)						
Conteúdo de P (mg P semente <sup>-1</sup> )						
Manteigão						
Sem Mo	1,23	1,40*	1,31	1,27	1,68*	1,47
Com Mo	1,31	1,61*	1,46	1,57	1,64	1,61
Média	1,27	1,50		1,42	1,66	
Carioca						
Sem Mo	0,76	0,91	0,84	0,90	0,94	0,92
Com Mo	0,76	1,01*	0,88	0,93	0,97	0,95
Média	0,76	0,96		0,92	0,96	
Rio Tibagi						
Sem Mo	0,60	0,66	0,63	0,71	0,70	0,70
Com Mo	0,62	0,66	0,64	0,67	0,74	0,71
Média	0,61	0,66		0,69	0,72	

\* Diferença significativa entre adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

**Tabela 8** Alguns valores de conteúdo de P (mg P planta<sup>-1</sup>) em feijoeiro em diferentes épocas e níveis de P no solo encontrados na literatura, e a possível contribuição das sementes com alto teor de P para o aumento do conteúdo de P destas plantas.

Época (DAE)	Conteúdo de P (mg P planta <sup>-1</sup> )	Nível de P no solo	Aumento (%)	Referência
20	0,87	Baixo	20%	ARAÚJO et al. (2002)
20	1,50	Médio	11%	ARAÚJO et al. (2002)
36	0,82	Baixo	21%	TEIXEIRA et al. (1999)
36	1,06	Médio	16%	TEIXEIRA et al. (1999)

O nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo aumentou o conteúdo de P no caule e o conteúdo de P total (caules, palhada das vagens e sementes), em todas as cultivares, na média dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 9).

Com exceção da Manteigão, todas as cultivares apresentaram um aumento no conteúdo de P na palhada da vagem, no nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar. Na média das cultivares, houve um aumento do conteúdo de P na palhada da vagem, no nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 9). A adubação de P no solo acarretou aumento significativo no conteúdo de P total, de 0,97 para 1,32 g P m<sup>-2</sup> para os níveis de 0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média das diferentes cultivares (Tabela 9).

**Tabela 9.** Conteúdo de P nos caules, palhada das vagens e total (incluindo sementes), e índice de colheita de P, de três cultivares de feijoeiro sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de quatro tratamentos de adubação foliar com P e Mo.

Cultivar	0 kg P ha <sup>-1</sup>	50 kg P ha <sup>-1</sup>	Média	0 kg P ha <sup>-1</sup>	50 kg P ha <sup>-1</sup>	Média
	Conteúdo de P no caule (g P m <sup>-2</sup> )			Conteúdo de P na vagem (g P m <sup>-2</sup> )		
Manteigão	0,23	0,32*	0,27 a	0,11	0,13	0,12
Carioca	0,13	0,21*	0,17 b	0,09	0,14*	0,12
Rio Tibagi	0,19	0,33*	0,26 a	0,10	0,14*	0,12
Média	0,18	0,28*		0,10	0,13*	
CV (%)	45,62			33,91		
	Conteúdo de P total (g P m <sup>-2</sup> )			Índice de colheita de P (g P g <sup>-1</sup> P)		
Manteigão	0,98	1,22*	1,10	0,66	0,64	0,65 c
Carioca	0,96	1,31*	1,13	0,77	0,73	0,75 a
Rio Tibagi	0,97	1,42*	1,20	0,70	0,68	0,69 b
Média	0,97	1,32*		0,71	0,68	
CV (%)	19,81			8,85		

\* Diferença significativa entre níveis de P no solo pelo teste F a 5%.

Letras comparam cultivares pelo teste Tukey a 5%.

No índice de colheita de P não foi observado diferença significativa entre os dois níveis de P aplicado ao solo, nas médias dos diferentes tratamentos de adubação foliar (Tabela 9). A cultivar Carioca obteve o maior índice de colheita de P, nas médias dos dois níveis de P aplicado ao solo. Pode-se observar que a cultivar Carioca, quando comparada com as outras cultivares, apresentou um menor conteúdo de P no caule, o



mesmo conteúdo de P na vagem e o maior conteúdo de P nas sementes por  $m^{-2}$  (Tabela 4), tornando-a a cultivar com a maior proporção de P acumulado na semente. As cultivares Carioca, Rio Tibagi e Manteigão apresentaram respectivamente 78, 68 e 65% do P total acumulado nas sementes (Tabela 9).

No nível de  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  aplicado ao solo, as plantas que receberam adubação foliar com P, apresentaram um aumento no conteúdo de P total, nas médias de três cultivares e dos dois tratamentos de adubação foliar de Mo (Tabela 10). Nas médias dos níveis de P aplicados ao solo, as plantas que receberam adubação foliar com P aumentaram o conteúdo de P total (Tabela 10). O aumento no conteúdo de P total ocasionado pela adubação foliar de P foi de  $0,1 \text{ g P m}^{-2}$ , o que significa um aumento de  $1 \text{ kg P ha}^{-1}$ , que corresponde a 10% da adubação foliar de P, pois a adubação foliar total foi de  $10 \text{ kg P ha}^{-1}$ . Isto demonstra que apenas 10% do P aplicado via foliar estava presente nas plantas quando da maturação dos grãos. Não se pode afirmar se a eficiência da adubação foliar foi baixa, pois o P aplicado que ficou nas folhas senescentes não foi quantificado neste experimento.

**Tabela 10.** Conteúdo de P total (incluindo sementes) de plantas de feijoeiro que receberam ou não adubação foliar com P, sob dois níveis de P aplicado ao solo ( $0$  e  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$ ); médias de três cultivares e dois tratamentos de adubação foliar com Mo.

	Conteúdo de P total ( $\text{g P m}^{-2}$ )		
	$0 \text{ kg P ha}^{-1}$	$50 \text{ kg P ha}^{-1}$	Média
Sem P	0,929	1,261 b	1,095 b
Com P	1,015	1,369 a	1,192 a
Média	0,972	1,315*	

\* Diferença significativa entre níveis de P no solo pelo teste F a 5%.

Letras comparam adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

### 3.3.3 Teores de Mo nas Sementes

O método de determinação do teor de Mo utilizado (indução de plasma) não foi capaz de detectar o teor de Mo nas sementes que não receberam adubação foliar com Mo, cujos teores ficaram abaixo de  $0,02 \mu\text{g Mo g}^{-1}$ . Sendo assim, são aqui apresentados apenas os resultados das plantas que receberam adubação foliar com Mo (Tabela 11). Isso evidencia a importância do estudo de métodos adequados para a determinação desse nutriente em análises de rotina para a interpretação de níveis críticos, não só para a cultura do feijoeiro, como também para as demais culturas.

A cultivar Rio Tibagi apresentou uma diminuição significativa no teor de Mo nas sementes, na dose de  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  aplicado ao solo, nas médias dos dois tratamentos de adubação foliar de P, ao mesmo tempo foi a cultivar que obteve o maior teor de Mo nas sementes, na média dos dois níveis de P aplicado ao solo (Tabela 11).

Não houve diferença significativa no conteúdo de Mo por semente e por  $m^2$  entre os níveis de P aplicado ao solo. Na média das doses de P aplicado ao solo, a cultivar Manteigão apresentou o maior conteúdo de Mo por semente (Tabela 11), pois é uma cultivar que apresenta grande massa por semente (Tabela 2) e Rio Tibagi foi a cultivar que obteve o maior conteúdo de Mo por  $m^2$  nas sementes (Tabela 11).

**Tabela 11.** Teor e conteúdo de Mo nas sementes, de três cultivares de feijoeiro que receberam adubação foliar com Mo, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P ha<sup>-1</sup>); médias de dois tratamentos de adubação foliar com P.

Cultivar	0 kg P ha <sup>-1</sup>	50 kg P ha <sup>-1</sup>	Média
Teor de Mo (µg Mo g <sup>-1</sup> )			
Manteigão	8,0	7,2	7,6 b
Carioca	8,7	8,9	8,8 b
Rio Tibagi	14,1	11,2*	12,6 a
Média	10,3	9,1	
CV (%)	44,41		
Conteúdo de Mo (µg Mo semente <sup>-1</sup> )			
Manteigão	3,5	3,3	3,4 a
Carioca	2,3	2,2	2,2 b
Rio Tibagi	2,4	2,0	2,2 b
Média	2,7	2,5	
CV (%)	65,11		
Conteúdo de Mo (mg Mo m <sup>-2</sup> )			
Manteigão	1,8	1,7	1,7 b
Carioca	1,9	2,0	1,9 b
Rio Tibagi	2,6	2,8	2,7 a
Média	2,1	2,2	
CV (%)	49,90		

\* Diferença significativa entre níveis de P no solo pelo teste F a 5%.

Letras comparam cultivares pelo teste Tukey a 5%.

A adubação foliar com P reduziu o teor de Mo nas sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo, para todas as cultivares, exceto para a cultivar Manteigão no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo (Tabela 12). Na média dos tratamentos de adubação foliar de P, a cultivar Rio Tibagi apresentou o maior teor de Mo nas sementes. No nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo, a cultivar Rio Tibagi diferenciou-se da cultivar Manteigão, porém a cultivar Manteigão não se diferenciou da cultivar Carioca. Segundo BRODRICK & GILLER (1991), existem diferenças entre cultivares quanto à absorção, ao armazenamento e à distribuição do Mo nas plantas.

Todas as cultivares apresentaram uma redução no conteúdo de Mo por semente, quando receberam adubação foliar com P, independente do nível de P aplicado ao solo (Tabela 12). Isto indica uma possível competição entre o P e o Mo no processo de absorção pelas folhas e translocação das folhas para as sementes, já que evidências indicam que a absorção de molibdato ao nível de membrana celular ocorre pelo mesmo sistema de absorção do fosfato (MENDEL & HÄNSCH, 2002). Na média dos tratamentos de adubação foliar de P, a cultivar Manteigão apresentou o maior conteúdo de Mo por sementes, nos dois níveis de P aplicados ao solo.

A adubação foliar com P reduziu o conteúdo de Mo por m<sup>2</sup> nas sementes, nos dois níveis de P aplicado ao solo, para todas as cultivares, exceto para a cultivar Manteigão no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo. Na média dos tratamentos foliares de P, as cultivares não apresentaram diferença significativa no conteúdo por m<sup>2</sup> de Mo nas sementes, no nível de 0 kg P ha<sup>-1</sup>, mas no nível de 50 kg P ha<sup>-1</sup> aplicado ao solo a cultivar Rio Tibagi diferenciou-se estatisticamente da cultivar Manteigão, porém a cultivar Manteigão não se diferenciou da cultivar Carioca (Tabela 12).

A adubação foliar sem P apresentou conteúdo de Mo por sementes muito próximo dos encontrado na literatura e considerados suficientes por JACOB NETO & FRANCO (1986), que propuseram que o conteúdo de 3,51  $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$  é suficiente para o feijoeiro se desenvolver sem adubação complementar de Mo no solo (Tabela 13). Para obter esse conteúdo, os referidos autores aplicaram 200 g Mo  $\text{ha}^{-1}$ , via foliar, parcelado em cinco aplicações. Entretanto, dependendo das condições edafoclimáticas e da própria planta, pode ocorrer efeito tóxico quando se utilizam altas doses de Mo, que, embora possam elevar o conteúdo de Mo nas sementes, ao mesmo tempo podem diminuir a produtividade (JACOB NETO & ROSSETO, 1998). A cultivar Manteigão mostrou-se com grande capacidade de acumular molibdênio, 3,5 e 3,3  $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$ , nos níveis de 0 e 50 kg P  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 12). Solos que possuem quantidades favoráveis de Mo podem ser utilizados para a produção de sementes, particularmente para cultivares com capacidade de acumular Mo nas sementes, com vistas ao plantio em solos ácidos e com deficiência de Mo (FRANCO & MUNNS, 1981).

Apesar de não se dispor de valores precisos do teor de Mo nas sementes das plantas que não receberam adubação foliar com Mo, pode-se admitir que os teores de Mo nas sementes foram menores do que 0,02  $\mu\text{g Mo g}^{-1}$ . Os teores médios de 9,7  $\mu\text{g Mo g}^{-1}$  nas plantas sob adubação foliar, demonstram o potencial da adubação foliar em elevar os teores de Mo nas sementes e a grande capacidade de translocação e armazenamento nestes órgãos.

**Tabela 12.** Teor e conteúdo de Mo nas sementes de três cultivares de feijoeiro que receberam adubação foliar com Mo, na ausência ou presença de adubação foliar com P, sob dois níveis de P aplicado ao solo (0 e 50 kg P  $\text{ha}^{-1}$ )

Cultivar	0 kg P $\text{ha}^{-1}$			50 kg P $\text{ha}^{-1}$		
	Sem P	Com P	Média	Sem P	Com P	Média
Teor de Mo ( $\mu\text{g Mo g}^{-1}$ )						
Manteigão	9,5	6,6	8,0 b	9,5	4,9*	7,2 b
Carioca	11,5	5,9*	8,7 b	12,4	5,4*	8,9 ab
Rio Tibagi	19,8	8,4*	14,1 a	14,5	7,9*	11,2 a
Média	13,6	7,0*		12,1	6,1*	
Conteúdo de Mo ( $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$ )						
Manteigão	4,2	2,9*	3,5 a	4,3	2,2*	3,3 a
Carioca	2,9	1,6*	2,3 b	3,1	1,4*	2,2 b
Rio Tibagi	3,4	1,5*	2,4 b	2,6	1,4*	2,0 b
Média	3,5	2,0*		3,3	1,7*	
Conteúdo de Mo ( $\text{mg Mo m}^{-2}$ )						
Manteigão	2,1	1,4	1,8 a	2,2	1,2*	1,7 b
Carioca	2,5	1,2*	1,9 a	2,8	1,3*	2,0 ab
Rio Tibagi	3,5	1,6*	2,6 a	3,5	2,0*	2,8 a
Média	2,7	1,4*		2,8	1,5*	

\* Diferença significativa entre adubações foliares com P pelo teste F a 5%.

Letras comparam cultivares pelo teste Tukey a 5%.

**Tabela 13.** Alguns valores de conteúdo de Mo ( $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$ ) em sementes de feijoeiro encontrados na literatura.

Condições de obtenção das sementes	Conteúdo ( $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$ )	Referência
Aplicações foliares de 200 g Mo ha <sup>-1</sup>	3,5	JACOB NETO & FRANCO (1986)
Em diferentes localidades da África.	0,002-9,3	BRODRICK et al., (1995)
Não relatado	0,17-0,97	FERREIRA et al. (2003)
Não relatado	0,13-2,1 (Cultivar BAT 1297)1,41-7,3 (Cultivar Canadian Wonder)	BRODRICK & GILLER, 1991
Aplicações foliares entre 0 e 120 g Mo ha <sup>-1</sup>	0,174-0,522	PESSOA et al. (2001)

### 3.4 CONCLUSÕES

A adubação foliar com P ou Mo, aplicados em estádios tardios de crescimento, não afetou o rendimento de grãos das cultivares de feijoeiro.

A adubação foliar com Mo forneceu teores médios de  $9,7 \mu\text{g Mo g}^{-1}$  nas sementes, enquanto as plantas que não receberam adubação foliar com Mo apresentaram teores nas sementes próximos ao limite inferior de detecção do equipamento, em torno de  $0,02 \mu\text{g Mo g}^{-1}$ .

A adubação foliar com P elevou os teores de P nas sementes de plantas crescidas em solos com baixa disponibilidade de P.

Foi identificado um possível efeito de competição entre o P e o Mo quando da absorção pelas folhas e transporte para as sementes, que acarretou redução no teor de Mo nas sementes quando da presença de adubação foliar com P.

**4. CAPÍTULO II - EFEITO DO AUMENTO DO TEOR DE MOLIBDÊNIO  
EM SEMENTES NO CRESCIMENTO E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE  
NITROGÊNIO DE TRÊS CULTIVARES DE FEJJOEIRO**

## RESUMO

Plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) originadas de sementes com alto teor de Mo absorvem muito pouco Mo do solo durante seu crescimento, e mantém a atividade da nitrogenase similar à de plantas que recebem Mo nas raízes. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas através da adubação foliar, no crescimento e fixação biológica de nitrogênio de três cultivares de feijoeiro. O experimento, conduzido em casa de vegetação, teve delineamento em blocos ao acaso com cinco repetições, em um fatorial 3×2×2: três cultivares de feijoeiro (Manteigão, Carioca e Rio Tibagi), dois teores de Mo na semente (baixo e alto teor de Mo), e duas épocas de coleta (aos 30 e 45 dias após emergência). O substrato utilizado foi um horizonte A de um Argissolo Vermelho Amarelo de textura franco argilo-arenosa. O solo foi colocado em vasos de 3 kg que receberam calagem e nutrientes, sendo aplicados 30 mg P kg<sup>-1</sup> solo. Nas coletas, a parte aérea foi colhida, e as raízes separadas do solo mantendo-se o solo da rizosfera, e determinando-se a atividade da nitrogenase através da técnica de redução de acetileno. Posteriormente, as raízes foram lavadas, e os nódulos foram separados das raízes e contados. A parte aérea, raízes e nódulos foram secos em estufa e pesados, e na parte aérea foi determinado o teor de N. A análise de variância foi efetuada para cada coleta isoladamente. O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa e conteúdo de N na parte aérea, em todas as cultivares, nas duas épocas de coleta. Todas as cultivares, exceto Carioca, apresentaram um aumento na massa de nódulo nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, na primeira coleta. Na segunda coleta, as cultivares Carioca e Rio Tibagi tiveram uma redução na massa de nódulo nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo. Esta redução foi devida provavelmente à precocidade apresentada pelas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo. O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade da nitrogenase, nas cultivares Carioca e Manteigão, na primeira coleta, e na cultivar Manteigão na segunda coleta. Houve um aumento na atividade específica da nitrogenase, nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, na cultivar Carioca, na primeira coleta e na cultivar Manteigão, na segunda coleta. Pode-se concluir que o aumento do teor de Mo nas sementes de feijoeiro estimulou a fixação biológica de nitrogênio, expressa pela atividade da nitrogenase e conteúdo de N na parte aérea, aumentando a acumulação de massa e de N da planta.

## ABSTRACT

Bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) originated from seeds with high Mo concentration absorbed little Mo of the soil during their growth, and they kept the nitrogenase activity similar to the plants that received Mo in the root. This work had the objective to evaluate the effect of the increased Mo concentration in bean seeds, obtained by foliar fertilization, in the growth and biological nitrogen fixation of three bean cultivars. The experiment, conducted in the greenhouse, had a random block design with five repetitions, in a 3x2x2 factorial: three bean cultivars (Manteigão, Carioca and Rio Tibagi), two concentration of Mo in seeds (low and high concentration of Mo), and two dates of harvest (at 30 and 45 days after emergence). The substrat was an A horizon of a Haplic acrisol soil, placed into pots of 3 kg, with water pH 5.0, 1 mg P dm<sup>3</sup>, sandy-clay loam texture. The soil of each pot was limed and received nutrients, and 30 mg P kg<sup>-1</sup> soil was applied. At harvests, the shoot was harvested, and the roots separated of the soil maintaining the soil of the rhizosphere, and the nitrogenase activity was measured through the acetylene reduction technique. Later, the roots were washed, and the nodules were separated of the roots and counted. Shoots, roots and nodules were dried and weighed, and the N concentration was determined in shoots. The analysis of variance was performed for each harvest separately. The higher Mo concentration in seeds increased the mass and N content in shoots, in all the cultivars, at the two harvests. All the cultivars, except Carioca, presented an increase in the mass of nodule in plants originated from seeds with high Mo concentration, in the first harvest. In the second harvest, the cultivars Carioca and Rio Tibagi presented a reduction in the nodule mass in plants originated from seeds with high Mo concentration. This reduction was probably due to the earliness of the plants originated from seeds with high Mo concentration. The higher Mo concentration in seeds increased the nitrogenase activity in cultivars Carioca and Manteigão at the first harvest, and in the cultivar Manteigão at the second harvest. There was an increase in the specific nitrogenase activity, in plants originated from seeds with high Mo concentration, in the cultivar Carioca in the first harvest, and in the cultivar Manteigão in the second harvest. It can be concluded that the higher concentration of Mo in bean seeds stimulated the biological nitrogen fixation, expressed by the nitrogenase activity and content of N in shoots, increasing the accumulation of mass and N of the plant.



## 4.1 INTRODUÇÃO

A semente pode ser considerada um insumo de grande importância no processo produtivo, e sua qualidade considerada um elemento indispensável no sucesso de uma cultura (PERETTI, 1994). Os nutrientes armazenados na semente irão suprir os elementos necessários para o estabelecimento da plântula em seus estádios iniciais.

Em solos com certas limitações nutricionais, uma semente com alto conteúdo de um elemento poderá originar uma planta vigorosa, em meio deficiente nesse elemento (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988). Em alguns casos, principalmente para os micronutrientes como Mo, a reserva interna da semente é suficiente para que a planta originada desta possa crescer sem dependência externa (JACOB-NETO, 1985; JACOB-NETO & FRANCO, 1986)

O molibdênio (Mo) é um elemento encontrado em toda a crosta terrestre, principalmente em solos provenientes de rochas sedimentares (BATAGLIA et al., 1976). Porém, sua concentração no solo é sempre baixa, excedendo 0,04% somente em depósitos marinhos (GUPTA & LIPSET, 1981). Por causa de sua baixa concentração nos solos e utilização sem a devida reposição, o Mo tem-se esgotado, tornando-se comum a sua deficiência, principalmente nos solos de cerrado (SFREDO et al., 1994, 1997). Além disso, vários fatores podem interferir na disponibilidade de Mo nos solos, entre os quais o pH, a matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (SANTOS, 1991).

A deficiência de Mo afeta o metabolismo do nitrogênio devido à sua participação como componente da nitrogenase, enzima relacionada à fixação do nitrogênio pelas leguminosas, e da redutase do nitrato, responsável pela redução deste em nitrito no processo de assimilação do nitrogênio (MARSCHNER, 1995; ZIMMER & MENDEL, 1999).

Diversas formas de aplicação de Mo às culturas têm sido descritas. O fornecimento de Mo através de pélete pode dificultar as trocas gasosas da semente, prejudicando a germinação. Alguns autores afirmam que o melhor é aplicar o Mo no solo, antes do plantio (JOHANNES & GUNARTO, 1987; VARGAS & RAMIREZ, 1989). Entretanto, em face da sua imobilização no solo, a sua eficiência seria muito inferior, requerendo quantidades de Mo superiores em dez vezes às exigidas pelas culturas, para equiparar a eficiência com a de outros métodos. Outra forma de aplicação de Mo consiste em embeber as sementes em soluções que contenham Mo (SHERRELL, 1984). Contudo, o contato direto das sementes com estas soluções tem provocado a perda do poder germinativo, reduções do crescimento e da produção (REISENAUER, 1963) ou até mesmo aumentado a mortalidade de *Rhizobium* e, diminuindo, com isso, a nodulação (GAULT & BROCKWELL, 1980).

O uso de sementes oriundas de plantas cultivadas em solos com adequada disponibilidade de Mo e pH próximo de 6,0 poderia garantir níveis adequados do micronutriente para a cultura, pois tem sido verificado que o Mo se acumula nas sementes (TANNER, 1979). BURKIN (1971) observou que plântulas de feijão provenientes de sementes com maiores concentrações de Mo foram mais resistentes às doenças e pragas, que plântulas provenientes de sementes com baixo teor de Mo.

Em leguminosas, as sementes podem conter uma grande proporção das quantidades de nutrientes exigidas pelas culturas. Plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de Mo absorveram muito pouco Mo do solo durante seu

crescimento (BRODRICK et al., 1992), e mantiveram a atividade da nitrogenase similar à de plantas que receberam Mo nas raízes (BRODRICK & GILLER, 1991). Entretanto, altos teores de Mo em um genótipo de feijoeiro de sementes grandes foram suficientes para evitar a deficiência de Mo em substrato sem Mo, mas não foram suficientes em um genótipo de sementes pequenas (BRODRICK et al., 1992). O plantio de sementes com suficientes conteúdos de Mo em solos pobres da África preveniu o aparecimento de deficiência de Mo até o quarto cultivo consecutivo no mesmo local (BRODRICK et al., 1995). BRODRICK et al. (1992) verificaram que feijoeiros originados de sementes com maior conteúdo de Mo apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais nitrogênio e produziram mais sementes. JACOB-NETO & FRANCO (1986) verificaram que a concentração de  $3,51 \mu\text{g Mo semente}^{-1}$  é suficiente para que as plantas de feijão se desenvolvam sem adubação complementar de Mo.

Este experimento teve como objetivo avaliar o efeito do aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas através da adubação foliar, no crescimento e fixação biológica de nitrogênio de três cultivares de feijoeiro.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, no município de Seropédica-RJ, entre os meses de junho e agosto de 2004, onde foram testadas sementes com alto e baixo teor de Mo. Estas sementes foram obtidas em experimento de campo conduzido na Embrapa Agrobiologia, onde buscou-se testar a metodologia de adubação foliar em feijoeiro visando o aumento do teor de P e Mo na semente (Tabela 1).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com cinco repetições, em um fatorial 3×2×2: três cultivares de feijoeiro (Manteigão, Carioca e Rio Tibagi), dois níveis de Mo na semente (baixos e altos conteúdo de Mo na semente, respectivamente 0,71 e 1,35 µg Mo semente<sup>-1</sup> na cultivar Carioca, 0,61 e 3,03 na cultivar Manteigão e 0,84 e 1,54 na cultivar Rio Tibagi) e duas épocas de coleta (aos 30 e 45 dias após emergência).

O substrato utilizado foi um horizonte A de um Argissolo vermelho-amarelo, passado em peneira de malha de 6 mm e colocado em vasos de 3,5 kg. Análises de solo, efetuadas de acordo com Embrapa (1997), indicaram: pH em água 5,0, 1,1 cmol<sub>c</sub> Ca dm<sup>-3</sup>, 1,1 cmol<sub>c</sub> Mg dm<sup>-3</sup>, 0,4 cmol<sub>c</sub> Al dm<sup>-3</sup>, 39 mg K dm<sup>-3</sup>, 1 mg P dm<sup>-3</sup>, textura franco argilo-arenosa (63 % de areia, 14 % de silte e 23 % de argila).

O solo de cada vaso recebeu calagem, com CaCO<sub>3</sub> p.a., na dose de 500 mg kg<sup>-1</sup>, e após 7 dias de incubação os nutrientes na forma de produtos químicos p.a., que foram diluídos em água e distribuídos lentamente sobre os vasos. As seguintes doses foram aplicadas (em mg kg<sup>-1</sup> solo): 30 P (como KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 10 Mg (como MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 2 Cu (como CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), 1 Zn (como ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 0,05 B (como H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>). Posteriormente o material de cada vaso foi homogeneizado, apresentando quando do plantio pH em água 5,7, 2,0 cmol<sub>c</sub> Ca dm<sup>-3</sup>, 1,1 cmol<sub>c</sub> Mg dm<sup>-3</sup>, 0 cmol<sub>c</sub> Al dm<sup>-3</sup>, 90 mg K dm<sup>-3</sup>, 13 mg P dm<sup>-3</sup>.

Nas sementes foi aplicado inoculante comercial em meio semi-sólido contendo as estirpes BR322 e BR520 de *Rhizobium spp.* da coleção da Embrapa Agrobiologia. Foram semeadas 4 sementes por vaso, deixando-se 2 plantas após desbaste, efetuado aos 7 DAE. Por ocasião das coletas, a parte aérea foi cortada ao nível do solo, e os sistemas radiculares das plantas de cada vaso foram recuperados cuidadosamente com auxílio de uma peneira. Nas raízes e nódulos foi determinada a atividade da nitrogenase, através da técnica de redução de acetileno (HARDY et al., 1973).

Os sistemas radiculares de duas plantas tiveram o excesso de solo retirados das raízes e colocados, juntamente com os nódulos que se desprenderam dos sistemas radiculares, em recipientes de vidro de 250 mL hermeticamente fechados. Em seguida, aplicaram-se 25 mL de acetileno, usando-se seringa de injeção, retirando-se previamente este mesmo volume de ar, para não alterar a pressão. Após incubação por 15 min, e após foram coletadas amostras de 1 mL, sendo injetada 0,5 mL para leitura da concentração de etileno em cromatografia gasosa. Foi utilizado o cromatógrafo a gás modelo Perkin-Elmer L Auto System e Integrator PE Nelson Modelo 1022, com Detector de Ionização de Chama (FID - Flame Ionization Detector) e coluna cromatográfica Poropak N. O padrão de etileno foi determinado, injetando-se no cromatógrafo 1,0 mL de etileno puro. Os valores de etileno produzido foram convertidos para nmol h<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup>, considerados como a atividade da nitrogenase, sendo

calculada a atividade específica da nitrogenase através da razão entre a atividade da nitrogenase e a massa de nódulos de cada vaso.

Posteriormente, as raízes foram lavadas e acondicionadas em formaldeído 2%, de onde os nódulos foram separados manualmente das raízes e contados. A parte aérea, raízes e nódulos foram colocados em estufa a 70 °C e pesados. A parte aérea foi moída, determinando-se o teor de N pelo método semi-micro Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1989).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, avaliando-se os efeitos de cultivar, de teor de Mo na semente, e suas interações, utilizando-se o programa estatístico MSTAT-C (1991). Cada coleta foi analisada isoladamente.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa de parte aérea, em todas as cultivares, nas duas épocas de coleta (Tabela 13 e Figura 2). As cultivares Carioca e Manteigão apresentaram maior massa de parte aérea, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta, mas não houve diferença significativa entre as cultivares na segunda coleta (Tabela 13).

A massa de raiz apresentou um aumento significativo, nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, na média das três cultivares, nas duas épocas de coleta (Tabela 13). O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa de raiz, nas cultivares Carioca e Manteigão, na primeira coleta, e na cultivar Manteigão na segunda coleta. As cultivares Carioca e Manteigão apresentaram maior massa de raiz, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta. Na segunda coleta a cultivar Manteigão apresentou a maior massa de raiz, na média dos dois níveis de Mo nas sementes (Tabela 13).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa de nódulos nas cultivares Manteigão e Rio Tibagi e reduziu na cultivar Carioca, na primeira coleta. Na segunda coleta o maior teor de Mo nas sementes reduziu a massa de nódulos, nas cultivares Carioca e Manteigão e na média das três cultivares (Tabela 13). A cultivar Carioca apresentou a maior massa de nódulos, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta. Na segunda coleta as cultivares Carioca e Manteigão apresentaram maior massa de nódulos que Rio Tibagi, na média dos dois níveis de Mo nas sementes (Tabela 13).

O maior teor de Mo nas sementes reduziu o número de nódulos na cultivar Carioca, na primeira coleta. Na segunda coleta o maior teor de Mo nas sementes reduziu o número de nódulos, nas cultivares Carioca e Manteigão e na média das três cultivares. A cultivar Carioca apresentou maior número de nódulos, na média dos níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta. Na segunda coleta a cultivar Carioca apresentou maior número de nódulos que a cultivar Rio Tibagi, e a cultivar Rio Tibagi apresentou o mesmo número de nódulos que a cultivar Manteigão, na média dos dois níveis de Mo nas sementes (Tabela 13).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a massa de 1 nódulo na cultivar Rio Tibagi e na média das três cultivares, na primeira coleta, mas na segunda coleta não afetou a massa de 1 nódulo nas diferentes cultivares (Tabela 13). Não houve diferença significativa na massa de 1 nódulo entre as cultivares, na média dos níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta. Na segunda coleta a cultivar Manteigão apresentou a maior massa de 1 nódulo, na média dos dois níveis de Mo nas sementes (Tabela 13).

Uma hipótese foi sugerida para explicar a redução na nodulação observada nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo (Tabela 13). Observações visuais indicaram que na data da 2ª coleta as plantas originadas de sementes com alto teor de Mo apresentavam vagens, enquanto as plantas originadas de sementes com baixo teor de Mo apresentavam-se ainda na floração. Este efeito foi devido provavelmente à precocidade apresentada pelas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo. Sendo assim, é provável que os fotoassimilados foram induzidos a uma maior translocação para as vagens, reduzindo o suprimento para os nódulos mais cedo, nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, conseqüentemente ocorrendo uma interrupção na formação de novos nódulos, reduzindo-se a massa de nódulos nas plantas

originadas de sementes com alto Mo na segunda coleta, quando comparadas às plantas originadas de sementes com baixo Mo (Tabela 13). Este mesmo efeito foi também observado no número de nódulos (Tabela 13). Sendo as leguminosas plantas do ciclo C3, que se caracterizam por apresentarem baixa taxa de fotossíntese líquida, há evidências de que o suprimento de fotossintatos freqüentemente limita o processo de fixação de nitrogênio (HARDY & HAVELKA, 1976).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade da nitrogenase, nas cultivares Carioca e Manteigão e na média das três cultivares, na primeira coleta, e na cultivar Manteigão na segunda coleta (Tabela 14). A cultivar Manteigão apresentou maior atividade da nitrogenase do que a cultivar Rio Tibagi, e a cultivar Rio Tibagi apresentou a mesma atividade da nitrogenase que a cultivar Carioca, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta. A cultivar Manteigão apresentou a maior atividade da nitrogenase, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na segunda coleta (Tabela 14).

**Tabela 14.** Massa de parte aérea, raiz e nódulos, massa unitária e numero de nódulos de três cultivares de feijoeiro originadas de sementes com baixo e alto teor de Mo, em duas épocas de amostragem.

Cultivar	30 dias após emergência			45 dias após emergência		
	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média
Massa de parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )						
Carioca	1,02 b	1,98 a	1,50 A	2,04 b	3,69 a	2,86A
Manteigão	1,16 b	1,72 a	1,44 A	1,89 b	3,17 a	2,53A
Rio Tibagi	0,82 b	1,38 a	1,10 B	1,70 b	3,16 a	2,43A
Média	1,00 b	1,69 a		1,88 b	3,34 a	
Massa de raiz (g planta <sup>-1</sup> )						
Carioca	0,36 b	0,50 a	0,43 A	0,39 a	0,52 a	0,45 B
Manteigão	0,38 b	0,48 a	0,43 A	0,47 b	0,80 a	0,64 A
Rio Tibagi	0,28 a	0,32 a	0,30 B	0,34 a	0,48 a	0,41 B
Média	0,34 b	0,43 a		0,40 b	0,60 a	
Massa de nódulos (mg planta <sup>-1</sup> )						
Carioca	180 a	150 b	165 A	252 a	132 b	192 A
Manteigão	116 b	144 a	130 B	281 a	209 b	245 A
Rio Tibagi	97 b	125 a	111 B	150 a	118 a	134 B
Média	131 a	140 a		227 a	153 b	
Massa de 1 nódulo (mg)						
Carioca	0,68 a	0,77 a	0,73 A	0,65 a	0,54 a	0,59 B
Manteigão	0,78 a	0,71 a	0,75 A	0,87 a	1,07 a	0,97 A
Rio Tibagi	0,60 b	1,12 a	0,86 A	0,68 a	0,75 a	0,71 B
Média	0,69 b	0,87 a		0,73 a	0,78 a	
Número de nódulos (planta <sup>-1</sup> )						
Carioca	265 a	198 b	231 A	414 a	244 b	329 A
Manteigão	157 a	202 a	179 B	336 a	198 b	267 AB
Rio Tibagi	160 a	121 a	140 B	223 a	164 a	193 B
Média	194 a	174 a		324 a	202 b	

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Os valores da atividade da nitrogenase observados em plantas originadas de sementes com maior teor de Mo foram próximos aos mensurados por PESSOA et al. (2001), em feijoeiro no campo aos 40 DAE, em plantas que receberam adubação foliar com 120 g Mo ha<sup>-1</sup> ao 25 DAE. HUNGRIA & RUSCHEL (1987), avaliando três estirpes de *Rhizobium leguminosarum* e duas cultivares de feijão sob condições de casa de vegetação aos 45 DAE, encontraram valores de redução de acetileno (22,8 µmol h<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup> aos 35 DAE) um pouco abaixo dos apresentados no presente trabalho. Os valores de atividade da nitrogenase nas plantas originadas de sementes com maior teor de Mo foram maiores que os mensurados por VIEIRA et al. (2001), em feijoeiro no campo em plantas que receberam adubação foliar com 40 g Mo ha<sup>-1</sup> ao 25 DAE, cujos valores foram de 4, 6, 16 e 2 µmol h<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 18, 32, 46 e 60 DAE.

O aumento da atividade da nitrogenase na segunda coleta (estádio de enchimento de grãos) na cultivar Manteigão, e a estabilidade nas cultivares Rio Tibagi e Carioca, nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, discorda de resultados encontrados por LAWN & BRUN (1974) e HERRIDGE & PATE (1977), os quais observaram uma queda na atividade da nitrogenase no período de formação das vagens, ou seja, justamente na época de maior necessidade de nitrogênio para os grãos, a qual tem sido atribuída à competição pelos fotossintatos disponíveis entre os tecidos reprodutivos e os nódulos. Dessa forma, os resultados aqui encontrados apontam para a importância do alto teor de Mo nas sementes na manutenção de taxas adequadas de fixação de N<sub>2</sub> em estádios tardios de crescimento (FRANCO et al., 1979).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade específica da nitrogenase, na cultivar Carioca, na primeira coleta, e na cultivar Manteigão e na média das cultivares na segunda coleta (Tabela 14). A cultivar Manteigão apresentou a maior atividade específica da nitrogenase, na média dos dois níveis de Mo nas sementes, na primeira coleta, mas na segunda coleta não houve diferença significativa entre cultivares na atividade específica da nitrogenase.

Mesmo com menor número e massa de nódulos, a atividade da nitrogenase e a atividade específica da nitrogenase foram superiores nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, quando comparadas com as plantas originadas de sementes com baixo teor de Mo. Os dados sugerem que a atividade específica da nitrogenase possa ser mais importante que número e a massa de nódulo para a fixação biológica de N no feijoeiro (Tabela 14).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou o teor de N na parte aérea, na cultivar Rio Tibagi e na média das cultivares, na primeira coleta, e em todas as cultivares na segunda coleta (Tabela 13). Não houve diferença significativa no teor de N na parte aérea entre as cultivares, na média dos níveis de Mo nas sementes, nas duas coletas (Tabela 13).

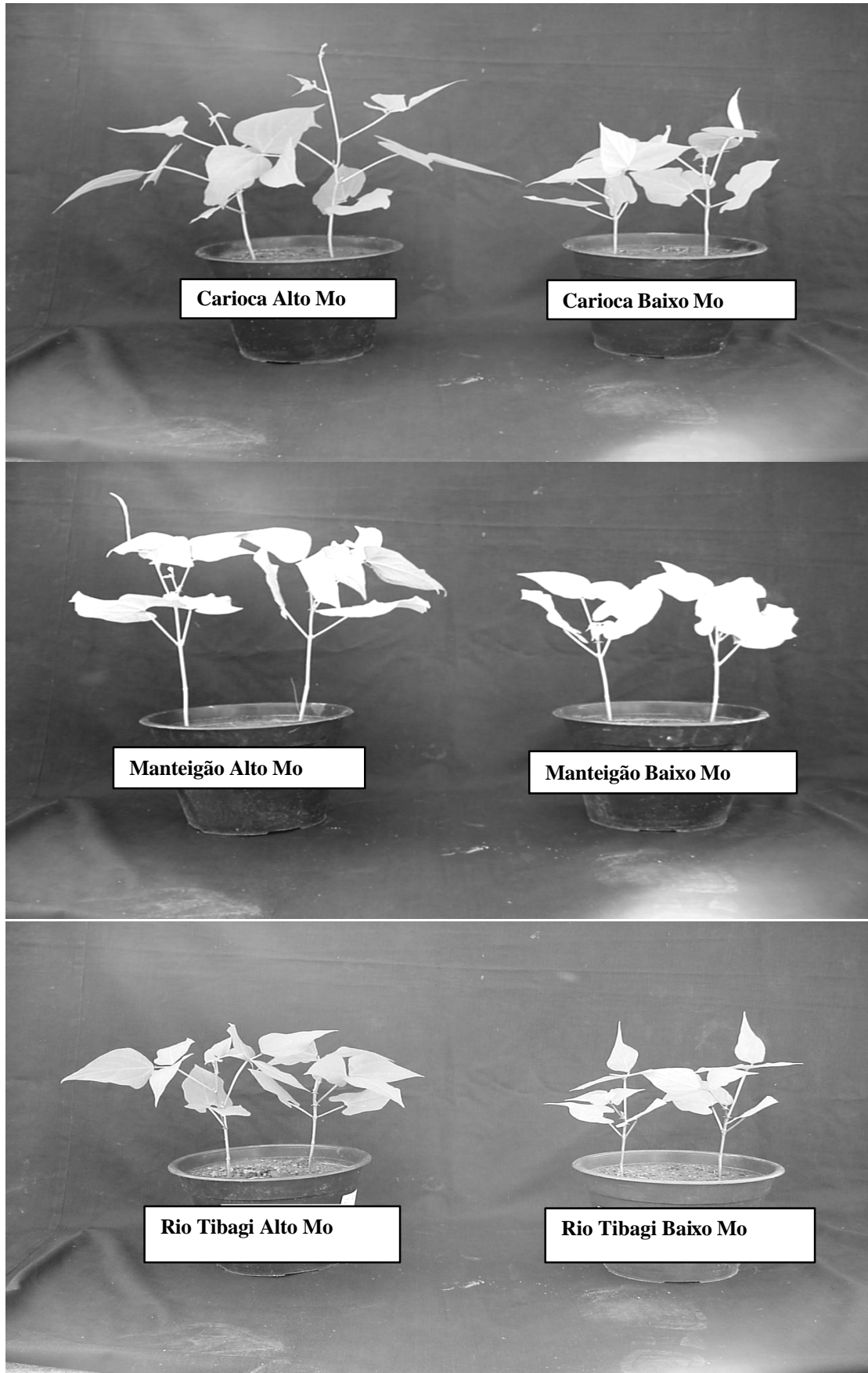
O conteúdo de N na parte aérea apresentou um aumento significativo, nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, na média das três cultivares, nas duas coletas. Estes resultados corroboram com BRODRICK et al. (1992), em que sementes com maior conteúdo de Mo originaram plantas que acumularam mais N na parte aérea. Os conteúdos de Mo por sementes testados BRODRICK et al. (1992), entre 1,64 e 3,57 µg Mo semente<sup>-1</sup>, foram muito próximos aos usados no presente experimento, que variaram entre 0,61 e 3,03 µg Mo semente<sup>-1</sup>. Não houve diferença significativa no conteúdo de N na parte aérea entre as cultivares, na média dos níveis de Mo nas sementes, nas duas coletas (Tabela 14).

**Tabela 15.** Atividade da nitrogenase, atividade específica da nitrogenase, teor de N na parte aérea e conteúdo de N na parte aérea de três cultivares de feijoeiro originadas de sementes com baixo e alto teor de Mo, em duas épocas de coleta.

Cultivar	30 dias após emergência			45 dias após emergência		
	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média
Atividade da nitrogenase ( $\mu\text{mol h}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ )						
Carioca	26 b	88 a	57 AB	31 a	21 a	26 B
Manteigão	58 b	128 a	93 A	62 b	85 a	73 A
Rio Tibagi	38 a	42 a	40 B	33 a	30 a	32 B
Média	41 b	86 a		42 a	45 a	
Atividade específica da nitrogenase ( $\mu\text{mol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ )						
Carioca	141 b	542 a	342 B	124 a	283 a	204 A
Manteigão	608 a	894 a	751 A	220 b	428 a	324 A
Rio Tibagi	368 a	339 a	353 B	228 a	270 a	249 A
Média	372 a	591 a		191 b	327 a	
Teor de N na parte aérea ( $\text{mg N g}^{-1}$ )						
Carioca	23,8 a	33,4 a	28,6 A	17,7 b	24,9 a	21,3 A
Manteigão	24,4 a	30,9 a	27,6 A	18,6 b	30,9 a	24,8 A
Rio Tibagi	27,3 b	39,9 a	33,6 A	19,6 b	27,1 a	23,4 A
Média	25,2 b	34,7 a		18,6 b	27,6 a	
Conteúdo de N na parte aérea ( $\text{mg N planta}^{-1}$ )						
Carioca	24,2 b	67,6 a	45,9 A	35,8 b	89,6 a	62,7 A
Manteigão	29,6 b	53,2 a	41,4 A	35,2 b	97,1 a	66,1 A
Rio Tibagi	22,2 b	53,8 a	38,0 A	32,9 b	85,2 a	59,1 A
Média	25,3 b	58,2 a		34,6 b	90,6 a	

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.





**Figura 2.** Plantas de três cultivares (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi) de feijoeiro, originadas de sementes com alto e baixo Mo, aos 20 dias após plantio do experimento de casa de vegetação.

#### **4.4. CONCLUSÃO**

O maior teor de Mo nas sementes de feijoeiro estimulou a fixação biológica de nitrogênio, expressa pela atividade da nitrogenase e conteúdo de N na parte aérea, aumentando a acumulação de massa e de N da parte aérea.

O maior teor de Mo nas sementes reduziu o número e a massa de nódulos na cultivar Carioca, na primeira coleta, e nas cultivares Carioca e Manteigão, na segunda coleta, devido provavelmente à precocidade apresentada pelas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

A adubação foliar em estádios tardios de crescimento propiciou a produção de sementes de feijoeiro com maiores teores de P e de Mo.

A adubação foliar simultânea de P e Mo causou redução do teor de Mo nas sementes, quando comparada à adubação foliar de Mo isoladamente, indicando um possível efeito de competição quando da absorção pelas folhas e transporte para as sementes.

O aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas através da adubação foliar, beneficiou o crescimento e a fixação biológica de nitrogênio do feijoeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, A.; SCHROEDER, M. Modern trends in foliar fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, p. 1391-1399, 1987.
- AL-NIEMI, T. S.; KAHN, M. L.; McDERMOTT, T. R. P. Metabolism in the bean-*Rhizobium tropici* symbiosis. **Plant Physiology**, Rockville, v.113, n. 4, p.1233-1242, 1997.
- ALVARENGA, P. E. de. **Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenadas e molíbdica e à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli***. 1995. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- AMANE, M. I. V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A. A.; ARAÚJO, G. A. de A. Resposta de cultivares de feijão às adubações nitrogenada e molíbdica. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 234, p. 202-216, 1994.
- AMARAL, F. A.; REZENDE, H. E. C.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; MALAVOLTA, E. Exigência de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) . **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 32, p. 223-239, 1980.
- ANDRADE, M. J. B. de; DINIZ, A. C.; CARVALHO, J. G. de; LIMA, S. F. de. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 344, p. 123-131, 1998.
- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M.G. Ontogenetic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 225, p. 1-10, 2000.
- ARAÚJO, A. P. ; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D. L. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 203, n. 2, p. 173-182, 1998.
- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M G.; LIMA, E. R. Efeitos do aumento do teor de fósforo na semente, obtido via adubação foliar, no crescimento e na nodulação do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 183-189, 2002.
- BARBER, S. A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**, Baltimore, v. 93, p. 39-49, 1962.
- BARBER, S. **Soil Nutrient**. Bioavailability: a mechanistic approach. New York, J. Wiley, 1984. 398 p.
- BARROW, N. J. **Reactions with variable-charge soils**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. 191 p.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; VALADARES, J. M. A. S. O molibdênio em solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1975, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.107-111.

BERGER, P.G., VIEIRAS, C., ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.31, n.7, p.473-480, 1996.

BHAT, K. K.; NYE, P. H. Diffusion of phosphate to plant roots in soil. II. Uptake along the roots at different times and the effect of different levels of phosphorus. **Plant and Soil**, The Hague, v. 41, p. 365-382, 1974.

BOLLAND, M. D. A.; BACKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soil from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 56, p. 59-68, 2000.

BONSER, A. M.; LYNCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of Phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris* L. **New Phytologist**, v. 132, p. 281-288, 1996.

BRODRICK, S. J.; AMIJEE, F.; KIPE-NOLT, J. A.; GILLER, K. E. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 72, p. 277-284, 1995.

BRODRICK, S. J.; GILLER, K. E. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N<sub>2</sub>-fixation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 679-686, 1991.

BRODRICK, S. J.; SAKALA, M. K.; GILLER, K. E. Molybdenum reserves of seed, and growth and N<sub>2</sub> fixation by *Phaseolus vulgaris* L. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 13, p. 39-44, 1992.

BULEN, W. A.; LECONTE, J. R. The nitrogenase system from *Azotobacter*: twoenzyme requirements for N<sub>2</sub> reduction, ATP dependent H<sub>2</sub> evolution and ATP hydrolysis **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New York, v. 56, p. 979-986, 1966.

BURKIN, I. A. Use of molibden fertilizers under the growing of bean plants. **Fiziologiya Rastenii**, Moscow, v. 18, p. 840-847, 1971.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.

CASSMAN, K. G.; WHITNEY, A. S.; STOCKINGER, K. R. Root growth and dry matter distribution of soybean as affected by phosphorus stress, nodulation, and nitrogen source. **Crop Science**, Madison, v. 20, p. 239-244, 1980.

CHAUDHARY, M. I.; FUJITA, K. Comparison of phosphorus deficiency effects on the growth parameters of mashbean, mungbean, and soybean. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 44, n. 1, p. 19-30, 1998.

CHAVERRA, M. H.; GRAHAM, P. H. Cultivar variation in traits affecting early nodulation of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1432-1436, 1992.

CONAB. **Previsão e acompanhamento da safra 2002/2003**: quarto levantamento, abril/2003. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>.

DINIZ, A. R.; ANDRADE, M.J.B.; BUENO, L.C.S.; CARVALHO, J.G. Resposta da cultura do feijão à aplicação de nitrogênio e de molibdênio foliar. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25., Viçosa, 1995. resumos expandidos. Viçosa, 1995. v. 3, p. 1225-7.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço de Produção da Informação (Brasília, DF). **Recomendações técnica para o cultivo de feijão; zonas 61 e 83**. Brasília, 1993. 93p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; CARDOSO, A. A.; FONTES, P. C. R.; VIEIRA, CLIBAS. Característica agrônômica do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da aplicação via foliar. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 49-53, 2003.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA-FILHO, M. P.; STONE, L. F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 435-455.

FAN, H.; ZHU, J.; RICHARDS, C.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Physiological roles of aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 30, p. 493-506, 2003.

FERNANDEZ, D.S.; ASCENCIO, J. Acid phosphatase activity in bean and cowpea plants grown under phosphorus stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p. 229-241, 1994.

FOX, H. L.; KAMPRATH, E. J. Phosphorus sorption isotherms for evaluation the phosphate requirements of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 902-907, 1970.

FRANCO, A. A.; MUNNS, D. N. Response of *Phaseolus vulgaris* L. to molybdenum under acid conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1144-1148, 1981.

FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solution. **Ann. Rev. plant physiology**. 18: 281-300, 1964.

GATES, C. T.; WILSON, J. R. The interaction of nitrogen and phosphorus on the growth, nutrient status and nodulation of *Stylosanthes humilis* H.B.K. (townsville stylo). **Plant and Soil**, The Hague, v. 41, p. 325-333, 1974.

GAULT, R. R.; BROCKWELL, J. Studies on seed pelleting as an aid to legume inoculation. 5. Effects of incorporation of molybdenum compounds in the seed pellet on inoculant survival, seedlings nodulation and plant growth of lucerne and subterranean clover. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v. 20, p. 63-71, 1980.

GOLDBERG, S., C. SU, AND H. S. FORSTER. Sorption of *molybdenum* on oxides, clay minerals, and soils: Mechanisms and models. In Adsorption of metals by geosol: Variables mechanisms and model applications. E. A. Jenne (ed.). Am. Chem. Soc. Symp. 2002.

GOMES, F. T.; PEREIRA G. D.; BORGES A. C.; MOSQUIM, P. R.; FONTES, P. C. R. Fixação do nitrogênio em alfafa noduladas sob supressão e ressuprimento de fósforo **Ciência Rural** v.32 n.6 Santa Maria nov./dez. 2002

GRAHAM, P. H.; ROSAS, J. C., JENSEN, ESTÉVEZ C., PERALTA, E., TLUSTY, B., ACOSTA-GALLEGOS, J., ARRAES-PEREIRA. P. A. Addressing Edaphic

Constraints to Bean Production: The Bean/Cowpea CRSP Project in Perspective. *Field Crops Research* 82:179-192, 2003.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 53, p. 131-146, 1997.

GRAHAM, P. H.; ROSAS, J. C. Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 925-926, 1979.

GUPTA, U. C. Deficient, sufficient, and toxic concentrations of molybdenum in crops. In: GUPTA, U. C. (Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 150-159.

GUPTA, U. C.; LIPSET, J. Molybdenum in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 73-115, 1981.

HALLAM, N.D. Growth and regeneration of waxes on the leaves of *Eucalyptus*. *PLANTA* 93: 257-268, 1970.

HARDARSON, G.; BLISS, F. A.; CIGALES-RIVERO, M. R.; HENSON, R. A.; KIPE-NOLT, J. A.; LONGERI, L.; MANRIQUE, A.; PEÑA-CABRIALES, J. J.; PEREIRA, P. A. A.; SANABRIA, C. A.; TSAI, S. M. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 152, p. 59-70, 1993.

HARDY, R. W. H.; BURNS, R. C.; HOLSTEN, R. D. Applications of the acetylene assay for measurement of nitrogen fixation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 5, p. 47-81, 1973.

HARDY, R.W.F.; HAVELKA, U.D. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation by field grown legumes with emphasis on soybeans. In: NUTMAN, P.S., (Ed.). **Symbiotic nitrogen fixation in plants**. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1976. p. 421-439.

HERRIDGE, D.F.; PATE, J.S. Utilization of net photosynthate for nitrogen fixation and protein production in an annual legume. **Plant Physiology**, v. 60, p. 759-764, 1977.

HINSINGEN, P. Biologyavailability of soil inorganic p in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 237, p. 173-195, 2001.

HO, M. D.; MCCANNON, B. C.; LYNCH, J. P. Optimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition. *Journal of Theoretical Biology*, v. 226, p. 331-340, 2004.

HOLFORD, T. C. R. Soil phosphorus: Its measurement and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 35, p. 227-239, 1997.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium* strains. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 39, p. 88-93, 2003.

ISRAEL, D. W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, p. 835-840, 1987.

JACOB-NETO, J. Variação estacional, concentração e níveis crítico de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1985. 145 f. Tese (Mestrado em Agronomia)-UFRuralRJ, Seropédica, RJ.

- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. **Adubação de molibdênio em feijoeiro**. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1986. 4 p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 12).
- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. Determinação do nível crítico de Mo nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). **Turrialba**, Costa Rica, v. 39, p. 215-223, 1989.
- JACOB-NETO, J.; ROSSETTO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. **Floresta e Ambiente**, v.5, n.1, p.171-183, 1998
- JOHANNES, E.; GUNARTO, L. Nodulation and uptake of nitrogen and phosphorus by soybean inoculated with four strains of *Bradyrhizobium japonicum* and applied with phosphorus, molybdenum and copper. **Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 70, p. 193-201, 1987.
- JUNGK, A. Soil-root interactions in the rhizosphere affecting plant availability of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, p. 1197-1024, 1987.
- KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic, 1990. p. 313-348.
- KRAUSKOPF, K.B., 1972, Introduction to Geochemistry (2nd edn.): New York, McGraw-Hill, 617 p.;
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 151-210, 1967.
- LAUER, D. A. Foliar fertilization of dry beans with Zn and NPKS. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 339-344, 1982.
- LAUER, M. J.; BLEVINS, D. G. Dry matter accumulation and phosphate distribution in soybean grown on varying levels of phosphate nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 12, p. 1045-1060, 1989.
- LAWN, R.J. & BRUN, W.A. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulation. **Crop Science**, v. 14, p. 11-6, 1974.
- LEIDI, E. O.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, D. N. Nitrogen and phosphorus availability limit N<sub>2</sub> fixation in bean. **New Phytologist**, Oxford, v. 147, p. 337-346, 2000.
- LÓPEZ-BUCIO, J. L.; HERNANDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO-JACOBO, M. F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESRELA, L. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the arabidopsis root system. **Plant Physiology**, Rockville, v.129, p. 254-256, 2002.
- LYNCH, J. P.; GONZÁLEZ, A.; TOHME, J. M.; GARCIA, J. A. Variation in characters to leaf photosynthesis in wild bean populations. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 933-640, 1992.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., 1972, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1972. p. 209-212.
- MALAVOLTA, E. **Elemento de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.



- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889 p.
- MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies**: micronutrients in agriculture. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.
- MCLACHLAN, K. D. Rock phosphate and superphosphate compared as pasture fertilisers on acid soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, **11**, 513-23, 1955.
- MENDEL, R. R.; HÄNSCH, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 1689-1698, 2002..
- MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 3. ed. Bern: International Potash Institute, 1982. 655 p.
- MILLER, C. Root architecture of common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) adaptive nature and dynamic response to low phosphorus. State College, 1984. thesis – Pennsylvanic, State University.
- MSTAT-C. **A microcomputer program for the design, management, and analysis of agronomic research experiments**. Michigan: MSTAT Distribution Package, 1991.
- MURPHY, L. S.; WALSH, L. M. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In *Micronutrients in agriculture*. J. H. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.). SSSA, Madison, WI, pp 347-387, 1972.
- NETER, J.; WASSERMAN, W., KUTNER, M.H. **Applied linear statistical models**. 3ed. Burr Ridge: Richard D. Irwir, 1990. 1191p.
- NIELSEN, K. L.; BOUMA, T.; LYNCH, J. P.; BOUMA.; LYNCH, J.; EISSEENSTAT, D. Effects of phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on carbon budget of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **New Phytologist**, Oxford, v. 138, p. 647-656, 1998.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Condições do fósforo no solo e planta em ambientes tropicais**. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 1999. 7 p.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição Mineral e Fixação Biológica de Nitrogênio. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F. & ZIMMERMANN, M. J. , eds. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. POTAFOS, Piracicaba, 1996. p. 169-221.
- OLIVEIRA, W. S.; MEINHARDT, L. W.; SESSITSCH, A.; TSAI, S. M. Analysis of *Phaseolus-Rhizobium* interactions in a subsistence farming system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 204, p. 107-115, 1998.
- OTHMAN, W. M. W.; LIE, T. A.; MANNETJE, L. 't; WASSINK, G. Y. Low level phosphorus supply affecting nodulation, N<sub>2</sub> fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 135, p. 67-74, 1991.
- PALACHE, C., BERMAN, H., AND FRONDEL, C. System of mineralogy, Vol. I, (7th Ed.), 834 p. Wiley, New York, 1944.
- PARRA, C.; MARTINEZ-BARAJAS, E.; ACOSTA, J.; COELHO, P. Phosphate deficiency responses of bean genotypes contrastins in their efficiency capacity to grow in low-phosphorus soils. **Agrociência**, Chapingo, v. 38, p. 131-139, 2004.

- PEREIRA, P. A. A.; BLISS, F. A. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 104, p. 79-84, 1987.
- PERETTI, A. **Manual para análisis de semillas**. Buenos Aires: Editorial Hemisfério Sur, 1994. 282 p.
- PESSOA, A. C. S.; KELLING, C. R. S.; POZZEBON, E. J.; KONIG, O. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, p. 69-74, 1996.
- PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 75-84, 2000.
- PESSOA, A.C. dos S. Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 217-224, 2001.
- PIHA, M. I.; MUNNS, D. N. Nitrogen fixation potential of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with other grain legumes under controlled conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, p. 169-182, 1987.
- POOLE, W. D.; RANDALL, G. W.; HAM, G. E. Foliar fertilization of soybeans. I. Effect of fertilizer sources, rates, and frequency of application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 195-200, 1983.
- PROVAN, F.; HAAVIK, J.; CATHRINE, D. L. The regulatory phosphorylated serine in full-length nitrate reductase is necessary for optimal binding to a 14-3-3 protein. **Plant Science**, Ireland, v. 170, p. 394-398, 2006.
- RAGOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant physiology and Molecular Biology**, v. 50, p. 665-693, 1999.
- REISENAUER, H. M. Relative efficiency of seed and soil applied molybdenum fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, p. 459- 460, 1963.
- REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M.; HOEFT, R. G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p. 173-200.
- RIBET, J.; DREVON, J. J. Phosphorus deficiency increases the acetylene-induced decline in nitrogenase activity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 291, p. 1479-1486, 1995.
- ROBSON, A. D.; O’HARA, G. W.; ABBOTT, L. K. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 8, p. 427-436, 1981.
- RUSSELL, R.S.; RUSSELL, E.W.; MARAIS, P.G. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soil. I. The relationship between labile phosphate and absorption. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 8, p. 928-267, 1957.

- SA, T. M.; ISRAEL, D. W. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules. **Plant Physiology**, Rockville, v. 97, p. 928-935, 1991.
- SA, T. M.; ISRAEL, D. W. Nitrogen assimilation in nitrogen-fixing soybean plants during phosphorus deficiency. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 3, p. 814-820, 1995.
- SANTOS, O. S. Molibdênio. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 191-217.
- SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to all. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, p. 447-453, 1998.
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C. de. Estudo de micronutrientes na cultura da soja em um Latossolo Roxo eutrófico argiloso de Londrina, PR. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1994. 7 p. (Embrapa-CNPSO. Pesquisa em Andamento, 16).
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 41-45, 1997.
- SHERRELL, C. G. Effect of molybdenum concentration in the seed on the response of pasture legumes to molybdenum. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v. 27, p. 417-423, 1984.
- SITTE, P.; RENNIER, R. Untersuchungen an cuticularen Zellwandschichten. **Planta**, v. 60, p. 19-40, 1963.
- SINGLETON, P. W.; ABDELMAGID, H. M.; TAVARES, J. W. Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of *Rhizobium japonicum*. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 613-616, 1985.
- TANNER, P. D. The effect of molybdenum on maize seed quality. **Rhodesian Journal of Agricultural Research**, Salisbury, v. 17, p. 125-129, 1979.
- TEIXEIRA, M. G.; ARAÚJO, A. P. Aumento do teor de fósforo em sementes de feijoeiro através da adubação foliar. REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., Salvador, 1999. **Resumos expandidos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 756-759.
- TEIXEIRA, M. G.; ARAÚJO, A. P. Aumento do teor de fósforo em sementes de cultivares de feijoeiro via adubação foliar sob duas doses de fósforo no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Agricultura: Bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado. Resumos...** Rio de Janeiro: SBSC/SBM, 2002. p. 29.
- TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; ARAÚJO, A. P.; FRANCO, A. A. Effect of seed phosphorus concentration on nodulation and growth of three common bean cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1599-1611, 1999.
- THOMSON, B. D.; BELL, R. W.; BOLLAND, M. D. A. Low seed phosphorus concentration depresses early growth and nodulation of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurru). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 14, p. 1355-1367, 1991.

- TWARY, S. N.; HEICHEL, G. H. Carbon cost of dinitrogen fixation associated with dry matter accumulation in alfalfa. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 4, p. 985-992, 1991.
- VANCE, C. P.; HEICHEL, G. H.; BARNES, D. K.; BRYAN, J. W.; JOHNSON, L. E. Nitrogen fixation, nodule development and vegetative regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) following harvest. **Plant Physiology**, Rockville, v. 64, n. 1, p. 1-8, 1979.
- VARGAS, R.; RAMIREZ, C. Respuesta de la soya y el maní a *Rhizobium* y a la fertilización con N, P y Mo en un típico pellustert de cañas, guanacaste. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 13, p. 175-182, 1989.
- VIEIRA, R. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S. T. A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 169-180, 1998a.
- VIEIRA, R. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S. T. A. Foliar application of molybdenum in common bean. III. Effect on nodulation. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, p. 2153-2161, 1998b.
- VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 273-349.
- VILHORDO, B. W.; MULLER, L. **Correlação entre caracterização botânica e classificação comercial em cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 62 p. (IPAGRO. Boletim Técnico, 8).
- WESTERMANN, D. T.; KLEINKOPF, G. E.; PORTER, L. K.; LEGGETT, G. E. Nitrogen sources for bean seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 660-664, 1981.
- YAN, X.; LYNCH, J. P.; BEEBE, S. E. Genetic for phosphorus efficiency of common beans in contrasting soil types: Yield response. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 1094-1099, 1995.
- YAN, X.; LYNCH, J. P.; BEEBE, S. E. Utilization of phosphorus substrates by contrasting common bean genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 936-941, 1996.
- ZHANG, M.; NYBORG, M.; MCGILL, W. B. Phosphorus concentration in barley (*Hordeum vulgare* L.) seed: Influence on seedling growth and dry matter production. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 122, p. 79-83, 1990.
- ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 1, n. 2, p. 160-168, 1999.

## 7. ANEXOS

**Tabela 16.** Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da primeira coleta do experimento de casa de vegetação.

Fator	GL	Massa de parte aérea	Massa de raiz	Massa de nódulos	Número de nódulos	Razão raiz:parte aérea	Massa de 1 nódulo
Repetição	4	1660,744	4691	1299,800	1283	19918**	39711
Cultivar	2	7960,867**	91460***	8785,356***	30529***	18079*	41163
Semente	2	23008,267*	38401***	525,956	1936	104265***	160554*
Cul x Sem	4	2631,133**	14738*	1718,022*	4502	11763*	147625**
Erro	32	651,794	4124	640,138	1945	4220	32130
CV (%)		20,57	17,07	18,97	23,62	14,67	23,88

\*, \*\*, \*\*\* Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1 % pelo teste *F*.

**Tabela 17.** Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da primeira coleta do experimento de casa de vegetação.

Fator	GL	Atividade da nitrogenase	Atividade específica da nitrogenase	Teor de N na parte aérea	Conteúdo de N na parte aérea
Repetição	4	1823	44872	207728	17530
Cultivar	2	7596*	597198**	1990522*	10473
Semente	2	7781*	181454	5682574***	584545***
Cul x Sem	4	2533	119985	265336	16814
Erro	32	1585	72549	397893	18210
CV (%)		64,17	56,57	22,79	38,06

\*, \*\*, \*\*\* Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1 % pelo teste *F*.

**Tabela 18.** Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da segunda coleta do experimento de casa de vegetação.

Fator	GL	Massa de parte aérea	Massa de raiz	Massa de nódulos	Número de nódulos	Razão raiz:parte aérea	Massa de 1 nódulo
Repetição	4	2301,589	6568	948,811	2282	5578	42472
Cultivar	2	4386,022	303077***	48679,267*	73555***	70786***	492879***
Semente	2	117694,422***	173352***	28364,467**	77275***	82970***	12874
Cul x Sem	4	2447,356	25601	2441,333	4241	2946	32141
Erro	32	2437,664	12635	1975,836	6834	5813	29002
CV (%)		21,29	23,59	21,87	29,02	23,81	22,76

\*, \*\*, \*\*\* Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1 % pelo teste *F*.

**Tabela 19.** Análise de variância dos dados de massa seca de cada porção vegetal (valores de quadrado médio) da segunda coleta do experimento de casa de vegetação.

Fator	GL	Atividade da nitrogenase	Atividade específica da nitrogenase	Teor de N na parte aérea	Conteúdo de N na parte aérea
Repetição	4	284.700	21387	278893	20544
Cultivar	2	4492,289***	19450	222617	17442
Semente	2	217,156	72552*	3648107***	1578506***
Cul x Sem	4	1496,622***	30462	162216	4054
Erro	32	231,387	17049	136283	17052
CV (%)		33,34	52,17	16,80	24,55

\*, \*\*, \*\*\* Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1 % pelo teste *F*.

**Tabela 20.** Exemplo de quadro de análise de variância do teor de P nas sementes do experimento de campo, com as decomposições das somas dos quadrados para contrastes ortogonais.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Teste F
Repetição	3	3,351	1,117	1,87
P solo (Ps)	1	2,068	2,068	3,46
Erro A	3	1,792	0,597	2,53
P foliar (Pf)	1	5,335	5,335	22,62**
Ps x Pf	1	0,772	0,772	3,28
Mo foliar (Mo)	1	0,834	0,834	3,54
Ps x Mo	1	0,020	0,020	0,09
Pf x Mo	1	0,006	0,006	0,03
Ps x Pf x Mo	1	0,004	0,004	0,02
Erro B	18	4,244	0,236	
Cultivar (C)	2	6,594	3,297	18,71**
Ps x C	2	0,105	0,052	0,30
Pf x C	2	0,218	0,109	0,62
Ps x Pf x C	2	0,244	0,122	0,69
Mo x C	2	0,116	0,058	0,33
Ps x Mo x C	2	0,051	0,026	0,15
Pf x Mo x C	2	0,226	0,113	0,64
Ps x Pf x Mo x C	2	0,665	0,332	1,89
Erro C	48	8,457	0,176	
CV (%)		11,718		
Contrastes contra o erro B				
Pf d/ Ps1	1	5,083	5,08	21,56**
Pf d/ Ps2	1	1,024	1,02	4,34
Mo d/ Ps1	1	0,298	0,30	1,26
Mo d/ Ps2	1	0,557	0,56	2,36
Pf d/ Ps1 Mo1	1	2,522	2,52	10,70**
Pf d/ Ps1 Mo2	1	2,561	2,56	10,86**
Pf d/ Ps2 Mo1	1	0,413	0,41	1,75
Pf d/ Ps2 Mo2	1	0,621	0,62	2,63
Mo d/ Ps1 Pf1	1	0,144	0,14	0,61
Mo d/ Ps1 Pf2	1	0,154	0,15	0,65
Mo d/ Ps2 Pf1	1	0,207	0,21	0,88
Mo d/ Ps2 Pf2	1	0,360	0,36	1,53
Contrastes contra o erro C				
Ps d/ C1	1	0,376	0,38	2,14
Ps d/ C2	1	1,144	1,14	6,49*
Ps d/ C3	1	0,653	0,65	3,70
Pf d/ C1	1	2,514	2,51	14,27**
Pf d/ C2	1	0,921	0,92	5,23*
Pf d/ C3	1	2,117	2,12	12,01**
Pf d/ Ps1 C1	1	1,789	1,79	10,15**
Pf d/ Ps1 C2	1	1,749	1,75	9,93**
Pf d/ Ps1 C3	1	1,550	1,55	8,80**
Pf d/ Ps2 C1	1	0,819	0,82	4,65*
Pf d/ Ps2 C2	1	0,001	0,00	0,01
Pf d/ Ps2 C3	1	0,660	0,66	3,75
Pf d/Ps1 Mo1 C1	1	0,708	0,71	4,02
Pf d/Ps1 Mo1 C2	1	0,788	0,79	4,47*
Pf d/Ps1 Mo1 C3	1	1,044	1,04	5,93*
Pf d/Ps1 Mo2 C1	1	1,103	1,10	6,26*
Pf d/Ps1 Mo2 C2	1	0,966	0,97	5,48*
Pf d/Ps1 Mo2 C3	1	0,546	0,55	3,10
Pf d/Ps2 Mo1 C1	1	1,133	1,13	6,43*
Pf d/Ps2 Mo1 C2	1	0,002	0,00	0,01
Pf d/Ps2 Mo1 C3	1	0,008	0,01	0,05
Pf d/Ps2 Mo2 C1	1	0,047	0,05	0,26
Pf d/Ps2 Mo2 C2	1	0,008	0,01	0,05
Pf d/Ps2 Mo2 C3	1	1,118	1,12	6,34*

\*, \*\* Significativo aos níveis de 5 e 1 % pelo teste F.