

“Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de
nutrientes e na produção de Feijão-Caupi”

JOSÉ PEDRO PIRES TORQUATO

FEVEREIRO - 2009
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

“Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de nutrientes e na produção de Feijão Caupi”

JOSÉ PEDRO PIRES TORQUATO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

FEVEREIRO - 2009
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciências e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

José Pedro Pires Torquato

Dissertação defendida em :16/02/2009

Prof. Boanerges Freire de Aquino - PhD
(Orientador)

Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez - Doutor
(Examinador)

Francisco Valderez Augusto Guimarães - Doutor
(Examinador)

T640i Torquato, José Pedro Pires
Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de nutrientes e na
produção de “feijão caupi” / José Pedro Pires Torquato, 2009.
102 f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino
Área de concentração: Solos e nutrição de plantas
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de
Ciências Agrárias. Depto. de Solos, Fortaleza, 2008.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Adubação. 3. Nutrição vegetal I. Aquino,
Boanerges Freire de (orient.). II. Universidade Federal do Ceará – Pós -
Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 631

À minha Mãe Manuela (in memorian) que sempre lutou para que eu fosse ético, justo e nunca me conformasse com a mediocridade.

À minha esposa Rosa, que sempre acreditou em mim.

A meu Pai Torquato que nunca quis que me afastasse do caminho da Ciência.

Ao meu filho Pedro Lucas que me deu forças para continuar lutando pelo meu crescimento profissional.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade que e foi dada para a obtenção do Título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas;

Ao Departamento de Ciências do Solo e seus funcionários;

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação;

Agradeço ao meu orientador Professor Boanerges Freire de Aquino, pelos seus conselhos e orientações sempre com muito bom humor e paciência;

Ao Professor Ricardo Espíndola por quem desenvolvi um grande apreço e sem seu otimismo, gentileza e paciência eu não teria entrado neste curso de mestrado;

Ao Professor Fernando Felipe Ferreyra Hernandez pela sua ajuda e orientação durante a elaboração desta dissertação;

Ao Professor Assis Júnior por suas aulas inspiradoras;

Ao Professor Paulo Mendes por sempre estar à disposição para tirar minhas muitas dúvidas.

Ao Professor Ismail, pela ajuda nas minhas dúvidas;

Ao doutor: Francisco Valderéz Augusto Guimarães pelos seus sábios conselhos para a elaboração desta dissertação;

Ao Mestre Antonio José pela sua inestimável ajuda com minhas análises;

Ao Mestre Geocleber Gomes de Sousa pela ajuda nas minhas análises estatísticas;

Ao bolsista de Iniciação Científica David Correia pela grande ajuda com as minhas análises;

Ao aluno de Mestrado Daniel pela ajuda nas minhas análises;

À minha esposa Rosa e ao meu filho Pedro Lucas pela compreensão em relação à falta de tempo para com eles durante ao curso de mestrado;

Ao meu Pai Torquato e a sua esposa Fátima por toda a ajuda, carinho e conselhos que sempre me deram;

Ao professor Sandro Thomas Gouveia pela sua ajuda com as dosagens do molibdênio;

Aos meus colegas: Geocleber, Francélio, Jocimar, Helon, Flávio, Giovana, Elinete, João Paulo, Daniel, Natanael, Rafaela ,Rafael e Tatiana

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Distribuição dos vasos na casa de vegetação	22
Figura 2.	Tutoramento de Feijão Caupi	22
Figura 3.	Peso médio de sementes por vaso do Feijão Caupi	26
Figura 4.	Número médio de sementes por vaso do Feijão Caupi	27
Figura 5.	Peso médio de 100 sementes por vaso do Feijão Caupi	28
Figura 6.	Relação parte aérea / raiz com diferentes dosagens de fósforo aplicado em Feijão Caupi	31
Figura 7.	Aumento percentual do teor de molibdênio em relação à semente germinada	34
Figura 8.	Efeito da dose de fósforo aplicada em relação ao teor de molibdênio na semente	36
Figura 9.	Teor de nitrogênio na semente do Feijão Caupi	38
Figura 10.	Teor de nitrogênio na parte aérea da cultra do Feijão Caupi	39
Figura 11.	Teor de nitrogênio na raiz do Feijão Caupi	40
Figura 12.	Raízes nos tratamentos com e sem calagem, aos 21 dias após emergência	41
Figura 13.	Teor de fósforo na semente do Feijão Caupi	41
Figura 14.	Teor de fósforo na parte aérea do Feijão Caupi	43
Figura 15.	Teor de fósforo na raiz do Feijão Caupi	43
Figura 16.	Teor de enxofre na semente do Feijão Caupi	44
Figura 17.	Teor de enxofre na parte aérea do Feijão Caupi	45
Figura 18.	Teor de enxofre na raiz do Feijão Caupi	46
Figura 19.	Teor de cálcio na semente do Feijão Caupi	47
Figura 20.	Teor de cálcio na parte aérea do Feijão Caupi	48
Figura 21.	Teor de cálcio na raiz do Feijão Caupi	49
Figura 22.	Teor de potássio na semente do Feijão Caupi	50
Figura 23.	Teor de potássio na parte aérea do Feijão Caupi	51
Figura 24.	Teor de potássio na raiz do Feijão Caupi	51
Figura 25.	Teor de magnésio na parte aérea do Feijão Caupi	52
Figura 26.	Teor de magnésio na raiz do Feijão Caupi	52
Figura 27.	Teor de magnésio na raiz do Feijão Caupi	53

Figura 28.	Teor de manganês na semente do Feijão Caupi	54
Figura 29.	Teor de manganês na parte aérea do Feijão Caupi	54
Figura 30.	Teor de manganês na raiz do Feijão Caupi	55
Figura 31.	Teor e zinco na semente do Feijão Caupi	56
Figura 32.	Teor de zinco na parte aérea do Feijão Caupi	56
Figura 33.	Teor de zinco na raiz do Feijão Caupi	57
Figura 34.	Teor de cobre na semente do Feijão Caupi	58
Figura 35.	Teor de cobre na parte aérea da cultura do Feijão Caupi	58
Figura 36.	Teor de cobre na raiz do Feijão Caupi	59
Figura 37.	Teor de ferro na semente do Feijão Caupi	60
Figura 38.	Teor de ferro na parte aérea do Feijão Caupi	60
Figura 39.	Teor de ferro na raiz do Feijão Caupi	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores de alguns atributos físico-químicos do solo que foi utilizado no experimento, coletado em Tianguá – Ceará, Janeiro de 2007	20
Tabela 2.	Caracterização dos tratamentos utilizados no experimento do Feijão Caupi, Fortaleza, Ceará, 2008	23
Tabela 3.	Numero de vagens por vaso, peso médio das sementes por vaso, número médio de sementes por vaso e peso médio de 100 sementes do Feijão Caupi com diferentes aplicações de fósforo e com e sem calagem e molibdênio	29
Tabela 4.	Peso das raízes, parte aérea e relação parte aérea / raízes aos 110 dias após emergência	32
Tabela 5.	Análise estatística dos dados de: números de sementes, peso das raízes e peso de 100 sementes	32
Tabela 6.	Efeito dos tratamentos sobre a acumulação de molibdênio nas sementes, em comparação com as doses zero de fósforo	35
Tabela 7.	Efeito dos tratamentos sobre o peso das sementes e sobre a acumulação de molibdênio nas sementes	37
Tabela 8.	Análise estatística dos dados das sementes, parte aérea e raiz em relação aos quadrados médios dos macronutrientes	62
Tabela 9.	Análise estatística dos dados da semente, parte aérea e raiz em relação aos quadrados médios dos micronutrientes	63

INDICE

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. O fósforo no solo e na planta	3
2.2. O molibdênio no solo e na planta	13
2.3. O fósforo e o molibdênio no solo	17
2.3.1. A disponibilidade de nutrientes no solo e suas interações com a simbiose e o rizóbio	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Local e caracterização do experimento	19
3.2. Tratamento e delineamento experimental	20
3.3. Instalação e condução do experimento	21
3.4. Variáveis de crescimento	23
3.5. Coleta de plantas e análise de nutrientes	24
3.6. Análises estatísticas	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1. Efeitos do fósforo sobre a produção, crescimento e as concentrações de nutrientes do Feijão Caupi, com e sem aplicações de calcário e molibdênio	26
4.1.1. Produção de sementes	26
4.1.2. Influência do molibdênio, da calagem e das aplicações de diferentes doses de fósforo sobre o crescimento do Feijão Caupi	30
4.2. Efeitos do fósforo sobre os teores de molibdênio, nas sementes do Feijão Caupi, com e sem aplicação de calcário e molibdênio	33
4.3. Efeitos do fósforo sobre as concentrações de macronutrientes no Feijão Caupi, com e sem aplicação de calcário e molibdênio	38
4.4. Efeitos do fósforo sobre as concentrações de micronutrientes no	53

Feijão Caupi com e sem aplicação de calcário e molibdênio	
5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

O feijão é a principal fonte de proteínas de origem vegetal para consumo humano no Ceará, onde a cultura do Feijão Caupi é responsável por 20% da produção nacional. No entanto, há alguns aspectos do cultivo do feijão, que ainda não foram bem esclarecidos na literatura; como a interação existente entre fósforo e molibdênio no solo e como isso pode interferir na absorção destes elementos pelo sistema radicular. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de aplicações do molibdênio, fósforo e de calcário sobre as concentrações de nutrientes e sobre a produção do Feijão Caupi. Foram instalados dois experimentos em casa de vegetação, num Neossolo Quartzarênico, com textura areia franca, pH=6,6 (água), C.E.=0,57 dS/m, V%=85, C/N=10, $Al^{3+}=0$ cmol_c/kg, P assimilável=5 cmol_c/kg, S=4,8 cmol_c/kg, T=5,6 cmol_c/kg, com calagem e sem calagem (1,5g de calcário dolomítico por vaso), cada experimento foi arranjado num esquema fatorial 4.2.2 inteiramente casualizado com quatro repetições (em vasos com 4 kg de solo), com quatro doses de fósforo (superfósforo simples): 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8 g (por vaso) e duas doses de molibdênio (molibdato de sódio): 0,0 e 0,14 mg (por vaso). As vagens foram coletadas aos 73, 85, 97 e 110 DAE e as plantas aos 110 DAE, em seguida mensuradas as seguintes variáveis: a produção (peso médio de sementes, número médio de sementes por vaso e peso médio de 100

sementes), relação parte aérea / raiz (peso de raízes, peso de caules, peso de folhas e peso de vagens) e determinados os teores: N, Ca, Mg, S, P, K, Mn, Zn, Cu e Fe (extração: nitro-perclórica e por acetato de amônia e determinação por titulação, colorimetria e espectrofotometria de absorção atômica) em raízes, parte aérea e sementes, o teor de molibdênio nas sementes foi determinado por incineração e extração ácida com posterior determinação por ICP-OES (inducted coupled plasma optical emission spectrometry). Observou-se que as aplicações de calcário reduziram o crescimento das raízes e aumentaram o crescimento da parte aérea em relação às doses de fósforo aplicadas, o que aumentou a relação parte aérea/raiz. Na ausência do calcário ocorreu o inverso no crescimento das raízes e da parte aérea, levando a uma redução do número médio de sementes e peso médio de 100 sementes relação parte aérea/raiz. A adição do fósforo foi significativamente positiva para o aumento do: número médio de sementes e o peso médio de sementes, a aplicação conjunta de molibdênio e fósforo foi significativamente positiva no aumento do peso médio de 100 sementes. A aplicação de fósforo e do calcário reduziram a acumulação de Molibdênio nas sementes, mas a adubação molibídica no solo incrementou o teor de Mo nas sementes.

Palavras chave: molibdênio, fósforo, calagem, *Vigna unguiculata*

SUMMARY

The bean is the main source of proteins of vegetable origin for human consumption in Ceará, where bean Caupi's culture is responsible for 20% of the national production. However, there are some aspects of the cultivation of the bean, that were not still very illuminated in the literature; as the existent interaction between phosphorus and molybdenum in the soil and as that it can interfere in the absorption of these elements for the system root. Before that, is decided to study the effects of applications of the molybdenum, phosphorus and of calcareous about the concentrations of nutrients and about bean Caupi's production. Two experiments were installed at vegetation home, in a Neossolo Quartzarênico, with texture it sands frank, pH=6,6 (water), C.E. =0,57 dS/m, V%=85, C/N=10, Al³⁺=0 cmolc/kg, P assimilated=5 cmolc/kg, S=4,8 cmolc/kg, T=5,6 cmolc/kg, with calcareous and without calcareous (1,5g of calcareous for vase), each experiment was obtained entirely in an outline factorial scheme 4.2.2 randomized with four repetitions (in vases with 4 soil kg), with four phosphorus doses: 0,0; 0,2; 0,4 and 0,8 g (for vase) and two molybdenum doses: 0,0 and 0,14 mg (for vase). The beans went collected at the 73, 85, 97 and 110 DAE

and the plants to 110 DAE, soon after measurement the following variables: the production (weigh medium of seeds, medium number of seeds for vase and medium weight of 100 seeds), relationship aerial parts / root (weight of roots, weight of stems, weight of leaves and weight of beans) and certain the texts: N, Ca, Mg, S, P, K, Mn, Zn, ass and faith (extraction: nitro-perclóric and for ammonia acetate and determination for titulacion, colorimetria and spectrophotometer of atomic absorption) in roots, in aerial parts and seeds, of the molybdenum rate in the seeds were determined by incineration and acid extraction with after determination for ICP-OES (inducted coupled shapes optical emission spectrometry). It was observed that the applications of calcareous reduced the growth of the roots and they increased the growth of the aerial part in relation to the applied phosphorus rates, what increased the relationship it aerial parts/root, in the absence of the calcareous it happened the inverse in the growth of the roots and of the aerial part, taking to a reduction of the relationship aerial parts/root the addition of the phosphorus went significantly positive for the increase of the: medium number of seeds and the medium weight of seeds, the together application molybdenum and phosphorus was significantly positive in the increase of the medium weight of 100 seeds. The phosphorus application and of the calcareous they reduced the accumulation of molybdenum in the seeds, but the molybdenum fertilization in the soil increased the text of molybdenum in the seeds.

Keyword: liming, molybdenum, phosphorus, *Vigna unguiculata*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de feijão, foram produzidos nos anos de 2002 e 2003, aproximadamente seis milhões de toneladas, em uma área cultivada de 4,2 milhões de hectares, o que resulta em uma produtividade média de 714 kg/ha ao ano. Entretanto este valor, para a produção, não é o ideal, podendo ser considerado baixo uma vez que, para o monocultivo com alta tecnologia tem-se obtido, em experimentos, mais de quatro toneladas por hectare.

O feijão é a principal fonte de proteínas de origem vegetal para consumo humano no Ceará, onde esta cultura do feijão é responsável por 20% da produção nacional, que é realizada principalmente nas pequenas propriedades rurais sob a exploração familiar. Esta forma de produção em pequenas propriedades implica no uso contínuo da terra, requerendo, a aplicação de insumos, muitas vezes, inacessíveis aos pequenos produtores. Entre 406 mil propriedades rurais, que tem o feijoeiro como principal cultivo, apenas 20% usam algum tipo de fertilizante químico ou calcário, o que se reflete na baixa produtividade da cultura.

A utilização de leguminosas como o feijão na agricultura, traz a grande vantagem da fixação biológica de N (dependente do Mo) e a transferência do Nitrato do *Rhizobium spp.* para a planta. Com essa simbiose a carência do N (que é um dos nutrientes mais importantes para aumentar a produção e um dos adubos mais usados no mundo) é bastante amenizada, reduzindo os custos de produção e aumentando a produtividade. O teor de Mo nas sementes interfere na simbiose e no aumento da produção. Em plantas oriundas de sementes com altos teores de P observou-se um

estimulo no crescimento, na nodulação e no acúmulo de N. Contudo sementes com altos teores de Mo mantiveram a atividade da nitrogenase de forma idêntica aquelas que receberam o Mo via adubação.

Para produzir tais sementes são necessárias condições de cultivo com altas doses de P e de Mo disponíveis no solo. Porém alguns fatores podem interferir na disponibilidade de molibdênio nos solos, dentre eles: pH, textura, matéria orgânica, potencial redox, óxidos de ferro e alumínio e a interação com outros nutrientes como os fosfatos e sulfatos.

A deficiência de Mo afeta o metabolismo do N devido a sua participação como componente da enzima nitrogenase que está relacionada a fixação do N pelas leguminosas, atuando, também, na redutase do nitrato, responsável pela redução do nitrato a nitrito nas plantas.

O total de P nos solos varia de 0,02 a 0,5%, no entanto, apenas uma pequena fração está presente em formas disponíveis para as plantas. Sua deficiência interfere diretamente na fixação biológica de N, visto que o P atua diretamente sobre a iniciação, crescimento e na nodulação, incrementando sua atividade e ocasionando aumento simultâneo na acumulação de N, ou, de forma indireta, o crescimento do hospedeiro.

O presente trabalho tem como objetivo testar, em casa de vegetação, os efeitos de quatro doses de P e duas doses de Mo aplicado no solo, na ausência e na presença de calagem, sobre a produção e concentrações dos nutrientes na raiz, parte aérea e semente de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivar Setentão.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Fósforo no solo e na planta

Nos solos do Brasil, o fenômeno de absorção de Fósforo é um grave problema para a agricultura uma vez que, esses solos contêm minerais de argilas 1:1 e de óxidos de ferro e alumínio responsáveis por aquele fenômeno. Os solos intemperizados podem se tornar fortes drenos de P, chegando a absorver 6000 mg/kg em alguns solos havaianos (Khasawneh, 1980). Em São Paulo o teor total de P pode ser superior a 1000 mg/kg, ou aproximadamente 2000kg P/ha; por outro lado, o teor extraível de P do solo (considerado como aproveitável pelas plantas), em geral, está em torno de 5 a 10 mg P/kg solo, ou 10 a 20 kg/ha. O teor de P livre (solubilizado) na solução destes solos está, em geral, em torno de 0,2 mg P/litro de solução (Aquino, 2005). Os vegetais só absorvem o P da solução do solo cujas concentrações são geralmente baixas, variando entre 0,1 e 1 mg P L⁻¹ (Larsen, 1967). O P na solução do solo está nas formas iônicas de H₂PO₄⁻, HPO₄⁻² e PO₄⁻³ e complexos solúveis destes íons; a distribuição destas formas iônicas é determinada principalmente pelo pH da solução podendo causar efeito tampão (Novais et al., 2007).

Em função da sua elevada reatividade o P presente no solo pode estar indisponível para a planta (Holford, 1997) e, frequentemente, em teor inferior ao adequado para diversas culturas (Al-niemi et al., 1997; Hinsinger, 2001), especialmente quando se considera solo de regiões tropicais e subtropicais (Hinsinger, 2001). Essa condição é característica de vários solos do mundo (Nielsen et al., 1998) e, limita o crescimento de plantas em muitos biomas terrestres (Bonser et

al., 1996; Fan et al., 2003; Ho et al., 2004). O reduzido teor de P disponível no solo é a limitação nutricional mais comumente encontrada para produção agrícola nos trópicos e sub-trópicos (Fernandes & Ascêncio, 1994; Raghothama, 1999; Fageria et al., 2004; Parra et al., 2004), por isso, muitas vezes, a principal adubação é a fosfatada e não a nitrogenada associada a grande quantidade de leguminosas cultivadas.

Os solos tropicais são caracterizados pelo elevado grau de intemperização e pelos baixos teores de P na forma disponível às plantas, principalmente, nos horizontes superficiais e diminuindo 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., 2003), em especial nas propriedades de pequeno porte, pela falta de recursos para a administração de insumos, nelas localizam-se agrossistemas que sustentam ampla fração da humanidade (Fan et al., 2003). Em condições extrema de intemperismo como acontece em alguns Latossolos de cerrado, o solo é um forte dreno de P (Novais & Smyth, 1999).

Metade das áreas produtoras de feijão na América Latina, estão com baixa concentração de P disponível, situação esta também observada em áreas da África (Yan et al., 1996). O solo pode ser um forte dreno de P (Novais & Smyth, 1999) e mais de 80% do P nele existente apresenta-se adsorvido, precipitado ou convertido à forma orgânica (Schachtman et al., 1998).

Quando o fertilizante fosfatado é aplicado ao solo, pode sofrer reações de adsorção na superfície de óxidos de Fe e Al que, normalmente, é denominada de sorção de P, ou precipitar-se como fosfatos de Al, Ca e Fe, quando as quantidades aplicadas são elevadas (Barber, 1984). Embora essa retenção, “adsorção”, auxilie na utilização de P pelas plantas, o envelhecimento dessa retenção com a formação do P não-lábil torna-se um problema. A retenção do P colocado via adubação ou degradação da matéria orgânica em formas lábeis ou não, se da tanto pela precipitação do P em solução com forma iônica de Fe, Al e Ca, como e especialmente, pela adsorção pelos oxidróxidos de Fe e de Al presentes, de um modo geral, em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, particularmente nos mais argilosos (Sanchez & Uehara, 1980; Sanyal & De Datta, 1991; Valladares et al., 2003; Rolim Neto et al., 2004).

O P é de fundamental importância pois, atua em vários processos metabólicos em plantas como: a transferência de energia, a síntese e estabilidade de membrana, a síntese de ácidos nucléicos, a glicose, a respiração,

a ativação e a desativação de enzimas, as reações redox, o metabolismo de carboidratos e a fixação de N_2 (Vance et al., 2003).

A concentração de P na solução do solo, de onde efetivamente as raízes absorvem o elemento, é relativamente baixa, na ordem de $0,1 \mu\text{g P/ml}$. Essa concentração (que corresponde a 50g P/ha em um solo com 25% de umidade) é suficiente para atender as necessidades de uma planta em seu ciclo normal de crescimento. Conclui-se que, a fase sólida do solo terá que dinamicamente renovar o fósforo da solução a fim de atender a demanda da planta (Aquino, 2005). Na maior parte dos solos férteis, a razão entre os teores disponíveis de N, P e K na rizosfera é de 1:0,001:1, respectivamente (Gahoonia & Nielsen, 2004). Portanto, a pequena concentração de P disponível nos solos intemperizados exige um mecanismo de absorção bastante eficiente. As plantas adquirem P contra um elevado gradiente de concentração através da membrana plasmática, assim, as concentrações de P_i (fósforo inorgânico) nas células vegetais são geralmente cem vezes superiores (da ordem de mmol L^{-1}) às concentrações na solução do solo (da ordem de $\mu\text{mol L}^{-1}$) (Raghothama, 2000). Isso, associado à carga negativa dentro da célula, requer um forte gradiente eletroquímico para que o transporte do P, para dentro da célula, seja possível (Smith, 2002). As taxas de absorção de P são maiores entre pH 4,5 e 6,0 na solução, onde a forma H_2PO_4^- é, predominante, indicando que o P é preferencialmente absorvido como H_2PO_4^- (Sentenac & Grignon, 1985).

Estudos de cinética de absorção demonstram que as plantas possuem tanto transportadores de baixa, quanto de alta afinidade pelo P. Contudo, diante das concentrações usuais de P nos solos cultivados ($1\text{-}10 \mu\text{mol L}^{-1}$), são os transportadores de alta afinidade que mediam a absorção de P (Vance et al., 2003).

O Fósforo inorgânico move-se do córtex ao cilindro central das raízes especialmente, via simplasto a uma taxa de 2mm h^{-1} a qual pode ser atingida apenas pela difusão. Contudo, é provável que o fluxo transpiratório (teoria de Dixon) também contribua com esse movimento (Bielecki, 1973).

Depois da sua absorção no simplasma radicular, o fósforo inorgânico encontra cinco possíveis destinos: (1) ingressa no compartimento metabólico (citoplasma celular e suas organelas) onde a maior assimilação de fósforo inorgânico em compostos orgânicos ocorre via formação de uma ligação

anidrida no ATP; (2) uma pequena fração de fósforo inorgânico ingressa nas vias biossintéticas de lipídio, DNA e RNA, tornando-se um componente estrutural da célula; (3) uma quantidade variável de fósforo inorgânico é perdida pela célula via efluxo, principalmente, em condições de alto suprimento de P; (4) ocorre o influxo e armazenamento de Pi (fósforo inorgânico) dentro do tonoplasto para regular a homeostase de Pi no interior da célula; e (5) o Pi é transportado simplasticamente para as células do parênquima do lenho e, posteriormente, liberado no apoplasto do xilema para o transporte a longa distância para os tecidos da parte aérea (Rausch & Bucher, 2002).

Quanto maior o sistema radicular maior será a área de contato entre as raízes e o solo, principalmente para íons pouco móveis como o fosfato, a absorção é, freqüentemente, associada ao comprimento radicular. As plantas cultivadas que usualmente apresentam elevadas taxas de crescimento, precisam da contínua exploração de novas porções de solo ainda não foram exauridas pela absorção radicular e a morfologia radicular apresenta grandes variações entre espécies, sendo que pelo menos parte dessa variação está sob controle genético, apesar de existir considerável variabilidade fenotípica em muitas espécies.

Quando alguns nutrientes limitam o crescimento vegetal, (em particular N e P), as raízes transformam-se em forte dreno de carboidratos, causando maior limitação ao crescimento da parte aérea do que da raiz, proporcionando o aumento da razão entre a massa de raiz e a parte aérea. Raízes de feijoeiro crescidas em um meio deficiente em P apresentam concentrações de açúcares muito superiores às de raízes de plantas em meio com adequado suprimento de P, em virtude da maior translocação de fotoassimilados da parte aérea (Wanke et al., 1998). A redução da taxa de crescimento da parte aérea ocorre logo após o início da deficiência de P, enquanto o crescimento da raiz só é limitado após maior intervalo de tempo e com menos intensidade (Fredeen et al., 1989).

Além disso, os requerimentos relativos ao fósforo podem ser relativamente maiores para a produção de raízes do que para a de folhas, pois as raízes apresentam pequena remobilização de P para o restante da planta durante a senescência (Lynch & Brown, 2001).

A distribuição radicular relacionada à presença de biomassa, demonstra a capacidade do sistema radicular de exploração de diferentes camadas do solo. Plantas de soja apresentam baixa densidade radicular, enquanto que as plantas perenes, apresentam grande densidade de raízes (Barber, 1984). A distribuição radicular é alterada pelo estágio de crescimento, aos 47 dias da emergência 2/3 da área radicular de genótipos de milho estava concentrada na camada superficial do solo e três semanas depois esse valor era inferior a 50 % (Schenk & Barber, 1980). É um fato o maior crescimento de raízes nas profundidades do solo que recebem adubação fosfatada e, à medida que se aprofunda a aplicação do fertilizante ocorre aumento da biomassa de raízes (Chaib et al., 1984).

Em solos com baixo suprimento de P é comum observar diminuição do raio radicular e, neste caso, um sistema radicular com raízes finas poderia ser considerado mais eficiente para absorção de P, no entanto, não devem ser menosprezados outros pontos funcionais de raízes mais grossas em determinadas condições ambientais (Eissenstat, 1992). Não obstante, o custo de manutenção de raízes finas pode ser muito alto, pois, elas têm uma duração muito curta (Gahoonia & Nielsen, 2004). Em consequência da aplicação de fertilizantes e da presença de P orgânico, é comum a ocorrência de variações espaciais na concentração de P dos solos, permitindo, em consequência a modificações na morfologia radicular. As raízes de feijoeiro crescidas sob baixo teor de P obtiveram mais biomassa e produziram raízes laterais mais finas em um determinado volume do solo enriquecido com P, quando comparadas a plantas originalmente crescidas sob alto teor de P (Snapp et al., 1995).

Sob baixo suprimento de P, ocorre aumento no comprimento e na densidade de pêlos radiculares. Entre todas as alternativas de se aumentar a superfície radicular, as mudanças na morfologia de pêlos radiculares são consideradas aquelas com menor custo metabólico (Gahoonia & Nielsen, 2004).

Para elucidar o problema da absorção de P, vários mecanismos foram desenvolvidos em ambiente onde o suprimento deste nutriente é limitante. Eles podem ser agrupados em duas amplas categorias: aqueles que aumentam o conteúdo de nutriente absorvido do solo e, aqueles que afetam a eficiência

vegetal em utilizar o nutriente absorvido para a produção de biomassa (Elliott & Läubli, 1985).

Resumidamente, podemos afirmar que os processos provocam a um aumento da absorção de P incluem o maior crescimento radicular associado a mudanças na arquitetura radicular, a expansão da superfície radicular pelo crescimento de pêlos radiculares e associação com fungos micorrízicos, a maior produção e excreção de fosfatases, a exsudação de ácidos orgânicos e um estímulo à expressão dos transportadores de P (Vance et al., 2003). Porém os processos que aumentam a eficiência de utilização do nutriente, envolvem a redução na taxa de crescimento a uma maior produção de biomassa por unidade de P absorvido, a remobilização do P interno, modificações no metabolismo de C que contornem as etapas que requerem P e a utilização de vias respiratórias alternativas (Vance et al., 2003).

As plantas possuem provavelmente dois diferentes mecanismos sinalizadores para manter a homeostase do fósforo: um operando em nível celular e outro envolvendo múltiplos órgãos e, provavelmente, oriundo da parte aérea (Raghothama, 2000). Em nível celular, o movimento de P_i para dentro e fora do vacúolo e a regulação do influxo e efluxo de P seriam os principais mecanismos para manter a homeostase. Porém, a resposta relativa ao organismo é muito mais complexa, uma vez que, envolvem o transporte de P dos tecidos velhos para os jovens, ou das raízes para a parte aérea e retornando às raízes (Raghothama, 2000). A regulação da absorção de P em raízes é uma resposta sistêmica mais do que uma resposta localizada (Smith, 2002).

Nas células das plantas frutíferas, a concentração de fósforo inorgânico no citoplasma é mantida geralmente estável sob diferentes doses de fornecimento de P, enquanto que a concentração de fósforo inorgânico no vacúolo modifica-se substancialmente de forma a equilibrar o P_i citoplasmático, permitindo assim a regulação de etapas metabólicas no citoplasma e nos cloroplastos (Rausch & Bucher, 2002).

Certos hormônios vegetais, como, auxinas, etileno, citocininas e zeatinas podem estar envolvidos na modificação da arquitetura radicular, no desenvolvimento de raízes laterais, no alongamento de pêlos radiculares e na formação de raízes proteóides em condições de deficiência de P (Vance et al., 2003). Por outro lado quando as plantas absorvem P em taxas que excedem a

demanda de crescimento, alguns processos atuam para prevenir a acumulação de concentrações tóxicas de P, como a conversão de Pi em compostos de reserva, a redução da taxa de absorção de Pi da solução do solo, ou a perda de Pi por efluxo (Schachtman et al., 1998).

A concentração de P na parte aérea teria um papel central na regulação da taxa de absorção de P por unidade de raiz, na partição de biomassa entre raiz e parte aérea e na taxa de crescimento relativo da planta (Drew & Saker, 1978). Plantas crescidas sob fornecimento limitado de P e posteriormente supridas com o nutriente, apresentam influxos de P superiores aos de plantas originalmente crescidas sob alto fornecimento de P (Jungk et al., 1990).

Normalmente, a taxa de absorção dos nutrientes pelas raízes diminui com a maturação da planta (Gao et al., 1998). Nos sistemas radiculares jovens, a taxa de absorção de nutrientes diminuiu, acentuadamente, com o envelhecimento das raízes. No entanto, sistemas radiculares mais velhos tiveram uma reduzida taxa de absorção porém com menor declínio com o passar do tempo, ou seja, se tornando mais estáveis (Gao et al., 1998).

Partes suberizadas do sistema radicular podem assumir importante papel na absorção de P pois, como a absorção de P segue a via simplástica, seria pouco afetada pela suberização da endoderme (Barber, 1984). Os genes codificadores dos transportadores de Pi de alta afinidade estão distribuídos por todo o comprimento radicular de plantas sob deficiência de P, demonstrando dessa forma, que todo o sistema radicular mantém o potencial para absorção de P (Raghothama, 2000).

O Pi é a principal forma de transporte de P no xilema, pois, é ele que entra na raiz após ser rapidamente incorporado em formas orgânicas, seria hidrolisado antes da sua transferência para o xilema (Loughman, 1981). A exportação de P para a parte aérea foi mais sensível à inibição da síntese protéica do que o seu influxo nas raízes, indicando, assim que, as unidades reguladoras da transferência de P para o xilema devem diferir daquelas envolvidas no transporte de fosfato através da membrana plasmática das células corticais (Schjorring & Jensén, 1987).

Para um nutriente tão móvel quanto o P, o padrão de redistribuição parece ser determinado pelas influências das propriedades da fonte e do dreno do que pelo sistema de transporte (Bielecki, 1973). Estudos com radioisótopos

revelam que o movimento de P é determinado pelo movimento e pela demanda de carboidratos dentro da planta e não pelos requerimentos de P do dreno (Marshall & Wardlaw, 1973).

Sob deficiência de P ocorre maior proporção deste nutriente em formas orgânicas nas raízes e menor concentração no exsudado do xilema, o que indica que o aumento da razão entre a massa de raiz e a de parte aérea poderá ser conseqüente de uma menor quantidade de Pi disponível para o transporte para a parte aérea (Chapin & Bieleski, 1982; Alves et al., 1998).

A senescência foliar e a concomitante degradação de macromoléculas permitem o reaproveitamento de nutrientes móveis (“turn-over”) como N e P para o crescimento vegetal posterior (Aerts, 1996). Observou-se que em plantas deficientes em P, o fornecimento limitado de Pi da raiz é suplementado pela mobilização de P das folhas velhas para as folhas jovens e as raízes, por esta razão e sua carência é visualizada inicialmente nas folhas velhas, cujo processo envolve a depleção das reservas de Pi e a quebra de P orgânico de folhas velhas (Schachtman et al., 1998). Mais da metade da demanda de P de vagens e sementes de plantas de feijoeiro foi suprida pela remobilização das folhas (Snapp & Lynch, 1996), tendo a máxima exportação de P das folhas de arroz ocorrido nos estádios de desenvolvimento dos grãos, decaindo após o enchimento dos grãos (Mondal & Choudhuri, 1985).

A proporção entre a quantidade de nutrientes nos grãos e a quantidade de nutrientes na biomassa é superior para o P quando comparado aos demais macronutrientes (Haag et al., 1967), indicando uma translocação preferencial de P para os grãos. Esse intenso processo de translocação de nutrientes dos tecidos vegetativos para os órgãos reprodutivos acarreta um decréscimo no teor de nutrientes nas folhas, o que pode limitar a fotossíntese da copa em estádios posteriores de crescimento, sugerindo que o atraso na senescência foliar poderia ser uma estratégia para aumentar a produtividade dos cultivos anuais (Grabau et al., 1986). No entanto, progênies de soja apresentaram relação inversa entre produção de grãos e senescência foliar, sugerindo que as produções máximas só podem ser obtidas em plantas cujas folhas entrem em senescência durante o enchimento de grãos (Phillips et al., 1984).

A redução dos teores de P nos grãos tem sido proposta como uma alternativa para a sustentabilidade da agricultura, propiciando maior eficiência

do uso de fertilizantes e menor remoção de P pelos cultivos, muito embora seja contra o princípio biológico da economia máxima. A concentração de P nos grãos parece ser parcialmente consequência da quantidade de carboidratos no grão que dilui uma quantidade de P controlada por fatores genéticos ou ambientais (Feil et al., 1992). Por sua vez, as sementes com altos teores de P originam plantas com maior crescimento da parte aérea, nodulação e acumulação de N, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo, indicando que o P da semente pode assumir papel fundamental no estabelecimento vegetal (transformação de plântula em planta) e na fixação biológica de N₂.

O P está particularmente envolvido na transferência de energia, pois, o ATP é necessário para a fotossíntese, translocação e quase todos os outros processos metabólicos.

Os sintomas de deficiência de P não são tão marcantes como para outros macronutrientes, pois, os efeitos mais evidentes constituem uma acentuada redução no crescimento da planta como um todo. Contudo, pode-se observar em plantas com deficiência desse elemento exibem uma coloração verde-escura nas folhas mais velhas e em algumas espécies colorações avermelhadas em consequência da acumulação de antocianina. Outros sintomas de deficiência de P são: menor perfilhamento, atraso no florescimento, gemas laterais dormentes, pequeno número de frutos e sementes e reduzida nodulação em leguminosas (Malavolta et al., 1997).

O pequeno suprimento de fósforo reduz a área foliar em consequência, principalmente, da redução no número de folhas e, secundariamente, da limitação à expansão da folha (Lynch et al., 1991; Rodríguez et al., 1998). Entretanto, geralmente a deficiência de P tem pequena influência nas taxas fotossintéticas (Fredeen et al., 1989), porém, alguns efeitos conflitantes do P na fotossíntese podem ser observados, se não for considerada a intensidade e a época do estresse provocado pela deficiência de P (Rodríguez et al., 1998). No entanto, deve-se considerar uma possível resposta diferenciada entre plantas C₃ e C₄ em função da deficiência de P. O crescimento das plantas C₃ é mais sensível à deficiência de P do que das plantas C₄, porém as espécies C₃ e C₄ apresentaram a mesma eficiência fotossintética de uso do P e concentrações similares desse elemento nas folhas (Halsted & Lynch, 1996).

As modificações no metabolismo fotossintético observadas sob moderada deficiência de P, como, o estímulo à recirculação de Pi durante o metabolismo glicolítico e do fosfoenolpiruvato, estimularam a adaptação de feijoeiros ao pequeno suprimento de P (Kondracka & Rychter, 1997).

As plantas que se adaptaram aos solos de reduzida fertilidade geralmente apresentam pequena taxa de crescimento, taxas de absorção de nutrientes moderadas e grande concentração de nutrientes nos tecidos se, comparadas as espécies de rápido crescimento sob as mesmas condições (Chapin & Bielecki, 1982). A pequena taxa de crescimento pode auxiliar na adaptação a condições estressantes, uma vez que o crescimento lento induz menor demanda (energética e hídrica), menor exaustão dos recursos ambientais, e espécies de menor taxa de crescimento podem sobreviver durante períodos em que nenhum crescimento é possível. No entanto, o lento crescimento não constitui, necessariamente, uma adaptação ao baixo suprimento de P, uma vez que plantas anuais necessitam de rápido crescimento para competir em seus habitats naturais (Chapin et al., 1989).

Atualmente cogita-se a hipótese de que as cultivares modernas teriam baixa eficiência nutricional, por terem sido selecionadas em condições de alta fertilidade do solo e, uma seleção indireta para alta resposta aos fertilizantes pode ter ocorrido por meio da seleção artificial para altas produções (Duncan & Baligar, 1990). Genótipos silvestres de feijoeiro mostraram menor tolerância ao baixo suprimento de P no solo do que genótipos cultivados, em termos de crescimento do colmo e produção de grãos, mostrando que a adaptação ao baixo P foi adquirida durante a domesticação da espécie (Araújo et al., 1997; Beebe et al., 1997).

Nos solos tropicais, geralmente muito intemperizados e com baixos teores de P disponível, as grandes culturas de interesse econômico, com altas taxas de crescimento, geralmente necessitam de grandes aplicações de fertilizante fosfatado para obtenção de adequadas produtividades. Para 774 tratamentos de adubação em todas as regiões do Brasil, as produções médias de oito culturas sem adubação fosfatada variaram de 47 a 91 % das produções com adubação (produção relativa) (Raij et al., 1982). Em solos com baixos teores de P disponível, são requeridas aplicações anuais de manutenção da ordem de 20 a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a maioria das culturas (Raij et al., 1982). Todavia, em

virtude das fortes reações de adsorção de P nos colóides minerais de carga variável, a adubação fosfatada tem eficiência muito baixa nas regiões tropicais, registrando-se uma recuperação pelas culturas de apenas 5 a 20 % do P aplicado em um ano agrícola. Deve-se registrar que, na atual velocidade de exploração, as reservas descobertas de apatita de baixo custo de mineração utilizadas na fabricação de fertilizantes fosfatados, para as condições de consumo atuais, devem esgotar-se dentro de 60 a 80 anos.

2.2 O Molibdênio no solo e na planta

O molibdênio (Mo) é um elemento encontrado em toda a crosta terrestre principalmente, em solos provenientes de rochas sedimentares (Bataglia et al., 1976).

O teor médio de Mo na litosfera é de 2,3 mg kg⁻¹. Contudo, sua concentração nos solos é sempre muito baixa, sendo superior a 0,04% apenas em alguns depósitos marinhos (Gupta & Lipset, 1981). No solo, apresenta-se fundamentalmente na forma aniônica (MoO₄²⁻), cujas formas no solo são: (1) não disponível, retido no interior da estrutura de minerais primários e secundários; (2) parcialmente disponível ou trocável, absorvido nas argilas, de modo particular nos óxidos de Fe e Al, como MoO₄²⁻ e disponível em função do pH e do teor de fósforo disponível; (3) ligado à matéria orgânica; e (4) na forma solúvel em água (Davies, 1956).

Devido a essa baixa concentração nos solos e utilização sem a devida reposição, o Mo tem-se esgotado tornando comum a sua deficiência, principalmente, nos solos de cerrado (Sfredo et al., 1994; Sfredo et al., 1997).

A carência de molibdênio tem sido relatada em vários sistemas agrícolas do mundo, o teor de Mo total no solo encontra-se entre 0,5 a 5,0 mg kg⁻¹ (Gupta & Lipset, 1981).

A disponibilidade de Mo nos solos pode ser afetada pelo pH, pela matéria orgânica, pelos óxidos de ferro e de alumínio, pela textura, pelo potencial redox e pela interação com outros nutrientes aniônicos como fosfatos e sulfatos (Santos, 1991). A carência de Mo pode afetar a capacidade produtiva das culturas de forma generalizada e em especial as de leguminosas como o feijão.

Em condições de pH extremamente baixo, o Mo existente na solução do solo pode estar em uma forma não dissociada de ácido molibídico (H₂MoO₄). Com

aumento do pH, o H_2MoO_4 se dissocia em HMoO_4^- e, posteriormente, a molibdato (MoO_4^{2-}) o qual se torna a forma predominante em solos de pH neutro e alcalino (Krauskopf, 1972). O suprimento para as plantas é feito principalmente nesta forma presente na solução do solo, via fluxo de massa (Krauskopf, 1972).

A disponibilidade de Mo para a planta é afetada por vários fatores incluindo a mineralogia da argila sendo sorvido, especialmente, pela caulinita e óxidos de Fe e Al (Reisenauer et al., 1963). Normalmente, a maior parte do Mo encontra-se em formas não-disponíveis para a planta. A maior ou menor disponibilidade é determinada pelo pH do solo e pelo teor de óxidos de Fe, Al e Ti. A presença de matéria orgânica, bem como de fosfato ou sulfato, tem pequena influência na sua disponibilidade. As reações de adsorção do Mo têm sido estudadas em função de vários fatores químicos incluindo a concentração do Mo em equilíbrio, o pH da solução, a força iônica, a competição de ânions e a temperatura (Goldberg et al., 2002).

Em solos ácidos e com teores elevados de óxidos de Fe e Al, a fixação do ânion MoO_4^{2-} é bastante alta. A fixação do Mo é tão intensa quanto maior for o teor destes óxidos e quanto menor for o pH o qual geralmente, também, está associado a toxidez por Al e Mn. Em relação a MOS, os resultados são contraditórios, isto é, existem casos em que a disponibilidade de Mo aumenta com a matéria orgânica e outros em que diminui.

A fração do Mo disponível para as plantas é constituída pelo Mo da solução do solo com teor extremamente baixo, pelo Mo adsorvido à superfície de sesquióxidos (principalmente Fe_2O_3 e Al_2O_3) de compostos cristalinos de baixa solubilidade e pelo Mo complexado à matéria orgânica. Contudo, a maior parte do Mo do solo encontra-se oclusa (não disponível) em minerais (Raj et al., 1987).

De forma diferente dos outros micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn), a disponibilidade do Mo aumenta com o aumento do pH do solo. Dessa forma, pode-se explicar o fato de não haver deficiências deste nutriente em solos com valores mais elevados de pH.

O Mo é facilmente intemperizado dos minerais primários. Se comparado com os outros micronutrientes, ele permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente solúveis (Bolland & Backer, 2000). Com tudo, 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 (que são a maioria), através da calagem, aumenta a disponibilidade de

molibdênio, justificando-se esta ocorrência com o mecanismo de troca dos ânions de molibdato (MoO_4^{2-}) por hidroxila (OH^-).

Apesar das quantidades de Mo serem reduzidas em todos os solos em relação aos outros nutrientes minerais, há a contrapartida deste nutriente necessária em quantidades muito reduzidas nos processos biológicos pois, ele é utilizado em concentrações de ppm ou até ppb (Gupta & Lipset, 1981).

Existem resultados que comprovam que a adição de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados em solos ácidos favorece a absorção de Mo pela planta. Entretanto, a adição de quantidades significativas de sulfatos provoca uma ação depressiva na absorção de Mo.

O Mo é absorvido na forma do ânion MoO_4^{2-} (molibdato) e sua absorção é proporcional à sua concentração na solução do solo, a qual pode ser reduzida pelo efeito competitivo do SO_4^{2-} (Reisenauer, 1973).

Embora não existam evidências diretas, é aceito que o Mo seja absorvido metabolicamente por transporte ativo (com gasto de energia). Considera-se que o Mo é medianamente móvel nas plantas, contudo a forma como é transportada, na planta, ainda é uma incógnita. Dados indicam que o Mo se mova no lenho como MoO_4^{2-} , como complexo Mo-S aminoácido ou como molibdato complexado com açúcares (Tiffin, 1972).

As plantas precisam de pequenas quantidades de Mo (menos de 1 mg kg^{-1} de Mo na matéria seca da planta o que representa, em geral, de 40 a 50 g ha^{-1} para suprir as necessidades da maioria das culturas). As concentrações de Mo nas plantas ficam entre 0,01 e 500 mg kg^{-1} de matéria seca, dependendo do órgão da planta e da espécie em questão, adotando-se concentrações entre 0,6 e 10 mg kg^{-1} como adequadas para um crescimento normal das plantas. As plantas deficientes apresentam concentrações foliares entre 0,01 e $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Malavolta, 1980; Malavolta et al., 1989; Pais & Jones Junior, 1996; Furlani, 2004).

Grandes quantidades de MoO_4^{2-} podem ser absorvidas pelas plantas sem efeitos tóxicos. O MoO_4^{2-} é um ácido fraco que pode formar complexos polianiónicos com o P, como o fosfomolibdato, de modo que possivelmente altas concentrações sejam sequestradas sob esta forma nas plantas.

A maior parte do Mo encontra-se na enzima nitrato redutase nas raízes e também colmos das plantas que catalisa a redução do íon NO_3^- a NO_2^- . O

nitrato redutase das plantas espermatófitas é encontrada como uma molibdoflavoproteína solúvel. A enzima nitrato redutase tem o Mo ligado de uma forma reversível. Plantas com deficiência de Mo apresentam acúmulo de NO_3^- , de modo que a falta de Mo tem repercussões similares à falta de N, acarretando em prejuízos para a produção (Fernandes, 2006).

Nas raízes, com nódulos das plantas fixadoras de N, o Mo se encontra quase todo na enzima nitrato redutase e na nitrogenase dos bacteróides nodulares. Apesar dos microrganismos possuírem outras enzimas com Mo (sulfito oxidase, aldeído oxidase, xantina desidrogenase e oxidase), não existem evidências da existência destas enzimas nas plantas superiores (Dechen & Nachtigall 2007) A enzima nitrogenase é, atualmente, um constituinte das bactérias simbióticas e dos fungos actinomicetos, enquanto a nitrato redutase é a única enzima com Mo nas plantas superiores porém de extrema importância. As plantas podem crescer na ausência de Mo, no entanto, é necessário fornecer o N na forma de NH_4^+ , uma vez que, a planta não terá como transformar o nitrato em amônio.

A deficiência de Mo prejudica a formação de ácido ascórbico (vitamina C), interfere de forma negativa no conteúdo de clorofila e na atividade respiratória celular.

O sintoma característico de deficiência de Mo é que as folhas, ainda que mantendo a cor verde, deformam-se devido à morte de alguma das células parênquimáticas. As folhas mostram tamanho reduzido, apresentando clorose e mosqueados de cor marrom (em toda a folha ou parte da folha), surgindo daí zonas necróticas na ponta da folha que se estendem nas bordas. Por último, a folha morre, provocando abscisão prematura. A deficiência em Mo leva a uma concentração anormal de NO_3^- nas folhas e, portanto, influenciando no metabolismo do N. A deficiência de Mo pode influenciar, também, a viabilidade do grão de pólen e conseqüentemente, a reprodução e produtividade da maior parte das culturas.

Sabe-se que do total de Mo absorvido pelos feijoeiros de 24 a 65 % é transportado para as sementes (Jacob Neto et al., 1988).

Os casos de toxicidade por Mo não são muito freqüentes, tendo-se descrito plantas crescidas em zonas de minas com teores de até 200 mg kg^{-1} nas

folhas sem sintomas de toxicidade. Não foi observada toxicidade por Mo na concentração de 800 g ha^{-1} (Jacob Neto, 1985).

2.3 O fósforo e o molibdênio no solo

Os processos de adsorção do íon molibdato são semelhantes aos verificados com os íons fosfatos no solo. O Mo é muito provavelmente transportado como MoO_4^{2-} . Esta forma aniônica é muito próxima a de outros metais como SO_4^{2-} e HPO_4^{2-} , portanto, esta semelhança química pode trazer implicações na disponibilidade de Mo no solo e na sua absorção pelas plantas apesar disso os sítios de adsorção específica destes poliânions no solo são menos perfeitos para o molibdato do 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, 1987).

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, 1987). Em áreas onde doses suficientes P foram aplicadas algumas culturas não apresentaram resposta à aplicação de Mo (Kubota, 2006).

2.3.1 A disponibilidade de nutrientes no solo e suas interações com a simbiose e o rizóbio-leguminosa

O feijoeiro é uma planta bastante exigente em termos nutricionais uma vez que, não tolera a acidez do solo, tendo seu crescimento limitado conforme destacado acima pelas deficiências nutricionais decorrentes desta condição. Sob condições simbióticas, torna-se crítico o suprimento de cálcio, fósforo e molibdênio.

A calagem, procedimento indispensável na maioria dos solos ácidos tropicais, visando o cultivo de leguminosas, normalmente, fornece níveis adequados de cálcio aumentando a sobrevivência do rizóbio no solo (Nahiz et al., 1993; Slattery & Coventry, 1993), não apenas pela correção da acidez do solo como também pelo efeito direto do cálcio no rizóbio e no estabelecimento da simbiose.

O fósforo, deficiente na maioria dos solos tropicais, é um nutriente que tem efeito marcante à atividade da nitrogenase devido ao alto dispêndio energético promovido pela atividade de fixação biológica de nitrogênio. Diversos experimentos tem sido conduzidos em nível de campo e de casa de vegetação, visando avaliar o efeito de diferentes níveis deste nutriente na eficiência simbiótica e produtividade das plantas sob condições simbióticas (Pereira & Bliss, 1989), sendo que sempre há uma resposta positiva à fertilização com fósforo. Há uma distribuição diferencial do fósforo absorvido entre os diferentes órgãos da planta quando em simbiose, sob condições de limitado ou de suprimento adequado do nutriente (Al-Niemi et al., 1997). Em feijoeiro nodulado por *R. tropici*, ocorre um acúmulo maior de fósforo nos bacteróides em plantas crescidas sob condições limitantes de fósforo, enquanto que quando este nutriente é fornecido em quantidades adequadas, o maior acúmulo ocorre nas folhas (Al-Niemi et al., 1997).

O molibdênio é um micronutriente que tem efeito marcante sobre a eficiência da simbiose (Franco & Day, 1990), sendo um constituinte estrutural de pelo menos duas enzimas relacionadas ao metabolismo do nitrogênio, a nitrogenase e a nitrato redutase. O efeito do Mo na atividade específica da nitrogenase e bem estudado tendo se observado que ocorre um aumento da atividade da nitrogenase especialmente nos estágios de florescimento e início de desenvolvimento das vagens, é importante, para contrabalançar a deficiência de nitrogênio, normalmente, observada no feijoeiro nos estágios iniciais de desenvolvimento da planta (Barradas & Hungria, 1989). Além disso, o decréscimo na atividade da nitrogenase observado nesta simbiose após o florescimento, pode ser menos acentuado (Vieira et al., 1998) ou mesmo, em alguns casos, evitada (Jacob-Neto et al., 1988) pela aplicação deste micronutriente. Os efeitos da aplicação de molibdênio tem sido bastante marcantes nos solos férteis mas intensamente cultivados na região da zona da mata mineira, no entanto, não podem ser generalizados para todos os tipos de solos, uma vez que, experimentos realizados em outros tipos de solo mostraram efeitos menos evidentes ou mesmo não significativos (Hungria et al., 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e caracterização do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias, na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici em Fortaleza, Ceará, Brasil. De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está localizada numa região de clima do tipo Aw'.

O solo usado no experimento, classificado como Neossolo Quartzarênico, originado no Siluriano - Devoniano inferior, da Formação Serra Grande, tendo como material originário Arenito.

O solo foi coletado na margem direita da estrada Tianguá – Viçosa do Ceará, 2,0 Km próximo ao Campo Experimental da SUDEC, no município de Tianguá. A coleta foi realizada na camada superior do solo (0-20 cm), com a remoção da cobertura vegetal e da liteira.

Na Tabela 1, são apresentadas as principais características físicas e químicas do solo antes da instalação dos tratamentos.

Tabela 1. Valores de alguns atributos físico e químicos do solo utilizado no experimento, Tianguá - Ceará.

Características	Camada
	0 a 0.20
Classe textural	Areia franca
Densidade g cm ³	1,4
Ca ²⁺ cmolc kg-1	8
Mg ²⁺ cmolc kg-1	1,3
K ⁺ cmolc kg-1	0,09
Na ⁺ cmolc kg-1	0,03
S cmolc kg-1	4,8
H ⁺ +Al ³⁺ cmolc kg-1	0,53
T cmolc kg-1	5,6
V (%)	85
P mg kg-1	5
M O g kg-1	15,62
pH em água (1:2,5)	6,6
CE (dS m-1)	0,57
PST (%)	1

Durante a sua coleta foi realizada a caracterização da camada (0-20cm), onde observou-se: coloração Bruno escuro (10YR 4/3, úmido e úmido amassado), bruno claro acinzentado (10YR 6/3, seco); areia franca; fraca pequena granular; muitos poros muito pequenos; solto, não plástico e não pegajoso, transição plana e clara.

O relevo local é suavemente inclinado, situando-se numa altitude de 740 metros, excessivamente drenado, sem pedregosidade e aparentemente não erodido.

O solo encontrava-se sem utilização e coberto pela vegetação predominante da região: Pitomba de leite, Faveira, Amargosa, Almeida, Conduru, Muricis, Jurema Branca, Croata e Guariroba.

As análises de solo foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Solos, do Centro de Ciências Agrárias e no laboratório de Química Analítica, do Departamento de Química Analítica, do Centro de Ciências, ambos da Universidade Federal do Ceará.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram de quatro doses de fósforo (P) na presença e ausência de calcário e molibdênio. O fósforo também foi aplicado 15 DAE na forma de Superfosfato Simples: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ nas seguintes doses: 0,0 0,2 0,4 e 0,8 g P por vaso, cada vaso com 4 quilos de solo. Na realização da calagem, foi utilizado o calcário dolomítico, sendo colocados 1,5 gramas por vaso. O molibdênio foi aplicado 0,14 mg por vaso aos 15 dias após a emergência (DAE) das plantas, sendo utilizado na forma de molibdato de sódio: $\text{Na}_2 \text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

A adubação basal foi realizada aos 10 DAE, utilizando-se: 80 mg N ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) por vaso (parcelada em duas aplicações de 40 mg por vaso: 10 DAE e 50 DAE), 400 mg K (KCl) por vaso (parcelada em duas aplicações de 200 mg por vaso: aos 10 DAE e 50 DAE), 80 mg Ca (CaCl_2) por vaso e 60 mg de Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) por vaso e o 80 mg S ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Os micronutrientes foram aplicados em solução aos 16 DAE: empregando-se 12 mgFe/vaso (Fe-EDTA), 20 mgMn/vaso manganês (sulfato de manganês), 5 mgCu/vaso (sulfato de cobre), 15 mgZn/vaso (sulfato de zinco) e 8 mgBo/vaso (borato de sódio).

3.3. Instalação e condução do experimento

O plantio das sementes certificadas de Feijão Caupi [*Vigna unguiculata* (L) Walp.], cv. Setentão foi realizado em abril de 2008, em vasos (identificados) com capacidade de 5 kg, onde foram colocados quatro quilos do solo já descrito anteriormente. Foram colocadas quatro sementes por vaso, após 30 dias do plantio foi feito o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vasos. O tutoramento ocorreu as 25 dias após emergência (DAE), com fitilho plástico, quando as plantas estavam com aproximadamente 30 cm de altura (Figura 2).

Como o solo não foi esterilizado não houve a necessidade de inoculação com o rizóbio, considerando que o feijão não é uma cultura muito exigente em relação a especificidade por cepas de rizóbio.

Ocorreu uma infestação tardia de trips, aos 90 DAE, que foi controlada via pulverizações com inseticida monocrotophos (2%, via pulverizações foliares).

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 4.2.2, sendo quatro doses de fósforo (0,0; 0,2; 0,4; e 0,8 g/vaso), presença e ausência de calcário e de molibdênio (0,14 mg/vaso), com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais (vasos contendo duas plantas), distribuídas num arranjo inteiramente casualizado, como mostra na Figura 1.

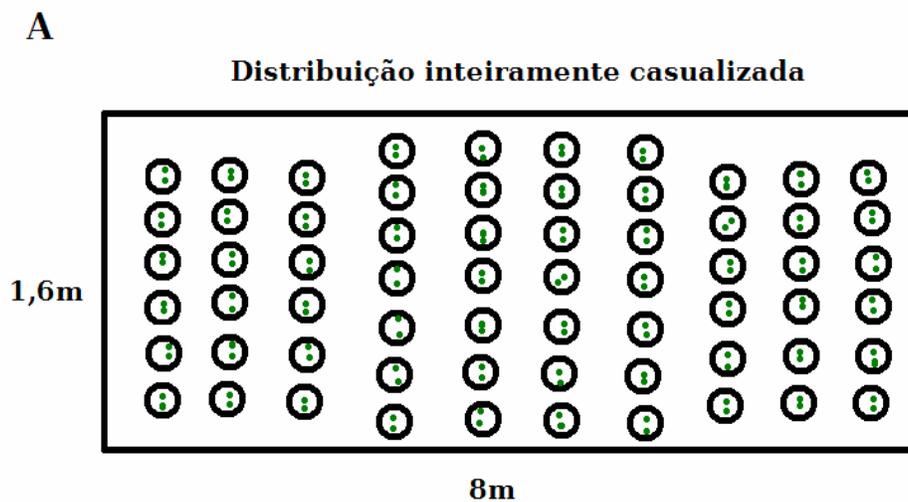


Figura 1. Distribuição dos vasos na casa de vegetação.



Figura 2. Tutoramento do Feijão Caupi.

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento do Feijão Caupi, Fortaleza, Ceará, 2008.

Tratamentos	Doses	Identificação
1	S/Calcário, S/Mo, S/P	T1 R1
2	S/Calcário, S/Mo, com 0,2 g de P	T1 R2
3	S/Calcário, S/Mo, com 0,4 g de P	T1 R3
4	S/Calcário, S/Mo, com 0,8 g de P	T1 R4
5	S/Calcário, com 0,14 mg de Mo, S/ P	T2 R1
6	S/Calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,2 g de P	T2 R2
7	S/Calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,4 g de P	T2 R3
8	S/Calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,8 g de P	T2 R4
9	Com 1,5 g de calcário, S/Mo, S/ P	T3 R1
10	Com 1,5 g de calcário, S/Mo , com 0,2 g de P	T3 R2
11	Com 1,5 g de calcário, S/Mo, com 0,4 g de P	T3 R3
12	Com 1,5 g de calcário, S/Mo, com 0,8 g de P	T3 R4
13	Com 1,5 g de calcário, com 0,14 mg de Mo, S/ P	T4 R1
14	Com 1,5 g de calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,2 g de P	T4 R2
15	Com 1,5 g de calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,4 g de P	T4 R3
16	Com 1,5 g de calcário, com 0,14 mg de Mo, com 0,8 g de P	T4 R4

S/Calcário= Sem calcário; S/Mo= Sem molibdênio; S/P= Sem Fósforo

3.4. Variáveis de crescimento

Foram feitas quatro coletas das vagens e das sementes; aos 73, 85, 97 e 110 DAE e a coleta final do experimento (raiz e parte aérea) foi realizada aos 110 dias após a emergência. Os materiais coletados foram separados em parte aérea e raízes, que foram pesadas, lavadas e acondicionadas em sacos de papel previamente identificados, levadas à estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C até peso constante. Os parâmetros avaliados foram: número de sementes por vaso, produção de sementes por vaso, peso médio da semente e peso de 100 sementes.

3.5. Coletas de plantas e análises de nutrientes

As plantas foram coletadas no dia 19 de julho de 2008, ou seja, aos 110 DAE. As amostras secas em estufa (parte aérea, vagens com sementes e raízes) foram finamente trituradas em moinho tipo Wiley depois acondicionadas em sacos de plásticos devidamente identificados e fechados para evitar a entrada de umidade.

O material vegetal após a secagem foi utilizado nas determinações dos elementos minerais (N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Cu, Zn, Mn e Mo). No caso do P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinados no extrato nitro-perclórico (Malavolta et al., 1997). Na obtenção do extrato nitro-perclórico pesou-se 0,5 g do material vegetal em tubos de vidro e, em seguida, foram adicionados 6,0 mL da mistura de ácido nítrico (HNO_3) + ácido perclórico (HClO_4) na proporção de 2:1 (v/v), deixando-se em repouso por uma noite. Após o repouso, os tubos foram colocados em uma placa digestora no qual a temperatura foi gradativamente elevada até atingir 160°C permanecendo nesta temperatura até o volume se reduzir à metade. Logo após esse tempo a temperatura foi aumentada para 250°C , mantendo-a constante até o extrato apresentar-se incolor.

O nitrogênio total foi determinado seguindo-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Nessa determinação utilizou-se 100mg do material vegetal seco em estufa em tubos de digestão contendo 2 mL de ácido sulfúrico concentrado mais a mistura catalisadora. A digestão ocorreu com a elevação da temperatura da mistura digestora gradualmente até 350°C . Após o término da mineralização foram adicionados aproximadamente 20 ml de água destilada 0,3 mL de fenolftaleína a 3% e 10 ml de NaOH a 30%. Nessa etapa os tubos foram submetidos à microdestilação, sendo a fase líquida recuperada em erlemeyers contendo 5 ml de ácido bórico a 0,02N. A quantidade de nitrogênio foi determinado pelo volume gasto de H_2SO_4 a 0,02M na titulação das amostras.

O extrato incolor foi deixado em repouso até atingir a temperatura ambiente. Em seguida transferiu-se o extrato para um balão volumétrico de 50 ml, sendo o volume final completado com água destilada (Malavolta et al., 1997). Os teores de Na e K, foram determinados através de fotometria de chama, os teores de P por calorimetria, e o S por turbimetria, por meio de leituras a 420 mmm (Malavolta et al., 1997) e os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômico (Malavolta et al., 1989).

Na preparação do extrato para dosagem do Molibdênio utilizou-se 5g de material vegetal seca adicionada a cadinhos de porcelana, incinerados em mufla a 550°C por 5 horas, depois que as cinzas esfriam foram coletadas e adicionadas a recipientes de plástico juntamente com 5ml de HCl 6,0 N e aquecido até secagem, em seguida o resíduo foi resolubilizado com 10,0 ml de HCl 1,0 N, após isto foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, por filtração com papel de filtro de filtragem lenta, lavando a cápsula e o papel de filtro por 3 vezes 10 ml de água deionizada, depois o volume foi completado com água deionizada até os 50 ml e armazenado em recipientes de plástico (como descrito em Malavolta et al., 1989). O Mo foi determinado em aparelho ICP-OES, marca Perkin-Elmer, o aparelho foi calibrado através da leitura da curva padrão, que foi preparada em matriz aquosa e sua emissão avaliada a 202 nm.

3.6. Análises estatísticas

Os dados dos teores de nutrientes e dados de produtividade foram submetidos às análises de variância e de regressão, utilizando-se o programa computacional SAEG/UFV (Ribeiro Júnior, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fósforo e molibdênio aplicados com calcário e sem calcário no crescimento e na produção de sementes em plantas de Feijão-caupi.

4.1.1. Produção de sementes

A aplicação das doses de fósforo (P) quando da avaliação do peso médio de sementes foram positivos, uma vez que, a dose de P aplicada, aumentou significativamente o peso das sementes, esse resultado foi observado nas dosagens até 0,4 g de P por vaso, com exceção dos tratamentos sem calcário e com molibdênio, onde todas as doses de P (em especial na dose de 0,8 g de P por vaso, no qual o peso médio de sementes chegou a 3,38g por vaso) reverenciando em aumentos significativos dos pesos médios das sementes. Constatou-se, também, que o efeito da adição do molibdênio foi mais benéfico do que o da calagem em relação ao aumento do peso médio das sementes (Figura 3).

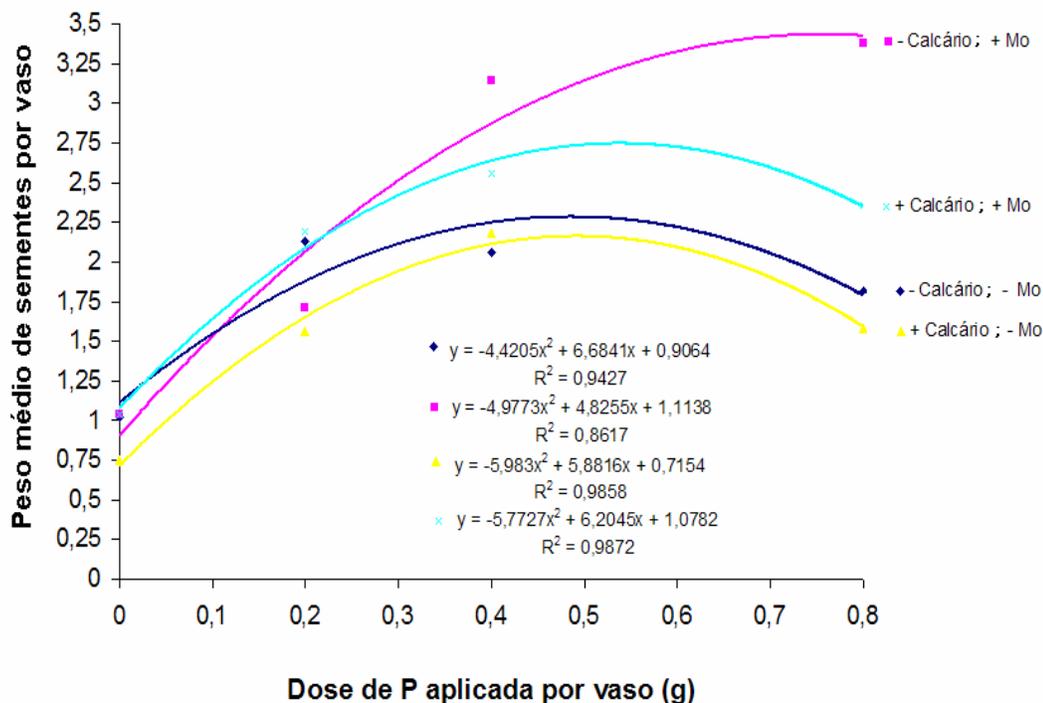


Figura 3. Peso médio de sementes (g vaso^{-1}) de plantas de Feijão-caupi cultivadas nas doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8 g de fósforo (P) com e sem calcário, e, com adição ou não de molibdênio.

Os efeitos do P sobre o número médio de sementes foram positivos, fato este, muito claro, pois o aumento significativo no número de sementes explica o porquê do aumento do peso médio das sementes produzidas por vaso. Os aumentos no número de sementes foram verificados nas dosagens até 0,4 g de P por vaso, com exceção dos tratamentos sem calcário e com molibdênio. No caso da adição de molibdênio (Mo) foi observado um maior aumento significativo no peso médio de sementes, com a adição de molibdênio, do que, com a aplicação do calcário (Figura 3).

Um pequeno aumento significativo no número de sementes foi detectado nos tratamentos sem molibdênio

Na ausência de Mo, a calagem produziu um aumento muito pequeno, sobre o aumento do número de sementes (Tabela 3).

Na ausência de calcário (independente da aplicação do Mo), fez com que a produção terminasse mais cedo, devido à carência nutricional do fósforo, dados semelhantes foram encontrados por Pires et al., (2005).

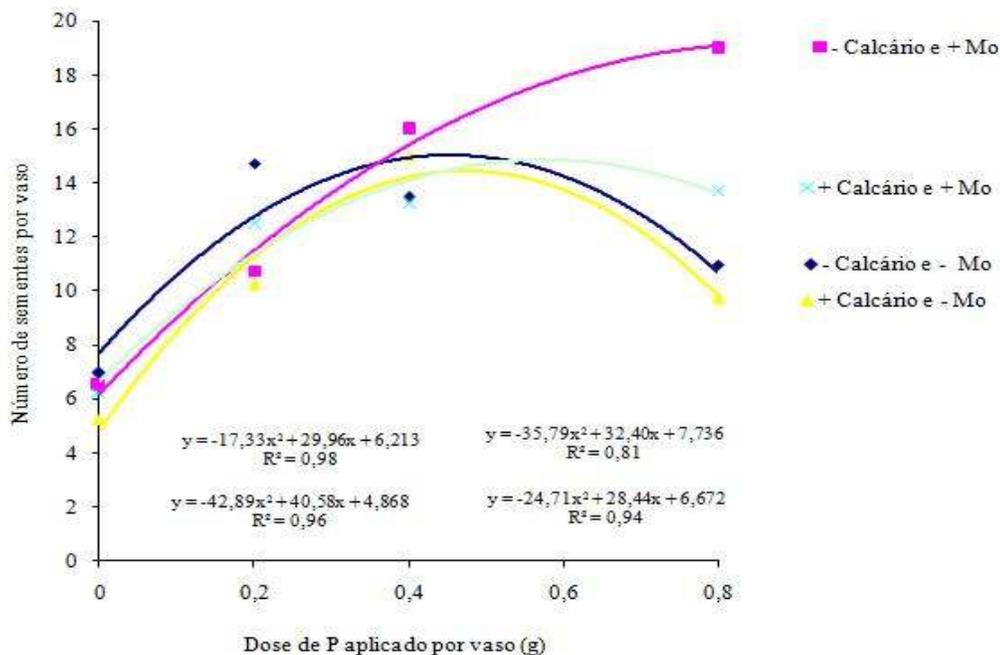


Figura 4. Número médio de sementes (vaso) de plantas de Feijão-caupi cultivadas nas doses de 0,0 ;0,2; 0,4 e 0,8 g de fósforo (P) com e sem calcário, e, com adição ou não de molibdênio.

A aplicação de Mo no solo aumentou significativamente o peso de 100 sementes (Figura 5). A calagem não mostrou efeito significativo sobre o peso médio de 100 sementes. As doses de fósforo aplicadas, nos tratamentos sem Mo, deram uma resposta crescente e significativamente positiva para o aumento do peso médio de 100 sementes. A dose de 0,4 g de P por vaso, nos tratamentos sem molibdênio, causou a resposta mais significativamente positiva no peso de 100 sementes (Figura 5).

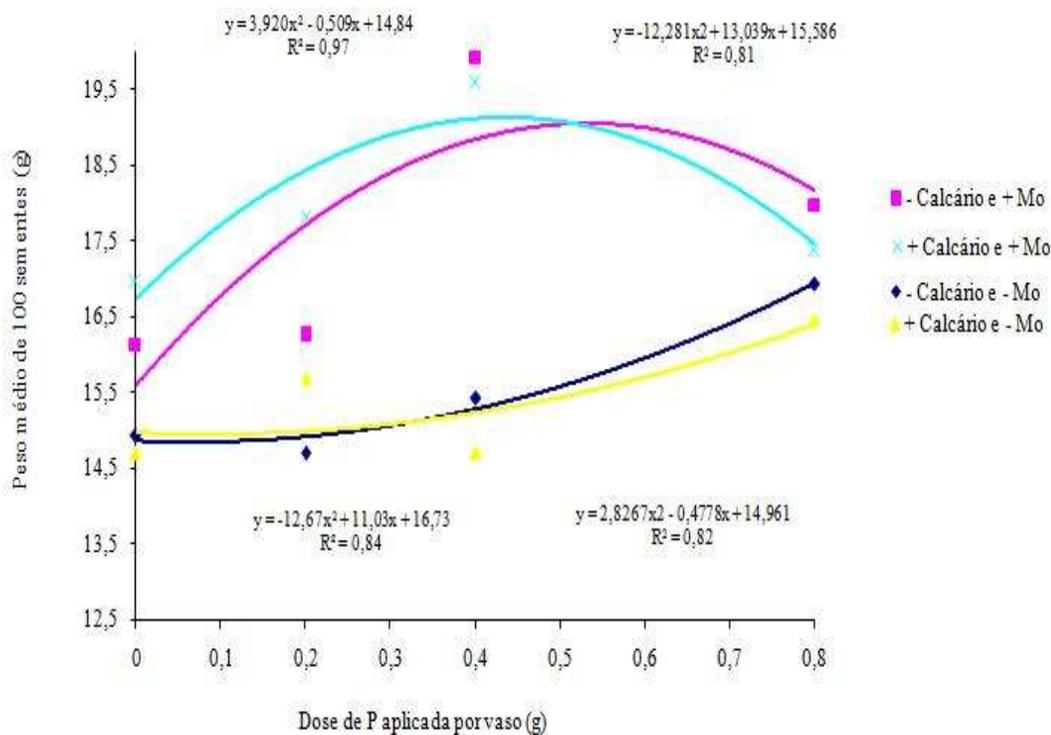


Figura 5. Peso médio de 100 sementes de plantas de Feijão-caupi cultivadas nas doses de 0,0;0,2; 0,4 e 0,8 g de fósforo (P) com e sem calcário, e, com adição ou não de molibdênio.

Nos tratamentos sem Mo, as aplicações de doses crescentes de P apresentaram efeitos menos pronunciados, porém significativos, no aumento do peso médio de 100 sementes. Esse resultado demonstrou uma interação positiva quando o P é aplicado com o Mo, o que é esperado, pois ambos são importantes para o enchimento dos grãos. Esta interação positiva (entre o Mo e o P) ocorreu nas doses 0,2 e 0,4 g de P por vaso. A dose 0,8 g de P por vaso reduziu significativamente o peso médio de 100 sementes. Essa redução pode ser explicada pela competição entre o fosfato e o molibdato pelos sítios de absorção nas raízes; nestes sítios há uma especificidade maior para o fosfato do que para o molibdato (Vance et al., 2003).

Os dados de peso de 100 sementes podem ser observados na Tabela 3. Kubota (2006), trabalhando com *Phaseolus vulgaris*, encontrou que a adubação conjunta de P e Mo não acarretou efeito significativo sobre o peso de médio de 100 sementes, o que difere dos dados obtidos no presente experimento.

A deficiência de Mo pode influenciar, a viabilidade do grão de pólen e conseqüentemente, a reprodução e a produtividade da maior parte das culturas (Fernandes, 2006). Essa afirmativa está de acordo com os resultados obtido no presente trabalho.

Tabela 3. Peso médio das sementes por vaso, número médio de sementes por vaso e peso médio de 100 sementes, de Feijão-caupi com quatro doses de fósforo(0,0;0,2;0,4 e 0,8) com ou sem calcário , com adição ou não de molibdênio.

Sem calcário e sem molibdênio			
Dose de P	Peso médio de sementes por vaso (g)	Número médio de sementes por vaso	Peso médio de 100 sementes (g)
sem	1,02	7	14,925
0,2 g	2,13	14,75	14,700
0,4 g	2,06	13,5	15,425
0,8 g	1,82	11	16,925
Sem calcário e com molibdênio			
Dose de P	Peso médio de sementes por vaso (g)	Número médio de sementes por vaso	Peso médio de 100 sementes (g)
sem	1,04	6,5	16,130
0,2 g	1,71	10,75	16,250
0,4 g	3,14	16	19,925
0,8 g	3,38	19	17,975
Com calcário e sem molibdênio			
Dose de P	Peso médio de sementes por vaso (g)	Número médio de sementes por vaso	Peso médio de 100 sementes (g)
sem	0,75	5,25	14,700
0,2 g	1,56	10,25	15,675
0,4 g	2,18	15	14,700
0,8 g	1,58	9,75	16,475
Com calcário e com molibdênio			
Dose de P	Peso médio de sementes por vaso (g)	Número médio de sementes por vaso	Peso médio de 100 sementes (g)
sem	1,04	6,25	16,960
0,2 g	2,19	12,5	17,825
0,4 g	2,56	13,25	19,575
0,8 g	2,36	13,75	17,375

A adição de 0,8 g de P por vaso nos tratamentos sem calcário e sem Mo, promoveram um maior enchimento de grãos. O maior enchimento dos grãos ocorreu com a dose de 0,4 g de P por vaso, nos tratamentos com Mo, mas sem calagem. Ocorreu um aumento na produção de grãos no feijoeiro com o fornecimento do molibdênio aplicado no solo (com e sem calcário). Estes dados são semelhantes aos de Santos e colaboradores (1979).

4.1.2. Efeitos do molibdênio, das doses de fósforo, da calagem no crescimento do Feijão Caupi

Analisando-se a relação parte aérea/raiz do Feijão Caupi, verificou-se que as diferentes doses de P aplicadas nos vasos com calagem, ajustaram-se a uma equação linear crescente (Tabela 4), influenciando de forma significativa o crescimento da parte aérea em relação ao crescimento do sistema radicular (Figura 6).

Tabela 4. Massa seca das raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e relação da massa seca parte aérea e raízes (MSPA/MSR) de plantas de feijão-caupi aos 110 dias após a emergência, submetidas às doses de P (0,0; 0,2;0,4 e 0,8 g) com e sem calcário, com e sem adição de molibdênio.

Sem calcário e sem molibdênio			
Dose de P	Peso total de raízes (g)	Peso total da parte aérea (g)	Relação Parte aérea/ Raiz
Sem	8,09	4,59	0,56736
0,2 g	4,35	11,04	2,5379
0,4 g	8,25	16,19	1,962
0,8 g	9,40	10,98	1,1168
Sem calcário e com molibdênio			
Dose de P	Peso total de raízes (g)	Peso total da parte aérea (g)	Relação Parte aérea/ Raiz
Sem	10,54	5,56	0,52751
0,2 g	5,28	9,65	1,8276
0,4 g	8,83	14,05	1,5911
0,8 g	9,45	9,35	0,9894
Com calcário e sem molibdênio			
Dose de P	Peso total de raízes (g)	Peso total da parte aérea (g)	Relação Parte aérea/ Raiz
Sem	7,78	6,40	0,8226
0,2 g	8,04	11,25	1,3992
0,4 g	6,46	12,42	1,9226
0,8 g	4,65	14,72	3,1655
Com calcário e com molibdênio			
Dose de P	Peso total de raízes (g)	Peso total da parte aérea (g)	Relação Parte aérea/ Raiz
Sem	6,84	7,26	1,0614
0,2 g	8,38	11,27	0,7435
0,4 g	6,99	12,51	1,7896
0,8 g	4,91	12,88	2,6232

Segundo Taiz & Zieger (1998), quando o vegetal se encontra numa condição nutricionalmente equilibrada pode ocorrer um desenvolvimento dos órgãos reprodutivo

e quando esta condição nutricionalmente estável não tiver sido alcançada, ocorrerá um maior crescimento do sistema radicular em relação à parte aérea. Pode-se interpretar esta relação pela maior disponibilização do cálcio (útil na construção das paredes celulares) e do magnésio (útil na biossíntese de clorofila no metabolismo do ATP) nos tratamentos com calagem.

A relação parte aérea / raiz associada a várias doses de P aplicadas nos vasos sem calagem, se ajustou a uma equação quadrática, onde o maior aumento desta relação correu na dose de 0,4 g de P por vaso.

Na comparação dos tratamentos com e sem molibdênio, verificou-se que este elemento reduziu a relação parte aérea/raiz, tanto na presença, quanto na ausência do calcário (Figura 6).

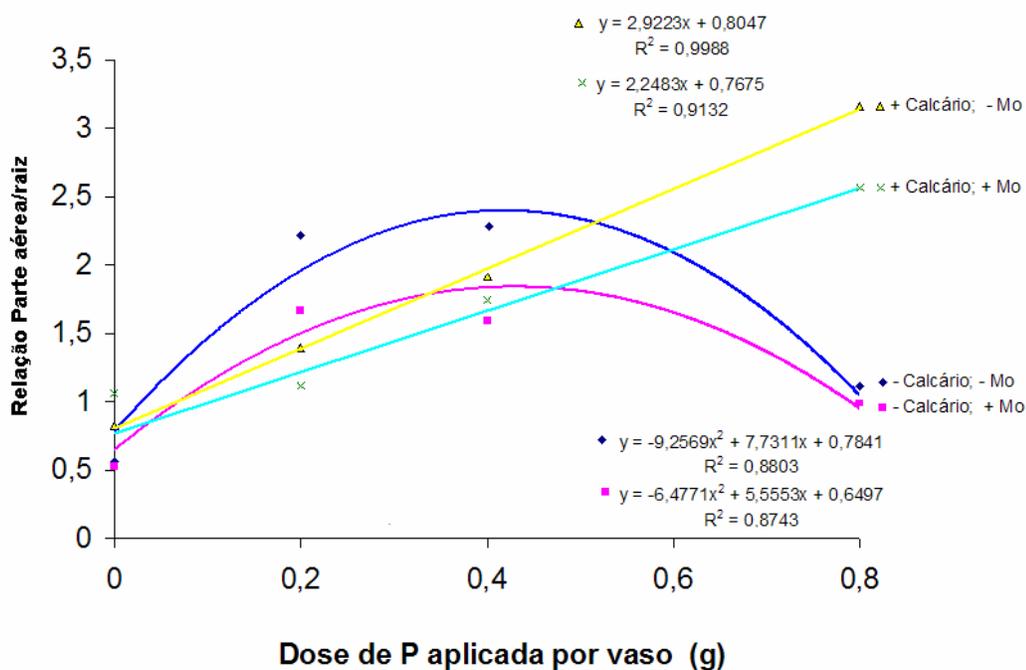


Figura 6. Relação massa seca da parte aérea (MSPA) e da massa seca da raiz (MSR) de plantas Feijão-caupi nas doses de fósforo 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8 g de P, com ou sem calagem, com adição ou não de molibdênio.

Foi detectado um aumento na massa seca de raízes, quando nos tratamentos sem calcário, ocorreu a aplicação de P, resultado semelhante ao encontrado por Procópio et al., (2005), já nos tratamentos com calcário, o aumento nas doses de P adicionadas ao vaso, levou a uma diminuição da massa seca de raízes, já que, quando o

feijão esta corretamente suprido de P ele passa para o ciclo reprodutivo, levando a um maior crescimento da parte aérea e portanto maior desenvolvimento tecidual nos órgãos aéreos (Taiz & Zieger, 1998).

De acordo com a Tabela 4, os tratamentos sem calcário (com e sem Molibdênio), as doses de P estimularam o crescimento do sistema radicular em até 100%. Essas taxas de crescimento não foram iguais para a parte aérea, o que levou a um aumento na relação parte aérea / raiz, isto ocorreu porquê as raízes respondem mais rapidamente a aplicação do P (Wanke et al., 1998). Nos tratamentos com calcário, as doses de P incrementaram o crescimento da parte aérea e levaram a redução do sistema radicular, por isso a relação parte aérea / raiz diminuiu.

Tabela 5. Valores dos quadrados médios e a significância estatística para o número de sementes, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e peso de 100 sementes de plantas de Feijão-caupi nas doses de 0,0; 0,2;0,4 e 0,8 g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	Nº de Sementes	Peso da raiz	Peso da parte aérea	Peso de 100 sementes
Tratamentos	52,26*	29,2*	32,1**	1,55 **
Repetição	0,58 ns	1,2 ns	1,5 ns	0,83 ns
Resíduos	1,19	7,4	8,6	0,69
C.V. (%)	9,6	8,5	8,9	19,84

Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo.

4.2. Efeitos do fósforo sobre os teores de molibdênio, nas sementes do Feijão Caupi, com e sem aplicações de calcário e molibdênio

Independente da presença do calcário, todas as doses de P aplicadas no vaso, tiveram um efeito significativamente negativo, sobre a acumulação de Mo nas sementes, sendo que parte desta redução dos teores de Mo foi revertida como mostrado na figura 6.

A adubação molíbdica nos tratamentos com calcário e com dose 0,0 de P, elevou significativamente os teores de Mo nas sementes, por outro lado induziu os teores de Mo nas sementes, nos tratamentos sem calcário e sem P.

As doses de P não apresentaram efeitos significativos na acumulação de Mo nas sementes, exceto nos tratamentos sem molibdênio e com ausência de calcário. A dose 0,8 g de P causou uma redução significativa (66%) no teor de Mo da semente, pois, a pequena quantidade de Mo presente no solo, competiu com o P, na absorção radicular ou se tornou indisponível para absorção.

O molibdato pode formar complexos polianiônicos com o P, de tal maneira, que grandes quantidades de Mo podem ser retidas no solo por este mecanismo, o que justifica, que as maiores doses de P geraram as maiores reduções na acumulação de Mo nas sementes (Mengel & Kirby, 1987).

A adição de calcário, reverteu parcialmente à redução dos teores de Mo, causadas pela aplicação do fósforo. A adição do Mo, também reverteu parcialmente o efeito das aplicações de P (redução nos teores de Mo nas sementes), pois, o aumento do pH disponibiliza mais Mo do solo. A aplicação do P, causou uma redução significativa nos teores de Mo presente nas sementes.

Não foi possível determinar os teores de Mo nas raízes e parte aérea, usando a metodologia descrita por Malavolta et al., (1989), pois os teores de Mo nestas partes estavam abaixo do limite de detecção do ICP para o molibdênio.

Mengel & Kirby, (1987), observaram uma correlação positiva entre o nível de P no solo e o de molibdato na solução do solo, uma vez que, o fosfato desloca o molibdato da superfície de adsorção para a solução do solo. Entretanto Mclachlan (1995) observou que em áreas onde doses suficientes de P foram aplicadas, algumas culturas não apresentaram resposta à aplicação de Mo no solo ou via foliar, pois já continham elevados teores de Mo nas sementes.

De acordo com a Figura 7, ocorreu um aumento maior da testemunha sobre as doses crescente de P no percentual do teor de Mo sem calcário mais adição de Mo na semente de feijão-caupi aos 110 dias após a emergência. Segundo Ferreira et al. (2003), o conteúdo de 0,535 µg/semente no feijão (*Phaseolus sp.*) de Mo, não altera a produtividade, quando esta cultura recebe adubação molibídica, quer seja via foliar ou no solo, evidenciando que não há necessidade da adubação molibídica caso a semente já tenha um conteúdo de Mo adequado, os mesmos autores, também descobriram que, o teor de molibdênio nas sementes do feijão aumenta com a adubação molibídica.

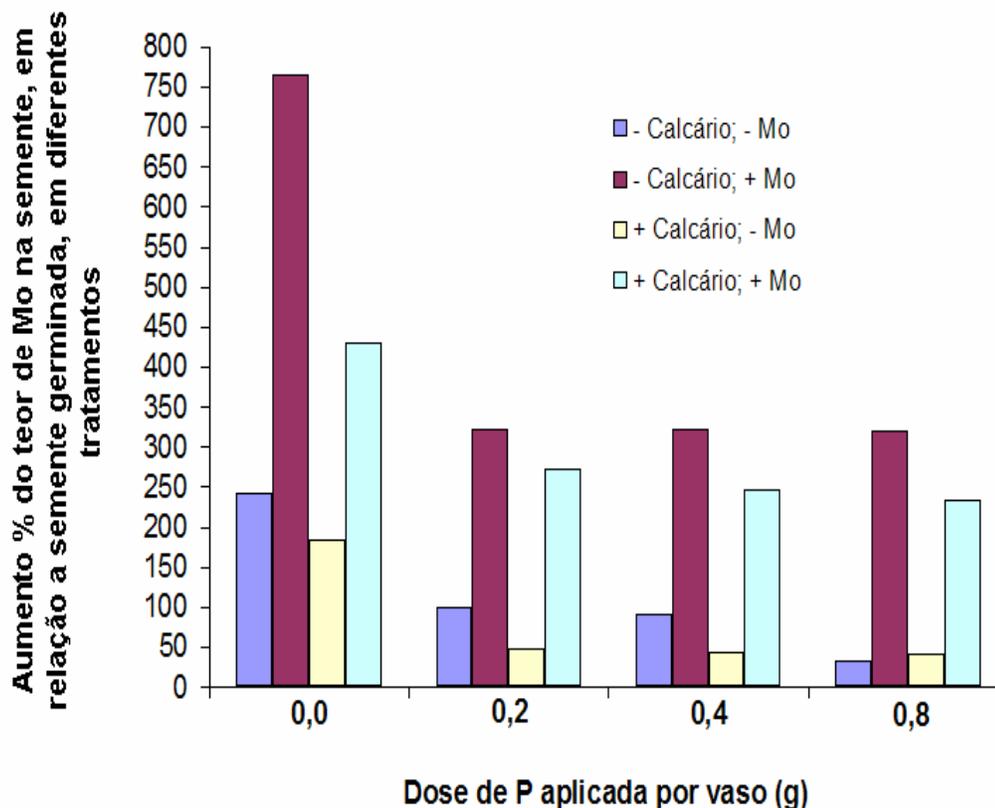


Figura 7. Aumento percentual do teor de molibdênio em relação à germinação de semente do feijão-caupi, nas doses de fósforo 0,0;0,2;0,4 e 0,8 g de P, com ou sem calagem, com adição ou não de molibdênio.

Kubota (2006) demonstrou que sementes com elevados teores de Mo não respondiam com aumentos de produção, quando submetidas à adubação molibídica foliar. Como os teores de Mo das sementes usadas no experimento eram muito baixos, este efeito observado por Kubota não se repetiu nos tratamentos que foram testados.

Os resultados do presente estudo mostram que, a adição de Mo foi muito efetiva no aumento dos teores de Mo nas sementes. A calagem também foi benéfica, no entanto, a um nível bem menor. As doses de P influenciaram de forma negativa os teores de Mo nas sementes. Em feijoeiros 24 a 65% do molibdênio é alocado nas sementes (Jacob-Neto, 1988). A elevação da concentração de Mo na matéria seca das sementes foi devida à adubação no solo com este elemento.

Tabela 6. Acumulação de molibdênio nas sementes de plantas de feijão-caupi nas doses de 0,2; 0,4 e 0,8g deP em relação à dose 0,0 de fósforo, na ausência ou não de calcário, com adição ou não de Mo.

Tratamentos	Redução do teor de Mo em relação às doses 0,0 de P de cada tratamento	Mo mg/kg na semente
- Calcário; - Molibdênio; - fósforo	-----	0,7084
- Calcário; - Molibdênio; + 0,2 g de P	41,6%	0,4135
- Calcário; - Molibdênio; + 0,4 g de P	43,8%	0,3976
- Calcário; - Molibdênio; + 0,8 g de P	60,9%	0,2767
- Calcário; + Molibdênio; - fósforo	-----	1,7934
- Calcário; + Molibdênio; + 0,2 g de P	51%	0,8770
- Calcário; + Molibdênio; + 0,4 g de P	51,1%	0,8755
- Calcário; + Molibdênio; + 0,8 g de P	51,3%	0,8724
+ Calcário; - Molibdênio; - fósforo	-----	0,5897
+ Calcário; - Molibdênio; + 0,2 g de P	48,2%	0,3051
+ Calcário; - Molibdênio; + 0,4 g de P	49,5%	0,2973
+ Calcário; - Molibdênio ; + 0,8 g de P	50,2%	0,2933
+ Calcário; + Molibdênio; - fósforo	-----	1,1012
+ Calcário; +Molibdênio; + 0,2 g de P	29,6%	0,7744
+ Calcário; + Molibdênio; + 0,4 g de P	34,5%	0,7210
+ Calcário; + Molibdênio; + 0,8 g de P	37,1%	0,6926

Em todos os tratamentos as relações entre as doses de P e o teor de Mo nas sementes seguiram uma função quadrática (Figura 8).

Com a adubação molibídica, ocorreu o aumento dos teores de Mo nas sementes, a calagem também foi significativamente benéfica no aumento dos teores de Mo nas sementes.

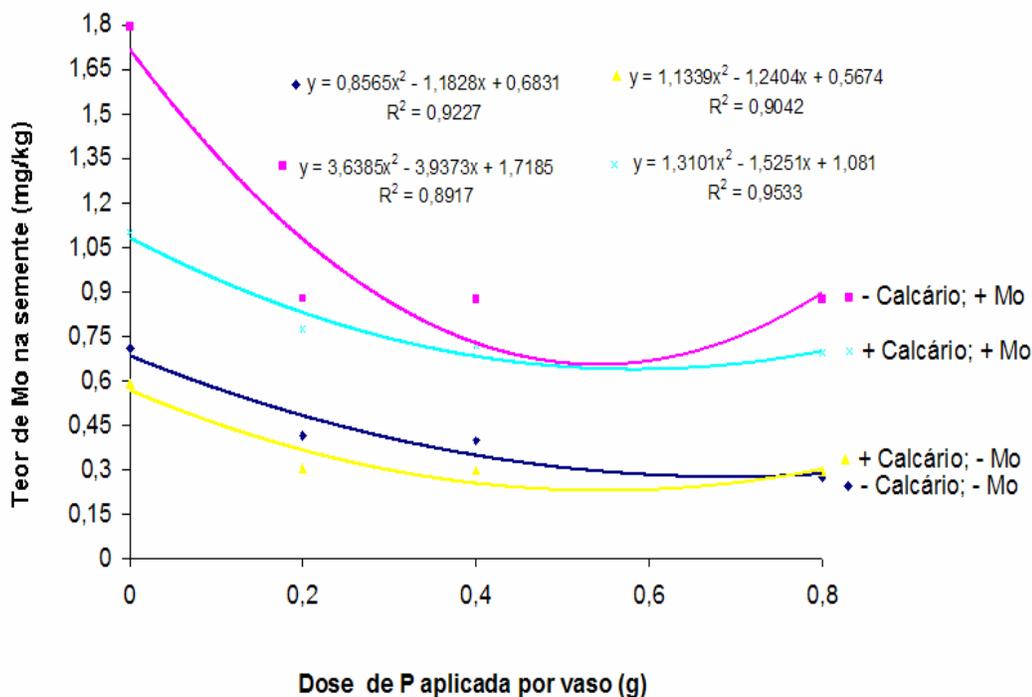


Figura 8. Teor de molibdênio (Mo) nas sementes de plantas de Feijão-caupi nas doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8 P, com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

O nível de fosfato apresenta uma correlação positiva com nível de molibdato na solução do solo, já que o fosfato desloca o molibdato da superfície de adsorção para a solução do solo; com isso, a disponibilidade de Mo no solo é bastante afetada pelo nível de P no solo (Mengel & Kirkby, 1987). Os dados do presente trabalho mostraram que, em todas as doses de P aplicadas, ocorreu uma redução da concentração de Mo das sementes, que pode ser explicada como resultante da competição entre os dois ânions.

Na tabela 7, estão relacionados os conteúdos de Mo das sementes em função dos tratamentos. Observou-se que as sementes usadas no experimento tinham um teor de Mo muito baixo (0,0369 $\mu\text{g}/\text{semente}$). Teores mais elevados foram encontrados por Kubota (2006) e Ferreira et al. (2003). Esse teor baixo de Mo justifica as respostas positivas das sementes à adubação com Mo.

Nos tratamentos (com calcário, sem molibdênio e com 0,4 de P aplicado no vaso), que produziram as menores quantidades de Mo (0,0437 $\mu\text{g}/\text{semente}$), ainda

produziram sementes com quantidades de Mo superiores as das sementes que deram origem ao experimento, o que evidenciou, que as sementes usadas apresentavam baixos teores de Mo.

Nos tratamentos; sem calcário, com Mo e sem P, as sementes com as maiores quantidades de Mo (0,2887 µg/semente), apesar, dos tratamentos; sem calcário, com Mo e com 0,4 g de P por vaso terem produzido as maiores sementes, estas não foram as sementes com maior concentração de Mo devido ao efeito de diluição, que pode se visto na tabela 7.

Segundo Jacó Neto & Franco, (1986) e Jacob Neto & Rossetto (1998), o conteúdo de 3,51 µg/semente de Mo é suficiente no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) para que este se desenvolva completamente e complete um ciclo de cultivo sem sintomas de carência.

Tabela 7. Efeito dos tratamentos sobre o peso das sementes e sobre a acumulação de molibdênio nas sementes.

Sem calcário e sem molibdênio		
Dose de P	Mo µg/semente	Peso por semente (g)
Sem	0,1050	0,149
0,2 g	0,0607	0,147
0,4 g	0,0612	0,154
0,8 g	0,0467	0,169
Sem calcário e com molibdênio		
Dose de P	Mo µg/semente	Peso por semente (g)
sem	0,2887	0,161
0,2 g	0,1420	0,162
0,4 g	0,1742	0,199
0,8 g	0,1561	0,179
Com calcário e sem molibdênio		
Dose de P	Mo µg/semente	Peso por semente (g)
sem	0,0866	0,147
0,2 g	0,0475	0,156
0,4 g	0,0437	0,147
0,8 g	0,0481	0,164
Com calcário e com molibdênio		
Dose de P	Mo µg/semente	Peso por semente (g)
sem	0,1860	0,169
0,2 g	0,1378	0,178
0,4 g	0,1406	0,195
0,8 g	0,1198	0,173
Semente germinada	0,0369	0,178

Vale salientar, que no presente trabalho foi testada uma única dose de Mo

(0,14 mg por vaso). Em áreas onde doses suficientes de adubos fosfatados foram aplicadas, algumas culturas como o feijão, não apresentaram resposta à aplicação de Mo Mclachlan, (1955); Kubota, (2006).

Os níveis adequados de molibdênio, para o desenvolvimento das plantas ficam entre 0,6 e 10 mg kg⁻¹ Fernandes (2006). Esses valores estes foram atingidos nas sementes, exceto em alguns tratamentos (aplicação de doses de fósforo, com e sem calagem). Nos tratamentos, onde os teores de Mo se apresentaram baixos, ocorreram as menores produções de sementes por vaso (Tabela 3).

4.3. Efeitos do fósforo sobre as concentrações de macronutrientes no Feijão Caupi, com e sem aplicações de calcário e molibdênio

A partir da análise das Figuras; 9, 10 e 11, foram observados um intenso transporte de N, das raízes para a parte aérea, pela grande mobilidade deste elemento. Constatou-se também que, na semente a calagem afetou de forma significativamente positiva, o aumento nos teores do N, no caso das doses 0,2 e 0,4 g de P aplicado por vaso. A partir desta concentração, o P aplicado passou a reduzir o teor de N nas sementes, a níveis inferiores aqueles encontrados nos tratamentos com ausência de fósforo.

Nos tratamentos com calagem, a adição de Mo não favoreceu de forma significativa à acumulação de N nas sementes. Nos tratamentos sem calagem, observou-se que, altas doses de P aplicado (0,4 e 0,8 g de P por vaso), passaram a ter um efeito significativamente positivo, sobre os teores de N nas sementes e que o Mo aumentou significativamente a acumulação de N nas sementes.

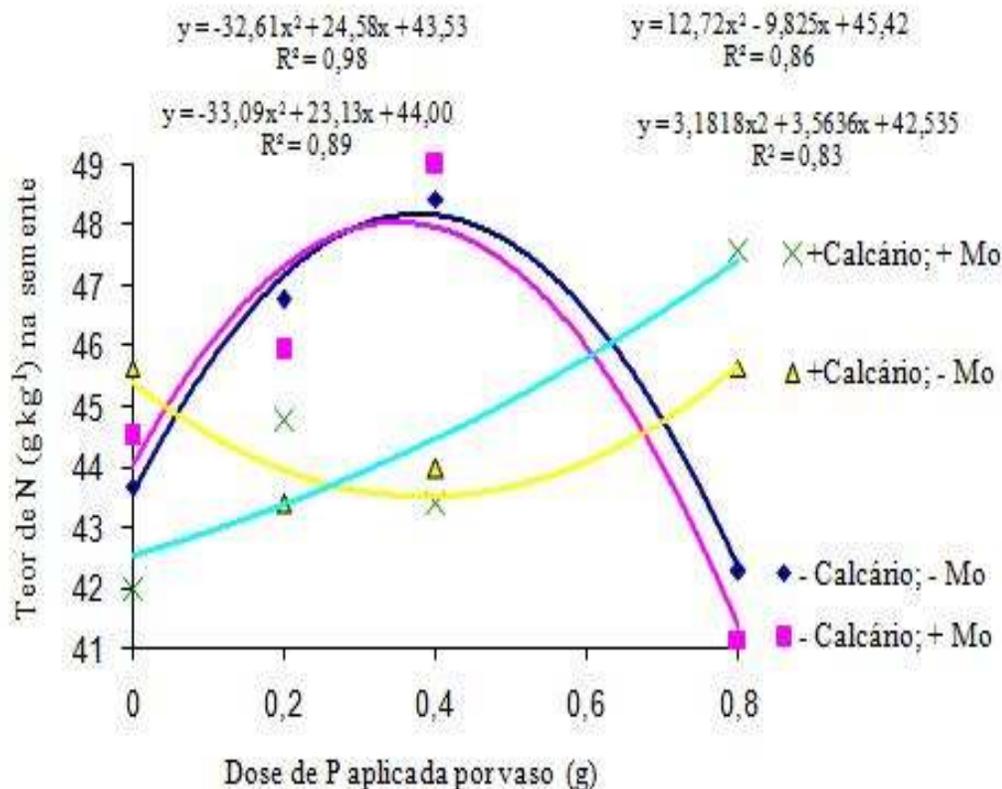


Figura 9. Teor de nitrogênio (N) em semente de plantas de Feijão-caupi nas doses 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8 g de P, com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A aplicação de Mo, não mostrou efeito significativo nos teores de N das sementes. Entretanto o calcário apresentou uma pequena influência positiva no aumento dos teores de N nas sementes. A adição das doses de P (0,2 e 0,4 g por vaso), nos tratamentos sem calagem, se mostrou significativamente positivas nos teores de N das sementes, mas a dose 0,8 g de P por vaso, teve uma ação negativamente significativa nos teores de N nas sementes. Na parte aérea, o Mo mostrou um efeito significativo, no aumento dos teores de N na parte aérea, a calagem também propiciou um aumento nos teores de N, bem como, a adição do fósforo (0,4 g de P por vaso) foi benéfica para os teores de N da parte aérea (Figura 10).

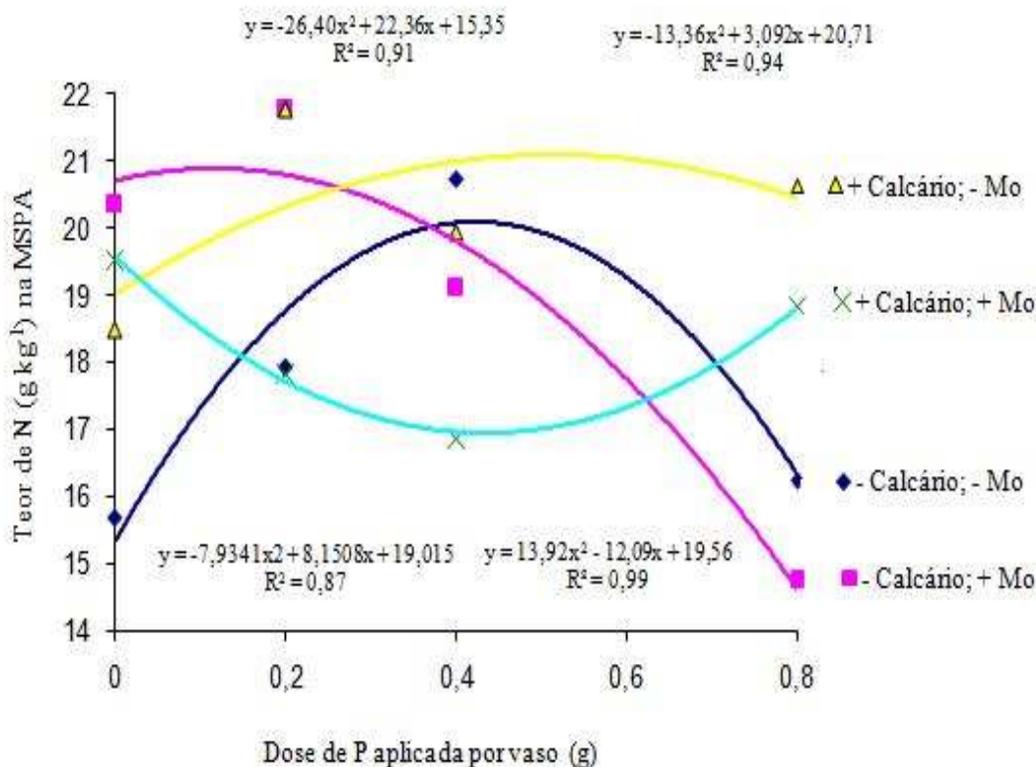


Figura 10. Teor de nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A concentração de N na planta diminui significativamente com as aplicações de P na presença de Mo. Nos tratamentos sem calagem e sem Mo, a aplicação de P (até a dose 0,4g P) causou um aumento significativo na concentração de N da parte aérea, declinando, em seguida, na dose de P mais elevada (0,8 g de P). Nos tratamentos com calagem, na ausência de Mo, a aplicação de fósforo, leva a uma resposta benéfica na acumulação de N pelas raízes. Na falta do calcário, a adição do Mo foi positivamente significativa para os aumentos dos teores de N e a aplicação das doses de P, também mostrou influência positiva neste acúmulo de N nas raízes. Nas raízes, todos os tratamentos isolados (aplicações de P, calagem e aplicações de Mo), foram significativamente prejudiciais para a acumulação do N.

As plantas podem crescer na ausência do Mo, desde que recebam via adubação NH_4^+ , uma vez que, a planta sem Mo não terá mecanismos bioquímicos para transformar o nitrato em amônia (Taiz & Zieger, 1998 e Fernandes, 2006). Vale

salientar que as plantas do experimento foram adubadas com sulfato de amônia. Portanto, na ausência do Mo as plantas apresentaram acúmulo de NO_3^- , de modo que, a falta de Mo tem repercussões similares a falta de N (Novais et al., 2007).

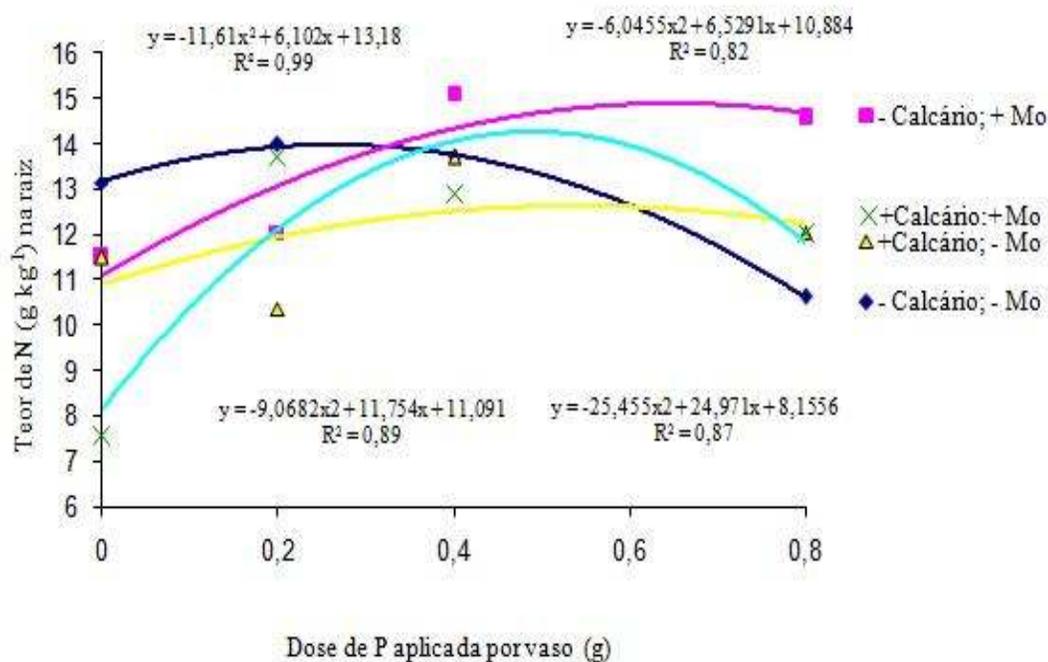


Figura 11. Teor de nitrogênio (N) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Os teores de N nas raízes foram inferiores aos da parte aérea devido a sua rápida translocação, da raiz para a parte aérea e sementes, onde os teores encontrados foram bem maiores. A nodulação ocorreu de forma eficiente com ou sem calagem, para todos os tratamentos aplicados no Feijão Caupi.



Figura 12. Raízes nos tratamentos com e sem calagem, aos 21 dias após emergência.

Em todos os tratamentos a acumulação do N mostrou seguir um modelo quadrático em relação à dose de P aplicada no vaso. As Figuras: 13,14 e 15, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de fósforo, respectivamente em: sementes, parte aérea e raízes. O Mo não apresentou um efeito significativo na acumulação de P em sementes. No entanto, a calagem foi positivamente significativa, para o aumento dos teores de P. As doses de P aplicadas aumentaram significativamente os teores de P nas sementes.

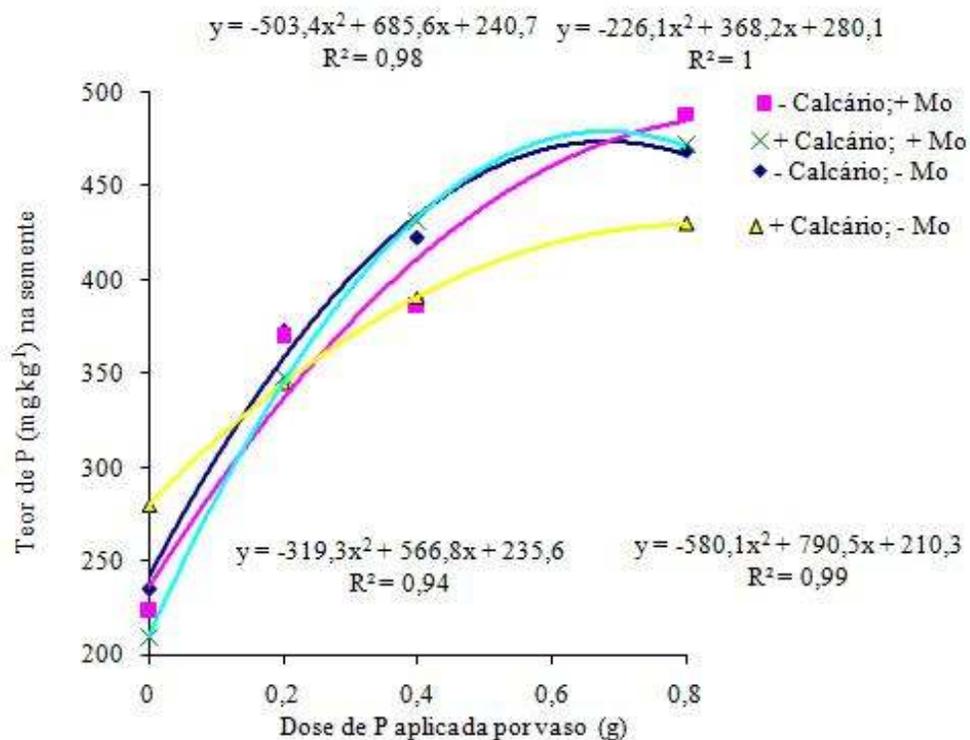


Figura 13. Teor de fósforo (P) em semente de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

As adubações fosfatadas, foram positivamente significativas para a os teores de P, nas várias partes da planta (Figuras 13, 14 e 15). Tal fato ocorreu pela maior disponibilidade deste nutriente. Nos tratamentos com calagem, a aplicação do Mo, gerou um efeito significativamente positivo, aumentando os teores de P nas sementes e raízes. Esse aumento significativo também foi observado para as sementes e as raízes, na ausência da calagem.

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 conseqüência, a disponibilidade de Mo no solo é bastante afetada pelo nível de P no solo (Mengel & Kirkby, 1987). Em áreas onde doses suficientes P foram aplicadas algumas culturas não apresentaram resposta à aplicação de Mo (Kubota, 2006).

O padrão de redistribuição do fósforo na planta, parece ser determinado pelas influencias das propriedades da fonte e do dreno do que pelo sistema de transporte

(Bieleski, 1973), por isso as sementes apresentaram os maiores teores. Plantas com altos teores de N tem uma maior atividade anabolizante, por isso, precisam de maiores quantidades de P para o metabolismo energético, sem o Mo os elevados teores de N na planta não seriam possíveis (Taiz & Zieger, 1998). Os dados apresentados neste trabalho estão de acordo com Pires et al. (2005), que verificou que a adubação molíbdica em feijoeiro aumentou os teores de N, P, S, Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea. O Mo e a calagem não tiveram efeito significativo nos teores de P na parte aérea, mas, as aplicações do P foram significativamente benéficas para os teores de P na parte aérea.

Segundo Lynch & Brown (2001), os requerimentos de fósforo podem ser relativamente maiores para a produção de raízes do que para a produção de folhas, pois as raízes apresentam pequena remobilização de P para o restante da planta durante a senescência.

As aplicações de Mo e de P (nos tratamentos com calcário), causaram um efeito significativamente positivo nos teores de fósforo nas raízes. Para todos os tratamentos, observou-se que nas: raízes, parte aérea e sementes, o acúmulo de P teve um comportamento quadrático em relação à dose de P aplicado. Os efeitos do Mo sobre os teores de P nas raízes foram positivos. A calagem, não mostrou efeito significativo e as aplicações de P tiveram uma influencia significativa no aumento dos teores de P.

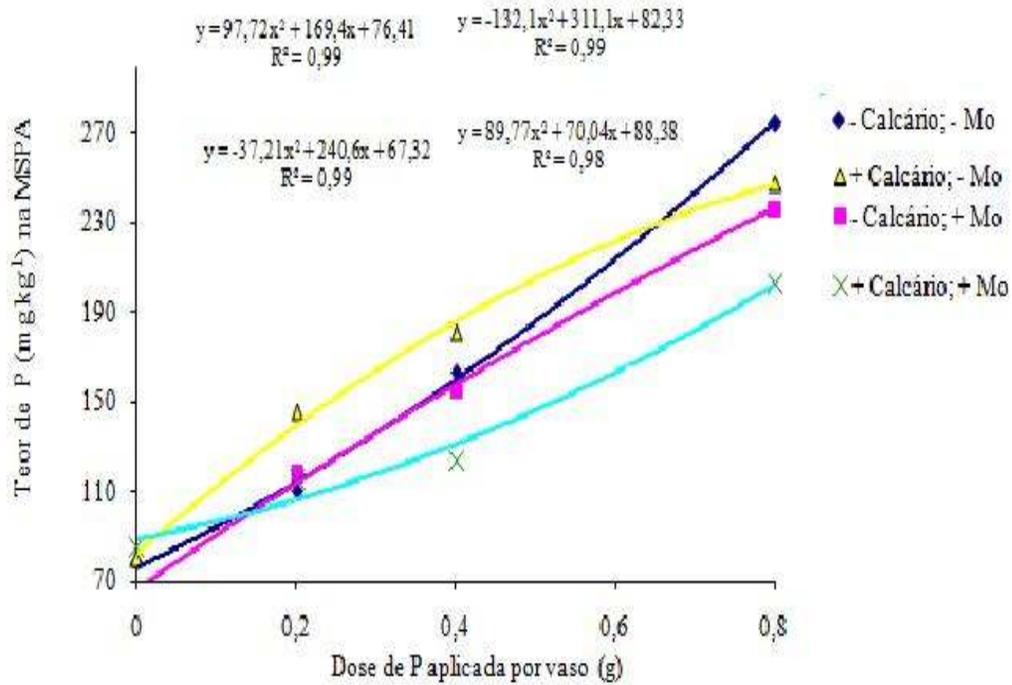


Figura 14. Teor de fósforo (P) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

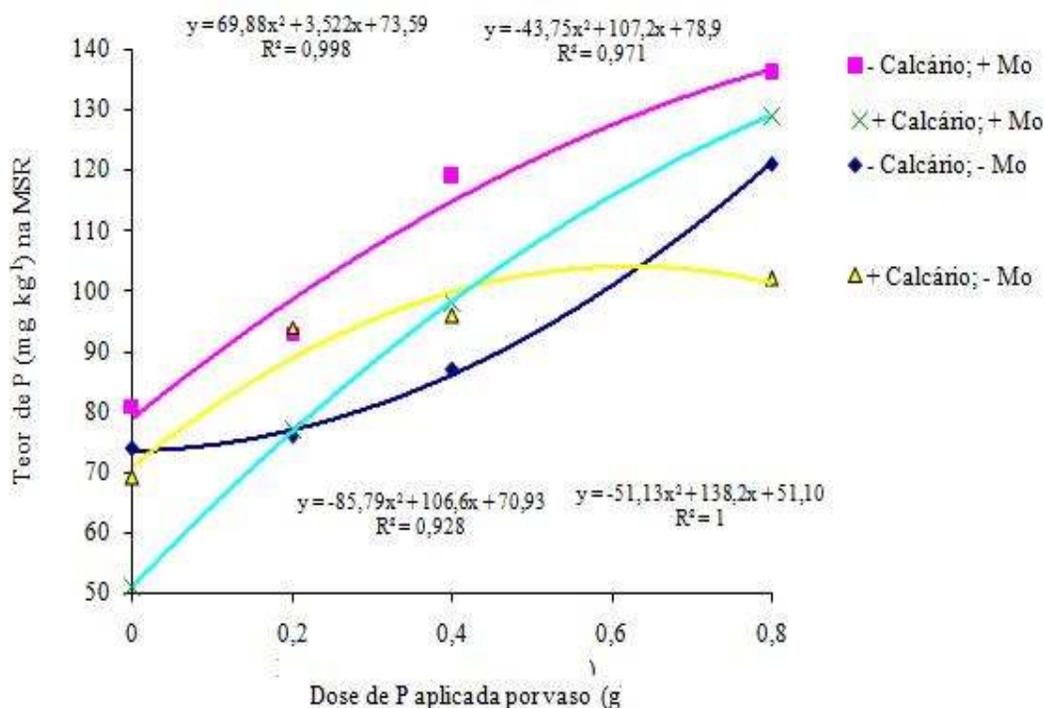


Figura 15. Teor de fósforo (P) na massa seca da raiz (MSR) de plantas Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A parte aérea apresentou a maior resposta significativa entre as doses de P aplicadas e os teores de P, o que ocorreu devido a forte translocação de P para as sementes. Resultados semelhantes foram encontrados por Wanke et al. (1998).

As Figuras: 16, 17 e 18, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de S, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes. A associação de Molibdênio e calcário, mostrou um efeito significativamente negativo, sobre o teor de S nas sementes, provavelmente devido à competição que se estabelece entre estes ânions (sulfato e molibdato). A aplicação das diferentes doses de P isoladamente foram significativamente negativa nos teores de enxofre na semente (Figura 16).

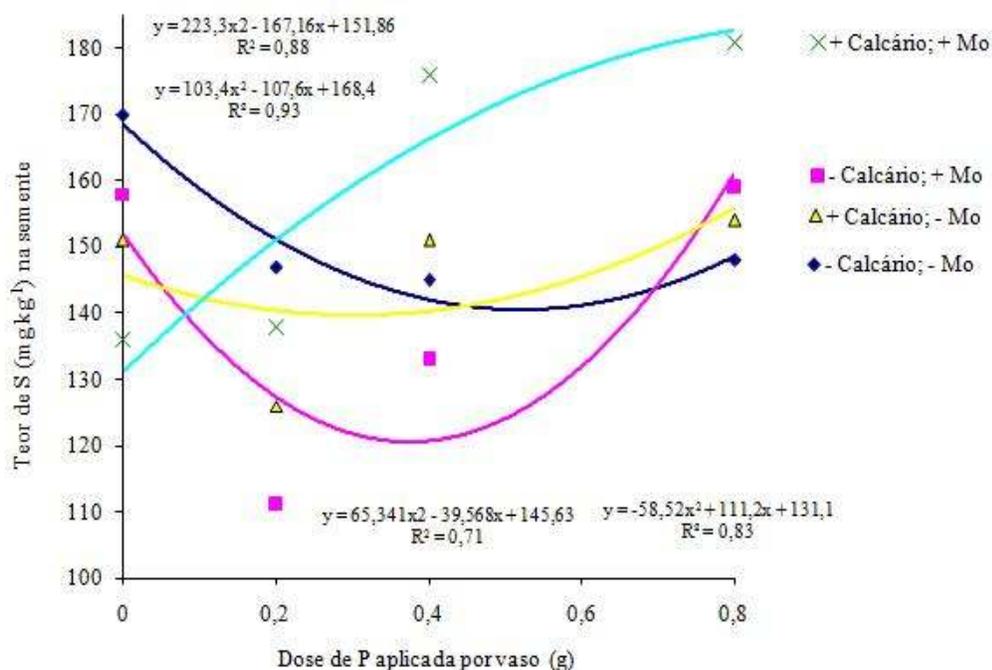


Figura 16. Teor de enxofre (S) em sementes de plantas Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Nas sementes os tratamentos com calcário e com Molibdênio isoladamente, mostraram uma relação positiva com as diferentes doses de P aplicado, aumentando os teores de enxofre. A calagem sem adubação molibídica, só se mostrou significativamente benéfica para a acumulação do S, quando associada à aplicação de 0,8 g de P por vaso, porém, a calagem em presença do Mo, mostrou um maior efeito positivo (23%), na acumulação do S quando estes tratamentos estão associados à dose de 0,8 g de P, (Figura 16).

Na parte aérea, a acumulação do enxofre foi influenciada de forma significativamente negativa pela calagem (Figura 17). Nos tratamentos com Mo, as diferentes doses de P aplicado, não mostraram efeito significativo. Na parte aérea do Feijão Caupi, o molibdênio e as aplicações de 0,2 e 0,4 g de P (por vaso) tiveram um efeito significativamente negativo nos teores de S. A calagem, não mostrou efeito significativo sobre a acumulação de S. O único tratamento que resultou num efeito significativamente positivo, para os teores de S na parte aérea, foi a aplicação de 0,8 g de P (por vaso).

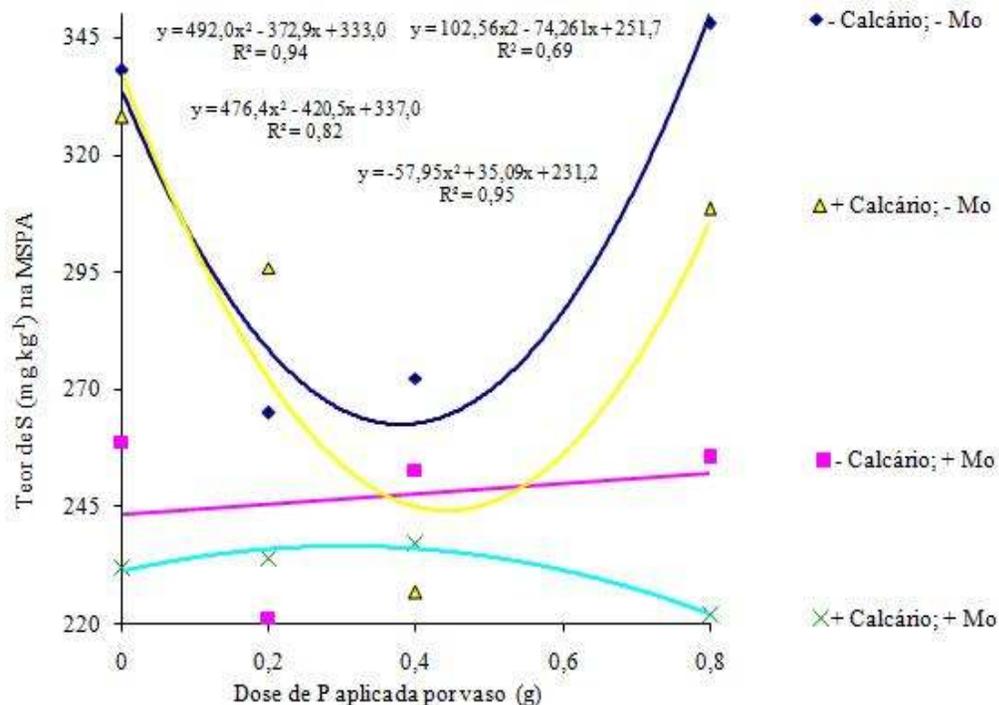


Figura 17. Teor de enxofre (S) na massa seca da parte aérea de plantas Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Nas raízes a associação do Mo com o P, se mostrou significativamente benéfica para a concentração do S, pois, foi nestes órgãos que o S mostrou seus maiores teores, o que indicou uma dificuldade na sua translocação via xilema. Resultados similares foram encontrados por Fernandes, (2006); Taiz & Zieger (1998); Novais et al. (2007).

Na ausência de Mo (com e sem calagem), com a aplicação do P até a dose 0,4 g de P, ocorreu uma redução significativa nos teores de S na parte aérea. Já na dose 0,8 g de P por vaso ocorreu um aumento significativo dos teores de S na parte aérea.

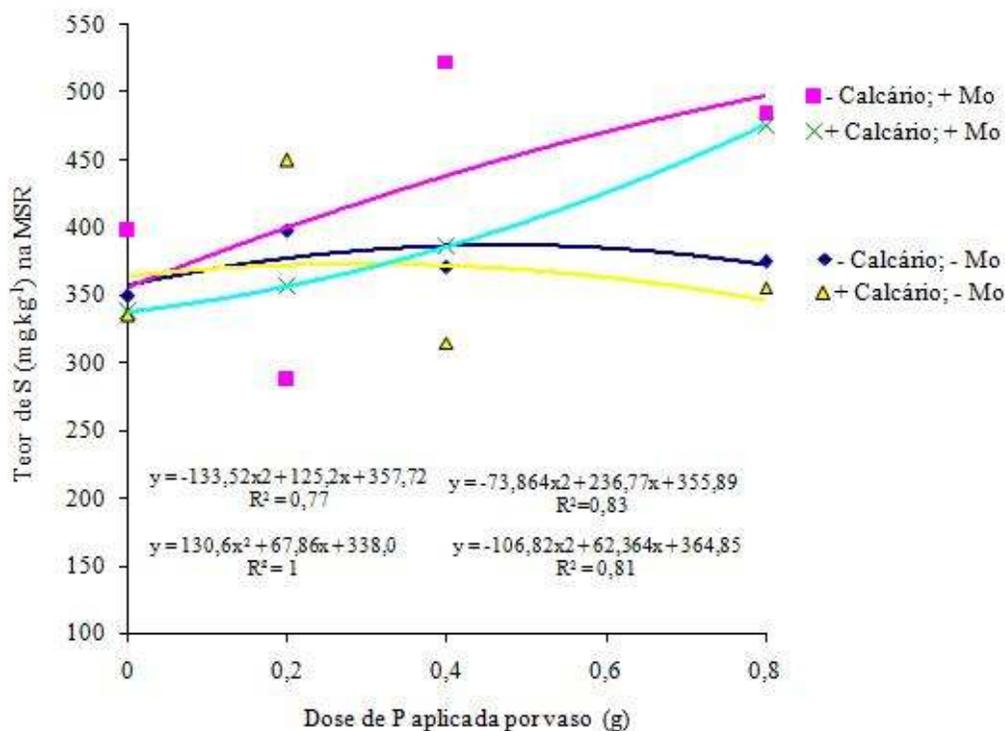


Figura 18. Teor de enxofre (S) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

As Figuras: 19, 20 e 21, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de cálcio, respectivamente nas: sementes, parte aérea e raízes. Nas sementes, nos tratamentos sem calcário e sem Mo, os teores de Ca, não foram significativamente afetados pela adição do fósforo. Nos tratamentos sem calcário a adição do Mo, não causou alterações na acumulação máxima de cálcio (4 mg/kg), mesmo, nas maiores doses de P.

Na presença do calcário e do Mo, a dose de 0,8 g de P por vaso, apresentou um efeito positivo para a acumulação de Ca nas sementes, mas, este efeito, foi revertido nos tratamentos com ausência do molibdênio. As comparações entre os teores de Ca nas raízes, parte aérea e sementes, indicam que, a maior acumulação deste elemento, ocorreu na parte aérea, o que pode ser explicado, pelo importante papel do cálcio nas paredes celulares, visto que, a parte aérea cresceu mais do que as raízes (Tabela 4).

A adição de fósforo e da calagem, isoladamente não foram significativas para alterar os teores de Ca na semente, porém, o Mo apresentou um efeito significativo prejudicial nesta acumulação.

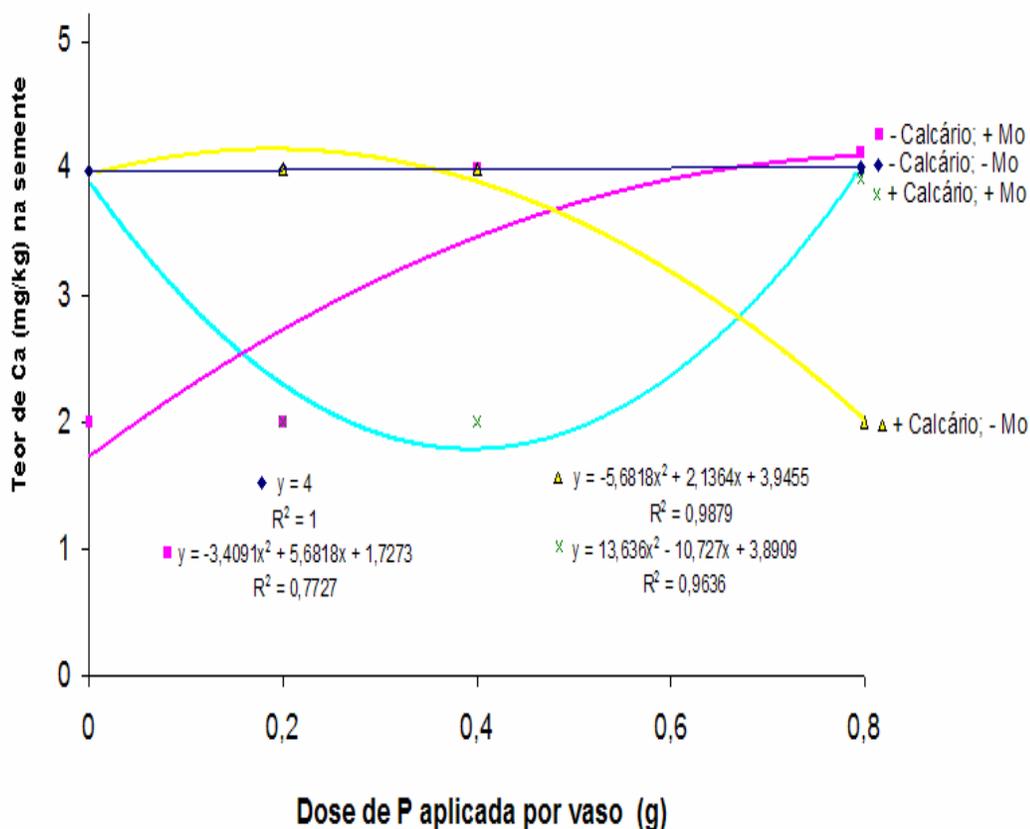


Figura 19. Teor de cálcio (Ca) em semente de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A aplicação do Mo gerou um reduzido aumento significativo nos teores de Ca na parte aérea, isto para os tratamentos sem calagem e sem P (Figura 20). Os teores de cálcio adequados na planta variam de 4 a 40 g/kg (Fernandes, 2006), sendo que os dados obtidos no presente experimento foram bem inferiores. A calagem foi significativamente prejudicial para os teores de cálcio na parte aérea e as adições de fósforo (0,2 e 0,4 g/vaso) produziram um pequeno aumento na acumulação do Ca.

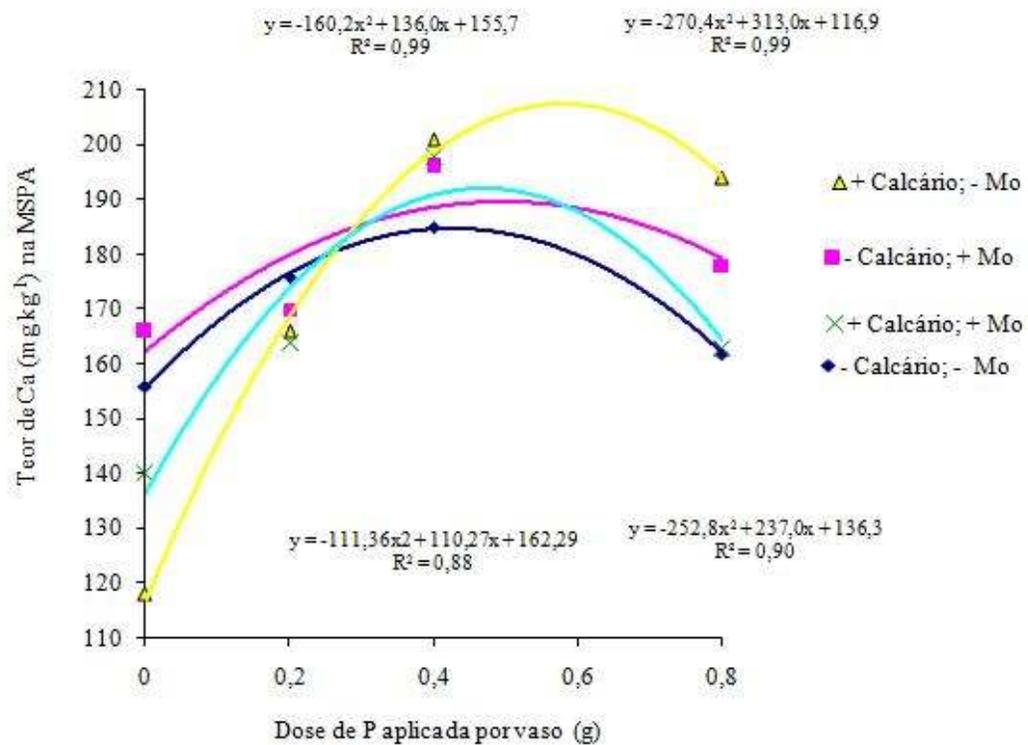


Figura 20. Teor de cálcio (Ca) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A adubação molibídica (sem calagem), influenciou de forma positiva os teores de cálcio (Figura 21). Nos tratamentos com calagem o mesmo comportamento, observado na parte aérea se repetiu, onde, a adição do Mo, anulou o efeito do P (aumentou os teores de cálcio nas raízes). A aplicação de Mo, nas raízes, se mostrou significativamente positiva para os teores de Ca, mas, a calagem reduziu os teores de Ca e as doses de P não tiveram efeito significativo nos teores de cálcio nas raízes.

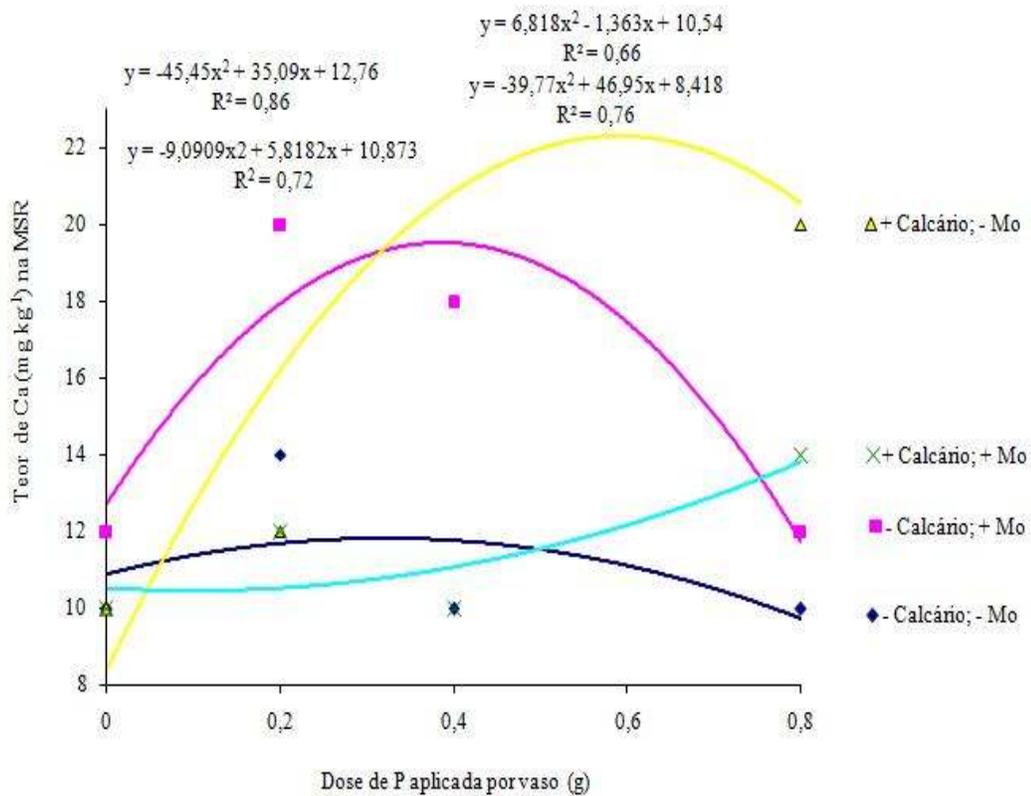


Figura 21. Teor de cálcio (Ca) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

As Figuras: 22, 23 e 24, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de potássio, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes.

Nas sementes, todos os tratamentos causaram alterações pouco significativas nos teores do K. Com a calagem, a aplicações de molibdênio e de fósforo não mostraram efeitos significativos nos teores de K nas sementes.

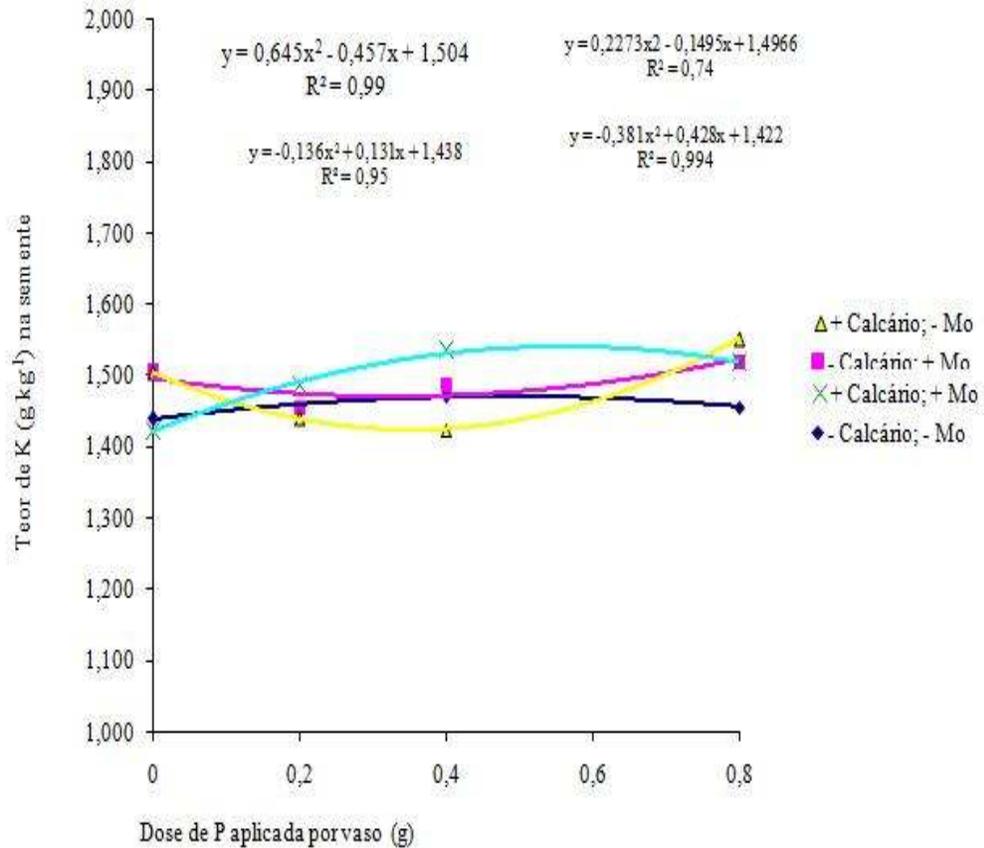


Figura 22. Teor de potássio (K) em sementes de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Comparando os teores de K encontrados nas sementes, parte aérea e raízes, os maiores teores de potássio foram encontrados na parte aérea.

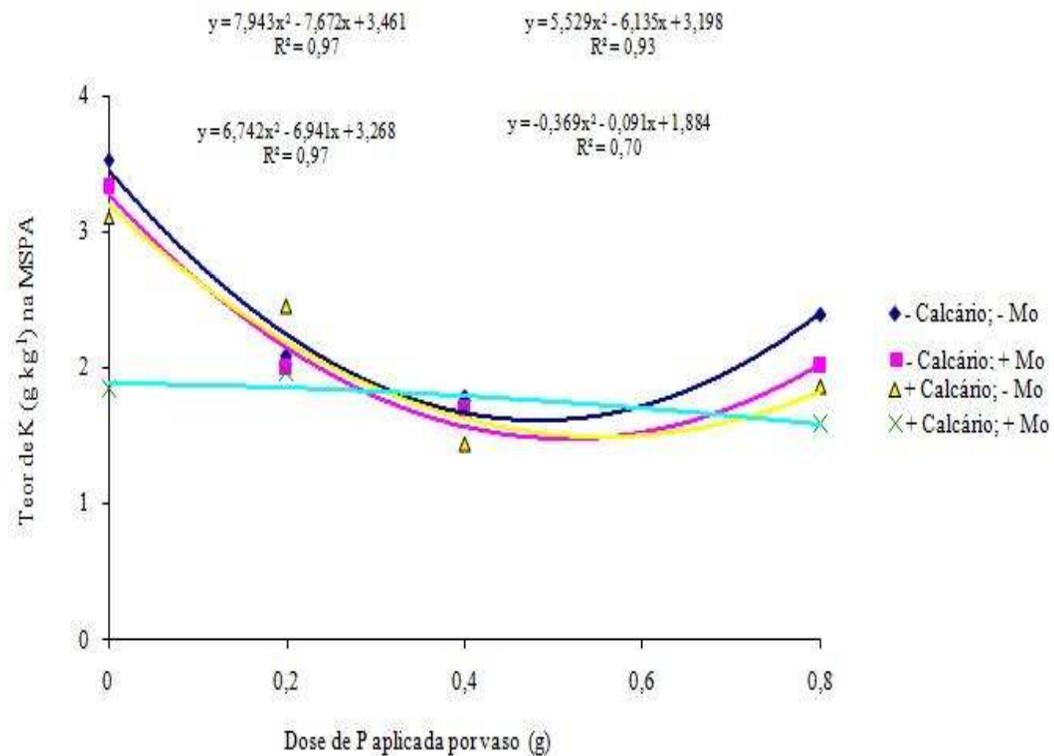


Figura 23. Teor de potássio (K) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Na presença da calagem e do molibdênio, as doses de P aplicadas não mostraram efeito significativo sobre os teores de K na parte aérea, porém, nos outros tratamentos a presença das doses 0,2 e 0,4 g de P foram significativamente prejudiciais à acumulação de K na parte aérea, em 35% e 50% respectivamente. A calagem, a adição de Mo e as aplicações de P (isoladamente) influenciaram significativamente de forma negativa os teores de K nas raízes.

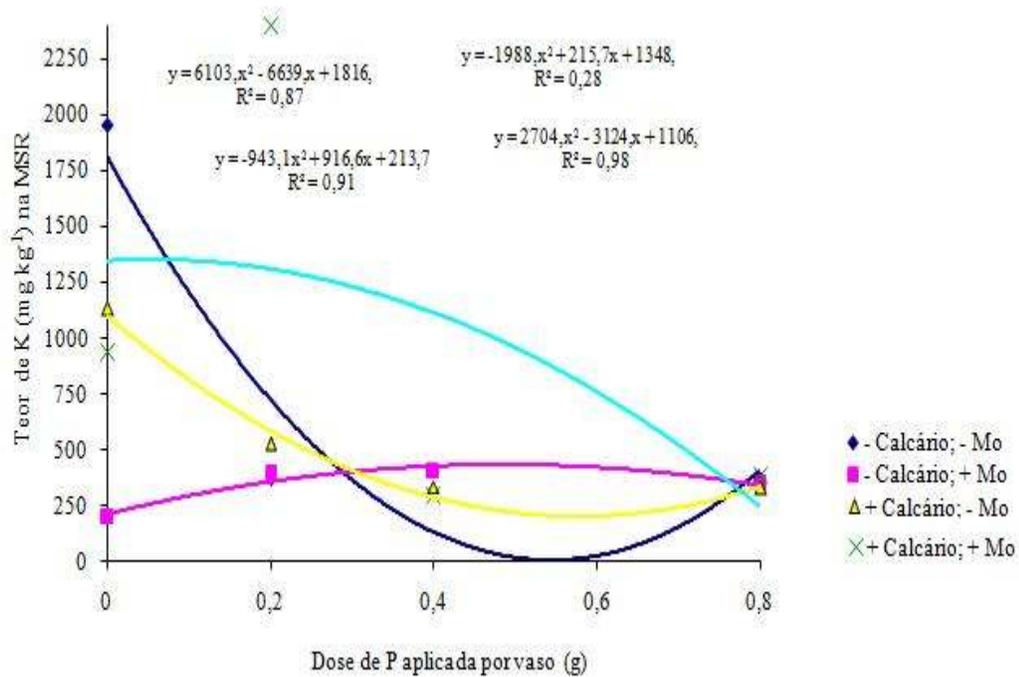


Figura 24. Teor de potássio (K) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Verificou-se nas raízes de *Vigna unguiculata*, que a adição das doses de fósforo 0,2 e 0,4 g (por vaso), mostrou um efeito negativo muito significativo sobre a acumulação de K.

As Figuras: 25, 26 e 27, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de magnésio, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes.

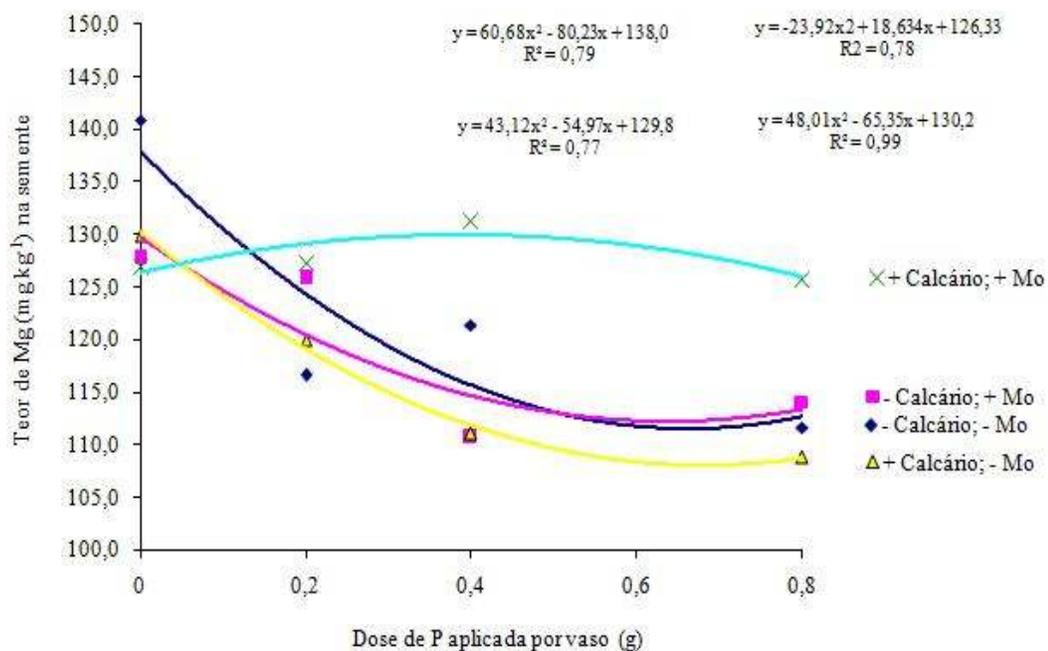


Figura 25. Teor de magnésio (Mg) em sementes de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Os maiores teores de magnésio foram encontrados nas sementes, evidenciando, a grande mobilidade deste elemento na planta. Nas sementes, não houve influência significativa nos teores de Mg, em todas as doses de P aplicadas (presença de calcário e Mo). Nos demais tratamentos, as doses de P aplicadas passaram a ter um efeito significativo de redução dos teores de Mg (Figura 25).

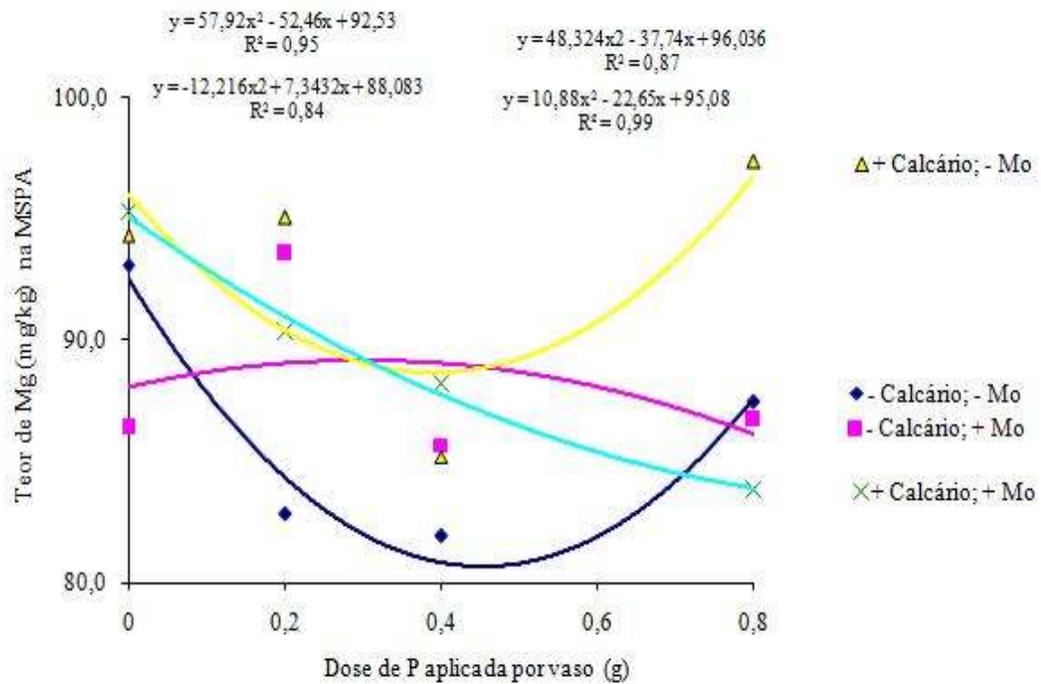


Figura 26. Teor de magnésio (Mg) na massa seca parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Na parte aérea, os teores de Mg aumentaram nos tratamentos com calcário. Na Figura 26, observou-se que a adição das doses de P (0,2 e 0,4 g/vaso) são significativamente negativas para a acumulação de Mn. Nos tratamentos com Mo, todas as doses de P aplicadas, causaram uma pequena redução os teores de Mg na parte aérea.

Em raízes, a calagem e a adição de Mo, reduziram a acumulação de Mg.

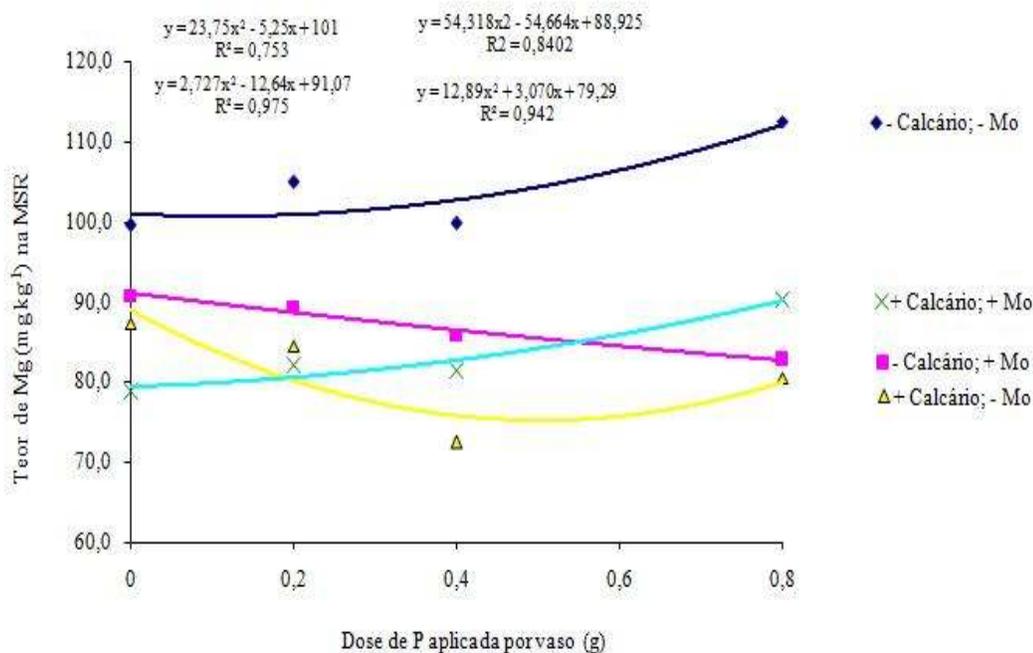


Figura 27. Teor de magnésio (Mg) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

4.4. Efeitos do fósforo sobre as concentrações de micronutrientes no Feijão Caupi, com e sem aplicações de calcário e molibdênio

As Figuras: 28, 29 e 30, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de manganês, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes.

Na comparação dos teores de Mn nas diferentes partes analisadas, observou-se que os maiores teores foram encontrados respectivamente na parte aérea e raízes e que, em sementes os teores foram muito baixos. Nas sementes a calagem influenciou de forma significativamente positiva a acumulação de manganês em 15%, porém, a adição de Mo, não causou alterações significativas na acumulação de Mn (Figura 28). Os maiores teores de Mn, foram encontrados associados à adição de Mo com a dose de P 0,8 g por vaso.

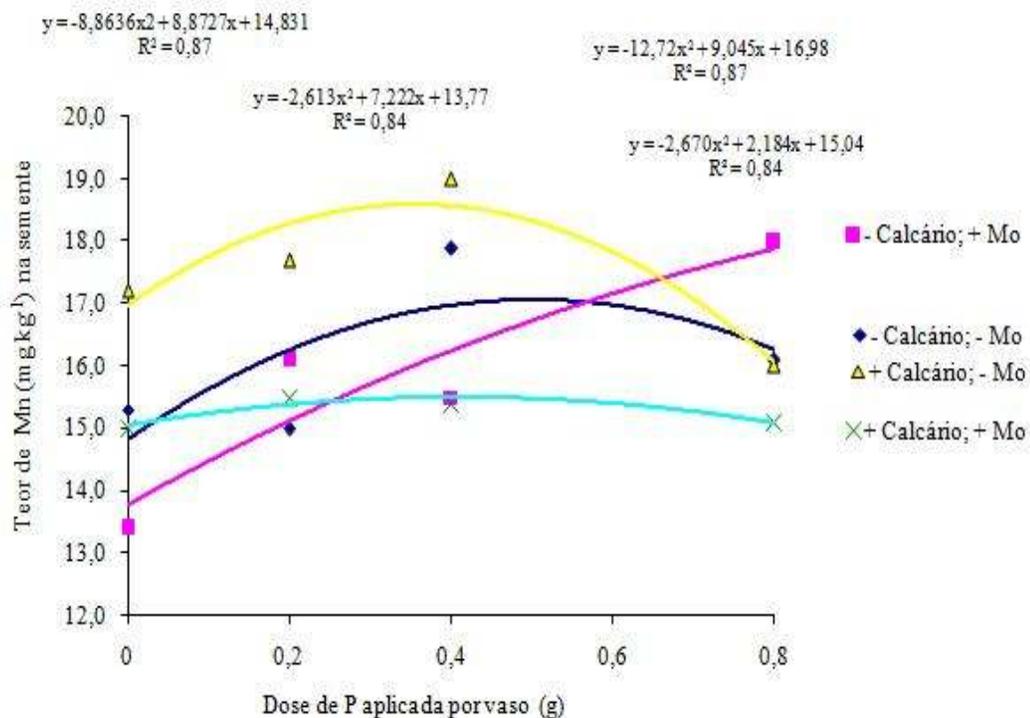


Figura 28. Teor de manganês (Mn) em semente de plantas de Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Na parte aérea nem a calagem, nem a adição de Mo influenciaram de forma significativa os teores de Mn, mas, a aplicação do P, causou um aumento nos teores de Mn de forma crescente, sendo este aumento máximo (145%), na dose de 0,8 g de P aplicado por vaso. Nos tratamentos com Mo, a dose 0,4 g de P (por vaso), mostrou o maior aumento nos teores de Mn na parte aérea.

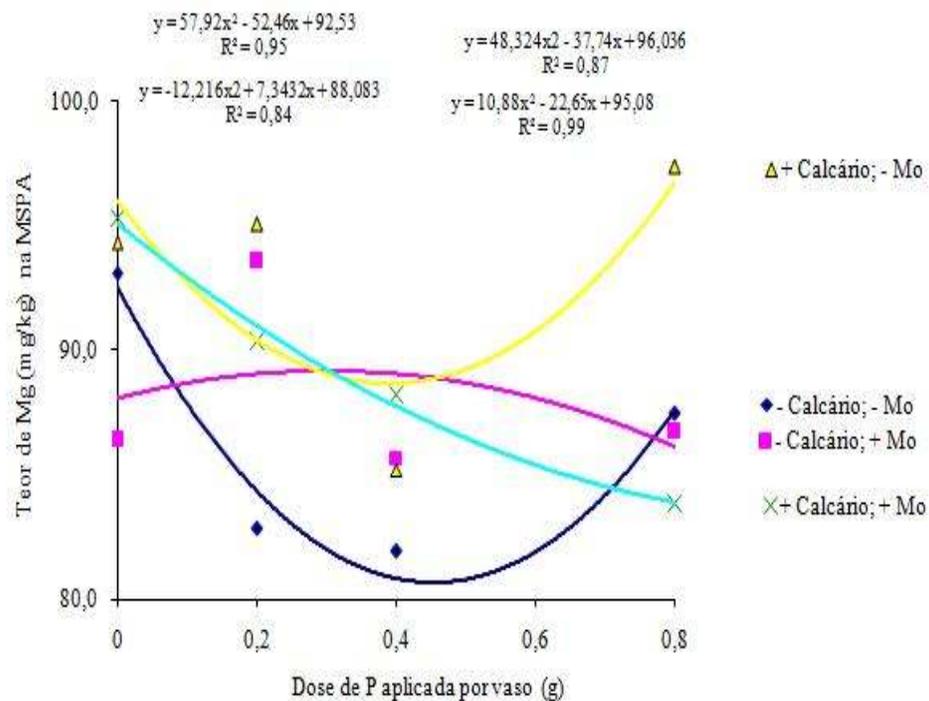


Figura 29. Teor de manganês (Mn) na parte aérea do Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Nas raízes, os tratamentos com calagem, acarretou um grande aumento na acumulação de Mn (100%). A aplicação de Mo levou a uma maior acumulação 113% nos teores de Mn. A aplicação de 0,4 g de P por vaso, provocou um aumento nos teores de Mn na ordem de 133,3%.

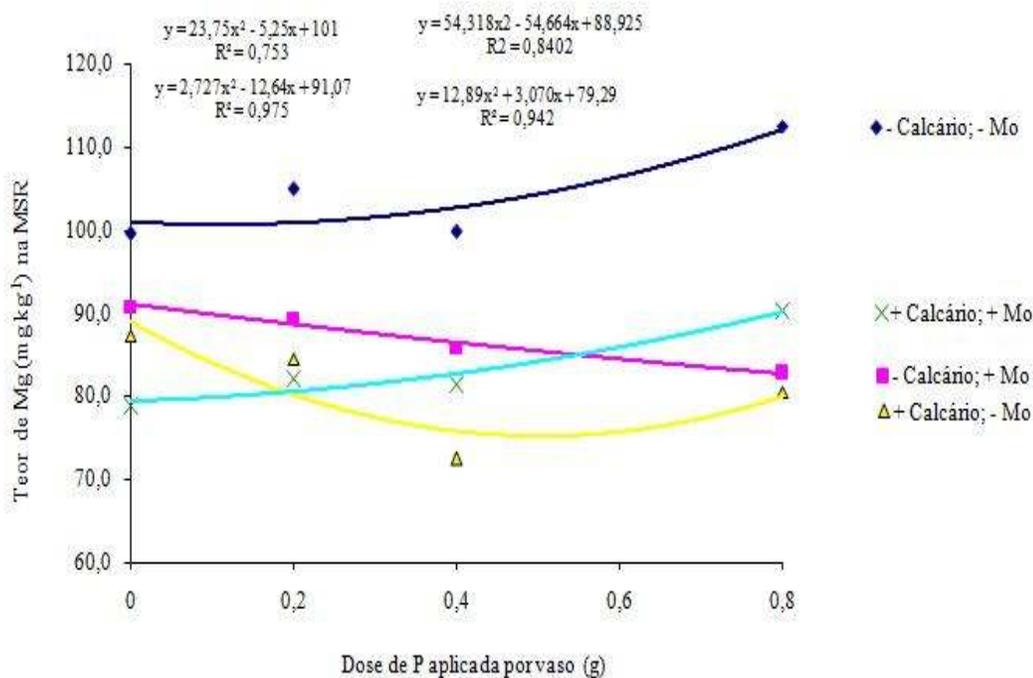


Figura 30. Teor de manganês (Mn) em massa seca das raízes do Feijão-caupi nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A maior acumulação de Mn (100 mg/kg) na raiz, ocorreu pela associação da calagem com a dose de 0,8g de P por vaso (Figura 30). Os teores de Mn encontrados, estão dentro da faixa considerada adequada (20 a 500mg/kg) para o crescimento das plantas Fernandes (2006).

As Figuras: 31, 32 e 33, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de zinco, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes. Nas sementes a calagem influenciou de forma significativamente negativa a acumulação de Zn (redução de 11%). A adição de Mo também reduziu os teores de Zn (12%). As aplicações de P foram positivamente significativas, aumentando os teores de zinco em 29,6%, isto até a dose 0,4 g de P por vaso. Na dose de 0,8 g de P ocorreu uma redução significativa nos teores de zinco nas sementes (Figura 31).

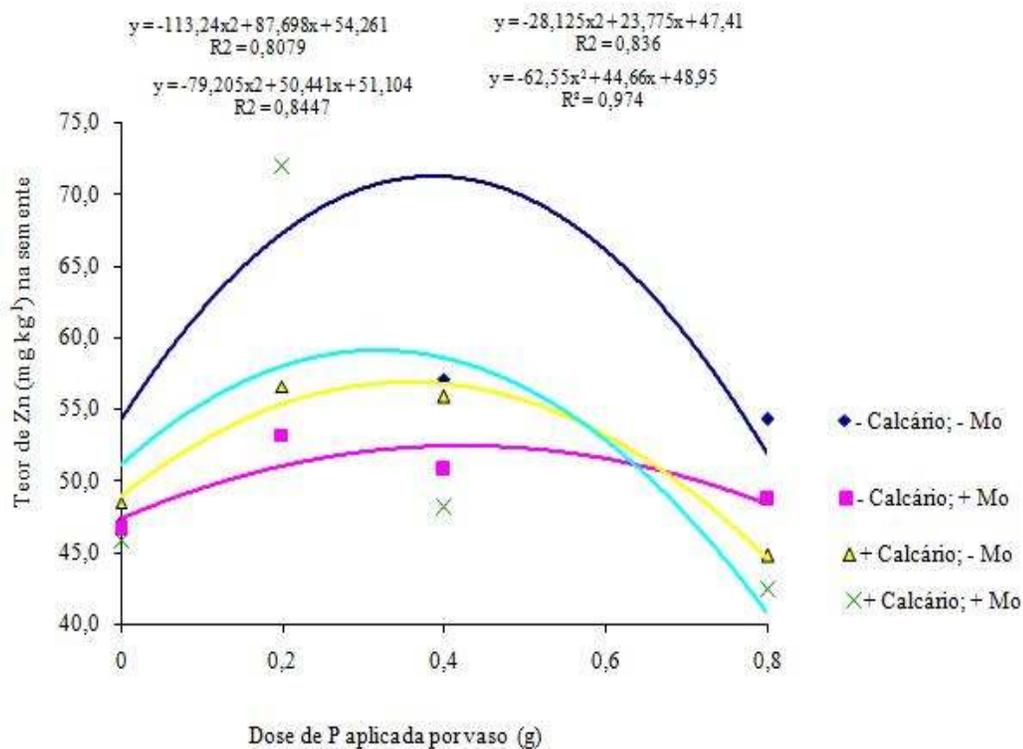


Figura 31. Teor de zinco (Zn) em semente de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

As aplicações de P apresentaram na parte aérea um comportamento inverso, ao encontrado na semente (Figura 32). Tanto a calagem quanto a aplicação de Mo, influenciaram de forma significativamente positiva os teores de Zn na parte aérea.

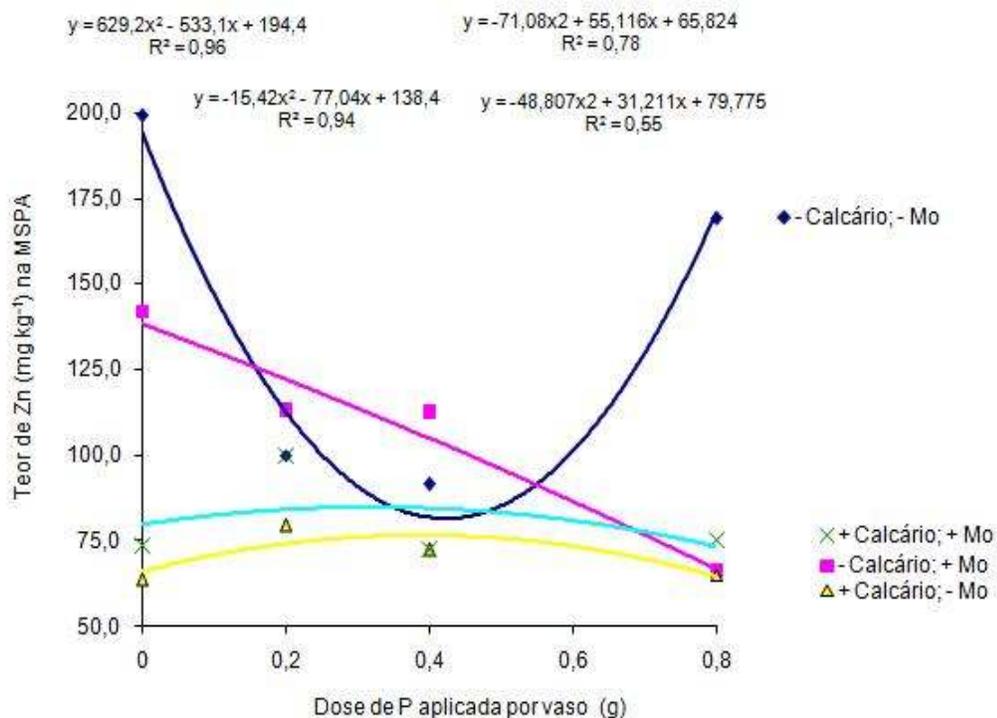


Figura 32. Teor de zinco (Zn) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Os teores de Zn na raiz foram reduzidos de forma significativa pela calagem e pela adubação molibídica. Nas raízes, as aplicações do fósforo reduziram a acumulação do Zn.

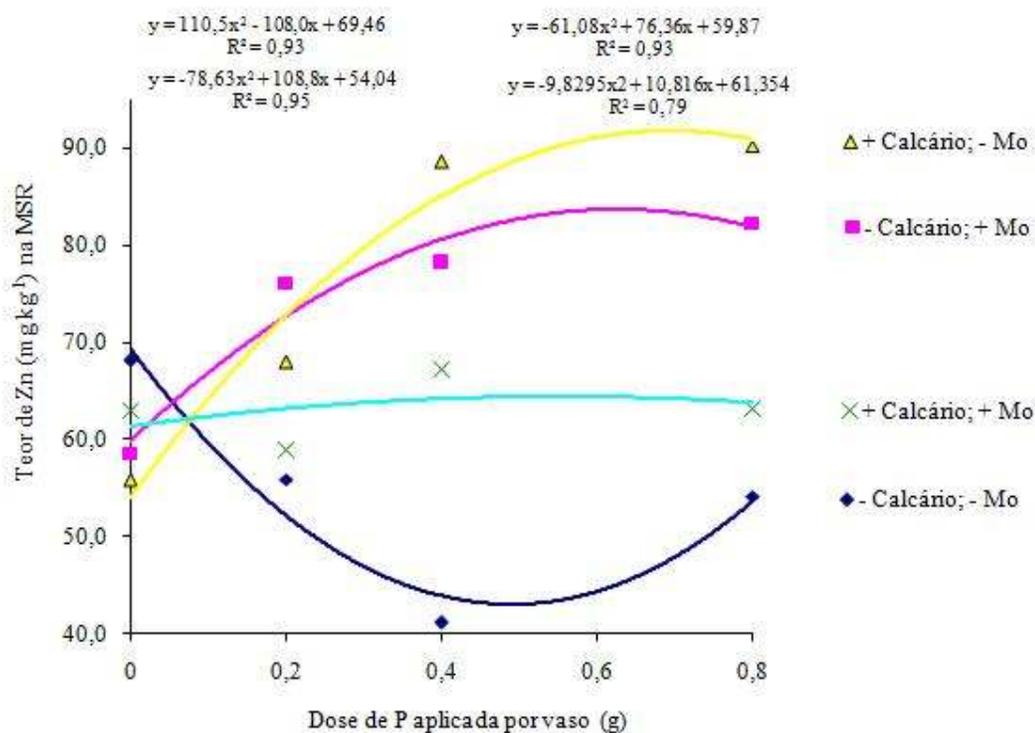


Figura 33. Teor de zinco (Zn) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Não havia carência de Zn na planta, pois teores inferiores a 25mg/kg caracterizam deficiência deste elemento (Fernandes, 2006).

Baixos teores de cobre tanto no solo quanto na planta beneficiam: absorção e o transporte de Zn nas plantas (Fernandes, 2006). Pela comparação dos teores de Zn nas sementes, parte aérea e raízes, observou-se que o Zn se acumulou em maiores quantidades na parte aérea e raízes, pois são os locais de crescimento mais ativo, por isso, requerem mais Zn que atua na biossíntese da auxina.

As Figuras: 34, 35 e 36, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de cobre, respectivamente nas sementes, parte aérea e raízes. É importante destacar que todos os tratamentos obtiveram uma influência significativamente negativa nos teores de cobre na semente e na parte aérea (Figuras 34 e 35). Na parte aérea a associação de calagem com aplicação de P, foi significativamente positiva para os teores de Cu, com um aumento máximo de 120% na dose de 0,8% de P aplicado por vaso.

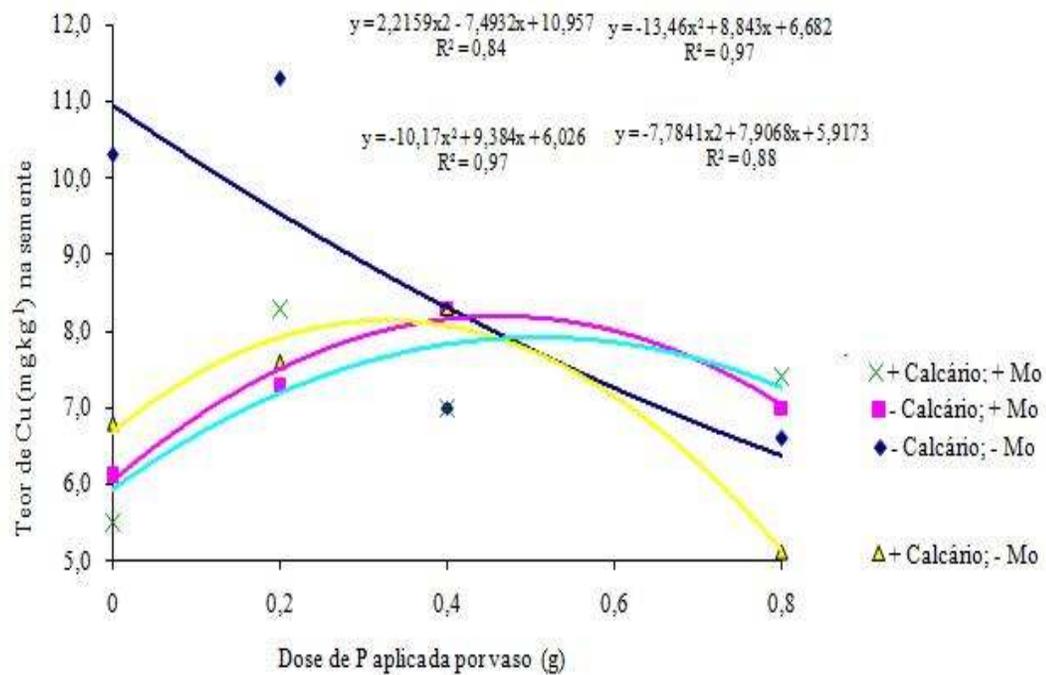


Figura 34. Teor de cobre (Cu) em sementes de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Pela pequena mobilidade do cobre, encontramos seus maiores teores nas raízes, onde os tratamentos tiveram efeitos diferentes dos encontrados nas sementes e parte aérea.

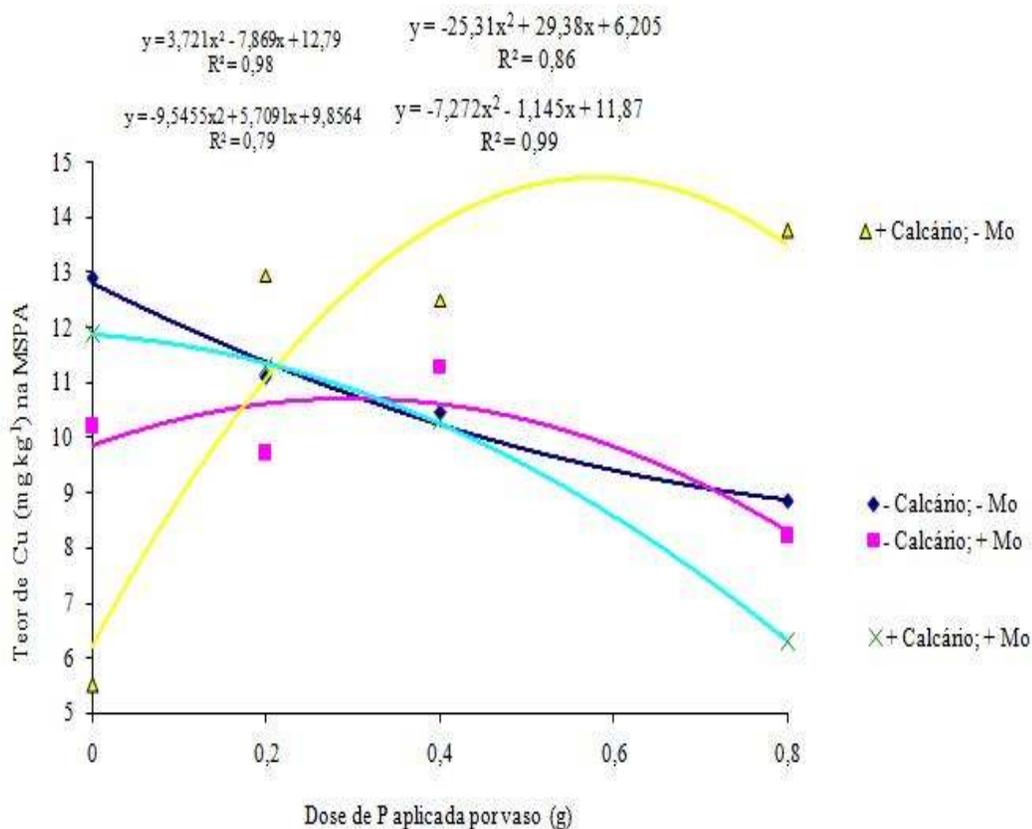


Figura 35. Teor de cobre (Cu) na massa seca da parte aérea de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A aplicação de Mo mostrou efeito significativamente positivo, sobre os teores de Cu nas raízes, aumentando significativamente em 99% seus teores nestes órgãos. A calagem também mostrou efeito positivo significativo de 76,5%, nos teores de cobre das raízes e as aplicações de fósforo foram benéficas para a acumulação do Cu nas raízes. Apesar de em pequenas quantidades os teores de cobre estão dentro dos valores considerados adequados (5 a 20 mg/kg) para o crescimento das plantas (Fernandes, 2006).

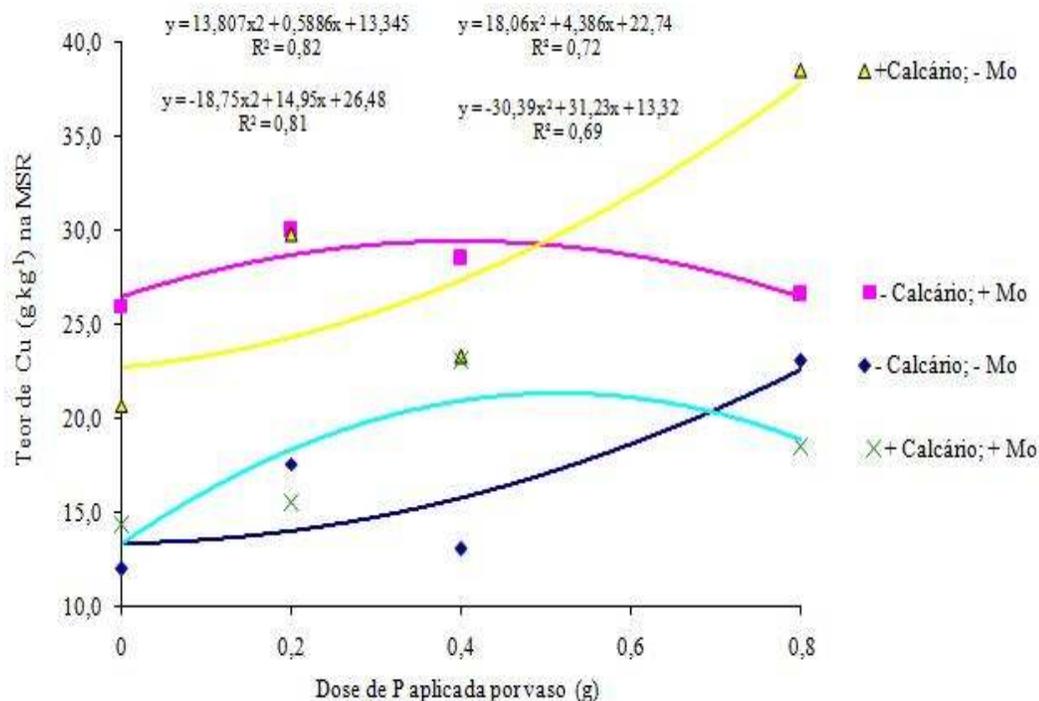


Figura 36. Teor de cobre (Cu) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

As Figuras: 37, 38 e 39, mostram a ação dos diferentes tratamentos sobre os teores de ferro, respectivamente em: sementes, parte aérea e raízes. Pela comparação entre os teores de ferro na planta, observou-se que o ferro se acumulou nas raízes, devido a sua pequena mobilidade.

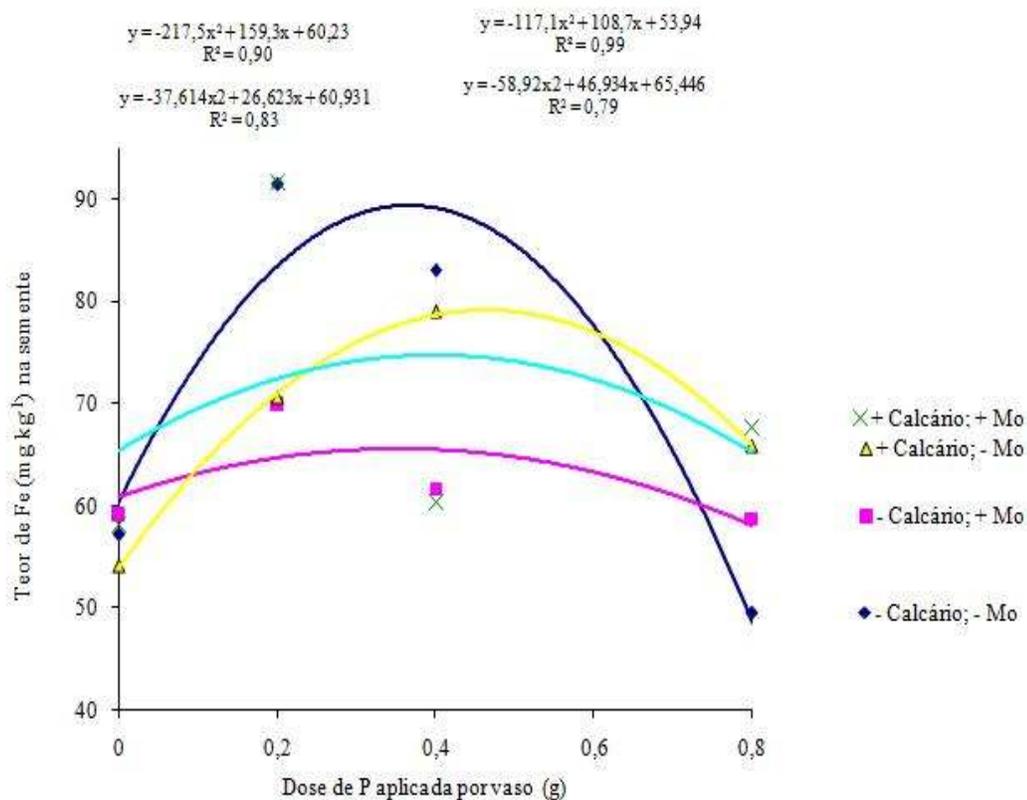


Figura 37. Teor de ferro (Fe) em sementes de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

A aplicação de Mo não mostrou efeito nos teores de ferro das sementes, mas, a calagem por sua vez, reduziu os teores de ferro nas sementes, uma vez que, a disponibilidade do Fe no solo, é influenciada de forma negativa por elevações no pH.

A adição das doses 0,2 e 0,4 g de P por vaso, causaram um aumento nos teores de Fe nas sementes, mas, a aplicação da dose 0,8 g de P (por vaso) reduziu os teores de ferro nas sementes.

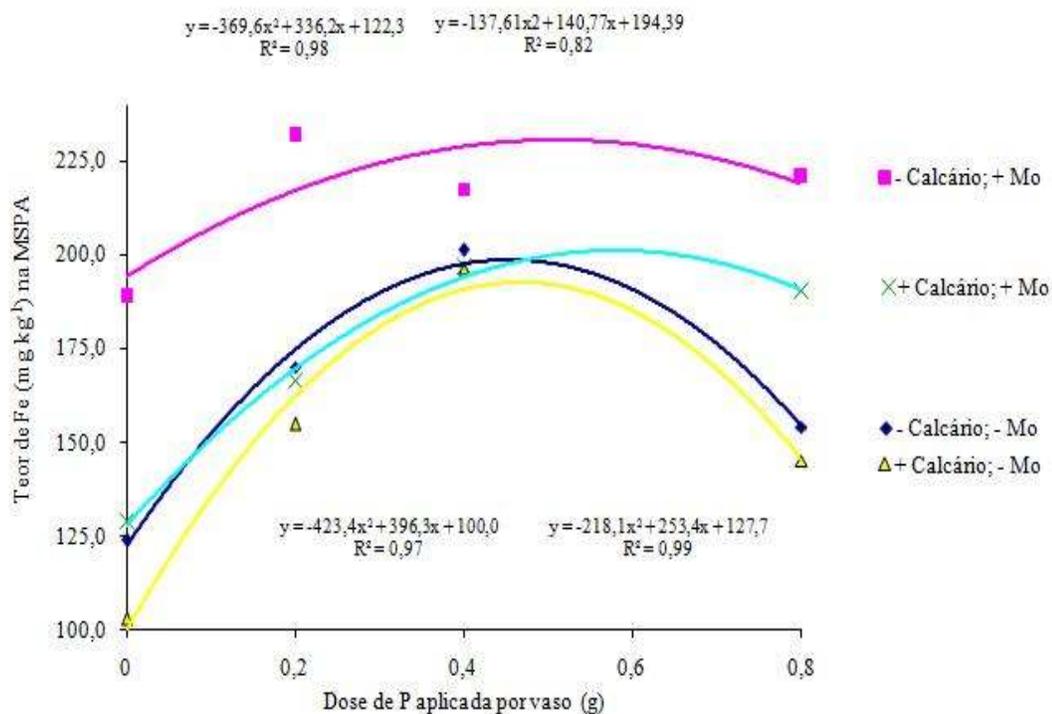


Figura 38. Teor de ferro (Fe) na massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Na parte aérea, a calagem causou uma redução significativa, na acumulação de Ferro, mas, a aplicação do Mo aumentou em 56% os teores de Fe.

A adição do fósforo na parte aérea revelou um comportamento semelhante ao encontrado em sementes.

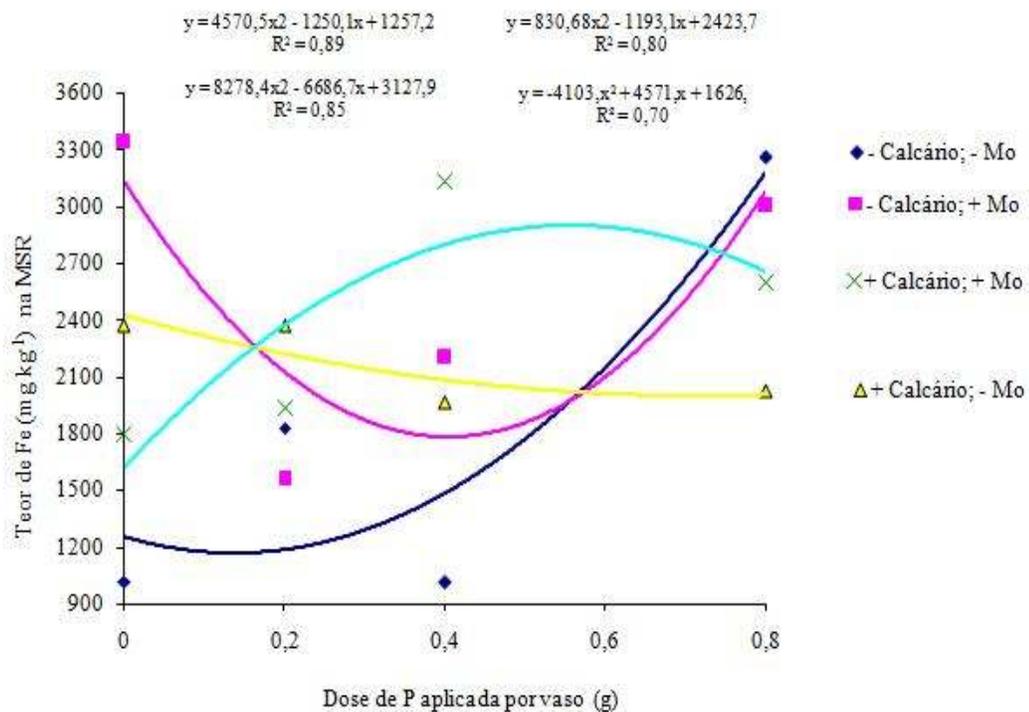


Figura 39. Teor de ferro (Fe) na massa seca da raiz (MSR) de plantas de Feijão-caupi, nas diferentes doses de 0,0; 0,2; 0,4 e 0,8g de P com ou sem calcário, com adição ou não de molibdênio.

Em raízes a calagem se mostrou benéfica para o aumento dos teores de Fe, bem como a aplicação do Mo e as adições de fósforo, que causaram um aumento significativo nos teores de Fe. De acordo com Fernandes, (2006), os teores de Fe, estavam dentro da faixa adequada para o desenvolvimento das planta, ou seja, variando entre 50 a 100 mg/kg.

Tabela 8. Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os macronutrientes (N,P,K,Ca,Mg e S) na massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e sementes de plantas de Feijão-caupi.

Semente						
Quadrado médio						
FV	P	K	Ca	S	Mg	N
Trat	31462,4**	2,79 ns	2,76**	1329,49**	310,76**	20,87 ns
Rep	40,80	2,83	9,83	2,10	6,32	0,79
Res	28,12	2,82	0,83	1,30	10,39	0,29
CV	1,31	99,33	26	0,76	2,6	1,21

Parte aérea						
Quadrado médio						
FV	P	K	Ca	S	Mg	N
Trat	16296,2**	4686,4**	1,68**	7538,68**	99,77**	13,05**
Rep	194,4	6,29	0,31	88,91	1,27	0,69
Res	155,04	1,40	0,10	79,15	0,19	0,18
CV	7,96	0,86	1,42	3,3	0,49	2,3

Raiz						
Quadrado médio						
FV	P	K	Ca	S	Mg	N
Trat	2041,98**	1165262**	1138828**	15810**	545,66**	9**
Rep	5,16	9174,75	2218,55	162,11	76,72	1,45
Res	5,96	455556,01	4131,98	216,16	103,31	1,47
CV	2,61	37,76	9,79	3,8	11,58	9,66

Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo

FV=Fator de variação, CV=Coefficiente de Variação

Tabela 9. Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn) na massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e sementes de plantas de Feijão-caupi.

Semente				
Quadrado Médio				
FV	Fe	Cu	Zn	Mn
Trat	515,37**	10,17**	496,64**	8,32**
Rep	125,82	0,15	0,88	0,27
Res	109,09	0,25	0,15	0,21
CV	15,77	6,14	0,72	2,86
Parte Aérea				
Quadrado médio				
FV	Fe	Cu	Zn	Mn
Trat	0,23 ns	1,39**	403,02**	463**
Rep	0,14	0,5	3,56	3,01
Res	1,06	0,5	2,05	3,32
CV	3,3	8,76	5,88	7,74
Raiz				
Quadrado médio				
FV	Fe	Cu	Zn	Mn
Trat	2065395**	206,87**	635,15**	771,68* *
Rep	5666,35	0,48	102,76	0,51
Res	5585,14	0,33	87,13	0,34
CV	3,39	2,57	14,26	0,95

Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

A aplicação de fósforo reduziu significativamente o teor de molibdênio nas sementes de Feijão-caupi L. cultivar Setentão;

A aplicação do calcário causou uma redução significativa dos teores de molibdênio nas sementes de Feijão Caupi L. cultivar Setentão.

A aplicação de molibdênio no solo aumentou o teor de molibdênio nas sementes de Feijão Caupi L. cultivar Setentão.

As aplicações conjuntas de fósforo e molibdênio causaram uma redução teores de Mo nas sementes de Feijão Caupi L. cultivar Setentão.

A aplicação do fósforo foi significativamente positiva para o aumento do: número médio de sementes e o peso médio de sementes de Feijão Caupi L. cultivar Setentão.

A aplicação conjunta de molibdênio e fósforo foi significativamente positiva no aumento do peso médio de 100 sementes de Feijão Caupi L. cultivar Setentão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, K. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns. *J. Ecol.*, 84:597-608, 1996.
- AL-NIEMI, T.S.; KAHN, M.L. & DERMOTT, T.R.P. Metabolism in the bean-*Rhizobium* tropic symbiosis. *Plant Physiology*. 113:1233-1242, 1997.
- ALVES, V.M.C.I.; NOVAIS, K.F.I.; OLIVEIRA, M.F.G. & SANT' ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1047-1052, 1998.
- AQUINO, B.F. Conceitos fundamentais em fertilidade do solo. Edições UFC, 2005.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. & ALMEIDA, D.L. Phosphorus efficiency of wild and cultivated genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under biological nitrogen fixation. *Soil Biol.* 29:951-957, 1997.
- BARBER, S. Soil Nutrient Bioavailability: a mechanistic approach. New York, J. Wiley, 1984. 398 p.
- BARRADAS, C.A.A. & HUNGRIA, M. Seleção de estirpes de *Rhizobium spp.* para o feijoeiro. I. Precocidade da nodulação e fixação do

nitrogênio. Turrialba. 14:236-242, 1989.

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.

BEEBE, S.; LYNCH, J.; CALWEY, N.; TOHME, J. & OCHOA, L.A. geographical approach to identify phosphorus-efficient genotypes among landraces and wild ancestors of common bean. *Euphytica*, 95:325-336, 1997.

BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability *Ann. Plant Physiol*, 24:225-252, 1973.

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.*, 56:59-68, 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*, 132: 281-288, 1996.

CHAIB, S.L.; BULISANI, E.A. & CASTRO, L.H.S.M. Crescimento e produção do feijoeiro em resposta à profundidade de aplicação de adubo fosfatado. *Pesq. Agropec., Bras*, 19:817-822, 1984.

CHAPIN, F.S.M. & BIELESKI, R.L. Mild phosphorus stress in barley and a related low phosphorus-adapted barleygrass: Phosphorus fractions and phosphate absorption in relation to growth. *Physiol. Plant.* 54:309-317, 1982.

CHAPIN, F.S.M.; CROVES, R.H. & ANS, L.T. Physiological determinants of growth rate in response to phosphorus supply in wild and cultivated

Hordellm species. *Ecologia*. 79:96-105, 1989.

DAVIES, E.B. Factors affecting molybdenum availability in soils. *Soil Sci.*, 81:209-221, 1956.

DREW, M.E. & SAKER, L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. Compensatory increases in growth of lateral roots, and in rates of phosphate uptake, in response to a localized supply of phosphate. *J. Exper. Bot.*, 29:435-451, 1978.

DUNCAN, R.R. BALICAR, V.E. Kinetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: An overview. In: BALICAR, V. E. & DUNCAN, R.R, eds. *Crops as enhancers of nutrient use*. San Diego, Academic Press, 1990. p. 3-35.

EISSENSTAT, D.M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *J. Plant Nutr.*, 15:763-782, 1992.

ELLIOTT, C.E. & LÄUCHLI, A. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. *Agron.*, 77:399-403, 1985.

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

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

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

FERNANDES, F.A.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S.; JUNIOR, A.R.; SÁ, M.E.; BUZETTI,

- S. & RODRIGUES, R. A. F, Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum, Agronomy*. 27:7-15, 2005.
- FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG, 2006.
- FERREIRA, A.C.B.; ARAUJO, G.A.A.; CARDOSO, A.A.; FONTES, P.C.R. & VIEIRA, C. Diagnose do estado nutricional molibdic do feijoeiro em razão do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar. *R. Bras. Agric.*, 9:397-401, 2003.
- FRANCO, A.A. H.S. & DAY, J.M. Effect of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in acid soils of Brazil. *Turrialba*, 90:99-105, 1990.
- FEIL, B.; THIRAPORN, R. & STAMP, P. Can maize cultivars with low mineral nutrient concentrations in the grains help to reduce the need for fertilizers in third world countries. *Plant Soil*, 146:227-231, 1992.
- FREEDEN, A.L.; RAO, LM. & TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glicine max*. *Plant Physiol*, 89:225-230, 1989.
- FURLANI, A.M.C Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan,. 2004. p.40-75.
- GAHOONIA, T.S. & NIELSEN, N.E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant Soil*, 260:47-57, 2004.
- GAO, S.; PAN, W.L. & KOENIG, R.T. Integrated root system age in relation to plant nutrient uptake activity. *Agron.*, 90:505-510, 1998.
- GOLDBERG, S., C.S.U. & FORSTER, H.S. Sorption of molybdenum on oxides, clay minerals, and soils: Mechanisms and models. In *Adsorption of metals*

by geomechanics: Variables mechanisms and model applications. E. A. Jenne, Am. Chem. Soc. Symp. 2002.

GRABAU, L.J.; BLEVINS, D.C. & MINOR, H.E.P. Nutrition during seed development. Leaf senescence, pod retention, and seed weight of soybean. *Plant Physiol*, 82:1008-1012, 1986.

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

HAAG, H.P.; MALA VOLTA, E.; GARGANTINI, H. & BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia*. 26:381-391, 1967.

HALSTED, M. & LYNCH, J. Phosphorus responses of C₃ and C₄ species. *J. Exper. Bot.*, 47:497-505, 1996.

HINSINGER, P. Biology and availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, Netherlands, 237:173-195, 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*, 226:331-340, 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.; VARGAS, M.A.T. & ARAÚJO, R.S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiros. In Vargas, M. A. T.; HUNGRIA, M., eds. *Biologia dos solos do cerrado*, Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.188-224, 1997.

- JACOB-NETO, J.; THOMAS, R.J. & FRANCO, A.A. Variação estacional da concentração de molibdênio nos nódulos e demais partes da planta de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, 38: 51-58, 1988.
- JACOB-NETO, J. & FRANCO, A.A., Adubação de molibdênio em feijoeiro. Comunicado (técnico n12), Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1986, 4p.
- JACOB-NETO, J. & ROSSETO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. Floresta e ambiente, Seropédica, 5:171-183, 1998.
- JUNGK, A.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D.G. & MEYER, D. Influence of phosphate status on phosphate uptake kinetics of maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). Plant Soil, 124:175-182, 1990.
- KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRAT, H. The role of phosphorus in agriculture, Wisconsin, USA, 1980.
- KRAUSKOPF, K.B., Introduction to Geochemistry: New York, McGraw-Hill, 1972, 617 p.
- KONDRACKA, A. & RYCHTER, A.M. The role of Pi recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. J. Exper. Bot., 48:1461-1468, 1997.
- KUBOTA, F.Y.; Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar, dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006. 40p.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. Advances in Agronomy, San Diego, 19:151-210, 1967.
- LINDSAY, W.L. Role of chelation in micronutrient availability. In: CARSON, E.W. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 507-524.

- LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMÍREZ, A. & HERRERA-ESTRELLA, L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 6:280-287, 2002.
- LOUGHMAN, B.C. Metabolic aspects of the transport of ions by cells and tissues of roots. *Plant Soil*, 63:47-55, 1981.
- LYNCH, J.P. & BROWN, K.M. Topsoil foraging - an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*, 237:225-237, 2001.
- LYNCH, J.P.; GONZÁLEZ, A.; TOHME, J.M. & GARCIA, J.A. Variation in characters to leaf photosynthesis in wild bean populations. *Crop Science*, Madison, 32:933-640, 1992.
- LYNCH, J.; LÄUCHLI, A. & EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.*, 31:380-387, 1991.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980, 254p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 201-208p. 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.
- MARSHALL, C. & WARDLAW, L.F. A comparative study of the distribution and speed of movement of ^{14}C assimilates and foliar-applied ^{32}P -labelled phosphate in wheat. *Aust J. Biol. Sci.*, 26:1-13, 1973.

- MCLACHLAN, K.D. Rock phosphate and superphosphate compared as pasture fertilisers on acid soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, 11:513-523, 1955.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4. ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 1987. 687p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 5. ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 2002. 537p.
- MONDAL, W.A. & CHOUDHURI, M.A. Comparison of phosphorus mobilization during monocarpic senescence in rice cultivars with sequential and non-sequential leaf senescence. *Physiol Plant*, 65:221-227, 1985.
- NAHIZ, N.; SEM, D. & WEAVER, R.W. Population densities of clover rhizobia in Texas pastures and response to liming. *Biology and Fertility of soils*, 15:45-49, 1993.
- NIELSEN, K. L.; BOUMA, T.; LYNCH, J. P.; BOUMA, T.; LYNCH, J. & EISSEENSTAT, D. Effects of phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on carbon budget of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *New Phytologist*, Oxford, 138:647-656, 1998.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa - MG, 2007.
- 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.
- PAIS, L. & JONES JUNIOR, J.B. *The handbook of trace elements*. Boca Raton, St. Lucie Press, 1996. 223p.

- 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*, 38:131-139, 2004.
- PIRES, A. A.; ARAÚJO, G. A. A.; LEITE, U. T.; ZAMPIROLI, D. P.; RIBEIRO, J. M. O. & MEIRELES, R. C.; Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na composição mineral das folhas do feijoeiro. *Acta scientiarum*. 27:25-31, 2005.
- PEREIRA, P.A.A. & BLISS, F.A. selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) for N₂ fixation at different levels of phosphorus availability under field and environmentally controlled condictions. *Plant and soil*, Dordrecht, 115:75-82, 1989.
- PHILLIPS, D.A.; PIERCE, R.O.; EDIE, S.A.; FOSTER, K.W. & KNOWLES, P.F. Delayed leaf senescence in soybeans. *Crop Sci.*, 24:518-522, 1984.
- PROCÓPIO, S.O., SANTOS, J.B., PIRES, F.R., SILVA, A.A. & MENDONÇA, E. S., Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. *R. Bras. Cie. Solo.*, 29: 911-921, 2005.
- RAGOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant physiology and Molecular. Biology*, 50:665-693, 1999.
- RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate transport and signaling. *Curr. Opino Plant Biol.*, 3:182-187, 2000.
- RAIJ, B. van; ROSAND, P.C. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil - apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, Embrapa, p.9-28, 1982.

- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargil, 170p, 1987.
- RAUSCH, C. & BUCHER, M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta*, 216:23-37,2002.
- REISENAUER, J.A The effect of sulfur on the absorption and utilization of molybdenum by peas. *Soil Sci.*, 27:553-555, 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.
- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. *Análises Estatísticas no SAEG*. Viçosa: Editora UFV, 2001. 301p.
- RODRÍGUEZ, D.; KELTJENS, W.G. & GOUDRIAAN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat growing under low phosphorus conditions. *Plant Soil*, 200:227-240, 1998.
- ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E.G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I. & IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Parnaíba (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 28:935-964, 2004.
- SANCHEZ, P.A. & UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C., KAMPRAT, H., *The role of phosphorus in agriculture*, Wisconsin, USA, 1980.

- SANTOS, O.S. Molibdênio. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura, Piracicaba, Potafos,/CNPQ 1991. p. 191-217. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991. p. 191-217.
- SANTOS, A.B.; VIEIRA, C.; LOURES, E.G.; BRAGA, J.M. & THIEBAUT, J.T.L. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao molibdênio e ao cobalto em solos de Viçosa e Paula Cândido, Minas Gerais, revista Ceres, Viçosa, 92-101, 1979.
- SANYAL, S.K. & DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Soil Sci., 16:1-120, 1991.
- SCHACHTMAN, D.P.; REID, R.J. & AYLING, S.M. Phosphorus up take by plants: from soil to all. Plant Physiology, Rockville, 116:447-453, 1998.
- SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Potassium and phosphorus uptake by com genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. Plant Soil, 54:65-76, 1980.
- SCHJORRING, J.K. & JENSÉN, P. Phosphorus export from roots to shoots of barley, buckwheat and rape seedlings with different P status. Physiol. Plant. 70:58-64, 1987.
- SENTENAC, H. & GRIGNON, C. Effect of pH on orthophosphate uptake by com roots. Plant Physiol. 77:136-141, 1985.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M. & CASTRO, C. Estudo de micronutrientes na cultura da soja em um Latossolo Roxo eutrófico argiloso de Londrina. Londrina: Embrapa-CNPSO, (Embrapa-CNPSO. Pesquisa em Andamento, 16). 1994. 7 p.

- 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.
- SLATTERY, J.F. & COVENTRY, D.R. Variation of soil populations of *Rhizobium leguminosarum* bv. Trifolii and the occurrence of inoculant rhizobia in nodules of subterranean clover after pasture renovation in North-eastern Victoria. *Soil Biology and biochemistry*, Oxford, v.25, p.1725-1730, 1993.
- SMITH, F.W. The phosphate uptake mechanism. *Plant Soil*, 245:105-114, 2002.
- SNAPP, S.; KOIDE, R. & YNCH, J. Exploitation of localized phosphorus-patches by common bean roots. *Plant Soil*, 177:211-218, 1995.
- SNAPP, S. & LYNCH, J.P. Phosphorus distribution and remobilization in bean plants as influenced by phosphorus nutrition. *Crop Sci.*, 36:929-935, 1996.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Plant physiology*, 2 ed. Sinaner associantra, inc 1998.
- TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients in plants, In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, p.199-229. 1972.
- THOMSON, B.D.; BELL, R.W. & BOLLAND, M.D.A. Low seed phosphorus concentration depresses early growth and nodulation of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* cv Gungurru) *Journal of plant nutrition*, 14: p. 1355-1367, 1991.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de baixa atividade, *Bragantia*. 62:111-118, 2003.
- VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C. & ALLEN, D.L. Phosphorus acquisition and

use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.*, 157:423-447, 2003.

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*, 21:169-180, 1998.

WANKE, M.; CIERESZKO, L; PODBIELKOSKA, M. & RYCHTER, A.M. Response to phosphate deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots. Respiratory metabolism, sugar localization and changes in ultrastructure of bean root cells. *Ann. Bot.*, 82:809-819, 1998.

YAN, X.; LYNCH, J.P. & BEEBE, S.E. Utilization of phosphorus substrates by contrasting common bean genotypes. *Crop Science*, 36:936-941, 1996.