

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Nodulação e Desenvolvimento do Feijão-Caupi em
Função de Diferentes Doses de P, Co e Mo**

Fernanda Santana de Paulo

2013



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

**NODULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE P, CO e MO**

FERNANDA SANTANA DE PAULO

Sob a Orientação do Professor
Gustavo Ribeiro Xavier

e Co-orientação do Pesquisador
Jerri Edson Zilli

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica - RJ
Fevereiro de 2013

633.33

P331n

T

Paulo, Fernanda Santana de, 1984-

Nodulação e desenvolvimento do feijão-caupi em função de diferentes doses de P, Co e Mo / Fernanda Santana de Paulo. – 2013.

46 f.: il.

Orientador: Gustavo Ribeiro Xavier.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 35-44.

1. Feijão - caupi - Cultivo – Teses. 2. Feijão – caupi – Crescimento – Teses. 3. Feijão - caupi – Nutrição - Teses. 4. Feijão – caupi - Inoculação - Teses. I. Xavier, Gustavo Ribeiro, 1973- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

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

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

FERNANDA SANTANA DE PAULO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/02/2013.

Gustavo Ribeiro Xavier. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

Ednaldo da Silva Araújo. Dr. Embrapa Agrobiologia

DEDICATÓRIA

A meus pais Silvania Maria Santana de Paulo e Fernando Sebastião de Paulo, pelo amor incondicional.

Ao meu anjo Rafael, pelo afeto, compreensão e apoio em todos os momentos de minha caminhada.

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal nenhum, porque tu estás comigo.” (Salmo 23.4)

AGRADECIMENTOS

Não tenho palavras para agradecer aos meus anjos protetores, pessoas iluminadas que fizeram dessa árdua trajetória, um caminho repleto de aprendizado... Sem palavras para expressar essa grande conquista, agradeço...

A Deus, e toda espiritualidade amiga por suas bênçãos despejadas sobre mim, por toda proteção, pela força e fé incondicional.

A minha família, fonte de inspiração para busca dos meus sonhos, em especial a minha mãe Silvania, meu esteio e minha fortaleza.

Ao meu pai Fernando, meu irmão Arthur e minha cunhada Deborah (e o bebê) pela compreensão de minha constante ausência, pelo carinho, amor e torcida.

As minhas avós Josina e Vera pelo carinho e apoio.

As tias Cristina, Sylvia, Michelle e Márcia, que sempre estiveram ao meu lado, obrigadas pelas orações.

As minhas primas Elenita e Clarissa, por me tratar sempre com incentivo e confiança.

Ao meu tio Márcio pelo amor e carinho.

A minha sogra Vânia pelo apoio, respeito e compreensão pelos momentos de ausência.

À UFRRJ e ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, obrigada pela oportunidade, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Marcos Gervasio Pereira e Everaldo Zonta (muito agradecida pela atenção) e obrigada pelos valiosos ensinamentos.

Aos funcionários, Marcos (meu querido Marquinhos) um anjo em minha vida, Vagner e Michelle pelo carinho e atenção.

A CAPES pela concessão da bolsa.

À Embrapa Agrobiologia pelo apoio e infraestrutura recebidos para realização desse trabalho.

Ao meu orientador Gustavo Ribeiro Xavier, incentivo, sugestões e dedicação e por ter-me “aceitado” mais alguns anos em seu grupo de pesquisa no doutorado. Muito obrigada.

Ao meu “pai” e coorientador Jerri, pelo exemplo de ser humano, competência, ética e amizade. Agradeço pelo ombro amigo e por sempre ter me atendido com exímia educação, todas as vezes que entrei “desesperada” em sua sala. Sem você eu jamais teria conseguido!

Ao Dr. Ednaldo pelo carisma e atenção e principalmente por ter aceitado meu convite.

Às minhas amigas de Juiz de Fora, em especial Renata e a minha princesinha Samara.

Aos meus afilhados David e Miguel pelo carinho e compreensão da minha ausência.

Aos amigos iluminados que me acolheram em Seropédica e me deram todo amor do mundo, em especial Adriana, Aline, Dona Marieta e Camila.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Microbiana (LEMI): Andréa, Ana Carla Anelise (sucessora do meu coorientador), Carlos, Deborah, Jakson, Samuel, Silvana, Vinício e Vinicius. A minha “estagiária” fujona Daniele, e em especial o “meu cumpadre” Elson, grande amigo de todas as horas.

Aos pesquisadores sempre atenciosos do LEMI Márcia e Luc. A graciosa pesquisadora Janaína pelo sorriso encantador e paciência nas análises estatísticas.

A minha excepcional amiga Sumaya, minha incentivadora, exemplo de amiga incondicional, meu porto seguro, meu refúgio nas horas de tristeza, e minha companheira nas horas de alegria.

Ao meu anjo protetor, João Luiz por me proteger, cuidar de mim incondicionalmente, nas viagens e coletas. Obrigada por segurar comigo as barras (dividindo comigo os canos nos hotéis de C. dos Guimarães), obrigada pela confiança, zelo e apoio sempre.

Aos funcionários do laboratório de Química Agrícola: Altiberto, Ednelson, Gisele, Monalisa e Roberto muitíssimo obrigados por serem tão profissionais e responsáveis e por disponibilizarem os estagiários do CAEL.

Aos colegas do curso, obrigada pelos momentos de descontração e convivência maravilhosa, em especial a minha grande amiga Dayane que esteve comigo nos piores e melhores momentos da minha dissertação, pela ajuda na condução dos experimentos e por chorar e rir, segurando sempre a barra junto comigo.

Aos funcionários da Embrapa, em especial, Sr. Aurélio, Claudinho, Alderi e Serginho, por serem tão solícitos e eficientes na ajuda com a condução nos meus trabalhos experimentais. E a todos os vigilantes da Embrapa, que compreendiam meus excessos do horário e feriados.

A Embrapa Agrossilvipastoril, em especial a Suzinei que foi essencial desde o contato, resposta aos meus milhares de e-mails, coletas e fundamental ajuda.

A Semente Tomazzetti pela parceria, disponibilidade de pessoal e áreas, enfim por ser parte fundamental no processo.

Ao anjo Rafael, por tudo, apoio, carinho e cumplicidade em todos os momentos, obrigada por fazer parte da minha história!

A todos aqueles que contribuíram...

Meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Fernanda Santana de Paulo, filha de Fernando Sebastião de Paulo e Silvania Maria Santana de Paulo, nasceu em 04 de outubro de 1984, na cidade de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais. Em 1999, concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Professor Lopes e o ensino médio concluiu no Colégio e Curso Compacto em 2003. Em 2011, graduou-se como engenheira agrônoma pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Durante sua graduação sempre esteve envolvida com estágios e projetos de pesquisa, sendo bolsista de Iniciação Científica na Embrapa Agrobiologia de 2007 a 2011. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo da UFRRJ em março de 2011, como bolsista da CAPES, desenvolvendo sua dissertação “Nodulação e desenvolvimento do feijão-caupi em função de diferentes doses de P, Co e Mo”, junto ao laboratório de Ecologia Microbiana da Embrapa Agrobiologia, concluindo-a na presente data.

RESUMO

PAULO, Fernanda Santana de. **Nodulação e desenvolvimento do feijão-caupi em função de diferentes doses de P, Co e Mo.** 2013. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2013.

O feijão-caupi é uma leguminosa de vasto potencial econômico, porém não está sendo explorado de maneira eficiente apresentando-se com potencial produtivo bem aquém das expectativas de uma leguminosa tão eficiente em FBN. Sendo então, o objetivo deste trabalho obter os níveis adequados dos nutrientes P, Co e Mo que otimizem a nodulação, a fixação biológica de nitrogênio e o crescimento de plantas de feijão-caupi em solos representativos do Cerrado do Mato Grosso. Com base na análise química do solo, foram realizados os cálculos da necessidade de calagem e adubação e foram estabelecidas as doses dos elementos em estudo (P, Co e Mo). O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 5 (2 solos; 5 doses de cada elemento de estudo – inoculadas com a estirpe 3262) +1 e 3 repetições. O tratamento adicional (+1) foi incluído para avaliar o desempenho da cultura na dose de N proporcional a 50 kg.ha⁻¹. O trabalho foi dividido em dois ensaios, onde primeiro foram testadas dosagens diferenciadas de fósforo que foram denominadas: controle, (sem aplicação de Fósforo); baixa (44 mg.vaso⁻¹ de P), média (88 mg.vaso⁻¹ de P), média-alta (130 mg.vaso⁻¹ de P), alta (175 mg.vaso⁻¹ de P) para a obtenção de uma dosagem ótima. Na segunda fase, foram testados os micronutrientes Co nas doses: 0, 2,3 ,4 ,6 mg e Mo nas doses: 0, 8, 16, 32 e 64 mg. Em casa de vegetação, aos 35 dias foi feita a coleta, as variáveis avaliadas foram: altura e diâmetro da planta, nodulação (massa de nódulos secos e número de nódulos), massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, teor de clorofila e acúmulo de N na parte aérea. A dose de 88 mg de P. vaso⁻¹, que corresponde a 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e até a dose média-alta de cobalto e molibdênio com correspondente a aplicação de 32 g de Mo. ha⁻¹ + 4 g ha⁻¹ de Co proporcionou maior nodulação das plantas de feijão-caupi com consequente aumento da biomassa do vegetal e acúmulo de nitrogênio. O local de coleta de solo influenciou no desenvolvimento e nodulação da cultura do feijão-caupi, quando submetida a diferentes doses de P e Co+Mo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Inoculação. Primavera do Leste. Sinop.

ABSTRACT

PAULO, Fernanda Santana de. **Nodulation and development of cowpea bean under different dosages of P,Co and Mo.** 2013. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2013.

The cowpea bean is a legume that has a wide economic potential, but it has not been explored efficiently. For this reason it has shown a yield potential far from the expectations of a so efficient legume in NBF as can be. The objective of this study is to obtain appropriate levels of P, Co, Mo nutrients. It is believed that these nutrients can optimize nodulation, nitrogen biological fixation and the growth of cowpea bean plants in representative soils from Cerrado, Mato Grosso. Based on the chemical analysis from the soil cited before, calculations for fertilization and liming were made. From the results obtained, were established doses for the elements of the present work (P, Co and Mo). The experiment was conducted in a greenhouse conditions and performed in a randomized block design. It was used a factorial arrangement 2 x 5 (2 soils; five doses of each element of the present study – inoculated with 3262 strain) + 1 + 3 replicates. The additional treatment (+1) was included to evaluate crop performance when applied 50 Kg.ha⁻¹ of nitrogen. The study was split in two trials. In the first trial, different dosages of phosphorous were tested: control (without Phosphorus application); low (44 mg.vase⁻¹ of P), medium (88 mg.vase⁻¹ of P), medium-low (130mg.vase⁻¹ of P) and high (175 mg.vaso⁻¹ of P). These tests were made to obtain a optimum dosage. In the second trial, cobalt and molybdenum nutrient was tested as the following levels respectively: 0, 2, 3, 4, 6 mg and 0, 8, 16, 32 and 64 mg. In the thirty-fifth day, the experiment developed in a greenhouse was collected. From the plants were evaluated height and plant diameter, nodulation (dry matter and number of nodules), shoot dry matter, root dry matter, chlorophyll content and N accumulation in shoot. The 88mg of P.vase⁻¹ dosage that corresponds to 200 kg.ha⁻¹ of P₂O₅ and the medium-high Cobalt and Molybdenum dosage that corresponds the application of 32g of Mo.ha⁻¹ + 4g.ha⁻¹ of Co provided higher nodulation in cowpea bean plants with consequent increase of biomass and nitrogen accumulation. The site where soil was collected had influence on the development and on the nodulation of the cowpea bean crop, when submitted to different dosages of P and Co+Mo.

Keywords: Cowpea bean. Inoculation. Primavera do Leste. Sinop.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização coleta em Sinop-MT.	9
Figura 2. Localização coleta em Primavera do Leste-MT.	10
Figura 3. Altura das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV=10,16%.	14
Figura 4. Diâmetro das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV=3,64%.	16
Figura 5. Massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 13,77%.	17
Figura 6. Número de nódulos (NN) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 21,44%.	17
Figura 7. Matéria da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de p após 35 dias de plantio cv = 8,91%. ..	19
Figura 8. Matéria seca da parte aérea (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 11,81%.	20
Figura 9. Teor de clorofila (TC) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 4,32%.	21
Figura 10. Nitrogênio total de plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 5,50%.	22
Figura 11. Planta submetida à dose média de fósforo. À esquerda, planta com a dose média-alta de P e no meio o controle, 35 dias após o plantio no solo de Sinop (DAP).	22
Figura 12. Média entre as doses nos solos de PL e Sinop para a variável massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.	23
Figura 13. Média entre as doses nos solos de PL e Sinop do número de nódulos das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.	23
Figura 14. Média entre os solos de PL e Sinop da massa da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.	24
Figura 15. Média das doses nos solos de Primavera do Leste e Sinop) da massa da parte aérea seca (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.	24
Figura 16. Massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV=7,79%.	25
Figura 17. Número de nódulos (NN) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 42,97%.	26

Figura 18. Massa da parte aérea seca (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 6,55%.....	28
Figura 19. Teor de Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes dosagens de CoMo após 35 dias de plantio no solo Primavera do Leste e Sinop (MT), CV = 15,71%.....	29
Figura 20. Teor de clorofila (TC) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 4,13%.....	30
Figura 21. Massa da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 18,15%.....	31
Figura 22. Altura das plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes dosagens de Co e Mo, após 35 dias de plantio no solo CV = 6,17%.....	32
Figura 23. Diâmetro das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de Co e Mo, após 35 dias de plantio CV = 6,02%.....	32
Figura 24. Raiz submetida à dosagem de 135 mg.vaso ⁻¹ de P, 35 dias após o plantio.....	33
Figura 25. Resposta das plantas a doses diferenciadas de fósforo. À direita (média alta) e à esquerda (alta), 53 dias após o plantio.....	33
Figura 26. Diferenciação de tonalidade entre as plantas de feijão-caupi 35 dias após o plantio. À esquerda (dose baixa) e à direita (controle) submetida ao tratamento com cobalto e molibdênio para o solo Sinop.....	34
Figura 27. Nódulos da planta de feijão-caupi submetida à dose média- alta de cobalto e molibdênio.....	34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo Primavera do Leste e Sinop.	10
Tabela 2. Análise de micronutrientes do solo Primavera do Leste e Sinop.	10
Tabela 3. Análise física do solo Primavera do Leste e Sinop.....	11
Tabela 4. Doses de fósforo (P) utilizadas no experimento e suas respectivas doses equivalentes.	11
Tabela 5. Doses equivalentes de Cobalto na forma de (CoCl_2) e Molibdênio $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$ utilizadas no experimento.....	12

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	2
2.1. Feijão-caupi	2
2.2. O N para a Agricultura.....	2
2.3. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).....	3
2.4. Fósforo	6
2.5. Sinergia entre o Fósforo e o Molibdênio	7
2.6. A Utilização Agrícola no Cerrado	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Localização e Descrição Geral das Áreas de Estudo	9
3.2. Sinop (MT)	9
3.4. Cultivar do Feijão-caupi	10
3.5. Nutrientes do Estudo e Dados de Análise dos Solos	10
3.6. Condução dos Experimentos	11
3.7. Ensaio 1 - Teste de Dosagem Ótima de Fósforo (P).....	11
3.8. Ensaio 2 - Teste de Dosagem Ótima de Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo)	12
3.9. Coleta de Dados e Variáveis Analisadas	12
3.10. Análise Estatística.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1. Efeito do Fósforo sobre o Desenvolvimento das Plantas de Feijão-caupi.....	14
4.1.1. Altura e diâmetro	14
4.1.2. Nodulação (NN e MSN)	16
4.1.3. Massa da raiz seca (MRS), massa da parte aérea seca (MPAS), teor de clorofila (TC) e N-total da parte aérea	18
4.2. Efeito do Cobalto e Molibdênio sobre o Desenvolvimento das Plantas de Feijão-caupi.....	24
4.2.1. Nodulação (MNS e NNOD)	24
4.2.2. Massa da parte aérea seca (MPAS), massa raiz seca (MSR), teor de clorofila (TC) e N-total da parte aérea.....	27
4.2.3. Altura e diâmetro	31
5. CONCLUSÕES	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
8. ANEXOS	47

1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijão-caupi, de origem africana, vem apresentando constante crescimento no cenário mundial. Possuindo área total cultivada de 11,3 milhões de hectares no mundo, com produção média em torno de 5,4 milhões de toneladas e produtividade de 478,33 kg.ha⁻¹, destaca-se como maior produtor o continente africano, segundo a FAO (2008).

Caracteriza-se como estratégica para a segurança alimentar nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, haja vista que tem por peculiaridade um alto teor de proteínas carboidratos, vitaminas e minerais essenciais ao organismo humano, de forma que, por sua versatilidade, apresenta como uma das principais alternativas sociais e econômicas no cenário mundial.

No Brasil, notadamente nas regiões Norte, Nordeste e em expansão no Centro-Oeste, vem apresentando papel de destaque global figurando, hodiernamente, como terceiro maior produtor mundial.

A produtividade média no Brasil, entre 2000 a 2007, foi de 777 kg.ha⁻¹, sendo baixa esta produtividade, já que a soja – leguminosa semelhante em relação à Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) – possui produtividade superior a 3000 kg.ha⁻¹. No entanto, dados do Centro-Oeste demonstram que o caupi pode atingir patamares de 1792 kg.ha⁻¹, confirmando a alta produtividade do Cerrado para grãos (ZILLI et al., 2009a).

A partir do pressuposto que as mesmas áreas da soja na “safrinha” são utilizadas para o plantio do caupi, conclui-se que, através de investimento financeiro e tecnológico, é possível auferir melhorias consideráveis nessa produção.

Destarte, por meio destes investimentos, presume-se a obtenção de uma nova situação de mercado, que parte do estímulo à exploração de processos economicamente viáveis como a FBN, implicando em um processo biológico no qual as bactérias fornecem N para o desenvolvimento da planta. (FREIRE FILHO et al., 2005).

No entanto existem empecilhos para essa atuação biológica, tal qual o baixo aporte tecnológico da cultura (a maioria de subsistência) ocasionando em um maior consumo de fertilizantes no país em detrimento da exploração desse processo na cultura do caupi.

A título de exemplo, temos que, no Brasil, entre 2005 e 2007, foram utilizadas 4 milhões das 24 milhões de toneladas de fertilizantes utilizados no mundo (CONAB, 2008).

Logo, em virtude da ascensão da cultura perante o cenário de grande importância econômica, torna-se fundamental conhecer níveis adequados dos fertilizantes para que haja aperfeiçoamento e ampliação da cadeia produtiva do feijão-caupi. Sendo que o baixo rendimento está relacionado a vários fatores no processo produtivo, dentre eles o manejo inadequado da adubação.

Posto isto, o presente trabalho tem por objetivo alcançar níveis adequados dos nutrientes P, Co e Mo que otimizem a nodulação e o desenvolvimento de plantas de feijão-caupi em solos representativos do Cerrado do Mato Grosso.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é a leguminosa originária da África, que foi introduzida no Brasil no século XVI pelos colonizadores portugueses e hoje é uma das mais importantes fontes de proteínas para as regiões Nordeste e Norte, especialmente para as populações de baixa renda (FREIRE FILHO et al., 2005). Possui alta tolerância ao estresse hídrico, térmico, salino, além de ser eficiente na fixação biológica de nitrogênio (MARTINS et al. 1997).

De acordo com Freire Filho et al. (2005), a cultura gera 2,4 milhões de empregos diretos, sendo que 1 hectare de feijão-caupi gera 1,5 empregos por ano, o consumo *per capita* médio é de 20 kg/ano e o valor da saca é de US\$ 33,84, abastecendo a mesa de 27,5 milhões de pessoas. Ainda, segundo Freire Filho et al. (2007; 2009), a produtividade do feijão-caupi pode alcançar rendimentos médios superiores a 2.500 kg ha⁻¹, a partir da adoção de um nível de tecnologia compatível com a utilização da irrigação, correção do solo e adubação. (GUALTER et al., 2011).

Neste contexto uma região que vem apresentando maximização de produtividade dessas culturas é a região Centro-Oeste, sendo destaque nesse cenário de expansão do feijão caupi, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem a mecanização no cultivo (DAMASCENO E SILVA, 2009).

Entretanto, no geral, a baixa produtividade tem sido observada e uma das principais causas, diz respeito a pouca disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente o nitrogênio (N) (XAVIER et al, 2007). Apesar da baixa produtividade média no Brasil, observa-se um aumento na demanda de consumo (FILGUEIRAS et al., 2009) sendo necessário a expansão das áreas produtoras e por conseguinte, desenvolvimento de tecnologias que maximizem a produtividade das cultivares utilizadas.

2.2. O N para a Agricultura

As fontes de nitrogênio disponíveis para a agricultura são: o N mineral (do solo ou do fertilizante) e o N oriundo da FBN, desde que haja nodulação efetiva na planta. Esse é normalmente o nutriente mais caro das formulações utilizadas para a maioria das culturas e de grande mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera. O nitrogênio é o nutriente com maiores interações com ambiente devido a inúmeras reações que ocorrem no solo, geralmente mediadas por microrganismos cuja atividade é afetada por temperatura e umidade. Ele está presente no sistema solo planta em ampla diversidade de formas químicas. O grande estoque deste nutriente no solo é a matéria orgânica, que normalmente representa mais de 95% do nitrogênio total (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

As boas práticas para o uso de fertilizantes nitrogenados dependem da definição de doses, tipos de fertilizantes, época e locais de aplicação apropriados, de modo a reduzir perdas (FIXEN, 2010). A determinação da dose de nitrogênio leva em consideração a extração e a exportação pela cultura – critérios de grande importância para nutrientes absorvidos em grandes quantidades, como o nitrogênio – e um diagnóstico da capacidade do solo em suprir o nutriente durante o ciclo da cultura (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010). Mesmo com as incertezas inerentes ao sistema de recomendação de nitrogênio, seu uso é justificável e importante para maximizar a eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados.

Yamada e Lopes (1999) estimaram entradas de nitrogênio como fertilizante e as exportações do nutriente pelas colheitas das 15 principais culturas plantadas no Brasil entre 1993 e 1996 e concluíram que houve um déficit de 888 mil t de nitrogênio anuais naquele período. Essa cifra pode estar subestimada, pois os autores consideram que todo o nitrogênio exportado pela soja e pelo feijão era proveniente da fixação biológica de nitrogênio (FBN).

O aporte médio anual de fertilizantes nitrogenados entre 1993 e 1996 foi de 1,05 milhão t, ou seja, para equilibrar as entradas e as saídas, haveria a necessidade de aumento de 84% no uso de fertilizantes nitrogenados. (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010). O uso de altas doses de fertilizantes, que pode resultar em perdas para o ambiente, é determinado, em partes, por fatores econômicos. No Brasil e em outros países latino americanos, os preços relativos dos fertilizantes e dos produtos agrícolas e o baixo emprego de subsídios diretos para a produção têm levado os agricultores a procurar obter o máximo de retorno econômico e a evitar o uso excessivo de fertilizantes (MELGAR & DAHER, 2007), o que contribui para o aumento da eficiência no uso, mesmo que por vezes a custa de baixas produtividades.

O emprego de baixas doses de nitrogênio geralmente permite altos índices de eficiência, mas pode resultar na utilização indesejável do estoque de N e da matéria orgânica do solo o que pode comprometer a fertilidade do solo em médio prazo (DOBERMANN, 2007). O equilíbrio entre a dose aplicada e a exportação do nutriente pode ser um bom indicador de problemas que subdosagens podem causar com o tempo. De modo geral, as doses econômicas ótimas são próximas daquelas necessárias para compensar as exportações. Doses muito mais altas do que as exportadas pela colheita pode resultar em excesso de nitrogênio livre no solo, baixa eficiência de uso do nutriente e, conseqüentemente, maiores riscos de perdas (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

O uso do nitrogênio é essencial para o aumento da produtividade em culturas de interesse econômico, porém, devido a sua alta mobilidade no solo, associada à erosão e lixiviação, menos de 50% do nitrogênio mineral aplicado é absorvido pelas plantas. Então é essencialmente importante a nutrição equilibrada das plantas, associada a práticas culturais que visem um sistema de controle integrado, reduzindo os gastos com adubação, tornando a agricultura economicamente viável e competitiva, reduzindo as perdas e a poluição ambiental (SALA et al., 2007). O N é um dos elementos mais importantes correspondendo a aproximadamente cerca de 10^{15} Mg de N_2 na atmosfera e o ciclo do nitrogênio envolve a transformação de 3×10^9 Mg de N_2 por ano em uma base global. Entretanto essas transformações de fixação de nitrogênio, não são exclusivamente biológicas, já que os fertilizantes também contribuem com importantes quantidades de N fixado quimicamente (ZAHARAN, 1999).

Nesse sentido, o conhecimento e quantificação do processo simbiótico da FBN são imprescindíveis na avaliação da contribuição da FBN na ciclagem de N nos sistemas agrícolas, pois sendo a FBN uma fonte renovável de N para a agricultura, isto pode proporcionar a sustentabilidade dos sistemas de produção (HUNGRIA & VARGAS, 2000).

Assim, as discussões que envolvem a nutrição nitrogenada de feijão-caupi devem então considerar essas duas fontes, e a interação entre elas e quanto maior a disponibilidade de N mineral no substrato de crescimento da leguminosa, menor a proporção de N obtido pela FBN.

2.3. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A obtenção de N da atmosfera requer a quebra da tripla ligação covalente, entre os dois átomos de N para produzir amônia (NH_3). Tais reações, conhecidas como fixação do nitrogênio, podem ser obtidas por processo industrial HABER-BOSCH, por processos naturais (eletroquímicos) e fixação biológica de nitrogênio (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O uso do nitrogênio é essencial para o aumento da produtividade em culturas de interesse econômico, porém, devido a sua alta mobilidade no solo, associada à erosão e lixiviação, menos de 50% do nitrogênio mineral aplicado é absorvido pelas plantas. Então é essencialmente importante a nutrição equilibrada das plantas, associada a práticas culturais que visem um sistema de controle integrado, reduzindo os gastos com adubação, tornando a agricultura economicamente viável e competitiva, reduzindo as perdas e a poluição ambiental (SALA et al., 2007).

Entretanto, com o aumento dos preços dos adubos nitrogenados, devido ao grande gasto energético decorrente do gasto de combustíveis fósseis para produzi-los, aliada a problemas de poluição causados pelo uso excessivo desses adubos, aos desperdícios decorrentes da aplicação e do baixo aproveitamento dos adubos no sistema solo-planta, tem deixado à agricultura dos países em desenvolvimento e à dos desenvolvidos apenas as alternativas de maximizar a fixação biológica de nitrogênio, otimizar a distribuição e o emprego dos compostos nitrogenados dentro das plantas e a de tornar mais eficiente a utilização de carboidratos pelos nódulos (HUNGRIA et al., 1999). Além disso, o nitrogênio produzido artificialmente pode causar danos ambientais, pelo aquecimento global, contaminação do lençol freático, aumento de óxido nitroso atmosférico (HARDY, 1993). A FBN apresenta-se como alternativa aos adubos nitrogenados, pelo suprimento de N à cultura e pela diminuição dos custos de produção e economia de combustíveis fósseis utilizados para a fabricação de fertilizantes nitrogenados (SOARES et al., 2006).

A FBN na cultura do feijão-caupi estava anteriormente associada a cultivos de subsistência na região Norte e Nordeste e também na África, porém nos últimos anos têm surgido grandes lavouras para esta cultura. Entretanto essas áreas se apresentam pobres em matéria orgânica e conseqüentemente nitrogênio, como é característico dos solos tropicais, considerando que a cultura exporta uma quantidade considerável de nitrogênio através dos grãos, os quais possuem altos teores de proteína, cerca de 20 a 30%, a FBN mostra-se então relevante ao equilíbrio de nitrogênio nesse processo produtivo (ZILLI, 2009b).

Dentre todos esses aspectos fixados pela cultura é de imensa relevância econômica a economia anual em fertilizantes nitrogenados em decorrência da FBN (superior a U\$ 70 milhões). Entretanto as estimativas de nitrogênio fixado variam, porque as condições de cultivo são variáveis, uma vez que as estimativas de produtividade estão abaixo do esperado vê-se a importância da inoculação do feijão caupi com bactérias eficientes capazes de salientar o potencial dessa tecnologia (ZILLI, 2009b).

Esse estudo se torna essencial, já que o nitrogênio (N) juntamente com o fósforo (P) são os nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas nos trópicos, a FBN eficiente pode representar uma grande contribuição na viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas de produção (BODDEY et al., 1997). Igualmente necessários para fixação biológica de nitrogênio, os micronutrientes representam parte integrante deste processo.

Por micronutrientes entendem-se aqueles nutrientes que as plantas necessitam em pequenas proporções. São eles: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, cobalto e zinco. Embora as quantidades requeridas sejam muito reduzidas, em caso de deficiência muito acentuada as culturas não completam bem seu ciclo vegetativo e, portanto, não dão colheita ou produzem muito pouco (MALAVOLTA, 1958).

O cobalto, cuja essencialidade é atribuída a Delwiche, Johnson e Reisenauer (1961) ativa a isomerase de metilmalonil-CoA, a qual cataliza a síntese do núcleo tetrapirrólico da clorofila. Em relação a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas, o cobalto apresenta efeito específico sobre o crescimento da bactéria e a formação do nódulo, que é necessário para a síntese da leg-hemoglobina. E em relação ao feijão-caupi a limitação deste nutriente tem sido relacionada à redução da eficiência nodular (FREIRE FILHO et al., 2005).

O molibdênio (Mo), assim como o cloro e selênio diferentemente dos demais micronutrientes está na forma aniônica no solo e tem a disponibilidade aumentada com o pH. Na litosfera, o molibdênio aparece com a valência variando de 3+ a 6+. Em condições de ambiente natural, aeróbias predomina a forma do mo 4+, porém em condições redutoras prevalece o Mo 6+ (MALAVOLTA, 2006). O intemperismo dos minerais produz principalmente os íons molibdato: MoO_4^{-2} em valores de pH 5 e 6. E HMoO_4^- em valores de pH abaixo de 5. Nesse contexto o Mo tem semelhança e comportamento químico com o fósforo. Os íons molibdato assim como os íons ortofosfóricos, são adsorvidos aos coloides do solo, principalmente aos óxidos de Fe e Al. A adsorção de molibdênio diminui com o aumento do valor de pH. O nutriente é considerado móvel geoquimicamente embora os teores na solução do solo não ultrapassem poucos centésimos de Mo.kg^{-1} (RAIJ, 1991).

Para os micronutrientes Co e Mo, cujas deficiências são mais raras não foram estabelecidos níveis críticos ou faixas de interpretação para teores disponíveis em solos brasileiros. Entretanto têm sido comuns os resultados de pesquisas demonstrando respostas a esses nutrientes a diversos modos de aplicação desde em sementes até fertilização foliar (CAMPO & HUNGRIA, 2002; MALAVOLTA 2006).

Por outro lado Ceretta e colaboradores (2005) conduziram um estudo com a cultura da soja a cerca da análise econômica da aplicação de micronutrientes (especialmente Co e Mo) e outros produtos, o qual revelou que, na maioria dos casos o retorno econômico desta prática foi positivo. Contudo, ficou evidenciado na sua dependência de altas produtividades e preço favorável no momento da comercialização.

O efeito do Mo na FBN foi primeiramente descrito por Bortels (1930), citado por Jacob-Neto (1985), que *Azotobacter vinelandii* quando inoculado em meio de cultura sem N combinado necessitava de Mo para crescer, o que não ocorria se a fonte de N do meio da cultura fosse amônio. Posteriormente, Bulen & Leconte (1966), demonstraram que a nitrogenase purificada continha Mo (KUBOTA, 2006).

A eficiência do processo de FBN bem como o seu metabolismo podem ser seriamente prejudicados pela deficiência de Co e Mo, sendo que a importância do molibdênio é destacada, por ele se apresentar como elemento chave do centro ativo da nitrogenase, responsável pela transferência final dos elétrons para o N_2 . Nos solos tropicais frequentemente o Mo costuma ser adsorvido pelos coloides e sua disponibilidade se torna menor. A maior disponibilidade desse nutriente seja por meio da calagem que reduz o efeito da adsorção seja por meio da adição de Mo, resulta em aumento significativo dos níveis de FBN (JACOB-NETO & FRANCO, 1988; FREIRE FILHO, 2005).

Embora as quantidades de Mo sejam reduzidas em todos os solos, relativo aos outros nutrientes minerais, há contrapartida deste nutriente ser requerido em quantidades muito reduzidas nos processos biológicos (GUPTA & LIPSET, 1981; KUBOTA, 2006). No entanto, raros são os solos que apresentam disponibilidade adequada de Mo para as lavouras (GUPTA, 1997), uma vez que é vasto o número de estudos que relatam resposta positiva de diversas culturas à aplicação de Mo (GUPTA & LIPSET, 1981; GUPTA, 1997; KUBOTA, 2006).

Por isso, é importante destacar a obtenção de efeitos positivos com aplicação de cobalto e molibdênio, especialmente nas leguminosas, que denotam o quanto a indisponibilidade desses micronutrientes no solo afeta a FBN. Para a cultura da soja, atualmente, recomenda-se a aplicação tanto de cobalto quanto de molibdênio, através das sementes ou via foliar (EMBRAPA, 2008).

Um dos principais efeitos da aplicação foliar de Mo em feijoeiro, consiste na manutenção de taxas adequadas de fixação de N_2 em estádios tardios de crescimento (PESSOA et al., 2001; KUBOTA, 2006).

A adubação foliar é uma forma de aumentar o conteúdo de nutriente nas sementes. Os nutrientes armazenados na semente suprem a plântula nos estádios iniciais durante o período

de crescimento e de desenvolvimento, já que cultivares com capacidade de acumular Mo nas sementes podem ser usados para a produção de sementes em solos que possuam quantidades favoráveis desse para serem utilizadas posteriormente nos solos ácidos e com deficiência de Mo (FRANCO & MUNNS, 1981, KUBOTA, 2006)

Entretanto, para o feijão-caupi, ainda existem poucos trabalhos que mostrem os benefícios de tal prática, daí a necessidade de ampliação de pesquisas neste sentido (EMBRAPA, 2002).

De acordo com Ceretta et al. (2005), as respostas a micronutrientes têm ocorrido com maior frequência nas condições de Cerrado, sendo que, existem poucos experimentos realizados, havendo, assim, a necessidade de mais estudos que auxiliem técnicos e produtores na sua tomada de decisão sobre o uso de micronutrientes.

2.4. Fósforo

A história da agricultura a partir do final da década de 50 foi marcada por pesquisas mostrando ser possível a correção de acidez do solo e a adubação, recuperarem a produtividade das terras, assim como tornar produtivos solos do Cerrado, naturalmente ácida e pobre em nutrientes. No início da década de 70, um programa com a parceria FAO/ANDA/ABCAR procurou demonstrar o uso do benefício de fertilizantes. Iniciou-se então uma nova fase agrícola brasileira, onde foi minimizada a necessidade de derrubar florestas viabilizando a agricultura no Cerrado. Os ganhos em produtividade de grãos no Brasil foram espetaculares, pois enquanto em 1970 a produtividade média era de apenas 0,8 t/ha; em 2008 foi de 3,0t/há. Esse ganho em produtividade evitou que aproximadamente 130 milhões de há fossem desmatados para a produção de grãos. O fósforo como um dos nutrientes moduladores da produção, passou a ter atenção especial a partir de 2007, em virtude do aumento vertiginoso dos fertilizantes fosfatados. (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Os solos utilizados no sistema produtivo no Brasil, em especial da região tropical, são deficientes em fósforo para a maioria das culturas, tornando os fertilizantes fosfatados indispensáveis para o estabelecimento e a manutenção de sistemas produtivos eficientes. Apesar de haver disponibilidade no país de rochas fosfatadas para a produção de fertilizantes fosfatados, suas reservas são pequenas, representando em torno de 0,8% das reservas mundiais prospectadas e economicamente exploráveis. As reservas mundiais atuais são suficientes para suprir toda demanda desse insumo por apenas 300 anos (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Os solos sob vegetação de cerrado apresentam elevada acidez, alta saturação de alumínio e baixa saturação de bases (SILVEIRA et al., 2000; WATANABE et al., 2005). No caso do fósforo, além de se encontrar em baixas concentrações nesses solos, sua disponibilidade para as plantas depende das reações de adsorção pelos óxidos e de precipitação com ferro e alumínio (BEDIN et al., 2003; NOVAIS & SMYTH, 1999; SILVA et al., 2007). Nestes solos, a maior parte do fósforo se encontra na forma de P não lábil, necessitando aumentar a fração do fósforo disponível para as plantas. Dobermann et al.(2002), observaram aumento da proporção das frações mais lábeis de P inorgânico à medida que foi adicionado fósforo ao solo, por meio da aplicação de adubos minerais solúveis.

O fósforo é um elemento importante para a cultura no processo de formação de grãos. (OLIVEIRA et al., 1988). Sendo o nutriente crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, promovendo o seu desenvolvimento (MALAVOLTA et al., 1997).

O P tem funções importantes na planta, como constituinte de compostos de alta energia, como ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolipídios e outros ésteres. A absorção

deste elemento por parte da planta é mais ou menos constante, e a taxa de acumulação média geralmente não ultrapassa $0,4 \text{ kg ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$ (MOOY et al., 1973), o que determina que a sua disponibilidade na solução do solo seja fundamental para alcançar altas taxas de absorção e, dessa maneira, suprir as necessidades das plantas para a obtenção de altos rendimentos em soja (VENTIMIGLIA et al., 1999).

O fósforo quando se diz respeito à FBN ele vai auxiliar na nodulação pela transferência de energia na forma de ATP e no aumento no número de pelos radiculares proporcionando mais sítios de infecção pela bactéria (GUALTER et al., 2008) e quando presentes em níveis insuficientes são capazes de comprometer a eficiência da associação simbiótica (FREIRE FILHO et al., 2005).

Logo a recomendação de fósforo para diferentes solos é diferenciada, necessitando haver calibração de acordo com as condições do solo e do material genético. Por essa razão alguns trabalhos noticiam a variabilidade genética na resposta à adubação fosfatada em diferentes magnitudes. Evidenciando a necessidade da adubação fosfatada diferenciada em várias condições edafoclimáticas. E as recomendações para a cultura do feijão caupi, nos casos dos níveis de fósforo precisam ser mais exploradas em relação às cultivares. Já que foi observado redução no desenvolvimento e crescimento, e aumento no rendimento com aplicações em diferentes proporções (CARDOSO et al., 1998; MELO et al., 2005).

É importante salientar que na maioria das lavouras de feijão-caupi existe um baixo aporte tecnológico, especialmente no uso de fertilizantes externos. Sendo que esta limitação pode estar associada à limitação do processo de FBN devido à baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente o fósforo (ZILLI, 2009a).

Oliveira, 2004 observou que em algumas regiões tem se constatado baixos níveis de produtividade, devido à falta de um programa de pesquisas sobre nutrição mineral. Sendo que a grande maioria dos solos brasileiros é ácida, de baixa fertilidade e elevada capacidade de retenção de fósforo, que leva à necessidade de aplicação de elevadas doses de fosfatos, contribuindo para o aumento nos custos de produção, e reduzir os recursos naturais não renováveis que originam esses insumos (MOURA et al., 2001). Então, para se obter alta produtividade é necessária uma adubação fosfatada (FAGERIA, 1990), o que tem ocasionado a intensificação da busca de doses mais adequadas para as culturas e que possibilitem maiores retornos econômicos.

2.5. Sinergia entre o Fósforo e o Molibdênio

A influência mútua entre os nutrientes no solo também pode afetar a disponibilidade de Mo para as plantas. O fósforo e o enxofre são os nutrientes que estão mais diretamente envolvidos neste processo, exercem efeitos contrários apesar de apresentarem a mesma natureza iônica. O fósforo possui efeito sinérgico com o Mo, incitando sua absorção, devido à substituição do íon molibdato, pelo íon fosfato nos sítios de adsorção, acrescendo a disponibilidade do primeiro na solução do solo. Também há possibilidade da formação de complexos fosfomolibdatos, que são ligeiramente absorvidos pelas raízes e que favorecem o transporte do mo a longa distância (MARSCHNER, 1995). Já o enxofre(S) influencia negativamente na absorção do Mo, caso o S absorvido em excesso pela planta, a disponibilidade de Mo diminui (GUPTA & LIPSETT, 1981). Isso se deve ao antagonismo entre esses dois nutrientes durante o processo de absorção e ao mecanismo de translocação do Mo das raízes para a parte aérea (MORAES, 2006; KUBOTA, 2006).

2.6. A Utilização Agrícola no Cerrado

A utilização de nutrientes no Brasil se confunde com a inclusão dos solos de Cerrado no processo agrícola. Por muito tempo, a escassez de água foi apontada como principal limitação para uso agrícola dos solos da região do Cerrado. Entretanto por volta da metade do século XX, foi demonstrado que a falta de água não era o fator mais limitante para o desenvolvimento da vegetação natural daquela região, e que as maiores limitações ocorreram por deficiências de macro e micronutrientes, elevada acidez e presença de alumínio tóxico.

As primeiras constatações de deficiência de micronutrientes relacionados a solos de Cerrado provavelmente aconteceram em áreas dos estados de SP, GO, sob a coordenação do IBEC Research Institute (Matão, SP) e do Instituto Agrônomo (IAC, Campinas, SP). No início, os trabalhos eram mais de caráter exploratório, estudando-se as consequências da omissão de todos os micronutrientes de uma só vez, não sendo possível identificar o micronutriente que estaria limitando a produção. Com a criação da Embrapa, as pesquisas com micronutrientes no solo se intensificaram (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010).

Atualmente a pesquisa com micronutrientes na região do Cerrado emprega métodos de extração para determinação de teores disponíveis em solos estabelecidos. Faixas de suficiência para a interpretação dos teores de micronutrientes disponíveis em solos e teores adequados em folhas-diagnósticos foram calibradas utilizando valores de produtividade de diversas culturas (GALRÃO, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Descrição Geral das Áreas de Estudo

Foi realizada uma coleta de amostra no horizonte superficial de solos representativos do Estado do Mato Grosso, nas cidades de Sinop (Latosolo Vermelho-Amarelo) e Primavera do Leste (Latosolo Vermelho-Amarelo), na camada de 0-20 cm de profundidade e em áreas não corrigidas e nem adubadas anteriormente. As amostras foram transportadas para a Embrapa Agrobiologia onde foi preparado para o experimento. O solo foi destorroado, seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. Após seco o solo foi analisado quimicamente para avaliação dos teores de macro e micronutrientes. Com base na análise química, foram realizados os cálculos da necessidade de calagem e adubação e foram estabelecidas as doses dos elementos em estudo (P, Co e Mo).

3.2. Sinop (MT)

A primeira coleta foi realizada no dia 15 de fevereiro de 2012 no município de Sinop - Mato Grosso (latitude 11° 52' 4,17'' S e longitude 55° 36' 48,10'' W) a 356 m de altitude. O clima da região é o tropical com estação de seca, segundo classificação de Köppen-Geiger, Aw. A temperatura média anual é de 24°C, variando entre 40° e 20°C e a precipitação é de 2500 mm anuais. (Figura 1 - Imagens Google Earth).



Figura 1. Localização coleta em Sinop-MT.

A segunda coleta foi realizada no dia 17 de fevereiro de 2012 no município de Primavera do Leste, Mato Grosso (latitude 15° 21' 12,41'' S e longitude 54° 25' 15,17'' W) a 620m de altitude. O clima é o tropical com estação de seca, segundo classificação de Köppen-Geiger, Aw. A temperatura média anual da região varia entre 18° e 24°C com temperatura mínima oscilando de 10° a 19°C e a temperatura máxima de 29°C a 34°C e a precipitação pluviométrica é em torno de 1560 mm. (Figura 2 - Imagens Google Earth).

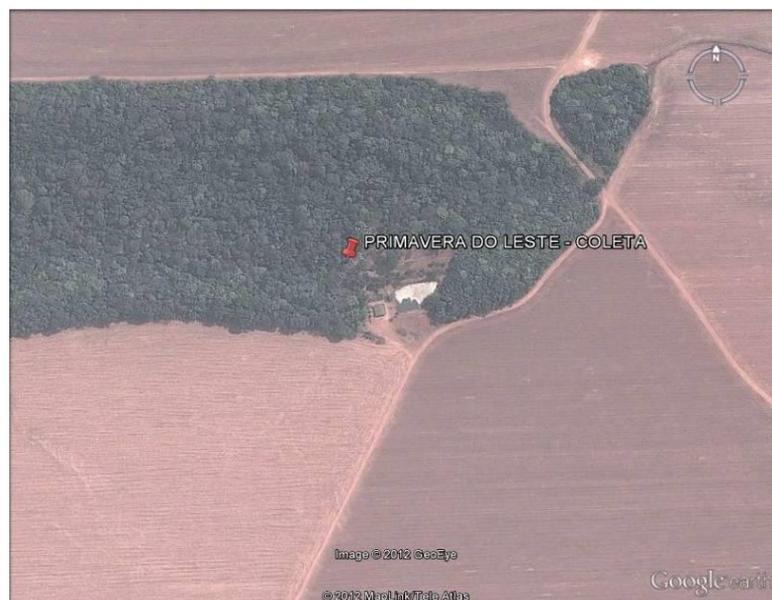


Figura 2. Localização coleta em Primavera do Leste-MT.

3.4. Cultivar do Feijão-caupi

Foi a variedade BRS Guariba, por ser uma cultivar de feijão-caupi, comercial e de maior utilização na região Centro-Oeste.

3.5. Nutrientes do Estudo e Dados de Análise dos Solos

Análises foram feitas para avaliar respostas de plantas de feijão caupi em termos de crescimento, nodulação e atividade da FBN a diferentes níveis de P, Co e Mo.

As análises químicas, físicas e de micronutrientes estão nas Tabelas 1, 2, e 3.

Tabela 1. Análise química do solo Primavera do Leste e Sinop.

Solo	Ph CaCl ₂	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H ⁺ Al	Al	Soma Base (S.B.)	CTC	Sat. Bases	Sat. Al	S SO ₄
		g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----mmol.dm ⁻³ -----						V%	M%	mg.dm ⁻³	
Primavera do Leste	4,1	64	10	1,6	14	6	109	9	22	131	17	29	8
Sinop	4,0	54	12	2,1	14	6	98	12	22	120	18	35	11

Tabela 2. Análise de micronutrientes do solo Primavera do Leste e Sinop.

Solo	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	-----DTPA-----				
	-----mg.dm ⁻³ -----				
Primavera do Leste	0,6	122	0,8	3,6	0,40
Sinop	0,2	93	0,9	5,2	0,49

Tabela 3. Análise física do solo Primavera do Leste e Sinop.

Solo	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Grossa	Areia Total
	<0,002mm	0,053-0,002mm	0,210-0,053mm	2,00-0,210mm	
-----g/kg-----					
Primavera do Leste	408	172	230	190	420
Sinop	439	191	190	180	370

3.6. Condução dos Experimentos

Um mês antes da semeadura foi aplicado, misturado para homogeneização, o equivalente a 1.600 kg.ha⁻¹ de calcário PRNT 91%, para correção da acidez do solo e neutralização do alumínio tóxico, de acordo com o método da Embrapa.

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, onde o plantio das sementes de feijão-caupi foi feito em vasos contendo dois quilogramas de solo em cada um. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 5 (2 solos; 5 doses de cada elemento de estudo) +1 e 4 repetições. O tratamento adicional (+1) foi incluído para avaliar o desempenho da cultura na dose de N mineral proporcional a 50 kg.ha⁻¹.

O trabalho foi dividido em dois ensaios. No primeiro ensaio foram testadas doses diferenciadas de fósforo, para a obtenção de uma dosagem ótima. Na segunda fase, foram testados os micronutrientes (Co e Mo). A dose dos elementos que compõe o estudo foi determinada com base nas recomendações para a cultura da soja, uma vez que devem ser otimizados estes dados para a cultura do feijão-caupi.

3.7. Ensaio 1 - Teste de Dosagem Ótima de Fósforo (P)

No primeiro ensaio foram testadas dosagens diferenciadas de fósforo, para a obtenção de uma dose ótima a partir do conjunto das variáveis analisadas. Os níveis das dosagens de fósforo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Doses de fósforo (P) utilizadas no experimento e suas respectivas doses equivalentes.

Tratamento	Doses P (mg.vaso ⁻¹)	Equivale (kg.ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Descrição
1	0	0	Controle
2	44	100	Baixa
3	88	200	Média
4	130	300	Média-Alta
5	175	400	Alta

A partir dos resultados, pretende-se encontrar através de uma curva de regressão um nível ótimo de fósforo que ofereça uma máxima resposta em relação à FBN.

3.8. Ensaio 2 - Teste de Dosagem Ótima de Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo)

A partir da obtenção do nível ótimo do macronutriente (P), foram testadas cinco doses de cobalto e molibdênio em esquema fatorial 2 x 5+1 (solos x doses) (mais o nitrogênio), e 3 repetições.

Todos os tratamentos foram inoculados com a estirpe de *Bradyrhizobium* sp 3262 (designada inicialmente como E7-6), por sua vez foi isolada no Sistema Integrado de Produção Agroecológica em Seropédica- RJ no ano de 1996 (ZILLI, 2009a).

Os nutrientes Co e Mo foram aplicados via foliar no vigésimo dia após a emergência das plantas. As doses foram baseadas no sistema de Produção de soja do Brasil Central – (vide anexo). Como fontes foram utilizadas cloreto de Cobalto (CoCl_2) e molibdato de amônio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, para cobalto e molibdênio, respectivamente.

Tabela 5. Doses equivalentes de Cobalto na forma de (CoCl_2) e Molibdênio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ utilizadas no experimento.

Tratamento	Doses (mg.vaso^{-1})		Descrição
	Co	Mo	
1	0	0	Controle
2	2	8	Baixa
3	3	16	Média
4	4	32	Média-Alta
5	6	64	Alta

A partir dos resultados, pretende-se encontrar níveis ótimos de cobalto e molibdênio e fósforo, (encontrado no ensaio 1) que ofereça uma máxima resposta em relação ao desenvolvimento e nodulação das plantas.

3.9. Coleta de Dados e Variáveis Analisadas

Aos 35 dias após a germinação das plantas, foram realizadas medições na altura da planta e no diâmetro do caule na altura do nó cotiledonar; o teor de clorofila, através da leitura no aparelho medidor de clorofila (clorofilômetro), marca Minolta, modelo SPAD-502, no terço superior do limbo do folíolo central da terceira folha completamente desenvolvida, a partir do ápice da planta, na haste principal em todas as plantas.

Em seguida, as plantas foram coletadas e separadas em raízes e parte aérea, por um corte cerca de 1 cm acima do solo. As raízes foram lavadas na peneira para evitar perda de nódulos e estes foram destacados das raízes e contados para determinação do número de nódulos (NN). Para avaliação da massa de nódulos secos (MNS), massa da raiz seca (MRS) e massa da parte aérea seca (MPAS), os nódulos, a parte aérea fresca e a raiz, foram colocadas na estufa até atingir o peso constante (aproximadamente 72 h), para posterior pesagem.

A parte aérea foi ainda moída e pesada para a determinação do N-total pelo método semimicro Kjeldahl (NOGUEIRA & SOUZA, 2005).

3.10. Análise Estatística

No experimento, a análise inicial para a obtenção da dosagem de resposta, foi feita através do software Sisvar, e os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância e de desdobramentos em regressão polinomial. Foram ajustadas equações aos dados obtidos em função das doses, adotando-se como critério para a escolha do modelo, a magnitude dos

coeficientes de determinação significativos a 5%. Os efeitos da aplicação de doses e entre solos foram comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Na ausência de interação significativa entre os tratamentos de cobalto, molibdênio e fósforo, os efeitos principais foram discutidos separadamente, utilizando-se a média dos tratamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito do Fósforo sobre o Desenvolvimento das Plantas de Feijão-caupi

4.1.1. Altura e diâmetro

Para a variável altura (Figura 3), o melhor resultado nas plantas de Primavera do Leste ocorreu quando houve a incorporação no solo de uma dose média (88 mg.vaso⁻¹), correspondendo a um valor de 39,10 cm. Para o solo de Sinop, a melhor dose ocorreu na incorporação da dose alta (175 mg.vaso⁻¹), correspondendo a altura de 39,73cm. Na análise de variância, houve diferença significativa entre as doses (controle, baixa e alta) e as doses (média e média-alta). Com relação aos solos, houve diferença significativa para a dose média.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que PL apresentou tendência quadrática e ($R^2=98,3\%$), e Sinop linear com ($R^2=88,5\%$).

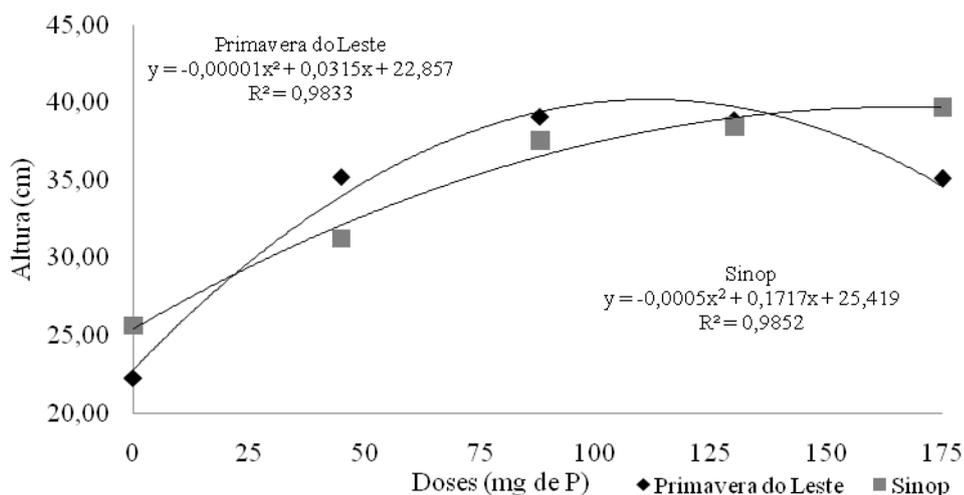


Figura 3. Altura das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV=10,16%.

Entretanto, Araújo et al. (2002) não observou diferença significativa de altura de plantas entre cultivares de soja, porém, foi observada diferença para altura de inserção da primeira vagem, com destaque para uma cultivar que apresentou valor de 25,4 cm. Sendo que para todas as cultivares estudadas as alturas se mostraram adequadas à colheita mecânica. As doses de máxima eficiência técnica (MET) para altura de plantas e inserção de primeira vagem foram de 192,0 e 193,8 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

Esses resultados corroboram o presente estudo, já que no solo de Sinop a melhor dose foi a equivalente a 400 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, entretanto a dose média (equivalente a 200 kg), seria satisfatória já que a diferença de altura entre as plantas com doses média e alta, foi 37,56 cm e 39,73 cm, respectivamente não justificando economicamente um incremento de 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ para o aumento de apenas 2,17 cm na altura.

Todavia, Neto (2010) mostrou efeito da adubação fosfatada sobre a altura de plantas e rendimento de grãos, mas não houve efeito na altura de inserção da primeira vagem.

Rosolem e Tavares (2006) estudando os sintomas de deficiência de fósforo (P) em soja verificaram que houve diferença significativa para os tratamentos com e sem fósforo, em várias características estudadas. Sendo que a dose de 95,60 kg.ha⁻¹ promoveu a altura máxima das plantas estimada em 56,69 cm.

Esse resultado está de acordo com os de Valadão Júnior et al. (2008), os quais também encontraram um modelo quadrático na resposta da altura de plantas de soja submetidas a cinco níveis de fósforo. Sendo que, o valor de altura de planta, encontrado no ensaio, ficou dentro do recomendado por Sediya et al. (2005), os quais citam que a altura mínima desejável para a colheita mecanizada em solos de topografia plana está em torno de 50 cm.

Estes resultados também estão de acordo com aqueles obtidos por Novais e Smyth (1999). Segundo esses autores, a recomendação média de fósforo para culturas anuais, em solos com baixos teores de “P-disponível” varia de 90 a 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. Entretanto, com os sucessivos cultivos numa mesma área, essa recomendação tende a aumentar, é o que reportam Gianluppi et al. (2000), sugerindo uso de pelo menos 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Neto (2010) e Schlindwein e Giannello (2005) também encontraram resposta quadrática quanto ao rendimento de grãos de soja à aplicação de doses de P, em solos de cerrado. Respostas a doses muito altas de P são comuns em solos com baixos teores de fósforo disponível. Esses valores podem ser explicados pelo fato da resposta da cultura ao uso de fertilizantes dependerem do estado de fertilidade do solo. Logicamente, solos de baixa fertilidade apresentam alta probabilidade de resposta ao uso de nutrientes. Sendo que no presente estudo, a resposta a esta baixa fertilidade (em relação ao fósforo), foi ratificada com a aplicação de P.

Oliveira et al. (1984) avaliou doses de P₂O₅, 0, 60, 120, 180 e 240 kg.ha⁻¹. Quanto à altura, as plantas de trigo responderam significativamente ao nível de 5%. Considerando-se as médias da altura das plantas referentes à dose de 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, verificou-se, que elas não diferiram significativamente daquelas onde não foi aplicada adubação fosfatada. Contrastando com os dados encontrados neste estudo, já que independente das doses aplicadas, foi atribuída significância estatística.

Valadão Júnior et al. (2008) verificou que duas cultivares de soja, BRS Jiripoca e BRS MT Uirapuru, apresentaram respostas significativas às doses de adubação fosfatada para altura das plantas. Verificando que a altura máxima estimada foi de 66,35 cm, obtida com a dose de 140 kg de P₂O₅, sendo semelhante a outros trabalhos como o de Araújo (2005) que encontrou altura aproximada de 70 cm, com outras cultivares para o estado de Roraima.

Zucareli et al. (2004) observou que as doses de fósforo avaliadas não exerceram efeito sobre a altura de inserção da primeira vagem e sobre a altura geral da planta (feijoeiro) apresentando média entre tratamentos de 20,9 cm, sendo observado menor valor numérico em plantas provenientes da menor dose e o maior na dose de 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Sendo que para Zucareli a dose máxima de P, foi de 150 kg.ha⁻¹ e em todas as variáveis analisadas, inclusive para componentes de produção (número de sementes, número de vagens, número de lóculos), a partir deste valor houve tendência de crescimento após a dose máxima, sugerindo que os valores de produção apresentados poderiam ter sido otimizados, se fossem incorporadas doses de P maiores que as oferecidas no estudo.

Para feijão-caupi nesta dissertação, valores com doses acima de 100 kg.ha⁻¹, apresentaram incremento na maioria das variáveis apresentadas. Sugerindo que doses mais altas deste macronutriente podem atuar otimizando esses valores de produção. Salientando que este experimento foi implantado com teor muito baixo de P podendo ser inerente à tendência de aumentos na produtividade, com a elevação de doses de P aplicadas.

Silveira e Moreira (1990) ao estudarem a resposta a doses de P constataram aumentos no rendimento de sementes do feijoeiro com a aplicação de doses crescentes de P, contudo, melhores resultados foram obtidos na dose de 400 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Para o diâmetro (Figura 4), nota-se que o melhor resultado nas plantas de Primavera do Leste ocorreu quando houve a incorporação no solo de uma dose média (88 mg.vaso⁻¹ de P), correspondendo a um valor de 6,4 mm. Para o solo de Sinop o melhor dado ocorreu na incorporação da dose média-alta (130 mg.vaso⁻¹), correspondendo 6,55 mm. Na análise de variância, houve diferença significativa entre todos os tratamentos. Com relação aos solos, houve diferença significativa para as doses média-alta e alta.

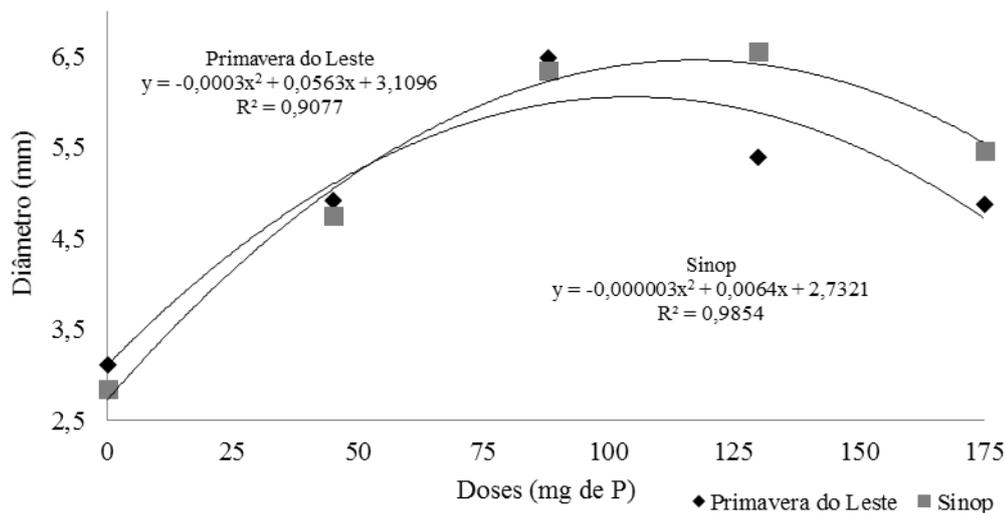


Figura 4. Diâmetro das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV=3,64%.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, o solo de PL apresentou curva com tendência quadrática ($R^2=90,7\%$) e o solo Sinop apresentou-se com curva de tendência quadrática ($R^2=98,5\%$). Souto (2009) verificou que aplicação de fósforo, em plantas de feijão guandu apresentou efeito significativo para o diâmetro do caule aos 40 dias após germinação e na produção de matéria seca das raízes.

4.1.2. Nodulação (NN e MSN)

Para a variável massa de nódulos secos - MNS (Figura 5) observou-se que o maior resultado nas plantas para ambos os solos ocorreu quando houve a incorporação de uma dose média (88 mg.vaso⁻¹), correspondendo a um valor de 170 mg. Na análise de variância, houve diferença significativa entre os tratamentos controle, baixa, média-alta e alta. Com relação aos solos, não houve diferença significativa para nenhuma das doses.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, ambos apresentaram curva com tendência polinomial de segundo grau com ($R^2=64,3\%$) para PL e ($R^2=70\%$) para Sinop.

Ao analisar a variável número de nódulos – NN (Figura 6), observou-se que os mais significativos resultados, se deram com a dose média-alta (130 mg.vaso⁻¹) para o solo PL, correspondendo a 68 nódulos. Enquanto isso, para o solo de Sinop a melhor dose foi a média (88 mg.vaso⁻¹), apresentando como máximo valor 100 nódulos. Na análise de variância, houve diferença significativa entre os tratamentos controle, baixa, média-alta e alta. Com relação aos solos, houve diferença significativa para todas as doses que foi aplicado fósforo.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística a demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, ambos apresentaram curva com tendência quadrática com ($R^2=89,2\%$) para Primavera do Leste e ($R^2=98,6\%$) para Sinop.

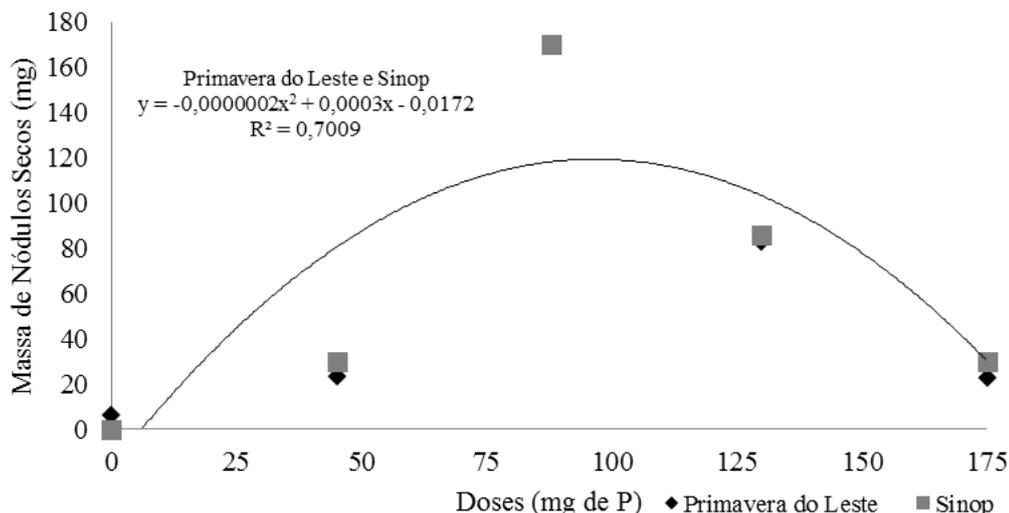


Figura 5. Massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 13,77%.

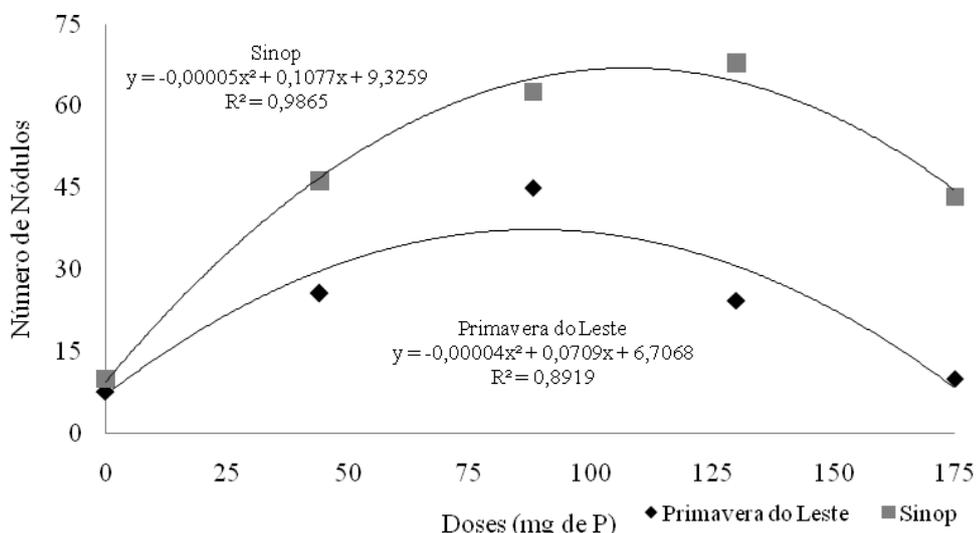


Figura 6. Número de nódulos (NN) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 21,44%.

Apesar do valor máximo encontrado para a variável NN no solo PL na dose média-alta (68 nódulos), verificou-se que a dose média (63 nódulos), e não justificaria um incremento de 44 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , para um incremento médio de 5 nódulos (7,3%) para a produção de nódulos, devido a inviabilidade econômica.

Para MNS a dose de melhor resultado (88 mg.vaso^{-1}) em relação à testemunha, observa-se um incremento de 25 vezes, demonstrando que a deficiência de P no solo, contribuiu para ineficiência na nodulação. Fato que pode ser corroborado na figura 6 (NN), onde a menor dose de fósforo correspondeu aos piores resultados em relação à quantidade de nódulos por planta, vide testemunha absoluta com 10 e 7 nódulos (Sinop e Primavera do Leste, respectivamente), e, por conseguinte menor MNS. Ratificando os resultados de Araújo & Teixeira (2000), citado por Kubota (2006), destacaram que o suprimento limitado de P, causa atrasos no desenvolvimento e na nodulação do feijoeiro.

No mesmo sentido, na análise com feijão-caupi, os resultados foram semelhantes, haja vista que, houve prejuízos na nodulação quando presente apenas fósforo contido no solo.

Kubota (2006) destacou ainda que, em plantas com dose baixa de P, a “deficiência” de fósforo pode afetar diretamente a FBN, haja vista que o P atua diretamente na iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos (Israel, 1987), aumentando sua atividade (GRAHAM & ROSAS, 1979; PEREIRA & BLISS, 1987), causando simultâneo aumento na acumulação de N (OTHMAN et al., 1991), ou estimulando o crescimento do hospedeiro (GATES & WILSON, 1974).

4.1.3. Massa da raiz seca (MRS), massa da parte aérea seca (MPAS), teor de clorofila (TC) e N-total da parte aérea

Em relação à massa da raiz seca - MRS (Figura 7) observou-se que o maior resultado para PL, ocorreu quando houve a incorporação de uma dose média (88 mg.vaso^{-1}), correspondendo a um valor de 0,77g e para o solo Sinop, o melhor resultado foi 0,93g e se enquadrou na dose média-alta (130 mg.vaso^{-1}). Na análise de variância, houve diferença significativa entre os tratamentos controle, médio e alto. Com relação aos solos, não houve diferença significativa para as doses, com exceção do controle.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística, demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, ambos apresentaram curva com tendência polinomial de segundo grau com ($R^2=69,9\%$) para PL e ($R^2=90,6\%$) para Sinop.

A análise desta variável é de suma importância, já que o fornecimento de fósforo em quantidade adequada favorece o desenvolvimento do sistema radicular aumentando a absorção de água e de nutrientes, corroborando trabalhos de Figueira (2000).

O fósforo apresenta influência desde a fase inicial do ciclo vegetativo, onde Gonçalves et al. (2000) observou que mudas de plantas que apresentam um sistema radicular bem desenvolvido, tiveram como resultado um maior ganho em crescimento após o plantio.

Raij (1991), em estudos similares, a partir de doses diferenciadas de P, observou que o fornecimento de doses adequadas deste macronutriente, desde o crescimento da planta, estimula o desenvolvimento radicular, sendo assim, importante para a formação dos primórdios das partes reprodutivas e essencial para a boa formação de frutos, e, por conseguinte um incremento na produção das culturas. Souto (2006), também descreveu que o fósforo exerce influência positiva no desenvolvimento radicular.

Corroborando os trabalhos supracitados, Pequeno (1999), destacou o sistema radicular do guandu que por apresentar maior comprimento e densidade, mostrou-se provavelmente, ser melhor para absorver e mobilizar água de camadas mais profundas, podendo aumentar o aporte de nutrientes para as camadas superiores do solo com a decomposição de suas raízes. (Souto, 2006).

De acordo com Teruel et al. (2001), embora alguns nutrientes como os nitratos se movimentem com relativa liberdade em solos úmidos, para nutrientes com baixas taxas de difusão no solo, como os fosfatos é necessária proximidade entre a superfície absorviva da raiz

(Harper et al., 1991), sendo importante explorar o solo em busca do recurso imóvel e fazer uso do mesmo de maneira otimizada.

Segundo Harper et al. (1991), o crescimento em extensão e a ramificação profusa provavelmente representam estratégias alternativas na exploração de volumes de solo e na aquisição dos recursos encontrados pelos sistemas radiculares, com diferentes consequências.

Tiffney & Niklas (1985) afirmam que os sistemas radiculares podem, portanto, alterar sua configuração geométrica de forma a possuir a habilidade para explorar o solo em busca de recursos (grande crescimento em extensão, à custa de menor ramificação), ou a habilidade de adquirir os recursos encontrados de maneira eficiente (sistema radicular profusamente ramificado, à custa do crescimento em extensão).

Segundo Vilela e Anghinoni (1984), nas raízes de soja, a baixa concentração de P no solo provoca diminuição no comprimento e no engrossamento, enquanto Barber (1984) observou aumento no crescimento radicular de cultivares de milho com o suprimento de P no solo. Isso pode ser observado neste estudo com as raízes de caupi, já que quando foram incorporadas doses mais altas de P, (até a dose média), foi demonstrado aumento na MRS e, por conseguinte, no comprimento (Figura 7).

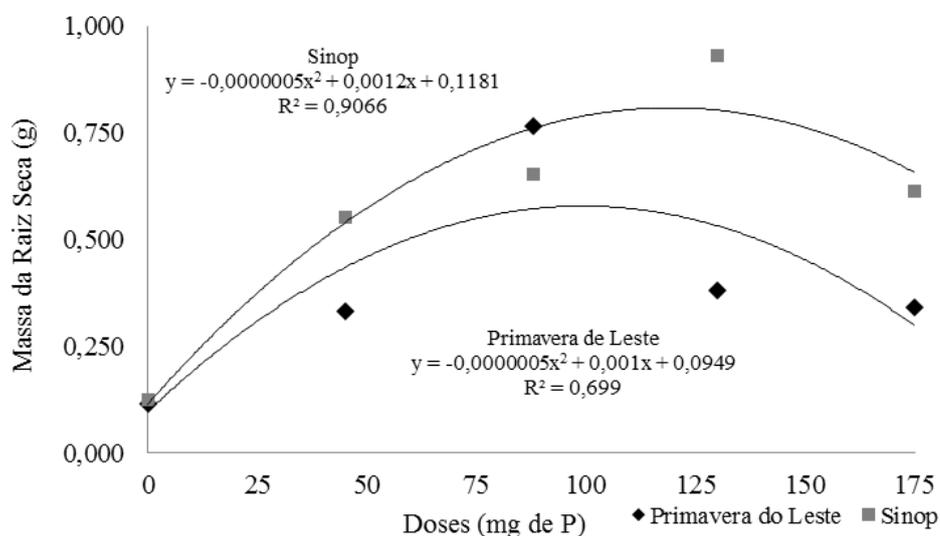


Figura 7.

Matéria da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de p após 35 dias de plantio cv = 8,91%. Segundo Corrêa et. al. (2004), quanto à massa da raiz seca (MRS) da soja, com o aumento das doses de P, verificaram-se aumentos na produção de matéria seca de raiz de soja, com resposta significativa até a profundidade de 30 cm. Até 15 cm de profundidade, houve resposta até a dose de 50 kg.ha⁻¹ de P, entretanto na camada de 15 a 30 cm, a massa de matéria seca de raiz aumentou linearmente até a dose de 150 kg.ha⁻¹ de fósforo.

Corroborando o presente estudo, já que plantas com maior superfície radicular possuem maior capacidade para absorção dos nutrientes do solo (Teo et al., 1995), podendo apresentar correspondência com a MPAS.

Analisando a massa da parte aérea seca – MPAS (Figura 8) observou-se que o maior resultado para PL ocorreu quando houve a incorporação de uma dose média (88 mg.planta⁻¹), correspondendo a um valor de 2,65 g e para o Sinop o melhor resultado foi 2,02 g e se enquadrou na dose alta (175 mg.planta⁻¹). Na análise de variância, houve diferença significativa entre os tratamentos, controle, médio e alto. Com relação aos solos, houve diferença significativa para as doses baixa, média e alta.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, ambos apresentaram curva com tendência polinomial de segundo grau com altas correlações ($R^2=96,1\%$) para PL e ($R^2=93,3\%$) para Sinop.

A aplicação de doses de fósforo aumentou a MPAS das plantas no solo Sinop, confirmando que a concentração de fósforo na solução dos solos da região dos Cerrados é muito baixa, em virtude da alta capacidade de fixação do nutriente pelas argilas e pelos óxidos de ferro e alumínio (Novaes & Smyth, 1999), refletindo assim em uma resposta positiva, quando foram incorporadas maiores doses de fósforo no solo.

Para as plantas cultivadas no solo de Sinop, a dose apresentada como ótima foi à alta (equivalente a 400 kg.ha^{-1}), porém é necessário um estudo mais aprofundado sobre a viabilidade econômica, já que a diferença da dose média (equivalente a 200 kg.ha^{-1}) para a dose alta ofereceu um incremento na MPAS de $9,9\%$ ($0,2 \text{ g}$), e a diferença entre as doses é de 200 kg.ha^{-1} .

Corrêa et al. (2004) observaram que a massa da parte aérea seca (MPAS) da soja aumentou em função das doses de fósforo, sendo a dose de 150 kg ha^{-1} a mais eficiente. Este resultado é semelhante ao apresentado neste estudo, já que a dose ótima para a MPAS é a média ($88 \text{ mg. planta}^{-1}$), correspondente a 200 kg.ha^{-1} . (Figura 8).

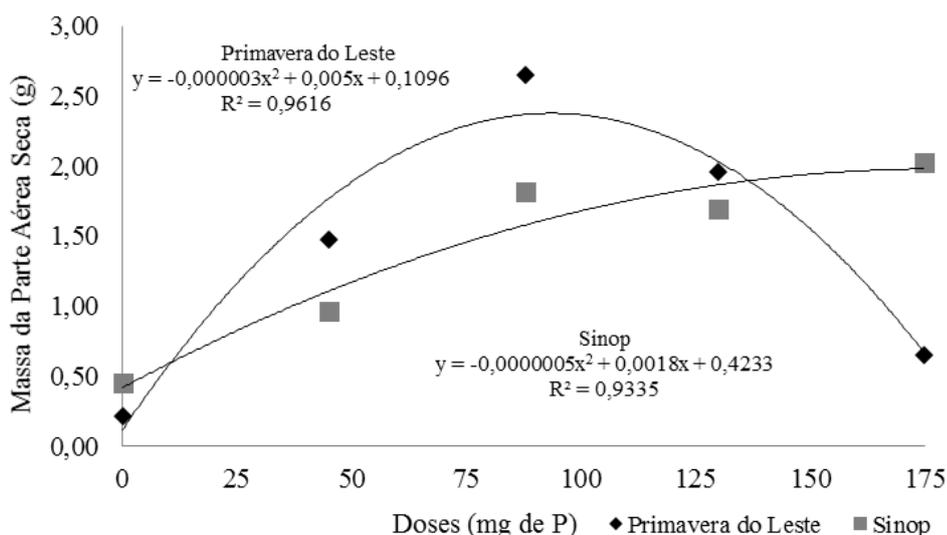


Figura 8. Matéria seca da parte aérea (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 11,81%.

Souza et. al (2008) observou que a interação entre diferentes níveis de compactação e doses de fósforo influenciou significativamente os teores de P na matéria seca da parte aérea das plantas de milho, e que a maior dose de P-Solo (400 mg.dm^{-3}) implicou em maiores teores de MPAS, mais uma vez corroborando com o presente estudo para o solo Sinop. Consequentemente observaram que plantas de feijão sob estresse de fósforo apresentaram decréscimo no teor de fosfato inorgânico e aumento nos teores de sacarose, glicose e frutose nas raízes Rychter & Randall (1994). Em estudos análogos, Alves et al. (1995) e Pastorini et al. (2000), observaram essa maior translocação de fotoassimilados para as raízes em plantas de milho sob moderado estresse de fósforo, que justificariam então a redução da massa seca da parte aérea e da raiz.

Inclusive o “estresse” pode ser advertido neste estudo com caupi, já que as plantas que se encontravam sem adubação fosfatada (testemunha absoluta), apresentaram os menores valores de MRS e MPAS, podendo ser provavelmente indicativo de estresse de fósforo.

Para o teor de clorofila – TC (Figura 9) observou-se que os maiores resultados em PL ocorreram quando houve a incorporação de uma dose média-alta (130 mg.vaso⁻¹) de P, correspondendo a 57,5% e para o Sinop o melhor resultado foi 52,3% se enquadrando na dose média (175 mg.vaso⁻¹). Na análise de variância, houve diferença significativa entre todos os tratamentos. Com relação aos solos, houve diferença significativa para todas as doses, com exceção da média.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística, demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, PL apresentou-se com tendência de curva linear ($R^2=57,1\%$) e quadrática com ($R^2=78,6\%$) para Sinop. Além disso, notou-se ainda a partir da dose média, houve decréscimo no valor médio do TC, mostrando que para o solo de Sinop, altas doses de P, podem ter ocasionado prejuízos ao metabolismo normal da clorofila.

A análise do teor de clorofila total é uma característica importante, pois indica a eficiência na absorção de radiação solar pelas folhas e, em consequência, maior taxa fotossintética resultando, por sua vez, em maiores produtividades de grãos. Considerando o aspecto de manutenção da coloração verde da folhagem é de suma importância para a correção dos problemas de deficiência e indica que o sistema de leitura de pigmentos, por detectar variação nos teores de clorofila, tem potencial para avaliação preliminar do estado nutricional da planta. Segundo Bastos (2012) e Torres Netto et al. (2005), a determinação indireta do teor de clorofila em folhas pode ser usada como ferramenta para diagnosticar a integridade do aparelho fotossintético, quando as plantas estão sujeitas às adversidades ambientais.

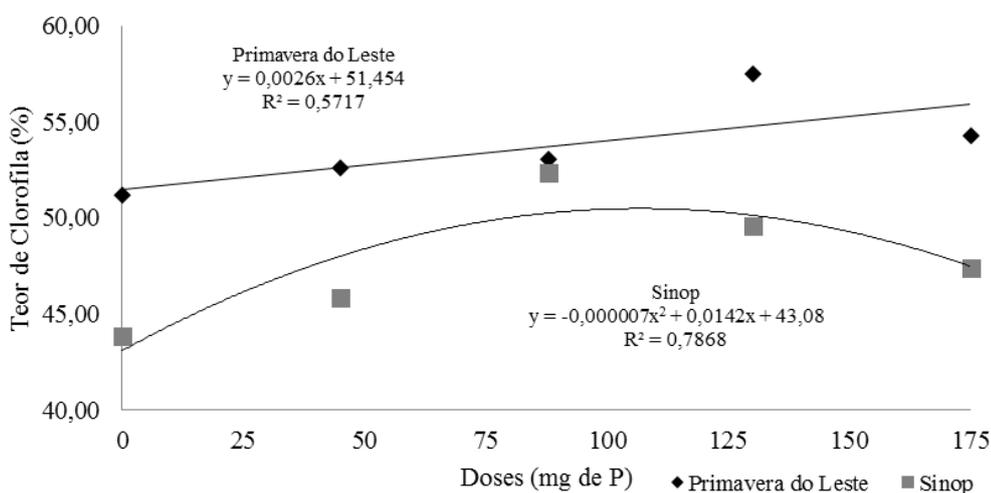


Figura 9. Teor de clorofila (TC) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 4,32%.

Analisando o teor de N-total (Figura 10) observou-se que o maior resultado para PL ocorreu quando houve a incorporação de uma dose média-alta (130 mg.vaso⁻¹), correspondendo a um valor de 93,42 mg e para o Sinop o melhor resultado foi 68,98 mg e se enquadrou na dose alta (175 mg.planta⁻¹). Na análise de variância, houve diferença significativa para todos os tratamentos. Com relação aos solos, houve diferença significativa para todas as doses.

Para os dois solos, houve desdobramentos em efeitos de regressão e significância estatística demonstrando influência dos diferentes níveis de fósforo para esta variável. Sendo que, PL apresentou curva com tendência polinomial de segundo grau com altas correlações ($R^2=89,08\%$) e para Sinop tendência linear ($R^2=95,14\%$).

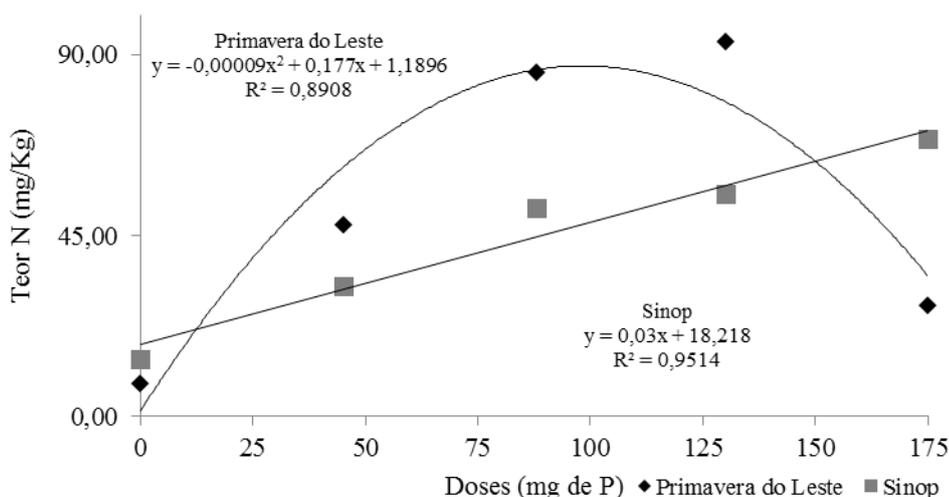


Figura 10. Nitrogênio total de plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio CV = 5,50%.

Em estudos feitos por Kubota (2006), o P é de grande importância na absorção de N no solo, uma vez que a redução do nitrato em amônia é um processo que requer muita energia para a fosforilação da serina, enzima responsável para regulação da nitrato redutase (PROVAN, 2006).



Figura 10. Planta submetida à dose média de fósforo. À esquerda, planta com a dose média-alta de P e no meio o controle, 35 dias após o plantio no solo de Sinop (DAP).

Para melhor representação e para fins didáticos, foram feitas as médias das regressões entre os solos de Primavera do Leste e Sinop com intuito da adequação das melhores doses para as principais variáveis envolvidas no processo da fixação biológica do nitrogênio. Atribuindo destaque a dose média de fósforo, (88 mg.vaso⁻¹), correspondente a 200 kg de P₂O₅ (Figuras 12, 13, 14 e 15).

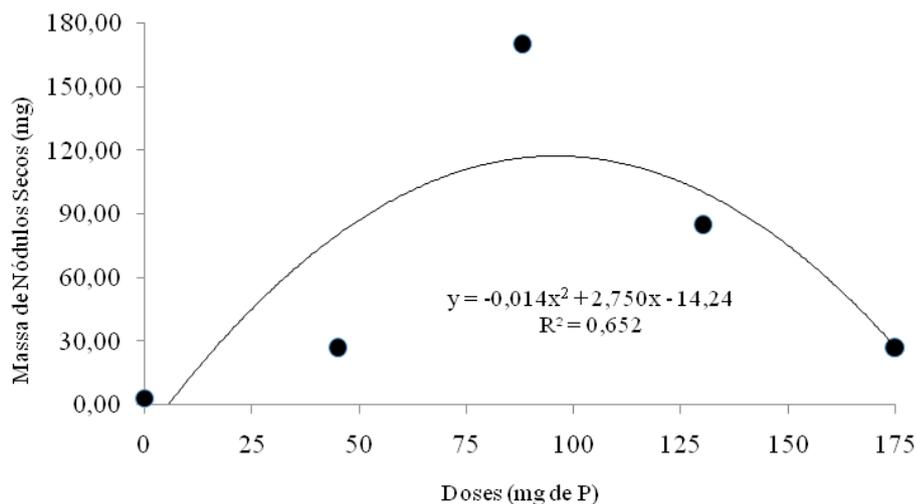


Figura 12. Média entre as doses nos solos de PL e Sinop para a variável massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.

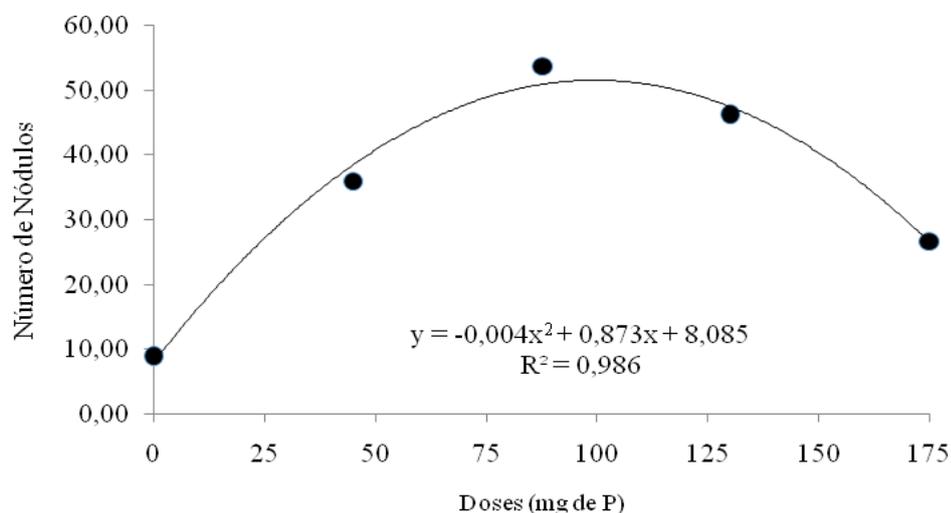


Figura 13. Média entre as doses nos solos de PL e Sinop do número de nódulos das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.

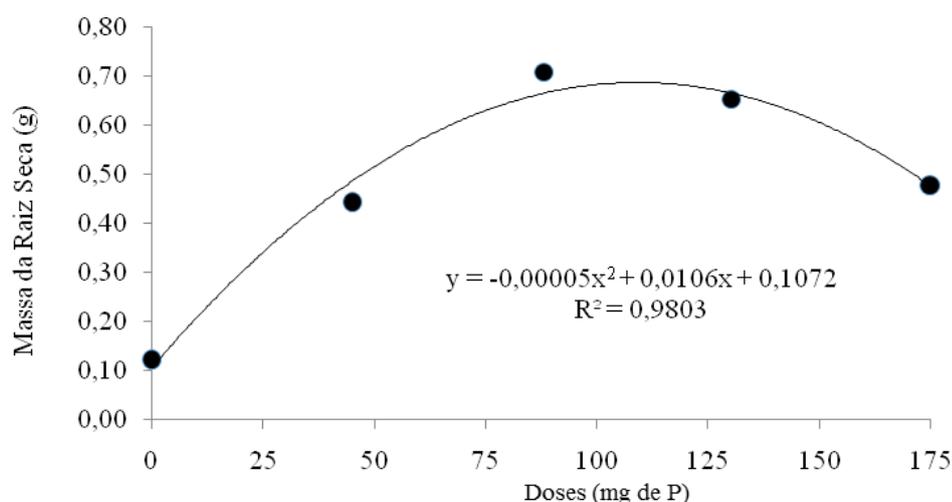


Figura 14. Média entre os solos de PL e Sinop da massa da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.

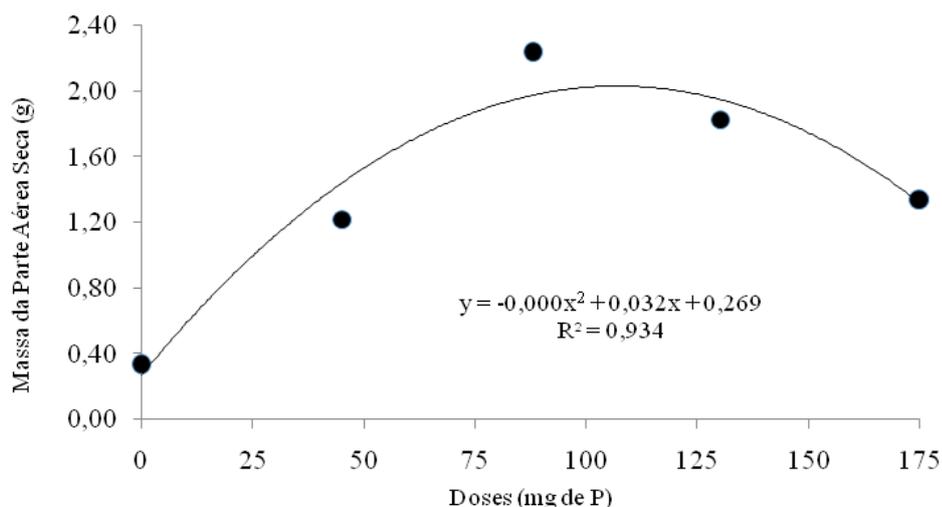


Figura 15. Média das doses nos solos de Primavera do Leste e Sinop) da massa da parte aérea seca (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de P após 35 dias de plantio.

4.2. Efeito do Cobalto e Molibdênio sobre o Desenvolvimento das Plantas de Feijão-caupi

4.2.1. Nodulação (MNS e NNOD)

Para a variável massa seca de nódulos - MNS (Figura 16) nota-se que as doses que apresentaram os melhores resultados foram a média-alta (32 mg.vaso⁻¹ de molibdênio e 4 mg.vaso⁻¹ de cobalto) correspondente a 146 mg e 104 mg em Primavera do Leste e Sinop, respectivamente, e a dose alta (64 mg.vaso⁻¹ de molibdênio e 6 mg.vaso⁻¹ de cobalto) e equivalente a 172 mg em PL e 64 mg em Sinop, mas não houve diferença significativa entre elas. Quando se faz referência à nodulação do caupi em tratamentos com cobalto e

molibdênio, para a variável massa de nódulos secos (MNS), observou-se um incremento da dose alta em relação à testemunha absoluta, cerca de 10 vezes (0,018 g para 0,172 g).

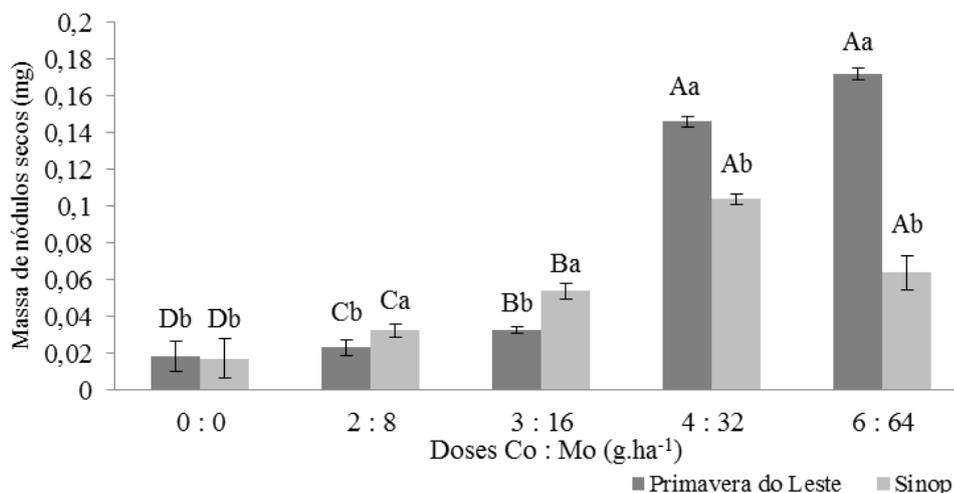


Figura 11. Massa de nódulos secos (MNS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV=7,79%.

De acordo com Dourado-Neto et al., 2012 foram encontrados resultados semelhantes na cultura da soja, com incremento no número de nódulos – NN (Figura 17), cerca de 80% quando comparado a testemunha.

Segundo Câmara (2000), citado por Toller et al. (2009), plantas de soja com equivalentes de 0,10 a 0,20 g de nódulos secos por planta no florescimento apresentam condições suficientes para a obtenção de altos teores de nitrogênio fixado e, conseqüentemente, alto rendimento de grãos. É importante salientar esses resultados, já que a massa de nódulos seca, sempre que possível, deve ser determinada, pois proporciona melhor correlação com eficiência de nodulação e produtividade de grãos.

Pode-se observar ainda (Figura 17) que, os tratamentos tiveram boa nodulação com a dose média acima de 74 nódulos, mostrando que esse tratamento pode garantir um bom processo de fixação biológica de nitrogênio. Campo e Hungria (2002) citam que na época do florescimento uma planta bem nodulada, deve mostrar, no campo, entre 15 e 30 nódulos (Moraes, 2006).

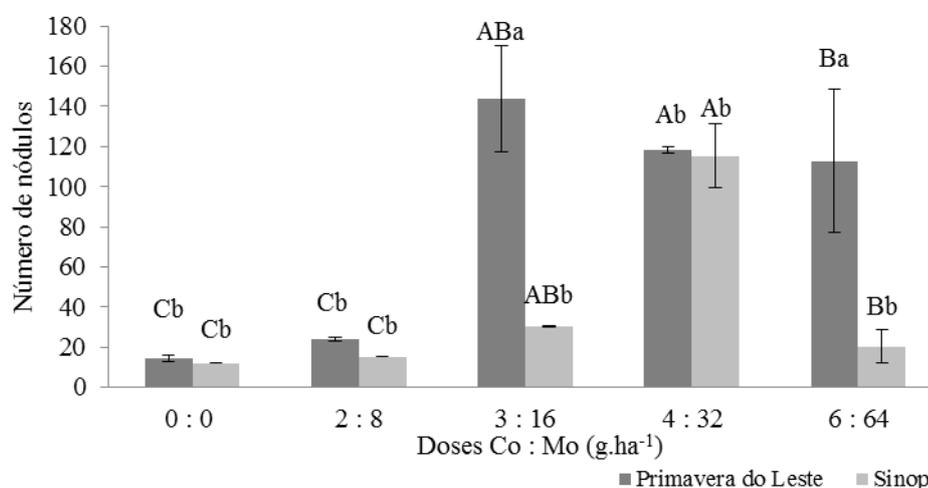


Figura 12. Número de nódulos (NN) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 42,97%.

Em relação às doses, as que apresentaram maiores valores foram a dose média, com 143 e 30 nódulos para PL e Sinop, respectivamente, e a média-alta, com 118 nódulos para o solo de PL e 115 para o correspondente em Sinop. Já para a dose alta a diferença também foi significativa, variando de 112 para PL e 20 nódulos para Sinop.

É importante ressaltar as diferenças das mesmas doses nos diferentes solos, ou seja, quando houve um aumento da dose média-alta para alta, houve incremento de MNS (17%) em PL, enquanto para o solo Sinop, houve decréscimo na MNS (39%).

Moraes, 2006, cita resultados expressivos de Toledo et al. (2010), que ratifica um acréscimo no número de nódulos com a aplicação de molibdênio. Além de observarem efeito positivo da adição de cobalto na nodulação, Ahmed e Evans (1960) também constataram uma contribuição na absorção de nitrogênio pela soja cultivada em solução nutritiva. Da mesma forma, Campos e Gnatta (2006), avaliando doses de Co e Mo, obtiveram diferença significativa entre os tratamentos na avaliação de número de nódulos por planta.

Confirmando essa experimentação Rajj (1987), trabalhando com leguminosas como a soja e o amendoim, também observou aumento na nodulação e da fixação biológica de nitrogênio, quando foi aplicado cobalto (MARCONDES, 2001).

Toller et al. (2009) e Câmara (2000) ressaltaram que a massa seca de nódulos proporciona melhor correlação com eficiência de nodulação e produtividade.

Alves (2002) apresentou diferença estatística para o número de nódulos, quando aplicou uma dose de 400 g. ha⁻¹ de molibdênio, obtendo uma média de 80 nódulos.

Entretanto, para este ensaio não houve diferença estatística para as doses média e média-alta. De um modo geral, o número de nódulos encontrados no experimento foi semelhante aos encontrados por Lacerda et al., (2004) trabalhando com caupi em experimentos em casa de vegetação.

Martins (2003), estudando a introdução de novas estirpes de rizóbio para o caupi em condições de campo, também encontrou um número de nódulos por planta semelhante ao encontrado neste trabalho, indicando que as raízes foram bem colonizadas pelas bactérias fixadoras de nitrogênio. (ALVES, 2002).

É importante ressaltar a escassez para comparação dos dados de número de nódulos para feijão caupi para estudos com efeito da aplicação de molibdênio na FBN, contrário do que acontece para outras leguminosas como a soja e o feijão comum. (JACOB-NETO, 1985; JACOB NETO & FRANCO, 1989; JACOB NETO & FRANCO, 1988; JACOB NETO et al., 1997; ALVES, 2002).

São muitos os exemplos na literatura onde não se observa efeito da aplicação de molibdênio no número de nódulos, possivelmente porque a adição deste micronutriente pode estar associada com a elevação da eficiência do nódulo, pela maximização da atividade da enzima nitrogenase, e não com a elevação do número de nódulos por planta (JACOB NETO & FRANCO, 1989; ALVES, 2002).

Em contrapartida, quando apresentados os valores da nodulação de fósforo: MNS com média de 60 e 40 nódulos por planta para Sinop e PL, respectivamente e MNS correspondente a 160 mg para ambos), observa-se nitidamente uma discrepância em relação aos valores nos tratamentos com CoMo (que apresentou uma média do NN igual a 140 e MNS 400 mg).

Esse incremento provavelmente ocorreu na aplicação de CoMo, já que o metabolismo do nitrato estava sendo prejudicado pela falta desses micronutrientes e a partir da aplicação de CoMo a nitrato redutase deve ter sido acelerada. Nos tratamentos com fósforo, a planta deu preferência a FBN, provavelmente devido a escassez desses micronutrientes no solo e a nitrato redutase e outras enzimas ativas como a nitrogenase, estavam ineficientes pela falta de CoMo (FULIN, 2009).

Em contrapartida, os tratamentos de CoMo, apresentaram muitos nódulos (mais do que o dobro de P), porém pequenos e em desenvolvimento (Figura 27).

Segundo Xavier et al., (2007), a nodulação do feijão-caupi, inicia-se entre 8 e 10 dias após a emergência das plantas, fato este que explicaria o tamanho e a massa desses nódulos.

Enfim, as plantas com aplicação de CoMo, provavelmente utilizaram o N do solo (já que possuíam alto índice de matéria orgânica 6,4% e 5,4 % para Primavera do Leste e Sinop, respectivamente), ficando a planta menos dependente da fixação, sendo que obviamente com menos N disponível no solo a planta buscaria fixação.

Mesmo com os melhores resultados de MSN e NN de Co e Mo, acredita-se que o pouco tempo da aplicação até a coleta (20 aos 35 dias), pode influenciado para não correspondência na resposta da planta (FBN) com a MNS e o NN.

Observa-se pela (figura 16) da MSN, que as plantas para o solo de PL, ainda apresentam crescimento em massa nodular. Então provavelmente as plantas apresentaram nodulação tardia, já que foi aplicado Co e Mo em um solo que não tinha limitação de N, e a planta absorveu rapidamente não necessitando da bactéria para desempenhar o processo de FBN. Então como alternativa para uma melhor contribuição na FBN e não apenas aumento no NN e MNS, poderia ser feito o plantio com sementes enriquecidas com cobalto e molibdênio (JACOB-NETO, 1985).

4.2.2. Massa da parte aérea seca (MPAS), massa raiz seca (MSR), teor de clorofila (TC) e N-total da parte aérea

Para a variável massa da parte aérea seca – MPAS (Figura 18) nota-se que a maior massa ocorreu quando houve a incorporação no solo de uma dose média (16 mg.vaso⁻¹ de molibdênio e 3 mg.vaso⁻¹ de cobalto), correspondendo a um valor de 5,11 g, no solo de PL, e 4,16 g para o solo de Sinop e média-alta (64 mg.vaso⁻¹ de molibdênio e 6 mg.vaso⁻¹ de cobalto) a um valor de 4,83 g no solo de PL, e 3,8 g para o solo de Sinop. Na análise de variância, houve diferença significativa, entre as doses (controle, baixa e alta) e as doses (média e média-alta). Com relação aos solos, também houve diferença significativa.

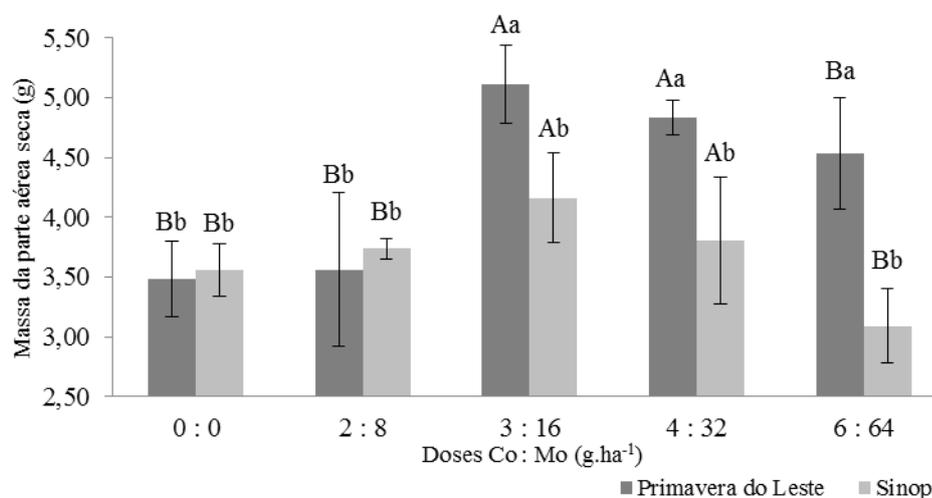


Figura 18. Massa da parte aérea seca (MPAS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 6,55%.

A partir da dose equivalente a 16 g.ha⁻¹ (média) observou-se queda na MPAS. Gris (2005) observou que altas concentrações de molibdato (160 g ha⁻¹) via foliar, pode ter provocado efeito tóxico em plantas de milho, apresentando, portanto, produção menor do que a testemunha. Diesel (2011) e Souza et al. (2008), discutiram que quando são aplicadas altas concentrações de Mo, estas podem provocar fitotoxicidade às plantas.

Guareschi & Perin (2009), também observaram que para as variáveis de parte aérea analisadas, massa da parte aérea fresca (MPAF) e massa da parte aérea seca (MPAS), as maiores doses (120 e 160 g ha⁻¹ de Mo) apresentaram uma queda de rendimento em relação ao tratamento testemunha para ambas as culturas testadas.

Este fato pode ser corroborado neste ensaio, já que o aumento das doses foi providencial para a queda dos valores da MPAS, ainda que a dose aplicada (32 g.ha⁻¹), foi 5 vezes menor que a sugerida por Gris (2005).

A massa da parte aérea seca é parâmetro imprescindível de ser avaliado, uma vez que apresenta alta correlação com o N total acumulado pelas plantas. (BOHRER & HUNGRIA, 1998; HUNGRIA & BOHRER, 2000; TOLLER et al., 2009).

Em relação ao cobalto, Marcondes (2001), observou que a produção de matéria seca e a absorção de nitrogênio, não foram influenciadas significativamente pela aplicação de doses de cobalto. Mesmo assim, acreditou ser possível que o cobalto tenha influenciado o processo de fixação biológica do N₂, em doses mais baixas, entre 0 e 2 g ha⁻¹, porém no presente estudo com doses de 0, 2, 3, 4 e 6 g.ha⁻¹, não foi possível dizer se o cobalto influenciou isoladamente na FBN, já que o elemento foi inserido consorciado com molibdênio na planta de caupi.

Esses maiores valores para a variável MPAS contribuem para uma maior assimilação de CO₂ e, por conseguinte uma maior fotossíntese. Sendo que a fotossíntese desempenha importante papel na produção de uma cultura (WULLSCHLEGER & OOSTERHUIS, 1990), pois o rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (CRAFTS-BRANDNER & PONELEIT, 1992; SANTOS et al., 2005).

Então a incorporação eficiente de Co e Mo atua diretamente no crescimento e na parte foliar da planta. Segundo Solomonson e Barber (1990), a atividade da enzima nitrato redutase afeta a síntese protéica nas plantas. Uma vez que a enzima rubisco, fixadora do CO₂ atmosférico no processo fotossintético, representa cerca de 50% de toda a proteína foliar,

espera-se um aumento na atividade da enzima nitrato redutase, em função de crescentes concentrações de molibdênio, melhorando a assimilação líquida de CO₂ e consequentemente aumentando a taxa de crescimento das plantas (TIRITAN et al., 2007).

Na avaliação do teor de nitrogênio acumulado (Figura 19), nota-se que o resultado mais expressivo, ocorreu com a incorporação no solo de uma dose média (equivalente a de 16 g.ha⁻¹ de molibdênio e 3 g.ha⁻¹ de cobalto), correspondendo a um valor de 120 mg de N acumulado, para o solo de Primavera do Leste, e 86,7 mg para o solo de Sinop, porém não houve diferença significativa entre as doses, somente entre os solos.

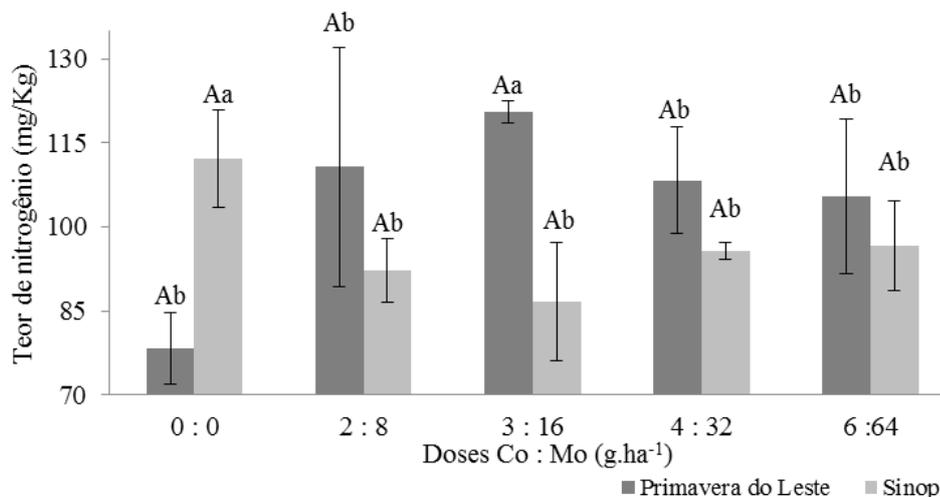


Figura 19. Teor de Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes dosagens de CoMo após 35 dias de plantio no solo Primavera do Leste e Sinop (MT), CV = 15,71%.

Berger et al. (1996), apresentou dados com teores máximos de N nas folhas de Feijão *Phaseolus vulgaris* L., de 3,57 g/hg, que foi alcançado com 67 g.ha⁻¹ de Mo, (21% a mais em relação a dose zero para a cv Ouro Negro), neste estudo foram apresentados dados que descreveram a coloração verde-amarelada nas plantas com a dose zero de Mo, passando a verde escura com doses mais elevadas. Neste ensaio com caupi foi apresentada coloração semelhante na dose sem CoMo (figura 16). Assim, nota-se que a adição de Mo, implicou em resultados positivos para a planta.

O teor máximo de N-total (120,55 mg) na dose média, contrastou com a testemunha, sem adição de CoMo, que apresentou teor de (78,25 mg de N), ou seja, um acréscimo de 54% do maior teor em relação ao controle. Em relação à quantidade de nitrogênio total acumulada, este fornecimento de N para a parte aérea do feijão-caupi se deu, provavelmente, pelo aumento na eficiência da FBN proporcionado pelo Mo, haja vista que ocorreram diferenças no número e na massa dos nódulos para os solos. Resultados similares foram comprovados por Quaggio et al. (2004), em amendoim, que observaram aumento na FBN e acúmulo de N foliar com a aplicação de Mo.

Destaca-se que outros trabalhos mostraram efeitos positivos da aplicação de Mo em relação ao N-total e na FBN em soja (CAMPO & LANTMANN, 1998; MAIER & GRAHAM, 1990) e feijão comum (KUSDRA, 2003).

Por ser elemento chave do centro ativo da nitrogenase, o molibdênio, em níveis insuficientes, pode ser capaz de influenciar na nodulação, no acúmulo de N, e, por conseguinte na produtividade (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Outrossim, o elemento supracitado, atua na redutase do nitrato, que é uma enzima responsável pela redução do NO_3 para ser assimilado pela planta (DECHEN et al., 1991).

Desta forma, no caso de leguminosas, o Mo é necessário para a manutenção da atividade de duas enzimas relacionadas ao aproveitamento do N, podendo, portanto, promover maior acúmulo de N nas plantas.

Mesmo que se apresentando como atitude precoce para este experimento, espera-se a partir desses ensaios um significativo aumento na produtividade a partir de doses otimizadas de cobalto e molibdênio. Hafner et al. (1992) conseguiram, com a aplicação de molibdênio, e Raij (1987), com a de cobalto, nas sementes, aumentar a produção de amendoim.

Para a variável teor de clorofila – TC (Figura 20) nota-se que o maior valor foi nas plantas com solo Primavera do Leste e ocorreu, quando houve a incorporação no solo de uma dose baixa (equivalente a de 8 g.ha^{-1} de molibdênio e 2 g.ha^{-1} de cobalto), correspondendo a um valor de 56,4%, já para o solo de Sinop o maior valor para MNS foi de 58,6% quando foi incorporada a mesma dose.

Na análise de variância, houve diferença significativa. Entretanto, em relação aos solos, houve diferença significativa para o controle, dose média-alta e alta.

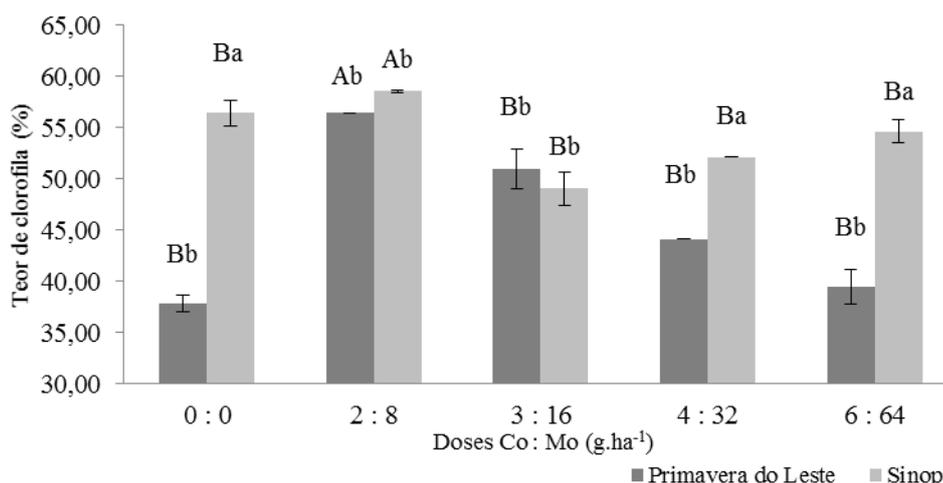


Figura 20. Teor de clorofila (TC) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 4,13%.

Para a variável massa de raiz seca - MRS (Figura 21) nota-se que o maior valor ocorreu nas plantas com solo de Primavera do Leste quando houve a incorporação de uma dose baixa (equivalente a de 8 g.ha^{-1} de molibdênio e 2 g.ha^{-1} de cobalto), correspondendo a um valor de 2,39 g e 1,13 g. para o solo de Sinop.

Entretanto, não houve significância estatística a ($p < 0,05$) para nenhuma das doses. Na análise de variância, houve diferença significativa a ($p < 0,05$) entre os solos, nos níveis baixo, médio e médio-alto.

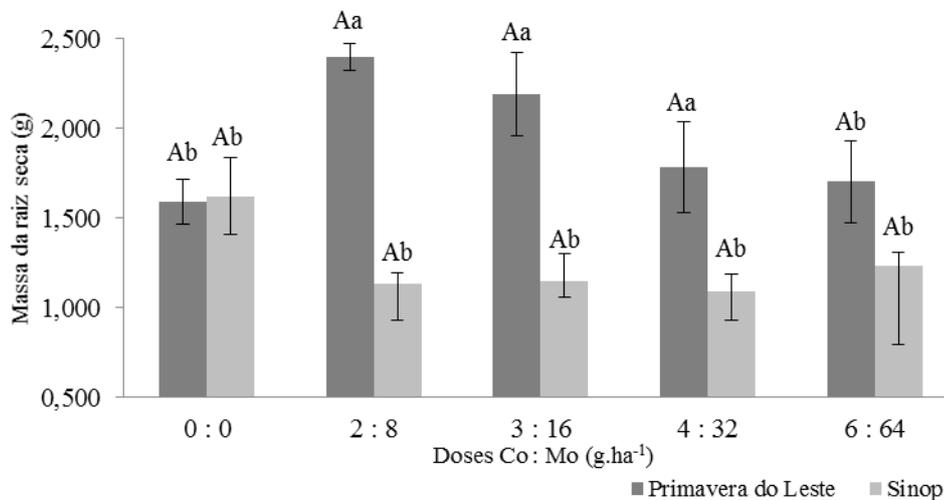


Figura 21. Massa da raiz seca (MRS) das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de cobalto e molibdênio após 35 dias de plantio CV = 18,15%.

Segundo Toller et al. (2009), observa-se que quanto maior a produção de massa seca radicular maior a produção da massa seca da parte aérea, discordando dos resultados obtidos por Bárbaro et al. (2006), que verificaram na estimativa de correlação entre MRAIZ e MFOL que a mesma foi negativa, de magnitude baixa e não significativa pelo teste t ($r = -0,0979$).

Inclusive para este ensaio com a dose de fósforo já otimizada (200 kg.ha⁻¹), a MSR, apresentou valores bem superiores (2,5 vezes) aos tratamentos da MSR do fósforo. Podendo-se inferir, que este desenvolvimento radicular poderia ainda, ter sido expandido e seu desenvolvimento foi limitado pelo volume do vaso utilizado (2 kg).

4.2.3. Altura e diâmetro

Para a variável altura (Figura 22), nota-se que a maior ocorreu, quando houve a incorporação no solo de uma dose alta (equivalente a de 64 g.ha⁻¹ de molibdênio e 6 g.ha⁻¹ de cobalto), correspondendo a um valor de 30,31 cm no solo de PL, e 28,09 cm para o solo de Sinop. Na análise de variância e com relação aos solos, houve diferença significativa para as doses controle, média e média-alta.

Para os dois solos, houve significância estatística a ($p < 0,05$) demonstrando influência dos diferentes níveis de cobalto e molibdênio para esta variável.

Marcondes 2001, mostrou um decréscimo de cerca de 1 cm na altura das plantas para cada grama de cobalto aplicado e atribuiu essa queda certamente devido a fitotoxicidade do elemento. Nemeč & Babicka, Brenchley, Millikan, Vergnano & Hunter e Ahmed & Twyman citados por Malavolta (1976) observaram que quantidades de cobalto na solução nutritiva tão baixas quanto 0,1 mg.kg⁻¹ podem produzir efeitos adversos no crescimento das plantas.

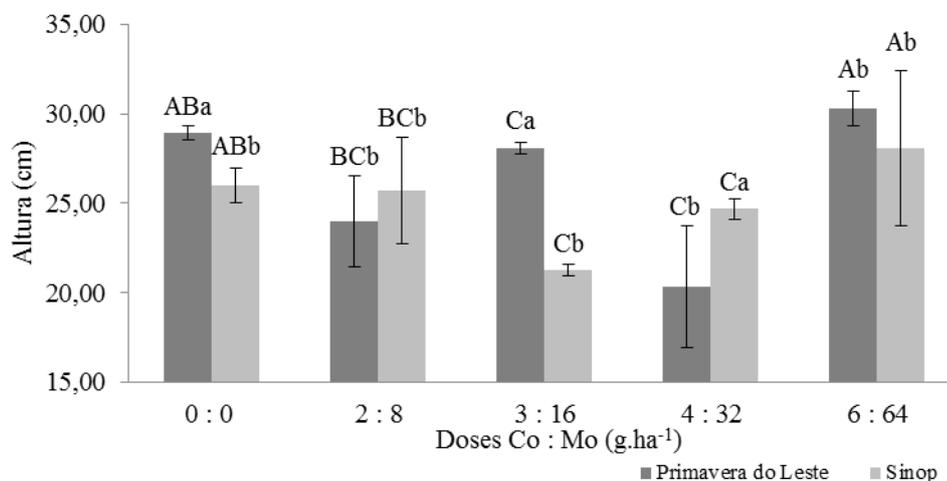


Figura 13. Altura das plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes dosagens de Co e Mo, após 35 dias de plantio no solo CV = 6,17%.

Para a variável diâmetro (Figura 23) nota-se que não foi favorável a incorporação de cobalto e molibdênio. Destarte, é importante salientar uma queda abrupta para o solos, quando foram incorporadas as doses mais altas, podendo essa variável ter sido afetada pelo efeito tóxico do cobalto em maiores níveis, corroborando o que foi descrito anteriormente, já que foram incorporadas doses crescentes de cobalto que variavam de 0 a 6 g.ha⁻¹.

Entretanto, essa diminuição no diâmetro do caule, pode não se apresentar prejudicial, levando em consideração que o caule é um material lignificado. Então, para o desenvolvimento da planta, exportar fotoassimilados para formação de outras partes da planta (massa da parte aérea, por exemplo), traria mais benefícios para a planta, do que o espessamento do caule.

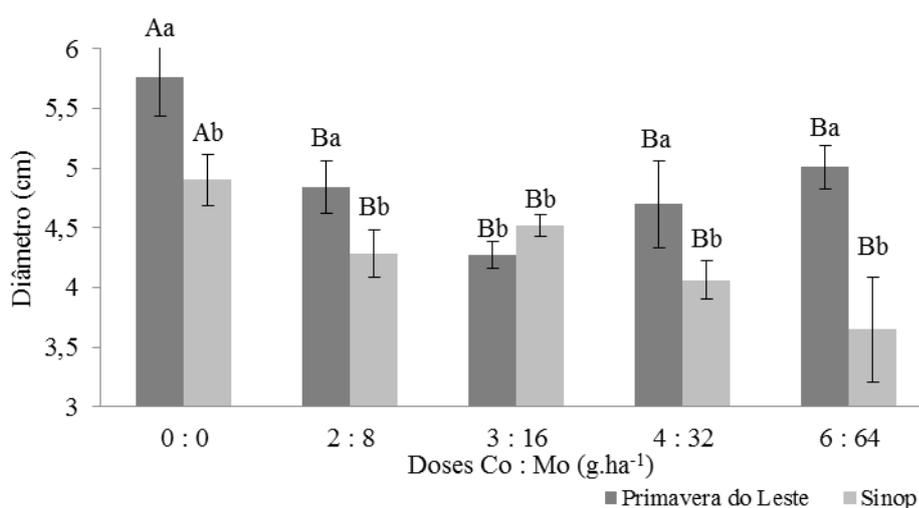


Figura 14. Diâmetro das plantas de feijão-caupi em experimento de casa de vegetação para avaliação de diferentes doses de Co e Mo, após 35 dias de plantio CV = 6,02%.

Guareschi & Perin (2009), também observaram que para as variáveis de parte aérea analisadas, massa fresca da parte aérea (MFP), massa seca da parte aérea (MSP), altura da planta (AP), as maiores doses (120 e 160 g.ha⁻¹ de Mo) apresentaram uma queda de rendimento em relação ao tratamento testemunha para ambas as culturas testadas.



Figura 24. Raiz submetida à dosagem de 135 mg.vaso⁻¹ de P, 35 dias após o plantio.



Figura 25. Resposta das plantas a doses diferenciadas de fósforo. À direita (média alta) e à esquerda (alta), 53 dias após o plantio.



Figura 26. Diferenciação de tonalidade entre as plantas de feijão-caupi 35 dias após o plantio. À esquerda (dose baixa) e à direita (controle) submetida ao tratamento com cobalto e molibdênio para o solo Sinop.



Figura 27. Nódulos da planta de feijão-caupi submetida à dose média- alta de cobalto e molibdênio.

5. CONCLUSÕES

- A dose de 88 mg de P. vaso⁻¹, que corresponde a 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou a maior nodulação das plantas de feijão-caupi com consequente aumento da biomassa do vegetal e acúmulo de nitrogênio.

- Até a dose média-alta de cobalto e molibdênio com correspondente a aplicação de 32 g de Mo. ha⁻¹ + 4 g ha⁻¹ de Co proporcionou maior nodulação das plantas de feijão-caupi com consequente aumento da biomassa do vegetal e acúmulo de nitrogênio.

- O local de coleta de solo influenciou no desenvolvimento e nodulação do feijão-caupi, quando submetido a diferentes doses de P e Co+Mo.

- A aplicação de Co+Mo influenciou no desenvolvimento da planta independentemente de ter influenciado o processo de FBN, provavelmente em função de ter atuado no metabolismo do nitrogênio.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação às doses otimizadas de fósforo, cobalto e molibdênio para feijão- caupi serão necessários testes em campo para avaliação da produtividade de grãos, já que estudos em casa de vegetação são preliminares para um norteamento a partir de condições controladas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S.; EVANS, H. J. Cobalt: a micronutriente element or the growth of soybean plants under symbiotic conditions. *Soil Science*, Baltimore, v. 90, p. 205-210, 1960.
- ALVES, V.M.C; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, A.F.G.; MOSQUIM, P.R. Açúcares solúveis em quatro híbridos de milho sob omissão e sob ressuprimento de fósforo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 7: 97-105, 1995.
- ALVES, J.M.; GUIMARÃES, E.C.; ALVES, J.S.; JACOB-NETO, J. Aplicação foliar de molibdênio em caupi (*Vigna unguiculata* L. WALP). *Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida*, V. 22, n. 2, p. 193-197, 2002, Suplemento.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; LIMA, E.R. Efeitos do aumento do teor de fósforo na semente, obtido via adubação foliar, no crescimento e na nodulação do feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 183-189, 2002.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Ontogenetic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. *Plant Soil*, 225:1-10, 2000.
- BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: Willey Interscience, 1984.
- BÁRBARO, I.M.; TICELLI, M.; SILVA, G.P.; ARAÚJO, S.C.; MIGUEL, F.B.; SILVA, J.A.A. & BÁRBARO JUNIOR, L.S. Avaliação de soja (*Glycine max*) cultivar IAC-23 quanto a eficiência na fixação biológica de nitrogênio, em área de reforma de pastagem em Colina-SP. *Unimar Ciências*, v.15, n.01, p.63-70, 2006.
- BASTOS, E.A.; RAMOS, H.M.M.; JÚNIOR, A.S.A.; NASCIMENTO, F.N.; CARDOSO, M.J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management*, v.1, n.1, p.31-37, 2012.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; & SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 639-646, 2003.
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A. de A. Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.473-480, 1996.
- BODDEY, R.M.; SÁ, J.C.M.; ALVES, B.J.R; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 29, n. 5/6, p.787-799, 1997.
- BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.937-953, 1998.

BORTELS, H. 1930 Molybdan als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. Arch. Microbiol., 1, 333-342.

BULEN, W. A.; LeCONTE, J. R. The nitrogenase system from *Azotobacter*: two enzyme requirements for N₂ reduction, ATP-dependent H₂ evolution, and ATP hydrolysis. National Academy of Sciences of the United States of America Proceedings, Washington, v. 56, p. 979-986, 1966.

CÂMARA, G. M. S. Nitrogênio e produtividade da soja. In: Câmara GMS (Eds.) **Soja: Tecnologia da Produção II**. Piracicaba, ESALQ/USP. p. 295-339, 2000.

CAMPOS, B. H. C. de; GNATTA, V. Inoculantes e fertilizantes foliares na soja em área de populações estabelecidas de *Bradyrhizobium* sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 69-76, 2006.

CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.8, p.1245-1253, 1998.

CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. **Informações Agronômicas, Piracicaba**, n.98, p.6-9, 2002.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, A.; RODRIGUES, B. H. N. **Níveis de fósforo, densidades de plantas e eficiência de utilização da água em caupi de portes ramador e moita em areia quartzosa**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. Resumos Expandidos. Fortaleza: UFC, 1998. p.146.

CERETTA, C.A.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P.S.; MOREIRA, I.C.L.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E.E. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3. p.576-581, 2005.

CONAB. Feijão total (1^a, 2^a e 3^a safras). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/FeijaoTotalSerieHist.xls>>. 2008.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; PONELEIT, C.G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, v.32, p.127-131, 1992.

DAMASCENO e SILVA, K.J. **Estatística da produção de feijão-caupi**. 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/estatistica.pdf>>.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELO, Q.A.C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Potafos, 1991. p 79-111.

DELWICHE, C.C.; JOHNSON, C.M.; REISENAUER, H.M. Influence of cobalto in nitrogen fixation by medicago. **Plant Physiology**, Waterbury, v.36, no.1, p.73-78, 1961.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T.; THEVS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. *Soil Science Society American Journal*, v. 66, n. 02, p. 652-660, 2002.

DOBERMANN, A. Nitrogen use efficiency-measurement and management..- In: INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION WORKSHOP ON FERTILIZER BEST MANAGEMENT PRATICICTICES, 2007, Brussels. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2007

DOURADO-NETO, D.; DARIO, G.J.A.; MARTIN, T.N.; SILVA, M.R.; PAVINATO, P.S.; HABITZREITER, T.L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 33, suplemento 1, p. 2741-2752, 2012.

FAO, 2008. *FAOStat*. <http://faostat.fao.org/>

EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil. Londrina: Embrapa-CNPSO. 2002. 199p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - <http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2008/setembro/4a-semana/brs-xiquexiqueprimeira-cultivar-de-feijao-caupi-biofortificada>. Acesso em: 03 de nov. de 2010

FAGERIA, N.K. Calibração de análise de fósforo para arroz em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.4, p.579-586, 1990.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças, Viçosa, 2000, 402 p.

FILGUEIRAS, G. C.; SANTOS, M. A. S.; HOMMA, A. K. O.; REBELLO, F. K. & CRAVO, M. S. Aspectos socioeconômicos. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A. & ALVES, J. M. A., eds. **A cultura do feijão caupi na Amazônia Brasileira**. Boa Vista, Embrapa Roraima, 2009. P.23-58.

FIXEN, P.E. The four rights within a global fertilizer best management practices framework. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 1-22.

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

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARRETO, P.D.; SANTOS, A. A.In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; VIANA, F.M.P.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 640 p.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M.M; RIBEIRO, V.Q; RAMOS, S. R. R; MACHADO, C. R. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. Revista Ciência Agronômica, v. 38, n. 03, p. 286-290, 2007.

FREIRE FILHO, F.R.; ROCHA, M. de M.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; RIBEIRO, V.Q.; NOGUEIRA, M.S.R. Feijão-caupi: melhoramento genético, resultados e perspectivas. In: Simpósio Nordeste de genética e melhoramento de plantas, 1, 2009, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p.25-59.

FULIN, E.; ZANGRANDE, M. B.; LANI, J. A.; MENDONÇA, L. F.; DESSAUNE FILHO, N. Nitrogênio e molibdênio na adubação de feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 7, p. 1145-1149, 1999.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.185-226.

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

GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V.; SMIDERLE, O. **S.Recomendações técnicas para o cultivo da soja nos cerrados de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2000. 35 p. (Circular Técnica).

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessão de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:153-159, 2000.

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

GRIS, E.P.; CASTRO, A.M.C.; OLIVEIRA, F.F. Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 1, p. 151-155, 2005.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A. Efeito do molibdênio nas culturas da soja e do feijão via adubação foliar. Global Science and Technology, v. 02, n. 03, p. 08-15, 2009.

GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R.; XAVIER, G. R. Inoculação e adubação mineral em feijão caupi: Efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scientia Agraria**, Curitiba , v.9, n.4. p 469-474, 2008.

GUALTER, R.M.R.; BODDEY. R.M.; RUMJANEK, N.G.; FREITAS, A.C.R.; XAVIER, G.R. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.2, p.182-189, fev. 2011

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

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

HAFNER, H.; NDUNGURN, B.J.; BATIONO, A.; MARSCHNER, H. Effects of nitrogen, phosphorus and molybdenum application on growth and symbiotic N₂ fixation of groundnut in an acid sandy soil in Niger. *Fertilizer Research*, v.31, p.69-77, 1992.

HARDY, R.W.G. Biological Nitrogen Fertilization: Present and future applications. In: SRIVASTAVA, J.P.; ALDERMANS, H. (Ed). *Agriculture and Environmental Challenges. Agricultural Sector Symposium, 13. Proceedings...* Washington. The World Bank. 1993. P.109-117.

HARPER, J.L.; JONES, M.; SACKVILLE-HAMILTON, N.R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.) *Plant root growth: an ecological perspective*. Oxford: Blackwell, 1991. p.3-22.

HUNGRIA, M.; BOHER, T. R. J. Variability of nodulation and dinitrogen fixation capacity among soybean cultivars. ***Biology and Fertility of Soils***, v.31, p.45-52, 2000.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; VARGAS, M. A. T.; ANDRADE, D. S. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosa de grãos. In: REUNIÃO BRASILEIRA FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRÍZAS, 7. **Anais**. Caxambu, UFLA, 1999. p. 597-620.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 65, p. 151-164, 2000.

JACOB-NETO, J. Variação estacional, concentração nas sementes e níveis críticos de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1985. 141f. Tese (Mestrado em Agronomia) – UFRRJ, Itaguaí, RJ.

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. **Adubação do molibdênio em feijoeiro**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1988. 4p. (Embrapa-CNPAB. Comunicado Técnico, 1).

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. 1989. Determinação do nível crítico de Mo nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). Turrialba, Costa Rica, v.39, p. 215-223.

JACOB-NETO, J.; SANTOS, A.V.; FRANCO, A.A.; TAKEDA, S.T. 1997. Soybean seed enrichment with molybdenum to supply the plant requirement. 11th *Internacional Congresso n Nitrogen Fixation Abstracts*, v. 1, p. 69.

KUBOTA, F.Y. Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar. Dissertação (mestrado). UFRRJ, Instituto de Agronomia, 58f. 2006

KUSDRA, J. F. Nodulação do feijoeiro e fixação biológica do nitrogênio em resposta à microbiolização das sementes e à aplicação de micronutrientes. ***Scientia Agraria***, v. 04, n. 01-02, p. 81-96, 2003.

LACERDA, A. M.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B.; SOARES, A. L. L. Efeito de estirpes de rizobio sobre a nodulação e produtividade do feijao-caupi. **Revista Ceres**, v. 51, n.293, p. 67-82, 2004.

LOPES, A.S.; DAHER, E ; BASTOS, A.R.R. Potencial dos recursos naturais para atender a atual e futura demanda da indústria nacional de fertilizantes e corretivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23.; 2009, FORTALEZA. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2009. CD-ROM.]

MAIER, R.J.; GRAHAM, L. Mutant strain of *Bradyrhizobium japonicum* with increased symbiotic N₂ fixation rates and altered Mo metabolism properties. **Applied and Environmental Microbiology**, v.56, n.8, p.2341-2346, 1990.

MALAVOLTA, E. O problema dos micronutrientes. **Revista Brasileira de Fertilizantes, Inseticidas e Rações**, São Paulo, v.1, n.4, p.5-8, 1958.

MALAVOLTA, E.; CHAVES, L; TONIN, G.S.; SOUZA, A.F. Deficiências de macronutrientes na soja (*Glycine max* L. Merrill, var. IAC-2). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.33, p.471-477, 1976.

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MARCONDES, J.A.P. Nodulação e absorção de nitrogênio pela soja em resposta à aplicação de cobalto e molibdênio. Dissertação (Mestrado). UFPR. 2001.

MARTINS, L.M.V.; NEVES, M.C.P.,; RUMJANEK, N.G. Characteristics of cowpea rhizobia isolates from the northeast region of Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 5/6, p. 1005-1010, 1997.

MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soil**, v. 38, p. 333-339, 2003.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macro-nutrients. In: MINERAL nutrition of higher plants. 2nd ed. San Diego: Academic, 1995. p. 229-312.

MELGAR, R.; DAHER, E. Fertilizer best management practices in South Americas` agricultural systems. In: INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **Fertilizer best management praticies**. Paris, 2007. p.153-162.

MELO, F.B.; CARDOSO, M.J.; SALVIANO, A.A.C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F.R; LIMA, J.A.A.L.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005, p.229-242.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MOOY, C.J.; PESEK, J.; SPALDON, F. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). Soybeans: improvement, production and uses. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1973. p.267-334.

MORAES, L.M.F. Translocação de Co e Mo aplicados em diferentes épocas na cultura da soja. 2006. 43p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; CASALI, V.W.D.; PEREIRA, P.R.G. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 19, n. 3, p. 306-312, 2001.

NETO, Cláudio. R. Efeito do nitrogênio e da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* no rendimento de grãos de milho. Monografia. UEPG. 2010.

NOGUEIRA, A.R. de A.; SOUZA, G.B. de. **Manual de laboratórios:** solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1999, 399p.

OLIVEIRA, O.F. de; CAMARGO, C.E.O.; RAMOS, V.J. Efeito do fósforo sobre os componentes de produção, altura das plantas e rendimento de grãos, em trigo. **Bragantia**, v.43, n.1, p.31-44, 1984.

OLIVEIRA, I.P.; DANTAS, J.P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAÚJO, J.P.O. O caupi no Brasil. Brasília: IITA/EMBRAPA, 1988, p.447-449.

OTHMAN, W.M.W.; LIE, T.A.; MANNETJE, L.'t; WASSINK, G.Y. Low level phosphorus supply affecting nodulating, N₂ fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Plant and Soil, Dordrecht, v. 135, p. 67-74, 1991.

DIESEL, P.; SILVA, C.A.T.; SILVA, T.R.B.; NOLLA, A. Molibdênio e cobalto no desenvolvimento da cultura da soja. Revista Agrarian, Dourados, v.3, n.8, p.169-174, 2010.

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. Revista Ceres, 47 (270): 219-228, 2000.

PEQUENO, P.L.de L. Sistema radicular de leguminosas: Efeito em algumas propriedades de um podzólico vermelho-amarelo. 1999. **Dissertação** (Mestrado)-UFPB, Areia-PB, 1999.

PEREIRA, P.A.A; BLISS, F.A. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. Plant and Soil, Dordrecht, v. 104, p. 79-84, 1987.

PESSOA, A. C. S.; Ribeiro, A. C.; CHAGAS, J. M. & CASSINI, S. T. A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p.75-84, 2001.

PROCHNOW, L.I; CASARIN, C; STIPP,S.R. **Anais do simpósio sobre boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. IPNI, v.2, p.2-361, 2010.

PROVAN, F.; HAAVIK, J.; CATHRINE, D.L. The regulatory phosphorylated serine in full-length nitrate reductase is necessary for optimal binding to a 14-3-3 protein. *Plant Science, Ireland*, v. 170, p.394-398, 2006

QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; OWINO-GERROH, C.; ABREU, M.F. & CANTARELLA, H. Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:659-664, 2004.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. 142 p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronomica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do fosfato, 1991.

RELARE, 2007. Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola. Disponível em: <<http://www.relare.org.br>>.

RYCHTER, A.M & RANDALL, D.D. The effect of phosphate deficiency on carbohydrate metabolism in bean roots. *Physiology Plantarum*, 91: 383-8, 1994.

ROSOLEM, C. A.; TAVARES, C. A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 02, p. 385-389, 2006.

SALA, V.M.R.; SILVEIRA, A.P.D. da; CARDOSO, E.J.B.N. Bactérias Diazotróficas Associadas a Plantas Não-leguminosas. In: SILVEIRA, A.P.D. da; FREITAS, S.dosS. (Ed.). **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Instituto Agronômico Campinas (SP), 2007. 312 p.: il.

SANTOS, R.C.; GODOY, J.I.; FÁVERO, A.P. Melhoramento do amendoim. In: SANTOS, R.C. O Agronegócio do Amendoim no Brasil., Ed. Campina Grande-PB: EMBRAPA, 2005, p.123-192.

SCHLINDWEIN, J.A. & GIANELLO, C. Doses de máxima eficiência econômica de fósforo e potássio para as culturas cultivadas no sistema plantio direto. *R. Plantio Direto*, 85:20–25, 2005.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 553-603.

SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; MACIEL, C.D; CAMPO, R.J. & ZAIA, D.A.M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 01, p.83-91, 2008.

SILVA, M.O.; DUDA, G.P.; MENDES, A.M.S.; & OLIVEIRA, D.A. Desempenho da mucuna preta quando adubada com diferentes tipos de fósforo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 07, n. 01, p. 127-132, 2007.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâmina de água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 63-67, 1990.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.10, p.2057-2064, out. 2000.

SOARES, A.L.L.; FERREIRA, P.A.A.; PEREIRA, J.P.A.R.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B. & MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:803-811, 2006.

Solomonson LP, Barber MJ (1990) Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mo1 Biol* 41: 225-253

SOUTO, J.S.; OLIVEIRA, F.T.; GOMES, M.M.S.; NASCIMENTO, J.P.; SOUTO, P.C. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp). *Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)* v.4, n.1, p.135 - 140 janeiro/março de 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p

TEO, Y.H.; BEYROUTY, C.A.; NORMAN, R.J.; GBUR, E.E. Nutrition uptake relationship to root characteristics of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 171, p.297-302, 1995.

TERUEL, D.A.; DOURADO-NETO, D.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. *Scientia Agricola*, v.58, n.1, p.55-60, jan./mar. 2001.

TIFFNEY, B.H.; NIKLAS, K.J. Clonal growth in land plants: a palaeobotanical perspective. In: JACKSON, J.B.C.; BUSS, L.W.; COOK, R.E. (Ed.) **Population biology and evolution of clonal organisms**. New Haven: Yale University Press, 1985. p.35-66.

Tiritan, C. S.; Foloni, J. S. S; Sato, A M; Mengarda, C. A., Santos. D. H. Influência do Molibdênio Associado ao Cobalto na Cultura da Soja, Aplicados em Diferentes Estágios Fenológicos. *Colloquium Agrariae*, v. 3, n.1, Jun. 2007, p. 1-07

TOLEDO, M. Z.; GARCIA, R. A.; PEREIRA, M. R. R.; BOARO, C. S. F.; LIMA, G. P. P. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 858-864, 2010.

TOLLER, E.V.; BÁRBARO, I.M.; BÁRBARO-JÚNIOR, L.S. Análise de parâmetros de fixação biológica de nitrogênio em cultivares comerciais de soja. *Nucleus*, v.6, n.1, abr. 2009.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v.104, p.199- 209, 2005.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BERGAMIN A.C.; VENTUROSOS L.R.; SCHLINDWEIN J.A.; CARON, B.O & SCHMIDT, D. • Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. *Scientia Agraria*, v. 09, n. 03, p. 369-375, 2008.

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L; PIRES, J.L.F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.34, n.2, p.195-199, fev. 1999.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 91-96, 1984.

XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; CAMPOS, F.L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.37, p.56-564, 2007.

YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (ED.). **Inte-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Lavras, 1999.0p.143-161.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R.A.; FONSECA, I.N.; SEIFERT A.L.; SANTIAGO, D.C.; CRESTE J.E; HARADA, A.; & CUCOLOTTI, M. Produtividade da cultura da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 26, n. 04, p. 477-484, 2005.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and boll. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 1259-1264, 1990.

ZAHARAN, H.H. *Rhizobium*-Legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. **Microbiology Molecular Biology Reviews**, v.63, n.4, p. 968-989, 1999.

ZILLI, J.E.; VILARINHO, A.A.; ALVES, J.M.A. (Eds.). **A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira**. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2009a. 360 p.

ZILLI, J.E.; MARSON, L.C.; MARSON, B.F.; RUMJANEK. N.G.; XAVIER, G.R. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. **ACTA AMAZONICA**, v. 39, n.4, p. 749-758, 2009b.

ZUCARELI, C.; JUNIOR, E.U.R; BARREIRO, A.P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. *Rev. bras. sementes* [online]. 2006, vol.28, n.1, pp. 9-15. ISSN 0101-3122.

8. ANEXOS

8.1. Cálculo para as Doses de P

- Partindo do Sistema de Produção de Soja do Brasil Central (EMBRAPA, 2002), a indicação de adubação fosfatada foi realizada de acordo com a classe de disponibilidade de P e o teor de argila para solos do Cerrado;
- O percentual de argila dos solos de Primavera do Leste (MT) e Sinop (MT) estava entre 40 a 60 % (vide *Análise de solo*);
- Foram atribuídas as doses: 0, 100, 200, 300 e 400 kg.ha⁻¹ de P₂O₅;
- A partir daí, calculou-se a massa do P, que foi encontrada dividindo-se P₂O₅ por 2,29 já que P₂O₅ = (31 x 2) + (16 x 5) = 62 + 80 = 142 dividido por 62 (P₂). Logo os valores de P₂O₅ para 100, 200, 300 e 400 kg.ha⁻¹, são respectivamente: 44;88;131 e 174 mg P.vaso⁻¹.

kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	mg.vaso ⁻¹ de P
0	0
100	44
200	88
300	131
400	175

8.2. Cálculo para as Doses de Mo

- Recomendação: 12 a 30g.ha⁻¹
- Cálculo do percentual de Mo no molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, cujo massa molecular é de 1235,9), que corresponde a 54,3%.

Doses (g.ha ⁻¹ de Mo)		Dose (mg/planta de Mo)	Dose (mg/planta de molibdato de amônio)	ml de solução por vaso
Controle	0	0	0	0
Baixa	8	0,057	0,105	1,5
Média	16	0,114	0,210	3,0
Média-Alta	32	0,229	0,421	6,0
Alta	64	0,457	0,841	12,0
Nitrogenada	0	0	0	0

- Totalizando os valores para 36 vasos:

Total de mg molibdato de amônio	9,46
Total de ml	135

- Para preparar a solução será necessária a utilização de 0,15ml de espalhante adesivo a cada 1L de solução. Para fabricação de 1L de solução foi utilizado 70,1mg de molibdato de amônio, ou seja, uma concentração de 70,10 mg.L⁻¹ de molibdato de amônio.

135,015mL	9,46mg
1000mL	70,10mg

8.3. Cálculo para as Doses Co

- Recomendação: 2 a 3g.ha⁻¹.
- Cálculo do percentual de Co no cloreto de cobalto (CoCl₂.6H₂O), cujo massa molecular é de 237,9) que corresponde a 24,8%.

Doses (g.ha ⁻¹ de Co)		Dose (mg.planta ⁻¹ de Co)	Dose (mg.planta. ⁻¹ de cloreto de cobalto)	Solução (ml.vaso ⁻¹)
Controle	0	0,000	0,000	0
Baixa	2	0,014	0,056	1,5
Média	3	0,021	0,086	2,25
Média-Alta	4	0,029	0,117	3,0
Alta	6	0,043	0,173	4,5
Nitrogenada	0	0,000	0,000	0

- Totalizando os valores para 36 vasos:

Total de mg cloreto de cobalto	2,6
Total de ml	67,5

- Para preparar a solução foi necessária a utilização de 0,15ml de espalhante adesivo a cada 1L de solução. Para fabricação de 1L de solução foi utilizado 38,4mg de cloreto de cobalto, ou seja, uma concentração de 38,4 mg.L⁻¹ de cloreto de cobalto.

67,65mL	2,6mg
1000mL	38,4mg