Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz e de feijoeiro e da fixação biológica de nitrogênio por cultivares de feijoeiro

Vinícius Ide Franzini

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Vinícius Ide Franzini
Engenheiro Agrônomo

Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz e de feijoeiro e da fixação biológica de nitrogênio por cultivares de feijoeiro

Orientador:
Prof. Dr. **TAKASHI MURAOKA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Franzini, Vinícius Ide
Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz e de feijoeiro e da fixação biológica de nitrogênio por cultivares de feijoeiro / Vinícius Ide Franzini. - - Piracicaba, 2010.
188 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Arroz 2. Feijão 3. Fixação de nitrogênio 4. Fósforo 5. Micronutrientes 6. Relação solo-planta I. Título

CDD 633.18
F837e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, José Carlos e Luzia,
pelo amor e exemplo de vida,
e por tantas vezes que abdicaram de vossos sonhos para realizar os meus.

À minha irmã, Patrícia,
pelo amor, incentivo e apoio.

E à minha esposa, Roberta, pelo amor, carinho e companheirismo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Takashi Muraoka pela valiosa orientação, amizade, confiança e valiosos ensinamentos profissionais;

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de realização do curso;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), por permitir o uso das instalações do laboratório de Fertilidade do Solo para realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo;

Aos professores José Miguel Barea Navarro e Rosario Azcón, e ao Dr. Ricardo Aroca pela orientação no curso realizado na Espanha e pela amizade;

À Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Universidad de Granada pela oportunidade de realização do XLV Curso Internacional de Edafología, Fertilidad de Suelos y Biología Vegetal;

À International Atomic Energy Agency (IAEA) pela concessão de recurso financeiro para a realização deste trabalho (projeto 13779);

À Embrapa Arroz e Feijão (CNPAF) e ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pelo fornecimento de sementes dos cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum;

Às funcionárias do Laboratório de Fertilidade do Solo do CENA/USP Marileusa A. Bassi e Sandra Tereza Pereira pelo auxílio na realização das análises laboratoriais e pela amizade;

Aos funcionários do CENA/USP Fernanda Meucci, João Salvador e Henriqueta pela amizade e ensinamentos;

Às funcionárias da secretária do departamento de Ciência do Solo da ESALQ, Nancy e Marta, pela contribuição para a realização deste trabalho e pela amizade;

Às funcionárias da biblioteca da ESAQ, Silvia Zinsly e Eliana Garcia, pela contribuição para a realização deste trabalho;

Aos amigos e companheiros de pós-graduação: Alinne, Anderson, Denis, Diogo, Edson, Felipe, Fernando, Freddy, Héctor, Rodrigo, Tatiana e Zaqueu, pelos ótimos momentos compartilhados;

À Fernanda pela grande colaboração neste trabalho e pela distinta amizade;

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

“As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso”.

Alberto Santos Dumont

SUMÁRIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
1 INTRODUÇÃO 15
2 DESENVOLVIMENTO 19
2.1 Revisão Bibliográfica 19
2.1.1 Nitrogênio e fósforo no sistema solo-planta 19
2.1.2 Cultivares de arroz de terras altas 20
2.1.3 Cultivares de feijoeiro comum 22
2.1.4 Eficiência de uso de fósforo pelas plantas 25
2.1.5 Relação entre eficiência de uso de P e micronutrientes nas plantas 29
2.1.6 Fixação biológica de N_2 na cultura do feijoeiro comum 30
2.1.7 Métodos isotópicos com ^{32}P e ^{15}N 34
2.2 Material e métodos 36
2.2.1 Caracterização do solo 36
2.2.2 Calagem, fertilização e marcação do solo com ^{32}P ou ^{15}N 37
2.2.3 Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum 38
2.2.4 Análises químicas nas amostras vegetais 39
2.2.5 Determinação da atividade do ^{32}P e enriquecimento de ^{15}N nas amostras vegetais 40
2.2.6 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras altas 40
2.2.7 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de feijoeiro comum 41
2.2.8 Eficiência da fixação biológica de N_2 por cultivares de feijoeiro comum 42
2.2.9 Cálculos e análise dos dados 43
2.2.9.1 Fósforo (^{32}P) 43
2.2.9.2 Nitrogênio (^{15}N) 45
2.2.9.3 Análises estatísticas 48
2.3.1 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras altas 50
2.3.2 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de feijoeiro comum. 90
2.3.3 Eficiência da fixação biológica de N_2 por cultivares de feijoeiro comum 123
3 CONCLUSÕES 169
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 171

REFERÊNCIAS 173

RESUMO

Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz e de feijoeiro e da fixação biológica de nitrogênio por cultivares de feijoeiro

O fósforo (P) é considerado um dos principais nutrientes que limitam a produtividade do arroz de terras altas e do feijoeiro comum no Brasil, principalmente em muitos solos da região do Cerrado. A seleção de genótipos mais eficientes no uso de P é alternativa para a redução de gastos com adubação fosfatada e cultivo em solos mais pobres em P. O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em quantidades mais elevadas pelo feijoeiro comum. A seleção de genótipos mais eficientes na fixação biológica de N2 (FBN) é alternativa para reduzir os gastos com fertilizantes nitrogenados. O presente trabalho constou de três experimentos realizados em casa-de-vegetação do Laboratório de Fertilidade do Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo (CENA/USP). Em dois estudos foram cultivadas plantas de 47 genótipos de arroz de terras altas e 50 de feijoeiro comum em amostras de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico, utilizando-se a técnica com o isótopo ^{32}P para identificar os cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais eficientes quanto ao uso de P, descontando-se o P proveniente das sementes, e verificar se os mais eficientes ou com maior acúmulo de P na planta apresentam menores concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). No terceiro estudo cultivou-se 25 genótipos de feijoeiro comum em amostras de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico, com a técnica com ^{15}N, para identificar os cultivares de feijoeiro comum que mais se beneficiam da FBN, e verificar se a quantidade de N proveniente da FBN é suficiente para substituir completamente a adubação nitrogenada mineral. Foram observadas diferenças entre os cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum quanto à eficiência de absorver P. O cultivar de arroz de terras altas Carisma e os de feijoeiro comum Sangue de Boi, Rosinha, Thayú, Grafite, Horizonte, Pioneiro e Jalo Precoce são os mais eficientes em absorver P. O P presente nas sementes influencia a identificação dos cultivares de feijoeiro comum mais eficientes na absorção de P, mas esse efeito não ocorre para os cultivares de arroz de terras altas. A concentração e a acúmulo dos micronutrientes Cu e Fe nos grãos dos cultivares de arroz de terras altas diminuem com o aumento da eficiência de absorção de P. No entanto, a concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos dos cultivares de feijoeiro comum não diminuem com o aumento da eficiência de absorção de P. Os cultivares mais eficientes na FBN são Horizonte, Roxo 90, Grafite, Aporé e Vereda, quando inoculados com a estirpe CIAT 899 de Rhizobium tropici e desenvolvidos na presença de N mineral. A FBN não é capaz de suprir todas as demandas de N para as plantas dos cultivares de feijoeiro comum.

Palavras-chave: Eficiência de absorção; Micronutrientes; Nitrogênio; *Phaseolus vulgaris* L.; *Oryza sativa* L

ABSTRACT

Phosphorus use efficiency by rice and common bean cultivars and biological nitrogen fixation efficiency by common bean cultivars

Phosphorus (P) is considered one of the most limiting nutrients for upland rice and common bean production in Brazil, especially in many soils of the Cerrado region. The selection of genotypes more efficient in P utilization is an alternative for reducing the cost on phosphate fertilizers for cropping in low P soils. Nitrogen (N) is the most absorbed nutrient by the common bean. The selection of genotypes more efficient in biological nitrogen fixation (BNF) is an alternative to reduce cost with N fertilizers. Three experiments were carried out in the greenhouse of the Soil Fertility Laboratory, Center for Nuclear Energy in Agriculture, University of S. Paulo (CENA/USP). In two studies 47 genotypes of upland rice and 50 of common bean were grown in samples of dystrophic Typic Haplustox, using ^{32}P isotope technique to identify most efficient rice and bean cultivars on P utilization, discounting the seed derived P to verify if the most efficient ones or the higher P acumulator have lower concentrations of copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). In the third study 25 common bean genotypes were grown in samples of dystrophic Typic Haplustox to identify, by the ^{15}N technique, the bean cultivars that most benefit from the BNF, and verify if the amount of N from BNF is sufficient to completely replace mineral N fertilization. Differences were observed on P uptake efficiency among the upland rice and common bean cultivars. The upland rice cultivar Carisma, and common bean cultivars Sangue de Boi, Rosinha, Thayú, Grafite, Horizonte, Pioneiro, and Jalo Precoce are the most efficient on P uptake. The seed derived P from influences the identification of common bean cultivars on P uptake efficiency, but this effect does not occur for the upland rice cultivars. The concentration and accumulation of micronutrients Cu and Fe in grain of upland rice cultivars decreases with increasing P uptake efficiency. However, the concentration and accumulation of micronutrients Cu, Fe, Mn and Zn in the seeds of common bean cultivars did not decrease with increasing P uptake efficiency. The cultivars Horizonte, Roxo 90, Grafite, Aporé and Vereda are more efficient for BNF, when inoculated with the strain of Rhizobium tropici CIAT 899 and grown in the presence of mineral N. The BNF is not sufficient for supplying all N demand of common bean cultivars plants.

Keywords: Uptake efficiency; Micronutrients; Nitrogen; *Phaseolus vulgaris* L.; *Oryza sativa* L

1 INTRODUÇÃO

O número de pessoas consideradas desnutridas no mundo é de 854 milhões, sendo 820 nos países em desenvolvimento. O arroz e o feijão são excelentes fontes naturais de vitaminas e minerais para a alimentação humana; o arroz apresenta grande importância social, pois participa da dieta básica de mais 50 % da população mundial e o feijão é a principal fonte de proteína vegetal na alimentação de países da América Latina. No Brasil, mesmo a população de poder aquisitivo mais elevado também se alimenta diariamente com pelo menos uma refeição com arroz e feijão, e o resto da população consome até duas vezes por dia, sendo, portanto, os dois alimentos de maior importância econômica e social do país.

A maioria dos solos agricultáveis no mundo é deficiente em algum nutriente das plantas, e o fósforo (P) é considerado o que limita a produção das culturas em aproximadamente 5,7 bilhões de hectares nesses solos. Os fosfatos na natureza são recursos escassos, não renováveis e sem sucedâneos, assim, seu esgotamento é inevitável. Além disso, estima-se que mais de 90% do total de P aplicado no solo como fertilizante pode ser rapidamente transformado em formas não prontamente disponíveis em solos altamente intemperizados pelo processo genericamente denominado de fixação (que engloba os fenômenos de adsorção específica e precipitação). No Brasil, principalmente em muitos solos da região sob Cerrado, a deficiência de P é considerada um dos principais fatores que limitam a produtividade do arroz de terras altas e do feijoeiro comum.

Esses fatores associados aos recentes aumentos nos preços dos fertilizantes fosfatados, e até mesmo nos preços dos alimentos, indicam a necessidade de estudos com o objetivo de desenvolver estratégias para aumentar a eficiência das fontes de P. Uma alternativa é identificar e selecionar cultivares mais eficientes no uso (absorção e utilização) de P para o cultivo. Nesse sentido, existe a técnica isotópica com ^{32}P, que permite avaliar diferenças entre espécies vegetais ou cultivares quanto a absorção de P do solo da fração menos disponível para as plantas. No entanto, a seleção de cultivares com alta eficiência de absorção de P também pode reduzir a absorção e a concentração de micronutrientes na planta. Atualmente é cada vez maior a demanda

por cultivares que apresentem produtos de elevada qualidade nutricional e não somente altamente produtivos. Assim, deve se selecionar cultivares mais eficientes no uso de P e com alta concentração de micronutrientes nos grãos.

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro comum. Apesar da fixação biológica de N_2 (FBN) pelo feijoeiro ser alternativa para reduzir os custos com fertilizantes nitrogenados, os inoculantes de rizóbio são empregados em somente 2 a 3% da área cultivada com essa cultura. Estudos em condições de campo têm demonstrado que é possível alcançar produtividades acima de 2.500 kg ha^{-1} de grãos de feijão em função do processo de FBN, sem adição de N mineral. No entanto, diferentemente da cultura da soja, no feijoeiro ainda não existe consenso do potencial de fornecimento de N da FBN as plantas, ou, até mesmo se a quantidade N fornecida pela FBN é suficiente para substituir toda a fertilização nitrogenada mineral para se obter altas produtividades de grãos (3 Mg ha^{-1}).

A identificação de cultivares de feijoeiro comum mais eficientes em se associar com estirpe de rizóbio tolerante a estresses (temperaturas elevadas do solo), como a CIAT 899 de *Rhizobium tropici*, pode resultar em maior eficiência de inoculação e, assim, aumentar a contribuição do N proveniente da FBN na nutrição da planta. Dependendo do cultivar de feijoeiro, o aumento do N proveniente da FBN pode ser suficiente para se substituir grande parte da adubação nitrogenada mineral, e com isso reduzir os gastos na adubação.

As hipóteses desse trabalho foram:

- Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de absorção de P, quando avaliados pela técnica do radioisótopo ^{32}P;
- O P proveniente das sementes afeta a identificação e classificação de cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum, quanto à eficiência de absorção de P;
- Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais eficientes em absorver P do solo, não são, necessariamente, os mais produtivos em termos de matéria seca da parte aérea (MSPA) ou de grãos (MSG);

- Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais eficientes em absorver P do solo apresentam menores concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na MSPA e nos grãos;
- Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum com maior produção de grãos (mais eficientes na utilização do P) ou de matéria seca total da parte aérea (MST) e acúmulo de P nos grãos ou na MST apresentam menores concentrações de Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos;
- Cultivares de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de se associarem com estirpe CIAT 899 de *Rhizobium tropici* e de fixarem N da atmosfera, pelo processo da fixação biológica de N_2;
- Dependendo do cultivar de feijoeiro comum, a quantidade de N proveniente da FBN pode ser suficiente para substituir completamente a adubação nitrogenada mineral. Assim, cultivares podem não diferirem significativamente em termos de produção de grãos, MSPA e raízes, quando cultivados na ausência ou presença de N-mineral;

Os objetivos desse estudo foram usar a técnica com os isótopos ^{32}P e ^{15}N para:

- Verificar se cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de absorção de P;
- Identificar e classificar, dentre 47 cultivares de arroz de terras altas e 50 de feijoeiro comum, os mais eficientes na absorção de P;
- Verificar se o P presente nas sementes influencia a identificação e classificação dos cultivares de arroz de terras altas ou de feijoeiro comum, quanto à eficiência de absorção de P;
- Identificar os cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais produtivos, em termos de grãos, em condições de baixo P disponível no solo (cultivares mais eficientes na utilização do P);
- Verificar se cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais eficientes em absorver P do solo apresentam menores concentrações de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA e nos grãos;

- Verificar se cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum com maior produção de grãos (mais eficientes na utilização do P) ou de MST e acúmulo de P nos grãos ou na MST apresentam menores concentrações de cobre, ferro, manganês e zinco nos grãos;
- Verificar se cultivares de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de se associarem com estirpe CIAT 899 de *Rhizobium tropici*, e de fixarem N da atmosfera, pelo processo da fixação biológica de N_2 (FBN);
- Identificar os cultivares de feijoeiro comum que mais se beneficiam da FBN;
- Comparar a eficiência da FBN em cultivares de feijoeiro comum, e verificar se a quantidade de N proveniente da FBN é suficiente para substituir completamente a adubação nitrogenada mineral.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Nitrogênio e fósforo no sistema solo-planta

O ciclo do N no sistema solo-planta-atmosfera é complexo, pois esse elemento pode sofrer vários processos de transformação e está presente em diversas formas no ambiente. O N_2 representa aproximadamente 78% dos gases da atmosfera, mas a maioria dos organismos não pode acessar diretamente esse reservatório devido à tripla ligação covalente excepcionalmente estável entre os dois átomos de N (N≡N) (MARSCHNER, 1995). A maior fração do N do solo está na forma orgânica. De acordo com Barber (1995), o N no solo divide-se em cinco categorias: (i) N na matéria orgânica; (ii) N mineral no solo e nos sítios de troca; (iii) N nos resíduos de plantas no solo; (iv) amônio (NH_4^+) em minerais de argila; e (v) N gasoso na atmosfera do solo.

Nas plantas, o N é encontrado em vários compostos orgânicos, destacando-se os aminoácidos e ácidos nucléicos, além de ser constituinte da molécula da clorofila. Assim, muitas reações bioquímicas em plantas envolvem a presença do N, que o torna um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas (MARSCHNER, 1995).

O P constitui cerca de 0,005 a 0,15% da superfície dos solos (HAVLIN et al., 2005). Esse elemento é considerado o fator que mais limita o desenvolvimento de plantas em solos altamente intemperizados de regiões tropicais (RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996). Nesses solos predominam os minerais de argila do tipo 1:1 e os óxi-hidróxidos de Fe e Al. O P no solo pode ser dividido em quatro amplas categorias: (i) P na forma iônica e em compostos na solução do solo; (ii) P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; (iii) minerais cristalinos e amorfos de P; e (iv) P na matéria orgânica (BARBER, 1995).

O P na planta é fundamental em todos os metabólitos relacionados com a aquisição, estocagem e utilização de energia (MARSCHNER, 1995), pois atua como um transportador de energia química, como na adenosina trifosfato (ATP). O P faz parte de moléculas grandes ou agrupamentos de moléculas como DNA, RNA e os fosfolipídeos das membranas.

2.1.2 Cultivares de arroz de terras altas

Os cereais, em especial o arroz, o trigo e o milho, constituem a base da alimentação humana, contribuindo com cerca da metade da ingestão energética e protéica dos indivíduos (YOUNG; PELLET, 1994). No caso do arroz, estima-se que contribua com aproximadamente 20% do consumo mundial de energia e 15% e de proteína (KENNEDY; BURLINGAME, 2003). Os países asiáticos China e a Índia são os maiores produtores mundiais de arroz. O Brasil, com produção de 11,08 milhões de toneladas de arroz em casca e área cultivada de 2,9 milhões de hectares, é o maior produtor de arroz das Américas e o nono mundial (FAOSTAT, 2007).

O cultivo de arroz no Brasil é realizado em dois grandes ecossistemas, (i) várzeas (irrigado por inundação controlada), onde a orizicultura irrigada é responsável por 69% da produção nacional (GUIMARÃES et al., 2006) e (ii) terras altas, que engloba o de sequeiro e o com irrigação suplementar por aspersão, e é caracterizado pela condição aeróbia de desenvolvimento radicular.

A cultura do arroz de terras altas apresenta grande importância econômica e social no Brasil, pois contribui com 32% do total de arroz produzido no país (FAGERIA et al., 2004). Apesar de sua produtividade ser baixa em comparação com a do arroz irrigado, em áreas favorecidas e com o uso correto de insumos, pode-se conseguir produtividades superiores a 3000 kg ha^{-1} (FAGERIA et al., 2004). O lançamento de cultivares de arroz de terras altas modernos, cujos grãos são classificados como longo-fino, criou condições competitivas favoráveis para este tipo de arroz em relação ao arroz irrigado (VILLAR et al., 2005).

O cultivo do arroz de terras altas ocorre principalmente na região do Cerrado, cujos solos possuem baixa fertilidade química natural (GOEDERT, 1989). Os

Latossolos da região onde o arroz de terras altas é cultivado, em geral, são de baixa fertilidade química natural, sendo o P o nutriente que mais limita a produtividade dessa cultura (FAGERIA et al., 2004). A deficiência generalizada de nutrientes nos solos, dessa região onde o arroz de terras altas é cultivado, é um dos fatores que explicam a menor participação do arroz de terras altas na produção total desse cereal no país. Nessa região predominam os Latossolos, que são caracterizados por boas características físicas (solos bem drenados, aerados e profundos), mas apresentam baixa fertilidade química natural.

Dentre os nutrientes, o P é considerado um dos principais fatores que limitam a produtividade do arroz de terras altas em solos altamente intemperizados em várias partes do mundo (SANCHEZ; SALINAS, 1981), como nos Latossolos da região sob Cerrado (FAGERIA; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 1982). Nessa região, cerca de 90% das análises químicas de amostra de terra coletadas apresentaram teor de P disponível (Mehlich-1) inferior a 2 mg dm^{-3} (LOPES; COX, 1977). A deficiência desse nutriente é causada pelo baixo teor de P e pela fixação do elemento no solo (SANCHEZ; SALINAS, 1981). As principais propriedades dos solos que estão relacionadas com a fixação do P são os teores de Fe, Al e argila, além do tipo do mineral de argila presente nesses solos (HAVLIN et al., 2005). Apesar disso, há possibilidade de expansão do cultivo de arroz de terras altas em áreas novas na região sob Cerrado, principalmente no Estado do Mato Grosso, considerada fronteira agrícola do país (VILLAR et al., 2005).

As melhores estratégias no manejo da adubação fosfatada para o cultivo do arroz de terras altas são o uso de doses de P adequadas, aplicação do fertilizante em faixas (localizado no solo) em solos com baixos teores de P e alto poder de fixação, aplicação de calcário em solos ácidos, promover associação com fungos micorrízicos e o uso de genótipos eficientes (FAGERIA, 2001).

Cultivares de arroz de terras altas diferem na utilização de P e esta característica poderia ser explorada nos programas de melhoramento genético (FAGERIA et al., 1988). Em experimento de campo, foi verificado que os genótipos CNA515-3-1 e o CNA095-BM30-BM9-4, cultivados num Latossolo (teor de P de 0,8 mg kg^{-1} disponível extraído por Mehlich-1), produziram 0,81 Mg ha^{-1} e 2,50 Mg ha^{-1}, respectivamente

(FAGERIA et al., 1988). Em outro estudo, observaram-se diferenças na eficiência de absorção e utilização de P ao avaliar nove cultivares de arroz de terras altas, sendo cinco classificados como tradicionais (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga e Guarani) e quatro modernas (Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera) (MATIAS, 2006). Nesse estudo, o cultivar Curinga foi eficiente em absorver e utilizar P (MATIAS, 2006). Dentre 51 linhagens de arroz de terras altas provenientes do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão, as linhagens CNA 4634, CNA 4120 e CNA 3178 foram mais eficientes no uso de P (GUIMARÃES; STONE; NEVES, 2007).

2.1.3 Cultivares de feijoeiro comum

As fontes de proteína de origem vegetal são amplamente utilizadas para a alimentação humana, pois apresentam baixo custo e ao menor teor de gordura, quando comparados aos alimentos de origem animal. O feijão apresenta cerca da metade do teor de proteína em comparação à soja, porém possui maior digestibilidade protéica (78,70%) (PIRES et al., 2006).

O feijão apresenta em sua constituição todos os aminoácidos essenciais; é rico em lisina, mas limitante em aminoácidos sulfurados – metionina e cisteína (FONSECA MARQUES; BORA, 2000; GUZMÁN-MALDONADO, ACOSTA-GALLEGOS, PAREDES-LÓPEZ, 2000; PIRES et al., 2006). Assim, a combinação com cereais (por exemplo, o arroz) se faz necessária, para obter dieta com conteúdo de aminoácidos mais adequados aos requisitos nutricionais da espécie humana. Além disso, este alimento é uma das principais fontes de vitamina A, Fe e outros nutrientes, como o Zn, para a população de países em desenvolvimento (MESSINA, 1999; TRUGO et. al., 2000).

O Brasil, com produção de 3,33 milhões de toneladas de feijão e área cultivada de 3,9 milhões de hectares, é o maior produtor mundial de feijão (FAOSTAT, 2007). No país, o feijoeiro é cultivado em diferentes épocas de semeadura; geralmente essas épocas se concentram em três períodos, denominados: “feijão das águas”, de Setembro a Novembro; “feijão das secas”, de Janeiro a Março; e “feijão de inverno”, de Maio a Julho (STONE; SARTORATO, 1994). Essa leguminosa é cultivada em todo o país, nos sistemas de cultivo solteiro ou consorciado com outras culturas. Além disso, essa

cultura é reconhecida não somente como de subsistência em pequenas propriedades como também de interesse de produtores que utilizam mais tecnologias, como a irrigação e a colheita mecanizada (STONE; SARTORATO, 1994).

O feijoeiro é exigente em nutrientes e, por ser de ciclo curto, necessita que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda, para não limitar a produtividade (SILVA; SILVEIRA, 2000). Além disso, é uma das principais culturas plantadas na entressafra, em sistemas irrigados, nas áreas da região sob Cerrado (BARBOSA FILHO; FAGERIA; SILVA, 2001). Os baixos teores de P e a alta capacidade de fixação deste nutriente nos solos dessa região tornam-se uma das principais limitações à produtividade agrícola. Para se conseguir altas produtividades dessa cultura é necessária a aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados (CARVALHO et al., 1995). Além da aplicação de corretivos e fertilizantes para minimizar esse problema, outra estratégia seria identificar e possivelmente explorar o uso das diferenças genotípicas nesta cultura para a eficiência na absorção e utilização do P, o que pode reduzir os gastos com fertilizantes fosfatados (OLIVEIRA et al., 1987; LANA et al., 2006). Neste sentido, Lana et al. (2006) avaliaram oito genótipos de feijoeiro (BAT 477, Carioca MG, Emgopa 201, Jalo Precoce, Pérola, Rosinha, Roxo e Xamego) e após 45 dias da germinação classificaram como eficientes na absorção e utilização de P os genótipos BAT 477, Jalo Precoce e Roxo.

A distinta capacidade de absorção de P entre genótipos pode ser causada pela liberação de ácidos orgânicos pelas raízes que pode disponibilizar nutrientes pouco solúveis do solo como o P (MARSCHNER, 1995; JONES, 1998), pelo tamanho do sistema radicular (O´TOOLE; BLAND, 1987); distribuição, arquitetura e raio radicular (LYNCH; van BEEM, 1993; BONSER; LYNCH; SNAPP, 1996; ARAÚJO; TEIXEIRA; ALMEIDA, 1998) e eficiência da simbiose com micorrizas (SMITH; ROBSON; ABBOTT, 1992).

As principais características das cultivares de feijoeiro comum de interesse pelo programa de melhoramento genético do feijoeiro comum da Embrapa Arroz e Feijão são cultivares mais produtivas, com melhor qualidade de grãos, plantas eretas com alta inserção de vagens (propicia a colheita mecânica com baixo índice de perdas e reduz a incidência de doenças devido melhor aeração nas plantas) e com resistência às

principais doenças do feijoeiro comum (DEL PELOSO et al., 2009). As cultivares de feijoeiro comum desenvolvidas pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) apresentam alto potencial de rendimento, resistência as doenças, tolerância a seca e ao calor e redução do tempo de cocção (MODA-CIRINO, 2009). O programa de melhoramento genético do feijoeiro do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) disponibilizou nos últimos anos várias cultivares de alta capacidade produtiva e resistente as principais doenças dessa cultura (CARBONELL; CHIORATO, 2009). Portanto, observa-se que os principais programas de melhoramento genético do feijoeiro comum no Brasil não objetivam produzir cultivares mais eficientes em absorver e utilizar nutrientes, como o P.

Os cultivares de feijoeiro comum também diferem quanto à eficiência de uso de N (SANTOS; FAGERIA, 2007) e de S (FURTINI NETO et al., 2000), à resposta a calagem (SILVA et al., 2004) e ao conteúdo de aminoácidos nos grãos (RIBEIRO et al., 2007). O cultivar BRS Pontal, cultivado em várzea tropical, foi o mais produtivo e apresentou maior eficiência de uso de N que os cultivares BRS Grafite, BRS Valente, Pérola, BRS Radiante e Jalo Precoce (SANTOS; FAGERIA, 2007). Dentre os cultivares Carioca, Ouro e H-4, o Carioca apresenta maior eficiência de uso de S (FURTINI NETO et al., 2000). O cultivar Pérola apresenta sistema radicular mais tolerante à baixa saturação por bases em comparação aos cultivares Campeão 1, Carioca e FT-Bonito (SILVA et al., 2004). Dentre 19 cultivares de feijoeiro comum (Diamante Negro, Guateian 6662, TPS Nobre, BRS Expedito, Pérola, Carioca, Minuano, Macanudo, Rio Tibagi, Iapar 44, BRS Valente, FTS Soberano, TPS Bionobre, FTS Magnífico, Guapo Brilhante, TPS Bonito, Iraí, IAPAR 31 e Macotaço), o Iraí apresenta composição de aminoácidos adequada, é indicado para a composição de dietas e recomendado o uso em programas de melhoramento (RIBEIRO et al., 2007).

A identificação de cultivares de feijoeiro, dentre os disponíveis no mercado, mais eficientes em absorver e utilizar P é uma alternativa para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados e os custos de produção, e para o seu cultivo em condições de baixa disponibilidade desse nutriente, sem, contudo causar reduções significativas na produtividade.

2.1.4 Eficiência de uso de fósforo pelas plantas

A eficiência nutricional (EN) é expressa por vários índices na literatura. Esses índices são utilizados para avaliar e otimizar a EN, com o objetivo de ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção das culturas. A EN pode expressar a relação entre a produção obtida e insumos aplicados, isto é, a produção de matéria seca ou de grãos por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1998). A EN também pode ser definida como a produção relativa de genótipo em solo deficiente em comparação com sua produção no nível ótimo de nutrientes (GRAHAM, 1984). Cooke (1987) define a EN como o aumento de produtividade por unidade de nutriente aplicado. De acordo com Israel e Rufty Júnior (1988), a EN é a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido.

A EN pode ser expressa e calculada de cinco maneiras (MARANVILLE et al., 1980; SIDDIQI; GLASS, 1981; FAGERIA, 1992): (i) eficiência agronômica, que é a produção econômica obtida (grãos no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado; (ii) a eficiência fisiológica, que é a produção biológica obtida (grãos mais palha em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado; (iii) eficiência na produção de grãos, que é a produção de grão obtida por unidade de nutriente acumulado; (iv) eficiência de recuperação do nutriente aplicado, que é a quantidade de nutriente acumulado na planta por unidade de nutriente aplicado; (v) eficiência de utilização, que é o produto das eficiências fisiológica e de recuperação.

Outro índice utilizado é a eficiência no uso de nutrientes (EUN) pelas plantas, definida como a produção por unidade de nutriente aplicado (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001). Este índice é o produto de dois fatores: eficiência de utilização (produção obtida por unidade de nutriente absorvida pela planta) e a eficiência de absorção, que é a quantidade de nutriente absorvido por unidade de nutriente aplicado (MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982).

A produção de grãos é o melhor parâmetro para avaliação da eficiência nutricional em culturas anuais em condições de campo e em caso de experimentos em condições controladas, tanto a produção de grãos como a de matéria seca podem ser utilizadas como parâmetro de avaliação da eficiência nutricional (FAGERIA et al., 1988).

No entanto, a eficiência de utilização (EU), outro índice de eficiência, é definida como a capacidade de converter o elemento absorvido pela planta em produto agrícola de interesse comercial (folha, fruto, raiz e caule) (MALAVOLTA, 2006). Assim, mesmo em experimentos realizados em casa de vegetação, com o objetivo de selecionar genótipos de culturas graníferas mais eficientes no uso de nutrientes, as plantas devem ser desenvolvidas até a produção de grãos. A eficiência de utilização deve ser o resultado da interação positiva entre absorção, transporte, redistribuição e metabolismo (MALAVOLTA, 2006).

A EUN ou aproveitamento dos nutrientes aplicados como fertilizantes pelas culturas anuais é baixo em solos altamente intemperizados de regiões de clima tropical. A estimativa do aproveitamento dos nutrientes, no ano de aplicação dos fertilizantes, é menor que 50% e 10% para o N e P, respectivamente, e de aproximadamente 40% para o potássio (K) (BALIGAR; BENNETT, 1986 a, b). Esses baixos valores de eficiência ocorrem por causa de perdas significantes de nutrientes, por exemplo, por lixiviação, erosão, emissão de gases e fixação no solo (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001). Além disso, o uso de genótipos menos eficientes em absorver nutrientes é outro fator que pode justificar esses altos valores de perdas.

A aplicação de fertilizantes fosfatados em doses altas em solos intemperizados de regiões tropicais é justificada pela fixação elevada desse elemento (NOVAIS; SMYTH, 1999). Alguns autores estimaram que mais de 90% do total de P aplicado no solo pode ser rapidamente transformado em formas não prontamente disponíveis (SANCHEZ; SALINAS, 1981). Dentre as estratégias definidas por Goedert e Sousa (1986) para aumentar a eficiência das adubações fosfatadas, inclui-se a utilização de plantas mais eficientes na absorção e aproveitamento do P.

A EUN, comumente denominada de aproveitamento ou recuperação dos nutrientes pelas plantas é influenciada por fatores relacionados ao solo (acidez, alcalinidade, salinidade), ao manejo da adubação, aos sistemas de cultivo (convencional ou plantio direto), ao clima e a eficiência das plantas (espécies, variedades ou cultivares) (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001). A necessidade de P por alguma espécie pode ser reduzida pelo uso de genótipos eficientes (FAGERIA, 2001). A eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados pode ser afetada pelas propriedades

do solo, fontes de P e métodos de aplicação, e pelas espécies vegetais (CHIEN; MENON, 1995).

A diferença entre cultivares na capacidade de absorver formas de P menos disponíveis do solo é função de pelo menos três propriedades distintas: (i) capacidade fisiológica para absorver P de soluções diluídas, (ii) exsudação de ácidos orgânicos que promovem a solubilização do P adsorvido e (iii) maior desenvolvimento do sistema radicular, que resulta em maior exploração do volume de solo (LONERAGAN, 1978).

O melhoramento genético foi responsável por aumentos nas produtividades da maioria das culturas durante a segunda metade do século XX. Isso ocorreu pela identificação de mecanismos que influenciam a nutrição mineral existentes em genótipos e pela obtenção de novos cultivares mais eficientes no uso dos nutrientes (SARIC, 1987). Apesar desse avanço, a média de produtividade da maioria das culturas ainda é muito menor que os potenciais máximos registrados. Formula-se a hipótese que cultivares modernos teriam baixa eficiência nutricional, por terem sido selecionadas em condições de alta fertilidade do solo (DUNCAN; BALIGAR, 1990).

A absorção e utilização de nutriente pelos cultivares são controladas geneticamente (CLARK; DUNCAN, 1991). A dificuldade é identificar o controle genético que governa a EUN, por exemplo, para o N, P e K, que é complexo por ser poligenético (DUNCAN; CARROW, 1999). Embora o uso de genótipos eficientes no uso de nutrientes seja uma solução complementar para aumentar a produtividade das culturas e reduzir o custo de produção em solos com baixa fertilidade (FAGERIA; SANTANA; MORAIS, 1995), atualmente os programas de melhoramento genético têm dado pouca importância para a obtenção de cultivares com maior eficiência na absorção e utilização dos nutrientes, sendo realizados em condições ótimas de fertilidade. Os programas de melhoramento deveriam considerar características das plantas como sistemas radiculares extensos e eficientes em explorar grandes volumes de solo para aumentar a EUN, além da capacidade de produção próxima da máxima econômica em baixos níveis de nutrientes no solo, que poderia contribuir para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001). No entanto, estes autores relatam que a identificação de características fisiológicas e bioquímicas hereditárias nos genótipos parece ser a barreira mais difícil para aumentar a EUN.

A identificação de material genético capaz de utilizar os nutrientes menos disponíveis no solo é uma importante estratégia de baixo custo para tornar viável a agricultura em regiões com solos de baixa fertilidade química (OTANI; AE, 1996). A prática de manejo com o uso de cultivares eficientes no uso de P deve ser adotada para aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados (FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999). Estudos têm sido desenvolvidos com várias culturas com o objetivo de identificar e selecionar genótipos mais eficientes em absorver e utilizar nutrientes no Brasil (MALAVOLTA; AMARAL, 1978; FURLANI et al., 1983; FAGERIA et al., 1988; FAGERIA; SANTANA; MORAIS, 1995; FAGERIA; BALIGAR, 1997; FAGERIA, 2000; FERNANDES; MURAOKA, 2002; RAPOSO et al., 2004; FAGERIA; BALIGAR, 2005; LANA et al., 2006; MURAOKA et al., 2006) e em outros países (PALMER; JESSOP, 1977; SCHENK; BARBER, 1979; CLARK; DUNCAN, 1991; LYNCH; van BEEM, 1993; LIAO et al., 2001; MUURINEN; KLEEMOLA; SAINIO, 2007).

Com o uso da técnica da diluição isotópica de ^{32}P, comparou-se a capacidade de diferentes espécies vegetais (canola, tremoço branco, guandu, soja, girassol e trigo) em absorver P da fração pouco disponível do solo, e foi observado que o tremoço branco foi a mais eficiente e soja a menos (HOCKING et al., 1997). Com o uso dessa mesma técnica, em estudo com 22 espécies de plantas foi observado que o tremoço, arroz, eucalipto, algodão e guandu foram as mais eficientes em absorver o P pouco disponível de solo da região sob Cerrado pobre nesse nutriente, enquanto a *Crotalária juncea*, o feijão caupi e soja foram classificadas como espécies pouco eficientes em absorver o P do solo (MURAOKA et al., 2006). Assim, em função da dificuldade de se identificar os mecanismos genéticos de controlam a EUN e pelos programas de melhoramento genético não priorizarem esta característica, uma alternativa para aumentar a EUN é a identificação dos genótipos mais eficientes, entre os disponíveis para cultivo.

2.1.5 Relação entre eficiência de uso de P e micronutrientes nas plantas

No contexto atual da produção agrícola brasileira, é cada vez maior a demanda por cultivares altamente produtivos, que apresentem produtos de elevada qualidade e ampla aceitação comercial (CRESTANI et al., 2010). A variabilidade encontrada nas plantas é a base do melhoramento genético para o desenvolvimento de cultivares tolerantes à baixa disponibilidade de nutrientes e à presença de elementos tóxicos (GLASS; SIDDIQI; GILES, 1981) e potencial genético para maior acúmulo de proteína no grão (MOLINO, 1992). O cultivar de alface do tipo Americana, cultivar Lucy Brown, apresentou maior teor de nitrato (importante índice da qualidade dos alimentos) que Mimosa Verde, Mimosa Vermelha, Vera, Regina (OHSE et al., 2009). Cultivares de aveia-branca apresentaram diferenças diferem quanto ao conteúdo de β-glucana nos grãos (CRESTANI et al., 2010).

Entre os alimentos consumidos diariamente pelos brasileiros, como a mandioca, o arroz, o feijão, o milho e o trigo, alguns cultivares de programas de melhoramento apresentam melhor qualidade nutricional (EMBRAPA, 2009). A biofortificação de produtos agrícolas objetiva a melhoria da qualidade dos alimentos pelo uso de genótipos com maior concentração de vitaminas, Fe e Zn (WELCH et al., 2005; CAKMAK, 2008). No entanto, tem se observado redução da qualidade dos alimentos em função dos aumentos de produtividade de cultivares obtido pelo melhoramento genético vegetal, por exemplo, redução da concentração de micronutrientes em grãos de trigo em resposta ao aumento de produtividade (GARVIN; WELCH; FINLEY, 2006; MURPHY; REEVES; JONES, 2008).

A seleção de cultivares com alta eficiência de absorção de P também pode reduzir a absorção e a concentração de micronutrientes, como o Zn, na planta (ZHU; SMITH; SMITH, 2002). Em cultivares de trigo e em linhas de duplos haplóides, as concentrações de Zn na parte aérea diminuíram com o aumento do total de P absorvido (ZHU; SMITH; SMITH, 2001).

Em estudo com oito cultivares de cevada, concluiu-se que a alta eficiência de absorção de P pode reduzir potencialmente o acúmulo de Zn nos tecidos vegetais, e isso deve ser considerado nos programas de melhoramento genético e de seleção de

cultivares eficientes no uso de P (ZHU; SMITH; SMITH, 2002). Além disso, os oito cultivares de cevada desenvolvimentos em condições de alta disponibilidade de P no substrato (areia) apresentaram redução na concentração de Zn na parte aérea, em comparação aos cultivados em baixa dose de P; esse efeito não foi atribuído totalmente a diluição do Zn no tecido vegetal, pois o total de Zn acumulado por planta foi significativamente maior em condições de baixa disponibilidade de P no substrato (ZHU; SMITH; SMITH, 2002). Essa relação inversa entre o P acumulado e a concentração de Zn na parte aérea das plantas foi relacionada com a translocação de P das raízes para a parte aérea, pois as concentrações de Zn na parte aérea foram correlacionadas negativamente com o influxo de P no xilema [IPX = total de P na parte aérea / ½ (biomassa de raiz) x dia (mg P/ g matéria seca raiz/ dia); assume-se que há aumento linear na produção de biomassa de raiz durante o período experimental]. No entanto, esse efeito não foi observado para os micronutrientes Cu e Mn.

A relação significativa e inversa entre P absorvido e concentração de Zn na parte aérea de plantas também foi observada em 20 cultivares de grão-de-bico, porém nesse estudo não houve correlação significativa entre a concentração de Zn na parte aérea e o IPX (SRINIVASARAO et al., 2006). Observa-se, portanto, que não há concordância de que genótipos mais eficientes no uso de P ou mais produtivos apresentam menor concentração de micronutrientes na planta (palha ou grãos), por algum efeito direto e não somente a diluição do micronutriente no tecido vegetal.

2.1.6 Fixação biológica de N_2 na cultura do feijoeiro comum

O N é o nutriente absorvido em quantidades mais elevadas pelo feijoeiro (OLIVEIRA; ARAUJO; DUTRA, 1996). Aproximadamente 50% do N total absorvido é exportado para os grãos e o restante permanece no solo, na forma de resíduos culturais (OLIVEIRA et al., 1996; FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999). Assim, entre as deficiências nutricionais que ocorrem na cultura do feijoeiro, a do N é a mais frequente.

A aplicação de N mineral nos solos tropicais pode resultar, em função das possíveis perdas de N no sistema solo-planta, em baixa resposta pela cultura do feijoeiro (PIASKOWSKI et al., 2001). A contribuição da adição de N ao solo por

processos físico-químicos, industriais (fertilizantes minerais) e biológicos é estimada em 10%, 25% e 65%, respectivamente (LOPES, 2007).

Alguns microrganismos são capazes de realizar o processo da FBN, que consiste em converter o N_2 atmosférico em amônia. Todos os microrganismos fixadores de N_2 são procariotos e possuem o complexo nitrogenase; esse complexo enzimático redox-ativo hidrolisa ATPs para efetuar a redução do N molecular (N_2). Por ser enzima redutora, o O_2 inibe a expressão da nitrogenase. Além da concentração de O_2, a disponibilidade energética da célula (ATP) e a de N em excesso, principalmente o amônio, são alguns dos fatores que inibem a atividade da nitrogenase (REIS et al., 2006). A FBN é semelhante à fixação industrial, pois produz amônia a partir de N e hidrogênio moleculares. No entanto, diferentemente da fixação industrial do N, a reação dos procariotos que fixam N é realizada em temperaturas e pressões ambientes.

A maioria desses procariotos que fixam N ocorre como microrganismos de vida livre (EPSTEIN; BLOOM, 2005), por exemplo: (i) microrganismos do grupo das *Cyanobacterias* - “algas verde-azuladas” (gêneros *Nostoc* e *Anabaena*), que formam associações com a plantas aquáticas do gênero *Azolla*; (ii) grupo dos Diazotróficos (*Azotobacter, Azospirillum, Beijerinckia*), sendo que esses microrganismos ocorrem na rizosfera, filosfera e mesmo no interior dos tecidos das plantas (bactérias endofíticas); (iii) bactérias anaeróbias não fotossintéticas (*Clostridium*) e fotossintéticas (*Rhodospirillum*).

A capacidade de FBN por bactérias associadas a plantas não-leguminosas tem sido relatada em algumas culturas, por exemplo, em cana-de-açúcar (DÖBEREINER, 1961; CAVALCANTE; DÖBEREINER, 1988; LI; MACRAE, 1992), mandioca (BALOTA et al., 1997), sorgo forrageiro (CHIARINI et al., 1998), coqueiro (SUBBA RAO, 1983; FERNANDES; FERNANDES; RODRIGUES, 2001). Outros procariotos, entretanto, formam associações simbiontes com plantas superiores em que o procarioto supre diretamente a planta com o N fixado e recebe outros nutrientes e carboidratos da planta hospedeira. Esses microrganismos são capazes de formar nódulos e pertencem principalmente ao grupo do rizóbio (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* e *Sinorhizobium*) e do gênero *Frankia*. Este termo designa o gênero de actinomiceto que

pode infectar as raízes de plantas não leguminosas, principalmente de arbóreas, e formar nódulos.

O Brasil é o maior usuário e produtor mundial de inoculantes para leguminosas, embora o uso desse produto esteja praticamente limitado a cultura da soja (LOPES, 2007). No ano agrícola de 2003/2004, do total de inoculantes comercializado (23,9 milhões de doses), 98,5% foi destinado a cultura da soja, 1% ao feijão e 0,5% a outras leguminosas.

O aumento do cultivo da soja para a região sob Cerrado se deve, além das correções e adubações para solucionar os problemas de baixa fertilidade química, principalmente à obtenção de inoculantes de rizóbio capazes de competir com a microflora de ecossistema perturbado, após a transformação do ambiente natural em solos cultivados (DÖBEREINER, 1990). No entanto, a FBN em feijoeiro tem problemas causados pela instabilidade genética das estirpes de rizóbios isoladas desta cultura, que é causada pelo rearranjamento freqüente do DNA (MARTÍNEZ et al., 1988). Este processo é acelerado em temperaturas elevadas (35 a 40°C), que frequentemente ocorrem nos solos brasileiros (DÖBEREINER, 1990).

Sob condições ambientais adequadas, o N_2 atmosférico fixado pela simbiose pode atender à maior parte das necessidades do feijoeiro (HUNGRIA; NEVES; VICTORIA, 1985). Entretanto, os fatores da acidez do solo, pH baixo e concentrações elevadas de Al tóxico, frequentemente, limitam todas as etapas do processo de infecção das raízes, formação de nódulos e assimilação do N pela planta (MARTINEZ-ROMERO et al., 1991). Após a descoberta do *Rhizobium tropici* (MARTINEZ-ROMERO et al., 1991) e com a seleção de estirpes mais eficientes, observou-se maior eficiência da inoculação na cultura do feijoeiro. A inoculação do feijoeiro, cultivado em solo sob Cerrado e com baixa ocorrência de rizóbios, propiciou aumento significativo de 244 kg na produtividade de grãos (VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000). Resposta significativa de aproximadamente 37% (465 kg de grãos) em produtividade à inoculação do feijoeiro cultivado em Londrina foi obtida por Hungria, Campos e Mendes (2003).

A maximização do uso de N pelo feijoeiro é importante por causa dos aspectos econômicos e ambientais, pois este nutriente apresenta risco ao meio ambiente por ser potencialmente contaminante de lençóis freáticos (SANTOS et al., 2003), devido a

lixiviação do nitrato (NO_3^-). Além disso, observa-se em estudos em condições de campo que é possível alcançar produtividades acima de 2.500 kg ha^{-1} de grãos de feijão em função do processo de FBN, sem adição de N mineral (HUNGRIA et al., 2000; PELEGRIN et al., 2009). No entanto, os inoculantes são empregados em somente 2 a 3% da área cultivada de feijoeiro (LOPES, 2007).

Dentre as principais causas está a descrença da eficiência da inoculação, devido aos resultados experimentais obtidos pelos inoculantes produzidos até 1990 com estirpes de baixa estabilidade genética. Além disso, na literatura é descrito que a fixação simbiótica de N pode contribuir com 20 a 40 kg ha^{-1} de N (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007), mas há resposta em produtividade de grãos na cultura do feijoeiro comum até a dose de N-uréia de140 kg ha^{-1} (SORATTO; CARVALHO; ARF, 2006). Verifica-se, portanto, que ainda existe divergência de informações na literatura do potencial de fornecimento do N na cultura do feijoeiro comum proveniente da FBN, e se a FBN é capaz de suprir todas as demandas de N da planta com altas produtividades de grãos (3000 kg ha^{-1}), como ocorre na cultura da soja.

A capacidade de nodulação (número e massa de nódulos) varia com as cultivares de feijoeiro comum e as estirpes de *Rhizobium* (FRANCO et al., 2002). Esses autores relataram que a eficiência de nodulação é altamente dependente do genótipo da planta, no entanto não estudaram se houve aumento na quantidade de N_2 fixado.

Entre as espécies de *Leguminosae* nodulíferas, existe ampla variação com relação ao potencial de FBN, que pode ser classificado como baixo, médio e alto (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Essa diferença ocorre entre diferentes espécies e entre genótipos de mesma espécie (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Assim, a identificação de cultivares de feijoeiro comum mais eficientes na associação com estirpe de rizóbio atualmente recomendada para essa cultura pode aumentar significativamente a contribuição do N proveniente da FBN na nutrição da planta, e com isso reduzir os custos com a adubação nitrogenada mineral na cultura do feijoeiro comum.

2.1.7 Métodos isotópicos com ^{32}P e ^{15}N

A eficiência de absorção e de utilização de P ou N pelas plantas, também denominadas de aproveitamento, pode ser determinada pelo método da diluição isotópica (^{32}P ou ^{15}N). A vantagem da técnica isotópica é a exclusiva possibilidade de separar nas várias partes da planta a fração do nutriente proveniente do fertilizante mineral, do solo ou até mesmo da fixação biológica do N_2 atmosférico. Além disso, embora o teor de P "disponível" do solo obtido por extratores como Mehlich-1 ou Resina de Troca Aniônica ser considerado como medida de P-lábil, teoricamente, a medida recomendada é a determinação do P isotopicamente trocável, que se fundamenta no método da diluição isotópica do ^{32}P (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Os métodos estabelecidos de determinação do P-lábil do solo, pela diluição isotópica do ^{32}P, são os valores E de ("Exchangeable") (McAULIFFE et al., 1948) e L de Larsen (LARSEN, 1952) ou também de "Labile" (lábil), segundo Fardeau et al. (1996). A vantagem destes métodos, assim como ocorre com a Resina de Troca Aniônica, é ausência de adição de reagentes químicos como extratores de nutrientes (disponíveis) do solo, que, normalmente, provocam alterações químicas nesse solo. A vantagem do Valor L em relação ao Valor E é a utilização da planta na amostragem da solução do solo, ou seja, como extratora. Pela técnica com ^{32}P é a possibilidade de quantificar diretamente as diferenças entre plantas quanto à capacidade de absorção de P dessa fração menos disponível (HOCKING et al., 1997).

Alguns genótipos podem desenvolver estratégias, como a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes, que possibilitam maior capacidade de absorção de P do solo em formas pouco disponíveis (menos lábeis). Assim, estes genótipos eficientes absorverão mais P em relação a outros que não possuem essas estratégias. Fernandes e Muraoka (2002) avaliaram a eficiência de 30 híbridos de milho em absorver P de um solo sob Cerrado com baixa disponibilidade deste nutriente e classificaram os genótipos em três classes (ineficientes, medianamente eficientes e eficientes) de acordo com a atividade específica (AE) do ^{32}P, sendo os híbridos ZN8420, P30F45, C813, ZN8471, DINA657, P30F33 e PX1339F foram os mais eficientes na absorção do P. Os genótipos BRAS 97-7371 e IAC PL-1 destacaram-se entre 32 cultivares de soja estudadas quanto a

eficiência de absorção e utilização de P, usando a técnica com o radioisótopo ^{32}P (RAPOSO, 2003).

Outro fator importante, porém não considerado nos estudos, é o conteúdo de P (produto da matéria seca e concentração de P) presente na semente. Genótipos que apresentam sementes com maior conteúdo de P podem ser classificados, de modo equivocado, como mais eficientes na absorção e utilização deste nutriente que outros com conteúdo inferior. Em comparação de cultivares de trigo quanto a sua eficiência de absorver P foi verificado que a tolerância a deficiência de P foi superior nos genótipos de trigo durum (*Triticum durum* L.) em relação aos de trigo (*Triticum aestivum* L.) (OZTURK et al., 2005; GUNES et al., 2006). Nesse estudo, essa maior tolerância dos genótipos de trigo duro foi atribuída ao conteúdo superior de P nas sementes em relação aos de trigo. Outra vantagem do método da diluição isotópica do ^{32}P é a possibilidade de descontar o P na planta proveniente da semente, pelo cálculo do Valor L.

A FBN pode ser quantificada pelas técnicas isotópicas, pelos métodos da abundância natural do isótopo ^{15}N (SHEARER; KOHL, 1986) ou pelo da diluição isotópica do ^{15}N - marcação do solo com ^{15}N (McAULIFFE et al., 1958). A determinação da FBN pela técnica da abundância natural do isótopo ^{15}N considera que o N mineral do solo é normalmente pouco enriquecido em ^{15}N, como resultado de fracionamento isotópico entre ^{14}N e ^{15}N, que ocorre nos processos físicos, químicos e biológicos que envolvem o N da matéria orgânica e do solo (SHEARER; KOHL, 1986). Assim, uma planta não fixadora do N_2 da atmosfera, desenvolvendo-se nessas condições de solo, terá sua composição em ^{15}N semelhante a do N disponível do solo. No entanto, uma planta fixadora do N_2 da atmosfera apresentará teores menores de ^{15}N, por causa do efeito de diluição que este N_2 causará, pois o ^{15}N em excesso da atmosfera é zero. Com o uso de uma planta não fixadora como marcadora do ^{15}N do N mineral do solo (planta controle), a fixação pode ser determinada pela proporção com que o ^{15}N numa planta fixadora foi diluído (SHEARER; KOHL, 1986).

O método baseado no enriquecimento em ^{15}N depende de diferenças na composição isotópica entre as fontes de N disponíveis para as plantas (N-solo, N-fertilizante e N_2 atmosférico) (CHALK; LADHA, 1999). As fontes de N no solo incluem o

N-fertilizante (marcado com ^{15}N) e o N nativo do solo, que geralmente é ligeiramente enriquecido em ^{15}N comparado com o N_2 atmosférico. O N_2 atmosférico (não marcado) proveniente da FBN dilui o N marcado absorvido pelas raízes da planta e a medida dessa diluição isotópica é usado para calcular a proporção de N na planta proveniente da atmosfera. A composição isotópica na planta do N proveniente de fontes disponíveis no solo (N-solo e N-fertilizante) é determinada pelo uso de uma planta controle não fixadora, que é cultivada em solo com mesmo enriquecimento em ^{15}N. A principal pressuposição desse método é que a composição isotópica nas plantas fixadora e não fixadora do N proveniente de fontes no solo é a mesma. Assim, para se quantificar o N fixado da atmosfera, a planta controle deve ter o mesmo padrão radicular, semelhante marcha de absorção de N de fontes disponíveis no solo e ciclo de maturação parecido (CHALK; DOUGLAS; BUCHANAN, 1983; RENNIE; KEMP, 1984; SAITO et al., 1984).

2.2 Material e métodos

Três experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, situado na latitude de 22º42'30" S, longitude de 47º38'01" W e a 554 m de altitude, no Município de Piracicaba, SP, como apresentado a seguir:

Experimento 1- Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras altas

Experimento 2- Eficiência de uso de fósforo por cultivares de feijoeiro comum

Experimento 3- Eficiência da fixação biológica de N_2 por cultivares de feijoeiro comum

Nos itens a seguir são descritos os procedimentos comuns aos três experimentos, assim como o detalhamento do desenvolvimento de cada experimento.

2.2.1 Caracterização do solo

Os estudos foram realizados em vasos plásticos de 3,0 L contendo 2,5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA), coletada na camada de 0 a 0,20 m, de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2006). As amostras de terra coletadas foram

secas, peneiradas em malha de 2 mm e homogeneizadas. O solo apresentou teores de argila, silte e areia de, respectivamente, 280, 70 e 650 g kg^{-1}, conforme metodologia descrita por Camargo et al. (1986); e as seguintes características químicas: pH (0,01 mol L^{-1} $CaCl_2$) = 4,5; matéria orgânica = 18,0 g dm^{-3}; P extraído por resina = 5 mg dm^{-3}; K = 0,6 $mmol_c$ dm^{-3}; Ca = 11,5 $mmol_c$ dm^{-3}; Mg = 5,2 $mmol_c$ dm^{-3}; H + Al = 35,4 $mmol_c$ dm^{-3}; CTC = 52,7 $mmol_c$ dm^{-3}; soma de bases = 17,3 $mmol_c$ dm^{-3}; saturação por bases = 32,8%, de acordo com metodologia descrita por Raij et al (2001); e P extraído por Mehlich-1 = 3 mg dm^{-3} (EMBRAPA, 1997).

2.2.2 Calagem, fertilização e marcação do solo com ^{32}P ou ^{15}N

Após a aplicação de calcário calcinado (PRNT = 110%) para elevar a saturação por bases a 70% para o cultivo de feijoeiro comum e 50% para o de arroz de terras altas, de acordo com a recomendação oficial do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), o solo foi incubado durante 30 dias e a umidade foi mantida em aproximadamente 70% da capacidade de retenção.

Nos experimentos com o objetivo de avaliar a eficiência dos cultivares de arroz de terras altas ou de feijoeiro comum quanto à absorção de P, a adubação fosfatada foi realizada com mistura de superfosfato triplo (20 mg kg^{-1} de P) como fonte de P prontamente disponível às plantas, e fosfato natural de Patos (150 mg kg^{-1} de P) para elevar o teor de P total do solo, que totalizou a dose de 170 mg kg^{-1} de P em cada vaso. Nesses experimentos, N e K foram aplicados nas doses de 200 mg kg^{-1} de N como uréia e 200 mg kg^{-1} de K como sulfato de potássio. A adubação com micronutrientes, nos três experimentos, foi realizada pela aplicação de solução nutritiva em todos os tratamentos nas doses de 0,5 mg kg^{-1} de B; 1,5 mg kg^{-1} de Cu; 3,0 mg kg^{-1} de Fe; 2,0 mg kg^{-1} de Mn; 3,0 mg kg^{-1} de Zn e 0,1 mg kg^{-1} de Mo.

No experimento 3, em que se comparou a eficiência de cultivares de feijoeiro comum quanto a eficiência de fixação biológica de N, a adubação nitrogenada foi realizada considerando-se dois grupos de tratamentos. Cada grupo foi constituído com os mesmos 25 cultivares e a adubação foi realizada do seguinte modo: (i) baixa dose de N-uréia (2,20 mg kg^{-1} de N) e (ii) alta dose de N-uréia (200 mg kg^{-1} de N). Esse grupo

de cultivares de feijoeiro que recebeu baixa dose de N será referido no item Resultados e discussão como aquele cultivado na ausência de adubação nitrogenada mineral. Assim, foi possível comparar os mesmos cultivares de feijoeiro, quando cultivados na presença ou ausência de N-uréia.

A baixa dose de N foi utilizada pela obrigatoriedade do método isotópico na marcação do solo com ^{15}N e para isso foi fornecida desprezível quantidade de N, do ponto de vista de nutrição mineral de plantas. Por exemplo, considerando-se que a planta produziu 10 g de matéria seca, apresentou concentração de N no tecido vegetal de 20 g kg^{-1} e, portanto, acumulou o total de N de 200 mg/planta. A dose total de N-uréia aplicada de 5,5 mg kg^{-1} de N por vaso, corresponde a apenas 2,75% do total de N acumulado na planta, isso se for assumido que todo N-uréia foi absorvido pelas plantas, ou seja, se for desconsiderado possíveis perdas de N do sistema solo-planta por volatilização ou incorporação do N na matéria orgânica do solo, podendo assim, tornar-se indisponível para as plantas durante seu ciclo de desenvolvimento.

Nos experimentos 1 e 2, a marcação do solo de cada vaso foi realizada pela aplicação de 200 mL de solução com o radioisótopo ^{32}P e água deionizada; no experimento 3, a marcação do solo de cada vaso foi realizada pela aplicação de 200 mL de solução com o isótopo estável ^{15}N-uréia e água deionizada.

A emissão de partículas β^- de alta energia (1,71 MeV), pelo decaimento da atividade de amostra de ^{32}P, representa perigo considerável e exige cuidados no seu manuseio, a fim de evitar contaminações e exposição excessiva (acima do limite permitido) do indivíduo a radiação. Assim, nos experimentos 1 e 2, foi necessário cuidados adicionais, como uso de equipamentos de proteção individual (luvas descartáveis do tipo cirúrgica, óculos e máscara de proteção e jaleco de manga longa) e anteparo de acrílico, além de monitoramento da área com medidor com detector interno tipo Geiger Müller.

2.2.3 Cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum

Como o objetivo do trabalho foi identificar diferenças na eficiência de absorção de P pelos cultivares de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) e de feijoeiro comum

(*Phaseolus vulgaris* L.) foram selecionados cultivares provenientes de diferentes centros de melhoramento genético.

Os cultivares de arroz de terras altas utilizados no experimento são provenientes da Embrapa Arroz e Feijão (CNPAF)e do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Dentre os cultivares estudados, há materiais genéticos classificados em (i) cultivares tradicionais, que são adaptados às condições adversas de solo e caracterizados pelo porte alto, baixo perfilhamento e folhas longas; e (ii) cultivares modernos, que apresentam porte baixo ou médio (menor risco de acamamento), maior número de perfilhos, folhas eretas e grãos classificados como longo-fino (agulhinha).

Os cultivares de feijoeiro comum utilizados em dois experimentos são provenientes do CNPAF, do IAC, Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), e de diferentes grupos comerciais (carioca, preto, roxinho, rosinha e outros). Além disso, alguns cultivares foram lançados recentemente e outros são mais antigos.

2.2.4 Análises químicas nas amostras vegetais

Após a coleta das plantas, as amostras vegetais foram secas a 60ºC em estufa com circulação forçada de ar, pesadas para determinação da MSPA e MSG, moídas em moinho tipo Willey e os teores de N, P, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados segundo metodologia descrita em Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Amostras de sementes das espécies padrões e dos cultivares de arroz de terras altas ou de feijoeiro comum utilizadas nos experimentos também foram analisadas quimicamente para determinar a concentração de P, conforme metodologia descrita em Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

O conteúdo de P proveniente da semente foi descontado no cálculo do Valor L, que foi utilizado para comparar a eficiência de absorção de P entre os cultivares. Do total de P armazenado nas sementes dos cultivares de arroz de terras altas ou de feijoeiro comum, considerou-se, no cálculo de Valor L descontando-se o P da semente (Valor Lsem), que 60% do P contido nas sementes é utilizado no desenvolvimento das plantas (BROOKES, 1982), ou seja, 40% do P da semente não é utilizado pela planta (permanece nos cotilédones).

2.2.5 Determinação da atividade do ^{32}P e enriquecimento de ^{15}N nas amostras vegetais

Após a digestão dos materiais vegetais com ácidos nítrico-perclórico, a atividade do ^{32}P foi determinada em contador de cintilação em meio líquido por efeito Cerenkov (VOSE, 1980). As amostras das plantas de arroz e de feijoeiro foram moídas em moinho tipo Wiley, passadas por peneira de 10 mesh e pesadas em balança de precisão (cinco casas decimais). As análises do enriquecimento em ^{15}N (% de átomos) e de N total foram determinadas em espectrômetro de massa (IRMS), interfaceado com um analisador elementar, conforme metodologia descrita por Barrie e Prosser (1996).

2.2.6 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras altas

Os tratamentos foram constituídos de 47 cultivares de arroz de terras altas e duas espécies de plantas padrões descritas na literatura como eficiente ou ineficiente na absorção de P. Cada unidade experimental dos 52 tratamentos foi repetida três vezes, totalizando-se assim 156 unidades experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. A crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) foi cultivada como espécie ineficiente em absorver P (MURAOKA et al., 2006) e o tremoço branco (*Lupinus albus* L.) como eficiente (HOCKING et al., 1997; MURAOKA et al., 2006).

As sementes dos cultivares de arroz de terras altas foram obtidas no IAC e no CNPAF. Os cultivares de arroz de terras altas estudados foram: Araguaia, Arroz Preto, Beira Campo, Bico Ganga, BRS Aimoré, BRS Apinajé, BRS Aroma, BRS Bonança, BRS Caripuma, BRS Colosso, BRS Curinga, BRS Monarca, BRS Pepita, BRS Primavera, BRS Sertaneja, BRS Soberana, BRS Talento, BRSMG Conai, BRSMG Relâmpago, Cabaçu, Cambará, Canastra, Carajás, Carisma, Cateto Seda, Centro América, Cuiabana, Douradão, Guanai, Guape, Guaporé, IAC 25, IAC 47, IAC 60 dias, IAC 202, IAC 1246, Ipê, Jaguary, Maravilha, Maranhão, Montaninha 90 dias, Progresso, Rio Paranaíba, Rio Verde, Tangará, Xingú, Zebu.

A marcação do solo com o radioisótopo ^{32}P foi realizada pela aplicação de solução com atividade de 9,25 MBq e 0,2 mg kg^{-1} de P de carregador. Oito sementes dos cultivares de arroz de terras altas e cinco das espécies padrões foram semeadas em cada vaso e a população final foi de três plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida em aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção durante o desenvolvimento do experimento.

As partes aéreas das plantas de cada cultivar foram colhidas em duas amostragens: (i) duas plantas, do total de três das cultivadas em cada parcela, cortadas aos 40 dias após a emergência; e (ii) uma planta no estádio de completa maturidade da panícula (R9), e neste caso as amostras vegetais foram separadas em parte aérea (folhas, colmos, ráquis e cascas do arroz) e grãos.

2.2.7 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de feijoeiro comum

Nesse experimento foram cultivados 50 cultivares de feijoeiro comum e duas espécies de plantas padrões descritas na literatura como eficiente ou ineficiente na absorção de P, que totalizaram 52 tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Como no experimento anterior com arroz, foram incluídas as espécies crotalária e tremoço branco como padrões. As sementes dos cultivares de feijoeiro comum foram obtidas no IAC e no CNPAF. Esses cultivares foram agrupados de acordo com o grupo comercial (carioca, preto, rosinha, roxinho e outros), como apresentado a seguir: grupo carioca: Carioca 80, Rudá, Aporé, Princesa, Pérola, Requinte, Pontal, BRS Horizonte, BRSMG Talismã, BRSMG Pioneiro, IPR Colibri, IAC Tybatã, IAC Alvorada, LP01-38 e CV-48; grupo roxinho: CNF 10, Roxão EEP, Sangue de Boi, Roxão, Roxinho, Safira, BRS Timbó, Roxo 90, BRS Pitanga e Gen 99TG50-47; grupo preto: Ouro Negro, Ônix, Macanudo, Chapecó, Xodó, Diamante Negro, Xamego, IAC UNA, BRS Valente, BRS Grafite, FT Nobre e BRS Triunfo; grupo rosinha: Thayú, Rosado, Rosinha de Cipó, Rosinha G2, Rosinha, Rosinha Brilhosa, Rubi e BRS Vereda; outros grupos: IAC Boreal (grão rajado de vermelho) Gen99TGR1-10 (grão branco), Jalo Precoce (grupo manteigão), IAPAR 31 (pintado) e Gen99TG34-50 (grão amarelo).

A marcação do solo com o radioisótopo ^{32}P foi realizada pela aplicação de solução com atividade de 9,25 MBq e 0,2 mg kg^{-1} de P de carregador. Cinco sementes dos cultivares de feijoeiro comum ou das espécies padrões foram semeadas em cada vaso e a população final foi de três plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida em aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção durante o desenvolvimento do experimento.

As partes aéreas das plantas de cada cultivar foram colhidas em duas amostragens: (i) duas plantas, do total de três das cultivadas em cada parcela, cortadas aos 30 dias após a emergência; e (ii) uma planta no estádio de maturidade fisiológica dos grãos (R9), e neste caso as amostras vegetais foram separadas em parte aérea (caule, ramos, folhas e cascas das vagens) e grãos.

2.2.8 Eficiência da fixação biológica de N_2 por cultivares de feijoeiro comum

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. O experimento foi constituído de 52 tratamentos, que foram divididos em dois grupos. Cada grupo apresentou 26 tratamentos, que corresponderam a 25 cultivares de feijoeiro comum (Aporé, BRS Grafite, BRS Horizonte, BRS Pitanga, BRS Vereda, BRSMG Pioneiro, Carioca 80, CNF 10, FT Nobre, IAC Tybatã, IAC UNA, Jalo precoce, LP 01-38, Ônix, Ouro Negro, Pontal, Rosinha, Roxão EEP, Roxinho, Roxo 90, Rubi, Rudá, Sangue de Boi, Thayú e Timbó) e uma planta controle (não fixadora de N).

O primeiro grupo de tratamentos (25 cultivares de feijoeiro comum e duas espécies de plantas controles) foi realizado com o objetivo de comparar a fixação biológica de N_2 entre as cultivares na ausência de N-mineral. Como o método da diluição isotópica de ^{15}N exige a marcação do N-solo foi necessária a aplicação de ^{15}N-uréia no solo, mas em baixa dose de N-mineral (2,20 mg kg^{-1} de N) e alta abundância (31,20% em átomos de ^{15}N). O segundo grupo de 27 tratamentos foi realizado com o objetivo de comparar a fixação biológica de N_2, pelos mesmos cultivares de feijoeiro comum do primeiro grupo, na presença de N-mineral. Para isso, foi aplicada a dose de 200 mg kg^{-1} de ^{15}N-uréia (abundância de 1,41% em átomos de ^{15}N). Para não prejudicar a nodulação das plantas, essa dose N-mineral foi parcelada em duas

aplicações, sendo 1/3 na semeadura e o restante no estádio V4 (emissão da terceira folha trifoliada).

As sementes dos cultivares de feijoeiro foram inoculadas com a estirpe CIAT 899 de *Rhizobium tropici* (SEMIA 4077), que é recomendada comercialmente para o feijoeiro comum no Brasil. A inoculação foi realizada três horas antes da semeadura, na dose de 500 gramas de inoculante turfoso para 50 kg de sementes, e foi acrescentado 300 mL de solução açucarada a 10 % (p:v), para melhorar a sua aderência às sementes, sendo considerada a concentração mínima de 10^9 células viáveis g^{-1} de turfa.

Cinco sementes de feijoeiro comum de cada cultivar e da planta controle (cultivar de feijão não nodulante - NORH 54) foram semeadas em cada unidade experimental e a população final foi de uma planta por vaso. A umidade do solo foi mantida em aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção durante o experimento. As plantas foram colhidas após o estádio R9 (maturidade das vagens) e foram separadas em raiz, parte aérea (ramos, folhas e cascas das vagens) e grãos. Na colheita foram avaliados o número de nódulos/planta e o peso fresco de nódulos/planta.

2.2.9 Cálculos e análise dos dados

2.2.9.1 Fósforo (^{32}P)

$$PA = [P] x MSPA \quad (1)$$

Em que:

PA = fósforo acumulado (mg $planta^{-1}$);

[P] = concentração de fósforo (g kg^{-1});

MSPA = matéria seca da parte aérea (palha ou grãos) (g/vaso).

Com os valores de P acumulado na planta na MSPA e atividade do ^{32}P foram calculadas a AE, o Valor L e o Valor Lsem, conforme as equações descritas por Larsen (1952) e Hocking et al. (1997).

$$AE = \frac{^{32}P}{^{31}P} \qquad (2)$$

Em que:

AE: atividade específica (DPM μgP^{-1});

^{32}P: atividade do radioisótopo na planta (DPM);

^{31}P: conteúdo de P na planta (μg de P planta^{-1});

$$Valor\ L = X\left(\frac{AE_0}{AE_p} - 1\right) \qquad (3)$$

Em que:

Valor L = Valor L (mg de P kg^{-1} de solo)

AE_0 = atividade específica da solução aplicada (DPM μgP^{-1});

AE_p = atividade específica da planta (DPM μgP^{-1});

X = a quantidade do elemento marcado adicionado;

$$Valor\,Lsem = \left(Y\frac{(X_T - Z)}{Y_T} - X\right) \qquad (4)$$

Em que:

Valor Lsem= valor L descontando o P na planta proveniente da semente (mg de P kg^{-1} de solo);

Y= atividade de ^{32}P da solução aplicada por vaso (DPM);

X_T= conteúdo de P total na planta (mg);

Y_T= atividade de ^{32}P na planta (DPM);

X = dose de carregador ^{31}P aplicado por vaso (mg)

Z = conteúdo de P total proveniente da semente (mg).

A eficiência de absorção de P pelas plantas é inversamente proporcional à AE e diretamente ao Valor L e Valor Lsem.

2.2.9.2 Nitrogênio (^{15}N)

$$NA = [N] x MSPA \quad (5)$$

Em que:

NA = nitrogênio acumulado (mg planta^{-1});

[N] = concentração de nitrogênio (g kg^{-1});

MSPA = matéria seca da parte aérea (palha ou grãos) (g/vaso).

A porcentagem de N na planta proveniente da fixação biológica (%Nppfix) e a quantidade de N na planta proveniente da fixação biológica (QNppfix) foram calculadas pelas equações do método de diluição isotópica do ^{15}N, como apresentado a seguir.

O cultivar de feijoeiro não nodulante (planta controle) possui uma fonte de N para absorver (N-solo).

$$(\%A\ ^{15}N\ excesso)_{Npps} = (\%A\ ^{15}N\ excesso)_{controle} \quad (6)$$

em que:

$(\%A\ ^{15}N\ excesso)_{Npps}$: porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso na planta proveniente do N do solo;

$(\%A\ ^{15}N\ excesso)_{controle}$: porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso na planta controle;

No primeiro grupo de tratamentos o solo foi marcado com ^{15}N pela aplicação no solo, em cada vaso, de 5 mL de solução uréia (dose de N de 2,20 mg kg^{-1}) com abundância de 31,20% em átomos de ^{15}N. Portanto, os cultivares de feijoeiro comum tem duas fontes de N para absorver (N-solo ou N-atmosfera).

$$100 = \% \text{ Npps} + \% \text{ Nppfix} \tag{7}$$

Em que:

% Npps: porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do solo;

% Nppfix: porcentagem de nitrogênio na planta proveniente da fixação biológica;

A fixação simbiótica de N é representada pela equação 8 (McAULIFFE et al., 1958).

$$\%\text{Nppfix} = 1 - \left[\frac{(\%\text{A}^{15}Nexcesso)_{culti\ \text{var}}}{(\%\text{A}^{15}Nexcesso)_{controle}} \right] \tag{8}$$

em que:

% Nppfix: porcentagem de nitrogênio na planta proveniente da fixação biológica;

(%A ^{15}N excesso)$_{cultivar}$: % de átomos de ^{15}N em excesso no cultivar de feijoeiro comum nodulada; do solo;

(%A ^{15}N excesso)$_{controle}$: % de átomos de ^{15}N em excesso na planta controle (feijão não nodulante);

Com o conteúdo de N acumulado na MSPA dos cultivares de feijoeiro comum (NA, mg planta^{-1}), foi calculada a quantidade de N na planta proveniente da fixação biológica (Qnppfix).

$$\text{QNppfix} = \frac{(\%\text{Nppfix}) \,.\, (\text{NA})_{\text{cultivar}} \,.}{100} \tag{9}$$

em que:

QNppfix: quantidade de nitrogênio na planta proveniente da fixação biológica (mg);

% Nppfix: porcentagem de nitrogênio na planta proveniente da fixação biológica;

(NA)$_{cultivar}$: nitrogênio acumulado na matéria seca da parte aérea dos cultivares de feijoeiro comum (mg).

No segundo grupo de tratamentos foi aplicado fertilizante nitrogenado marcado com ^{15}N (^{15}N-uréia) na dose de N de 200 mg kg^{-1} de solo, com abundância de 1,41% em átomos de ^{15}N tanto para os cultivares de feijoeiro comum como para a planta controle. Assim, os cultivares de feijoeiro comum noduladas possuem três fontes de N (N-solo, N-fertilizante e N-atmosfera), enquanto que a planta controle possui duas (N-solo e N-fertilizante). Neste caso, em que foi aplicado mesma dose de N-fertilizante e com mesma marcação com ^{15}N aos cultivares nodulantes e controle, o cálculo do N fixado foi realizado pelas equações 8 e 9 (FRIED; MIDDELBOE,1977). Além disso, foi calculada a porcentagem (%Nppf) e a quantidade (QNppf) de N na planta proveniente do fertilizante (uréia) e o aproveitamento do N proveniente do N-uréia (Ap) pelas plantas, de acordo com as seguintes equações.

$$\%\text{Nppf} = \frac{\%\,\text{Átomos de } ^{15}N\ em\ excesso\ no\ culti\ \text{var}}{\%\,\text{Átomos de } ^{15}N\ em\ excesso\ no\ fertilizante} x100 \qquad (10)$$

em que:

%Nppf: porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante - uréia;

$$\text{QNppf} = \frac{(\%\text{Nppf})\,.\,(\text{NA})_{\text{cultivar}}\,.}{100} \qquad (11)$$

Em que:

QNppf: quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante - uréia (mg);

$$Ap = \frac{QNppf}{QNA} \quad (12)$$

em que:

Ap: aproveitamento ou eficiência de absorção do nitrogênio do fertilizante (%);

QNA: quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizante marcado (mg/vaso).

2.2.9.3 Análises estatísticas

A análise estatística dos resultados foi realizada usando-se o pacote estatístico SAS® – "Statistical Analysis System" (SAS INSTITUTE, 2001) e o Systat® versão 10.2. Inicialmente, foi realizada a análise de correlação entre todas as variáveis avaliadas em cada experimento. As matrizes de correlação foram feitas pelos coeficientes correlação de Pearson, que é medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. No entanto, análise de agrupamentos não foi realizada para todas as correlações com significância estatística, ou seja, nem todas as correlações significativas apresentadas nas matrizes de correlação foram utilizadas na análise de agrupamentos (dendogramas). Além da significância estatística, também foi considerado a importância prática entre a correlação de duas ou mais variáveis para atingir os objetivos de cada experimento.

Dentre as vantagens da análise de agrupamentos, destaca-se a de encontrar os verdadeiros grupos que se presume realmente existirem e a redução de dados (MANLY, 2008), pois duas ou mais variáveis dependentes são analisadas juntamente nesse tipo de analise estatística multivariada.

A análise de agrupamento foi precedida por uma padronização dos dados antes do cálculo das distâncias euclidianas, pois as variáveis estudas apresentavam escalas diferentes. Após a padronização, todas as médias ficaram iguais a zero e as variâncias iguais a um. Assim, todas as variáveis ficaram igualmente importantes na determinação dessas distâncias (MANLY, 2008). Quando não é realizada a padronização, as variáveis com valores numéricos mais altos foram mais importantes no cálculo das distâncias do que as variáveis com valores numéricos mais baixos.

A análise de agrupamentos dos cultivares de arroz de terras altas ou de feijoeiro comum, nos três experimentos, foi realizada pelo método da média aritmética não ponderada (UPGMA - Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Average) do grupo e os resultados finais desses agrupamentos são apresentados na forma de dendrogramas. Para facilitar o entendimento dos dendogramas também foi apresentado as tabelas com as médias das variáveis estudadas, assim como os coeficientes de variação (CV %).

Nos experimentos 1 e 2, os resultados obtidos para as produções de MSPA e MSG, concentração de P na MSPA ou na MSG, P acumulado na MSPA ou na MSG, concentração de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na MSPA ou na MSG, micronutrientes acumulados na MSPA ou na MSG, AE, Valor L e Valor Lsem foram submetidos às análises de correlação e de agrupamento, com o objetivo de agrupar os cultivares semelhantes em determinados grupos.

No experimento 3, os resultados obtidos para o peso fresco e número de nódulos, produções de MSPA, de raiz (MSR) e MSG, concentração de N na MSPA ou na MSG, N acumulado na MSPA ou na MSG, número de vagens e de grãos, N na planta proveniente do fertilizante uréia ($Npp_{fertilizante}$), N na planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$), N na planta proveniente do solo (Npp_{solo}) e aproveitamento do N-uréia (Ap N-Uréia) foram submetidos às análises de correlação e de agrupamento, com o objetivo de agrupar os cultivares e tratamentos (com ou sem aplicação de N-uréia) semelhantes em determinados grupos.

2.3 Resultados e discussão

Os resultados dos três experimentos foram discutidos separadamente, como apresentado a seguir. Para relacionar a eficiência de absorção de P com a concentração e acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas, e principalmente nos grãos, foram realizadas duas amostragem em cada parcela (vaso); essas duas amostragens permitiram realizar a relação entre eficiência de absorção de P e micronutrientes nas plantas nas mesmas condições experimentais. Portanto, nos experimentos 1 e 2, os resultados foram apresentados e discutidos em três partes: (1) primeira amostragem - parte aérea; (2) segunda amostragem - parte aérea; e (3) segunda amostragem - grãos. Além disso, para simplificar a apresentação e a discussão dos resultados o termo matéria seca da parte aérea (MSPA) descrito no texto foi padronizado para se referir a todos tecidos vegetais da parte aérea da planta, exceto os grãos (folhas, caule, ramos e cascas de vagens para o feijoeiro comum; e folhas, colmos, ráquis e cascas do arroz para o arroz de terras altas).

2.3.1 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras altas

Neste experimento foram considerados quatro ou cinco grupos na maioria dos dendogramas, e os cultivares de arroz de terras altas foram classificados em grupos de acordo com a seguinte definição:

- Para quatro grupos de cultivares: (1) muito eficiente na absorção de P (valor inferior de AE e superiores de Valor L e Valor Lsem/ muito produtivo/ muito rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); (2) eficiente na absorção de P/ produtivo/ rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); (3) medianamente eficiente na absorção de P/ medianamente produtivo/ medianamente rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); e (4) pouco eficiente na absorção de P (valor superior de AE e inferiores de Valor L e Valor Lsem)/ pouco produtivo/ pobre em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn).

- Para cinco grupos de cultivares: (1) altamente eficiente na absorção de P (valor inferior de AE e superiores de Valor L e Valor Lsem)/ altamente produtivo/ altamente rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); (2) muito eficiente na absorção de P (valor inferior de AE e superiores de Valor L e Valor Lsem)/ muito produtivo/ muito rico em

micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); (3) eficiente na absorção de P/ produtivo/ rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); (4) medianamente eficiente na absorção de P/ medianamente produtivo/ medianamente rico em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn); e (5) pouco eficiente na absorção de P (valor superior de AE e inferiores de Valor L e Valor Lsem)/ pouco produtivo/ pobre em micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn).

Em geral, foram considerados quatro grupos nos dendogramas. A escolha pela formação de número maior de grupos (cinco ou seis) fundamentou-se em obter maior homogeneidade dentro de cada grupo e maior heteronegeidade entre os distintos grupos, baseando-se nos dendogramas e nos valores médios das variáveis em cada agrupamento.

2.3.1.1 Primeira amostragem - parte aérea

Os resultados obtidos com as duas espécies padrões foram: (i) tremoço branco - MSPA = 1,15 g/vaso, P Acum MSPA = 2,03 mg/vaso, AE = 39,06 DPM µg P^{-1}, Valor L = 43,99 mg de P kg^{-1} de solo e Valor Lsem = 2,6 mg de P kg^{-1} de solo; (ii) Crotalaria juncea - MSPA = 5,16 g/vaso, P Acum MSPA = 5,77 mg/vaso, AE = 193,32 DPM µg P^{-1}, Valor L = 6,88 mg de P kg^{-1} de solo e Valor Lsem = 6,67 mg de P kg^{-1} de solo. Considerando as duas espécies padrões e os 47 cultivares de arroz de terras altas, observou-se que o tremoço branco foi a planta mais eficiente em absorver P, pois apresentou menor AE, e superiores Valor L e Valor Lsem.

Os valores médios da produção de MSPA das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P e P acumulado na MSPA, AE , Valor L e Valor Lsem, na primeira amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L e Valor L descontando-se o P proveniente da semente (Valor Lsem), na primeira amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum	AE	Valor L	Valor Lsem
	g/vaso	g kg^{-1}	mg/vaso	DPM µg P^{-1}	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
Cuiabana	2,07	1,53	3,16	137,29	12,34	12,18
Caripuna	2,50	1,45	3,63	213,81	7,86	7,87
Relâmpago	2,63	1,44	3,77	200,52	8,39	8,38
Maravilha	2,66	1,58	4,20	103,04	16,81	16,75
Xingú	2,69	1,44	3,88	119,29	14,25	14,12
Ipê	2,75	1,60	4,39	152,76	11,08	10,98
Aroma	2,78	1,46	4,06	173,75	9,71	9,72
Canastra	2,80	1,34	3,76	136,66	12,40	12,32
Carisma	2,81	1,72	4,81	80,37	21,24	21,16
Carajás	2,91	1,49	4,32	158,15	10,69	10,66
IAC 202	2,95	1,48	4,38	140,00	12,10	12,09
Colosso	2,95	1,64	4,83	135,93	12,47	12,46
Progresso	2,95	1,52	4,49	105,28	16,17	16,09
Araguaia	2,99	1,55	4,63	129,26	13,14	13,12
Rio Verde	3,00	1,47	4,41	160,72	10,61	10,57
Arroz Preto	3,02	1,25	3,77	95,90	17,67	17,50
Bonança	3,05	1,46	4,44	152,64	11,11	11,10
Zebu	3,05	1,55	4,73	106,84	15,95	15,81
Guaporé	3,10	1,58	4,88	152,11	11,13	11,11
Talento	3,10	1,47	4,55	105,13	16,20	16,09
Pepita	3,10	1,72	5,33	130,04	13,05	12,95
Sertaneja	3,11	1,43	4,41	97,20	17,53	17,50

Tabela 1 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L e Valor L descontando-se o P proveniente da semente (Valor Lsem), na primeira amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	**MSPA**	**Conc P**	**P Acum**	**AE**	**Valor L**	**Valor Lsem**
	g/vaso	g kg^{-1}	mg/vaso	DPM µg P^{-1}	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
Primavera	3,14	1,53	4,78	126,48	13,43	13,36
Tangará	3,15	1,26	3,95	214,96	7,81	7,77
Apinajé	3,20	1,56	4,99	122,64	13,85	13,80
Montanhinha 90 dias	3,21	1,43	4,61	171,16	9,86	9,85
Guanai	3,23	1,34	4,32	153,87	10,99	10,99
Conai	3,24	1,60	5,18	138,10	12,27	12,27
Cambará	3,27	1,54	5,03	127,68	13,29	13,23
Monarca	3,28	1,25	4,11	164,62	10,27	10,25
Curinga	3,29	1,48	4,88	162,81	10,38	10,45
Douradão	3,39	1,49	5,02	154,87	10,96	10,92
IAC 47	3,42	1,37	4,68	132,41	12,81	12,73
Beira Campo	3,45	1,34	4,59	218,79	7,67	7,65
Aimoré	3,50	1,59	5,57	173,49	9,73	9,70
Soberana	3,51	1,51	5,28	169,53	9,96	9,95
Rio Paranaíba	3,52	1,27	4,48	102,31	16,71	16,58
Cateto Seda	3,54	1,30	4,60	186,54	9,03	9,01
Centro América	3,66	1,44	5,28	97,96	17,38	17,29
IAC 1246	3,73	1,28	4,78	158,50	10,67	10,57
Cabaçu	3,80	1,35	5,14	157,02	10,77	10,76
Maranhão	3,82	1,31	5,00	134,41	12,62	12,62
Bico Ganga	3,87	1,45	5,61	109,53	15,52	15,48
IAC 25	3,92	1,47	5,77	142,28	11,91	11,88
IAC 60 dias	3,94	1,26	4,94	145,46	11,76	11,75
Jaguary	4,04	1,33	5,39	195,96	8,61	8,60
Guape	4,36	1,29	5,63	187,21	8,96	8,91
Média	3,22	1,45	4,65	145,43	12,32	12,27
CV (%)	10,90	10,22	10,38	12,21	12,78	12,65

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA e acúmulo desses micronutrientes na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela 2 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos cultivares de arroz de terras altas

(Continua)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
Cuiabana	5,88	12,20	116,67	241,95	105,16	218,10	76,59	158,65
Caripuna	6,18	15,40	131,71	327,49	104,88	261,27	99,91	248,71
Relâmpago	5,79	15,21	98,86	260,09	137,72	361,99	68,10	179,00
Maravilha	5,13	13,65	93,00	247,46	108,64	289,03	55,85	148,45
Xingú	5,41	14,54	100,81	271,06	118,47	318,35	80,33	215,81
Ipê	4,74	12,96	104,95	286,84	125,98	345,01	72,75	199,75
Aroma	5,45	15,08	101,61	279,53	109,72	302,91	71,70	198,67
Canastra	5,09	14,17	110,25	307,07	111,28	310,33	53,69	149,90
Carisma	6,43	18,03	106,74	299,26	150,77	422,98	71,09	199,43
Carajás	5,75	16,58	102,70	296,34	147,61	426,55	78,12	225,91
IAC 202	4,87	14,32	100,14	294,88	134,21	394,56	61,83	181,97
Colosso	5,92	17,46	103,86	305,80	107,83	317,99	66,40	196,01
Progresso	4,90	14,49	106,19	313,42	108,33	319,67	59,74	176,51
Araguaia	4,70	14,05	104,61	312,50	106,96	319,17	76,03	226,92
Rio Verde	4,53	13,59	113,63	340,24	98,36	294,83	61,66	184,91
Arroz Preto	4,48	13,50	107,39	323,04	145,82	437,46	65,92	198,17
Bonança	5,62	17,15	101,53	309,97	108,64	331,22	72,46	220,97
Zebu	5,08	15,48	124,29	378,51	104,18	317,78	92,27	281,29
Guaporé	5,09	15,74	104,92	323,84	157,34	486,70	83,34	257,35
Talento	5,54	17,13	119,48	370,47	113,56	351,29	62,68	194,11
Pepita	6,68	20,71	108,58	336,49	128,21	397,23	68,03	210,54
Sertaneja	5,51	17,02	116,00	358,09	151,10	467,49	82,88	256,09
Primavera	5,42	16,94	94,42	296,82	107,80	339,02	76,62	239,77
Tangará	4,73	14,83	98,62	310,25	138,19	433,84	72,71	228,09

Tabela 2 - Tabela 2 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos cultivares de arroz de terras altas

(Conclusão)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
Apinajé	5,82	18,53	113,20	359,94	130,31	415,20	72,01	229,37
Montanhinha 90 dias	5,11	16,36	104,72	335,63	143,07	457,90	78,07	249,78
Guanai	5,29	17,04	96,66	310,66	125,82	405,88	85,87	276,33
Conai	5,60	18,12	100,34	325,10	126,05	408,51	56,64	182,79
Curinga	4,84	15,90	103,75	340,01	110,67	362,62	75,55	247,68
Douradão	5,84	19,73	99,07	333,64	86,72	292,75	75,34	253,94
IAC 47	5,17	17,66	104,11	355,71	113,59	388,10	95,01	324,62
Beira Campo	4,31	14,77	104,16	357,89	127,65	438,61	80,07	274,49
Aimoré	6,14	21,48	89,68	313,63	127,32	445,26	72,61	254,08
Soberana	6,42	22,41	106,42	371,65	140,37	490,32	87,54	305,73
Rio Paranaíba	4,39	15,46	102,67	360,74	102,59	360,50	80,26	282,16
Cateto Seda	4,58	16,20	98,61	348,35	115,35	407,87	80,57	284,91
Centro América	5,34	19,56	91,01	333,02	114,51	418,86	60,57	221,59
IAC 1246	5,46	20,37	121,94	454,39	137,03	510,60	101,54	378,49
Cabaçu	5,27	20,02	105,77	401,52	102,92	390,61	80,79	306,87
Maranhão	3,41	12,97	130,25	495,56	92,36	351,50	63,05	240,12
Bico Ganga	4,64	17,94	109,05	421,31	117,35	453,49	80,43	310,71
IAC 25	6,63	26,02	112,38	440,50	129,11	506,15	87,09	341,59
IAC 60 dias	5,30	20,83	99,18	389,28	106,00	417,25	78,12	307,12
Jaguary	5,21	21,01	98,06	395,71	109,56	442,49	88,08	355,55
Guape	3,82	16,63	95,35	415,29	87,01	379,07	66,02	287,55
Média	5,29	16,92	105,24	337,62	119,63	383,28	75,29	243,06
CV (%)	11,98	11,20	12,82	11,62	12,56	11,55	12,68	11,48

Os coeficientes de correlação (matriz de correlação) entre as 14 variáveis (MSPA, concentração de P na MSPA, acúmulo de P na MSPA, AE, Valor L, Valor Lsem, concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA)

estudadas na primeira amostragem das plantas de arroz de terras altas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L (L), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Continua)

		Conc P	**P Acum**	**AE**	**Valor L**	**Valor Lsem**
		g kg^{-1}	mg/vaso	DPM μg^{-1} P	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
MSPA	g/vaso	-0,466***	0,785***	0,127ns	-0,146ns	-0,142ns
Conc P	g kg^{-1}		0,175*	-0,299***	0,268**	0,269**
P Acum	mg/vaso			-0,071ns	0,023ns	0,029ns
AE	DPM μg^{-1} P				-0,962***	-0,960***
Valor L	mg kg^{-1} solo					0,999***

		Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum
		mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
MSPA	g/vaso	-0,347***	0,576***	-0,282***	0,759***
Conc P	g kg^{-1}	0,541***	0,052ns	0,083ns	-0,381***
P Acum	mg/vaso	0,001ns	0,691***	-0,263**	0,581***
AE	DPM μg^{-1} P	-0,045ns	0,051ns	-0,086ns	0,035ns
Valor L	mg kg^{-1} solo	0,037ns	-0,081ns	0,088ns	-0,055ns
Valor Lsem	mg kg^{-1} solo	0,037ns	-0,081ns	0,088ns	-0,055ns
Conc Cu	mg kg^{-1}		0,575***	0,142ns	-0,246**
Cu Acum	µg/vaso			-0,151ns	0,529***
Conc Fe	mg kg^{-1}				0,510***

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L (L), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Conclusão)

		Conc Mn	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
MSPA	g/vaso	-0,246**	0,543***	0,076ns	0,723***
Conc P	g kg^{-1}	0,263**	-0,122ns	-0,077ns	0,366***
P Acum	mg/vaso	-0,074ns	0,558***	0,028ns	0,556***
AE	DPM μg^{-1} P	-0,063ns	0,040ns	0,244**	0,239**
Valor L	mg kg^{-1} solo	0,117ns	-0,011ns	-0,240**	-0,251**
Valor Lsem	mg kg^{-1} solo	0,117ns	-0,011ns	-0,240**	-0,251**
Conc Cu	mg kg^{-1}	0,344***	0,055ns	0,285***	-0,024ns
Cu Acum	µg/vaso	0,101ns	0,560***	0,308***	0,627***
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,051ns	-0,169*	0,310***	0,009ns
Fe Acum	µg/vaso	-0,183*	0,519***	0,263**	0,695***
Conc Mn	mg kg^{-1}		0,689***	0,242**	0,019ns
Mn Acum	µg/vaso			0,290***	0,595***
Conc Zn	mg kg^{-1}				0,736***

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

A produção de MSPA de plantas de arroz é um dos principais parâmetros relacionado com a produtividade da cultura, e o P aumenta a MSPA devido ao aumento no número de perfilhos e área foliar (FAGERIA, 1980).

Os valores de MSPA das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas correlacionaram-se significativa e negativamente com as concentrações de P na MSPA (-0,466***) e positivamente com P acumulado na MSPA (0,785***) (Tabela 3). Portanto, foi observado efeito de diluição do P na MSPA, ou seja, o aumento da MSPA diminuiu a concentração de P na MSPA, embora o total de P acumulado foi superior. A partir dessas três variáveis, pela análise de agrupamento, foram identificados os cinco seguintes grupos de cultivares de arroz de terras altas (Figura 1):

- Primeiro grupo formado pelos cultivares Aimoré, Soberana, Centro América, Bico Ganga, IAC 25, Jaguary, Guape,
- Segundo, pelos cultivares Cabaçu, Maranhão, IAC 1246, IAC 60 dias, Rio Paranaíba, Cateto Seda, Beira Campo, IAC 47 e Guanai;
- Terceiro, pelos cultivares Monarca, Tangará, Arroz Preto, Canastra, Aroma, Xingú, Relâmpago e Caripuna;
- Quarto, pelos cultivares Maravilha, Ipê, Progresso, Carajás, IAC 202, Rio Verde, Bonança, Talento, Sertaneja, Montaninha 90 dias, Douradão, Curinga, Araguaia, Zebu, Primavera, Guaporé, Apinajé, Cambará, Conai, Colosso, Carisma e Pepita;
- Quinto, pelo cultivar Cuiabana.

Dentre os quatro grupos de cultivares formados (Figura 1) e pelos valores médios apresentados na Tabela 1, verificou-se que os cultivares Aimoré, Soberana, Centro América, Bico Ganga, IAC 25, Jaguary e Guape foram os que apresentaram maiores produções de MSPA, e valores superiores de acúmulo de P na MSPA. O cultivar Cuiabana não se agrupou porque a produção de MSPA e o acúmulo de P na MSPA foram inferiores aos dos demais cultivares de arroz de terras altas.

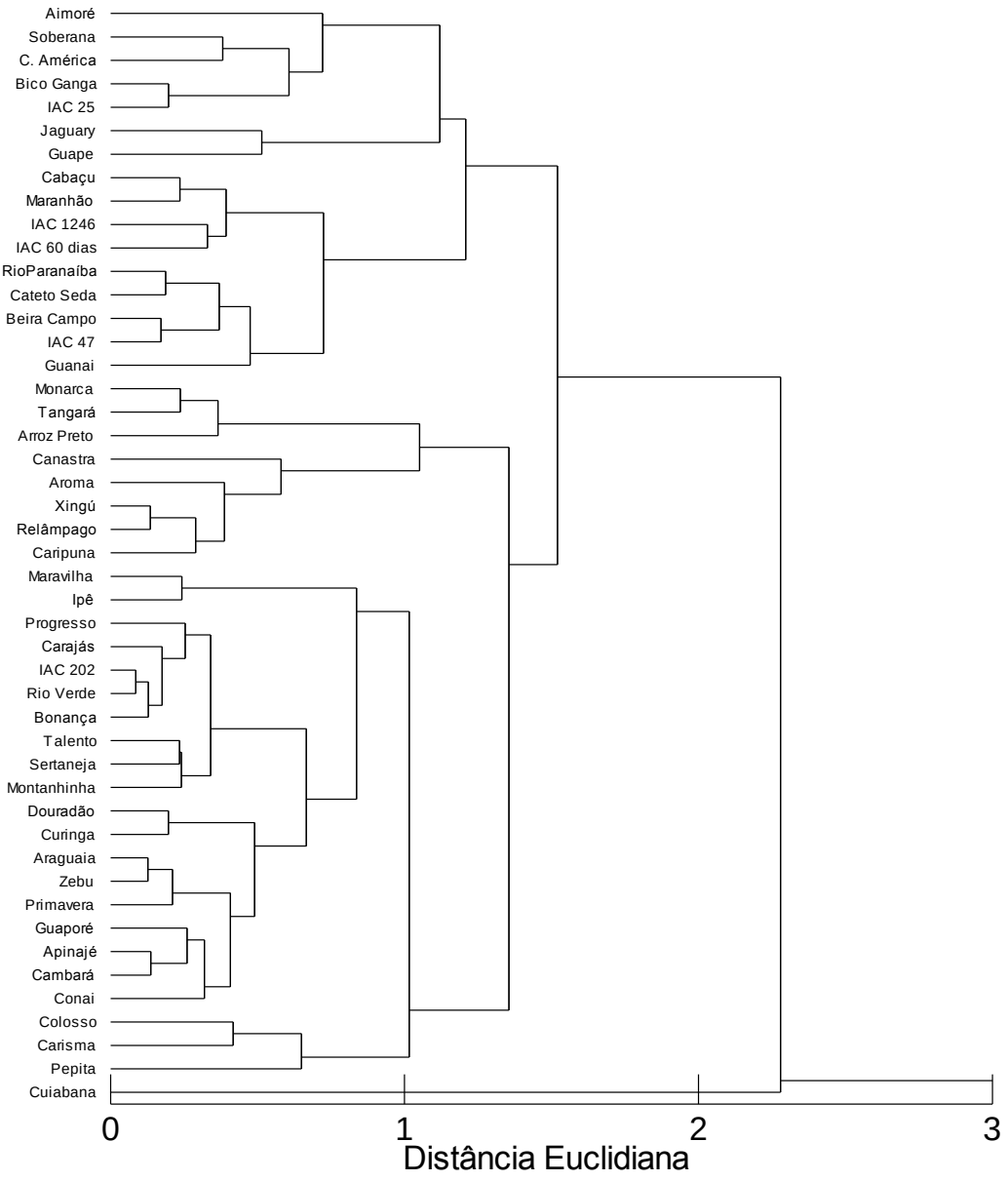

Figura 1 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração e acúmulo de fósforo na MSPA, na primeira amostragem das plantas

Diferenças na produção de MSPA entre cultivares de arroz de terras altas também foram observadas em outros estudos com o nutriente P. O cultivar Carajás apresentou maior produção de matéria seca (colheita das plantas 79 dias após a emergência, no estádio de diferenciação floral), tanto radicular quanto da parte aérea,

quando desenvolvido em vasos com 8 kg de solo em condição de baixa disponibilidade de P (P-resina = 3 mg kg^{-1}), em comparação aos cultivares Maravilha, IAC 201 e IAC 202 (CRUSCIOL et al., 2005). No entanto, nesse estudo não foi observada diferença na produção de MSPA e no acúmulo de P na MSPA entre os cultivares Carajás e IAC 202, pois ambos foram agrupados no quarto grupo (segundo menos produtivo em termos de MSPA). Essa diferença ocorreu porque, provavelmente, o cultivar Carajás desenvolveu primeiro o sistema radicular no inicio de seu desenvolvimento (momento da primeira amostragem das plantas) em condições de baixo P disponível no solo, e posteriormente a parte aérea. Assim, no momento da primeira amostragem, esse cultivar apresentou maior produção de matéria seca de raízes, variável esta não avaliada nesse experimento.

Em outro estudo, dentre nove cultivares de arroz de terras altas (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga, Guarani, Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera), os mais produtivos, em termos de MSPA, foram Caiapó e Guarani, quando cultivados em baixa dose de P (25 mg kg^{-1} de P) e colhidos aos 60 dias após a emergência (MATIAS, 2006).

Dentre as melhores estratégias de manejo para a produção de arroz de terras altas estão o uso de doses adequadas de P, aplicação de P de modo localizado em solos com baixos teores e alta capacidade de fixação de P, uso de calcário em solos ácidos, favorecimento da associação das plantas com micorrizas e cultivo de genótipos eficientes no uso de P (FAGERIA, 2001). A quantidade necessária de P pelas plantas pode ser reduzida pela utilização de genótipos eficientes e os arroz de terras altas diferem significativamente no uso de P (FAGERIA; WRIGHT; BALIGAR; 1988; FAGERIA et al., 1988; FAGERIA, 2001). Assim, a identificação de cultivares de arroz de terras altas mais eficientes em absorver (cultivares com superior Valor L) e utilizar P (cultivares mais produtivos, em condições de baixo P disponível no solo) é estratégia para reduzir as doses de P nas adubações, além de possibilitar o seu cultivo em solos pobres em P, sem, contudo reduzir significativamente a produção de grãos.

Dentre todas as correlações entre as variáveis estudadas das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, colhidas na primeira amostragem, a AE com o Valor L (-0,962***) e com o Valor Lsem (-0,960***), e o Valor L com o Valor Lsem (0,999***)

foram as variáveis que apresentaram os maiores coeficientes de correlação de Pearson (Tabela 3). Pela análise de agrupamento hierárquico, tanto com as variáveis AE e Valor L (Figura 2), como com as AE e Valor Lsem (Figura 3), foram formados os quatro seguintes grupos de cultivares de arroz de terras altas:

- Primeiro: cultivar Carisma;
- Segundo: cultivares Arroz Preto, Sertaneja, Centro América, Maravilha, Rio Paranaíba, Talento, Progresso, Zebu e Bico Ganga;
- Terceiro: cultivares Xingú, Apinajé, Primavera, Cambará, Araguaia, Pepita, IAC 47, Maranhão, Colosso, Canastra, Cuiabana, Conai, IAC 202, IAC 25, IAC 60 dias, Guaporé, Bonança, Ipê, Guanai, Douradão, Cabaçu, Carajás, IAC 1246, Rio Verde, Curinga, Monarca, Soberana, Montaninha 90 dias, Aimoré e Aroma;
- Quarto: cultivares Cateto Seda, Guape, Jaguary, Relâmpago, Caripuna, Tangará e Beira Campo.

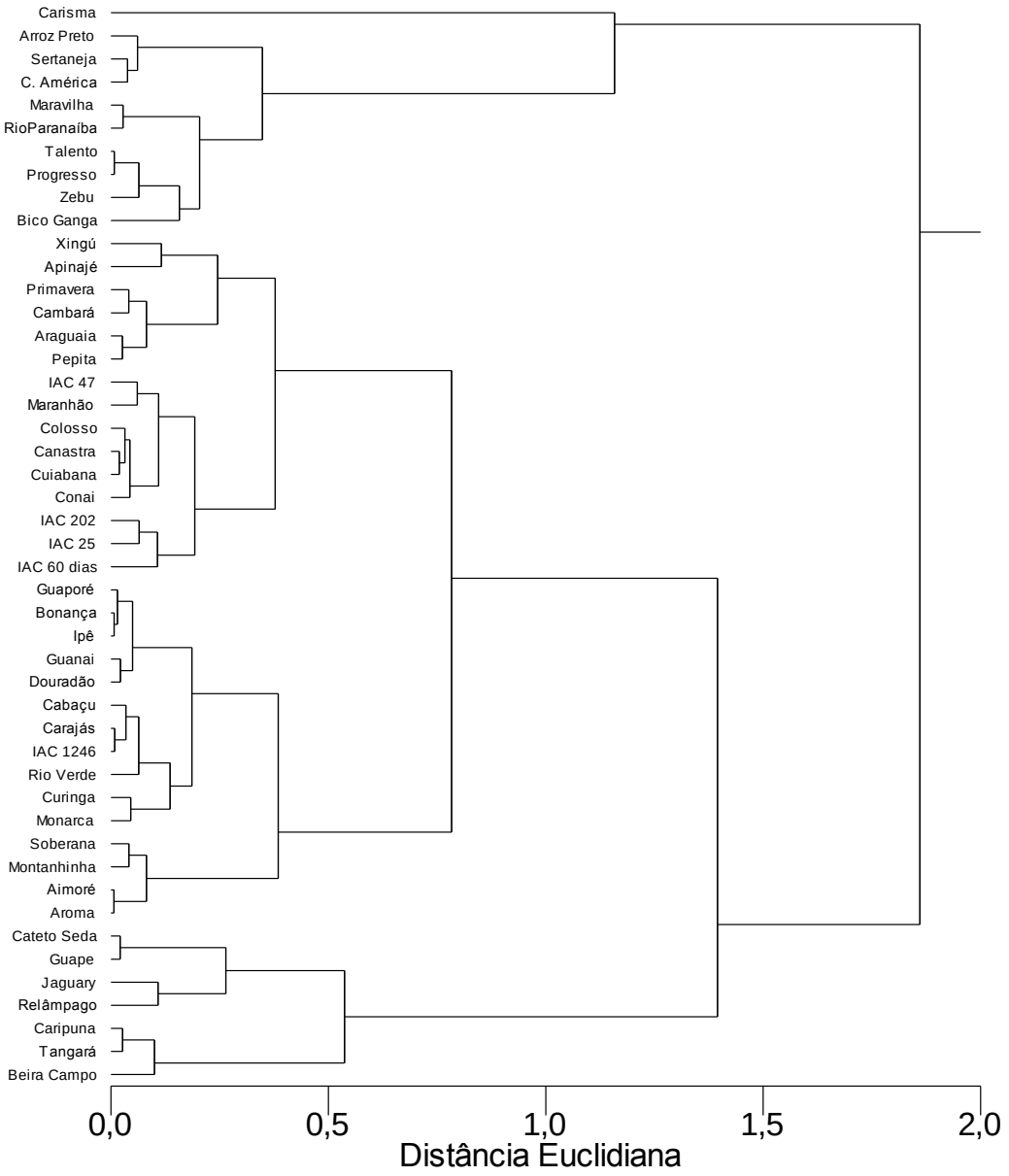

Figura 2 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis atividade específica (AE) e Valor L, na primeira amostragem das plantas

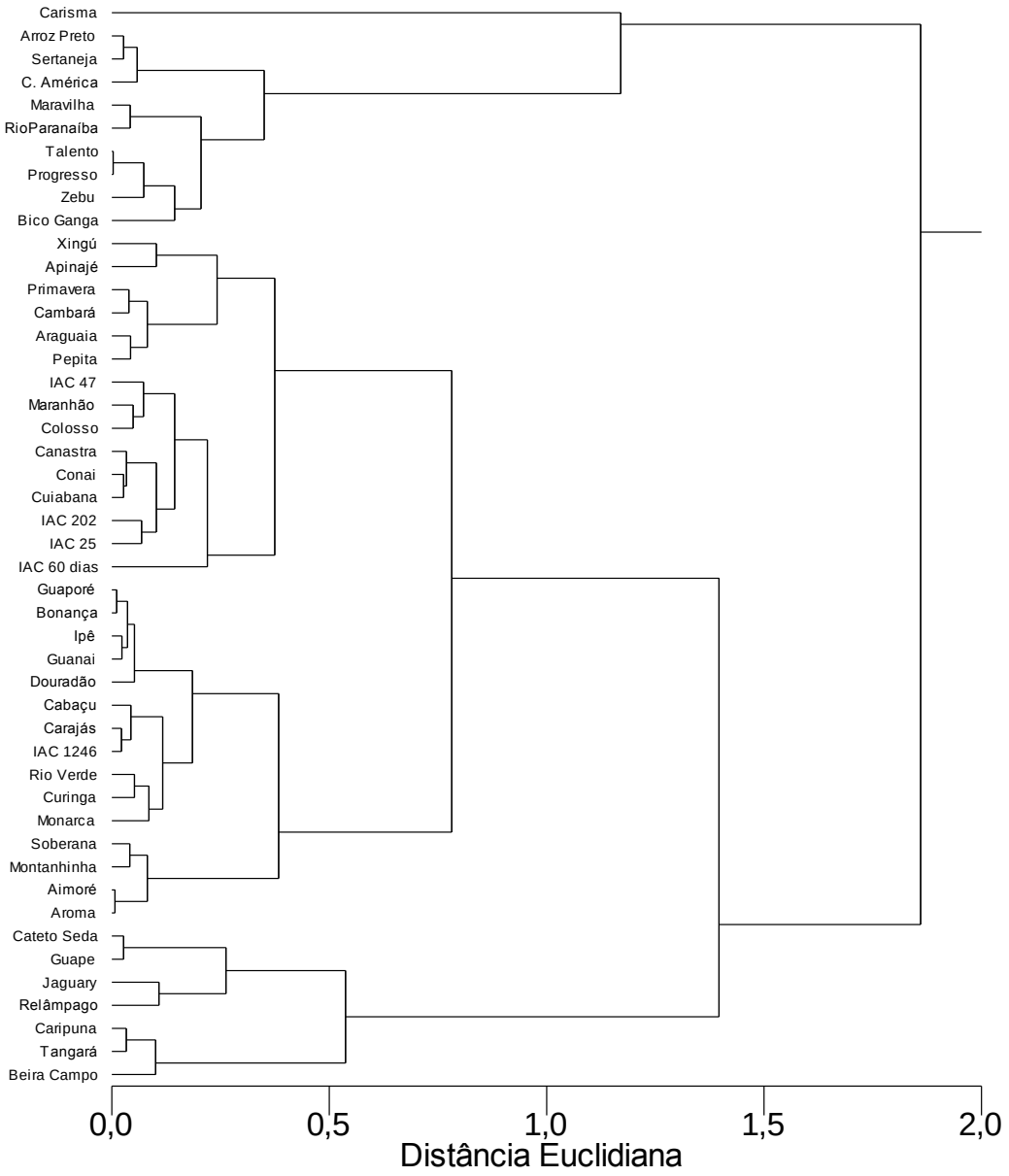

Figura 3 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis atividade específica (AE) e Valor L descontando-se o fósforo proveniente da semente (Valor Lsem), na primeira amostragem das plantas

De acordo com os grupos de eficiência de absorção de P pré-definidos e os valores médios das variáveis AE, Valor L e Valor Lsem (Tabela 1), os cultivares de arroz de terras altas foram classificados em:

(1) grupo muito eficiente na absorção de P: Carisma;

(2) grupo eficiente na absorção de P: Arroz Preto, Sertaneja, Centro América, Maravilha, Rio Paranaíba, Talento, Progresso, Zebu e Bico Ganga;

(3) grupo medianamente eficiente na absorção de P: Xingú, Apinajé, Primavera, Cambará, Araguaia, Pepita, IAC 47, Maranhão, Colosso, Canastra, Cuiabana, Conai, IAC 202, IAC 25, IAC 60 dias, Guaporé, Bonança, Ipê, Guanai, Douradão, Cabaçu, Carajás, IAC 1246, Rio Verde, Curinga, Monarca, Soberana, Montaninha 90 dias, Aimoré e Aroma;

(4) grupo pouco eficiente na absorção de P: Cateto Seda, Guape, Jaguary, Relâmpago, Caripuna, Tangará e Beira Campo.

O Carisma apresentou eficiência de absorção superior a dos demais cultivares de arroz de terras altas, por isso não formou grupo com outro cultivar (Figuras 2 e 3). Além disso, observou-se que os dois dendogramas das Figuras 2 e 3 são similares; isso significa que não houve diferença na eficiência de absorção de P entre grupos de cultivares de arroz de terras altas descontando-se (Figura 3) ou não (Figura 2) o P na planta proveniente da semente, pois os grupos de cultivares agrupados pelas variáveis AE e Valor L, e AE e Valor Lsem foram idênticos em ambos os dendogramas. Isso foi observado porque as sementes de arroz de terras altas, em função de seu tamanho relativamente pequeno, por exemplo, se comparado as sementes dos cultivares de feijoeiro comum, contribuíram com pouco P para o desenvolvimento das plantas. Portanto, o P das sementes não afetou a identificação e classificação dos cultivares de arroz de terras altas quanto à eficiência de absorção de P.

Em estudo de campo, foram verificadas diferenças na eficiência e resposta ao uso de P em oito cultivares (BRS-Jaçanã, Best-2000, BRS-Guará, BRS-Alvorada, BRA-01381, AN-Cambará, BRS 7-Taim e EPAGRI-109) de arroz recomendados para cultivo em várzea irrigada (ROTILI et al., 2010), e de acordo com metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980), somente o BRS-Alvorada foi eficiente quanto ao uso de P e responsivo a sua aplicação.

A eficiência de absorção de P (Valor L) correlacionou-se significativa e negativamente com a concentração (-0,240**) e acúmulo (-0,251**) de Zn na MSPA das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas, ou seja, houve redução na concentração de Zn na MSPA das plantas nos cultivares mais eficientes em absorver P

do solo (Tabela 3). Essas correlações, apesar de significativas, apresentaram baixos coeficientes de correlação; isso indica que houve redução significativa de Zn na MSPA das plantas com o aumento da eficiência de absorção, mas esse efeito não parece ser generalizado em todos os cultivares de arroz de terras. Esse efeito não foi observado com a concentração ou acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe e Mn na MSPA.

Dentre os micronutrientes avaliados, o total de P acumulado na MSPA correlacionou-se negativamente (-0,263**) com a concentração de Fe na MSPA (Tabela 3). Não houve correlação negativa entre o acúmulo de P na MSPA e a concentração de Zn na MSPA, diferentemente do observado em cultivares de cevada (ZHU; SMITH; SMITH, 2002) e de grão-de-bico (SRINIVASARAO et al., 2006). O total de P acumulado na MSPA correlacionou-se positivamente com o acúmulo de Cu (0,691***), Fe (0,581***), Mn (0,558***) e Zn (0,556***) na MSPA (Tabela 3), ou seja, não houve redução no acúmulo desses micronutrientes na MSPA com o aumento do total de P acumulado na MSPA das plantas dos cultivares de arroz de terras altas.

2.3.1.2 Segunda amostragem - parte aérea

Os valores médios da produção de MSPA das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P e P acumulado na MSPA, na segunda amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSPA (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Aimoré	11,09	0,47	5,22
Relâmpago	11,14	0,46	5,17
Douradão	11,73	0,51	5,99
Tangará	11,76	0,35	4,09
Conai	12,11	0,50	6,05
Colosso	14,33	0,46	6,53
Centro América	14,37	0,52	7,50
Primavera	14,83	0,45	6,64
Apinajé	15,31	0,43	6,57
Guanai	16,43	0,43	7,00
Soberana	17,54	0,59	10,27
IAC 25	17,68	0,60	10,57
Pepita	17,97	0,81	14,54
IAC 60 dias	18,09	0,47	8,55
Carajás	18,74	0,68	12,76
Bonança	18,75	0,86	16,15
Jaguary	19,39	0,69	13,41
Aroma	19,76	0,66	13,10
Cambará	20,13	0,57	11,45
Carisma	20,26	0,73	14,78
Talento	20,48	0,56	11,49
IAC 202	21,61	0,57	12,34
Montanhinha 90 dias	21,98	0,72	15,80
Guaporé	25,52	0,54	13,78
Beira Campo	25,65	0,50	12,81
Rio Verde	25,96	0,69	17,82
Progresso	26,12	0,77	20,13
Sertaneja	26,29	0,59	15,44
Araguaia	26,36	0,59	15,53
Xingú	26,42	0,58	15,31

Tabela 4 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSPA (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Maravilha	26,58	0,73	19,40
Cateto Seda	26,59	0,49	13,02
Curinga	27,02	0,79	21,27
Caripuna	27,06	0,59	15,98
Canastra	27,79	0,70	19,38
Bico Ganga	28,38	0,35	9,92
Monarca	28,51	0,68	19,38
Guape	29,85	0,71	21,20
Ipê	31,07	0,86	26,86
Arroz Preto	31,17	0,68	21,03
IAC 47	31,23	0,57	17,79
Cabaçu	31,35	0,77	24,10
Rio Paranaíba	31,61	0,53	16,79
IAC 1246	32,85	0,63	20,83
Maranhão	32,98	0,62	20,40
Cuiabana	33,74	0,89	30,16
Zebu	35,25	0,75	26,35
Média	23,00	0,61	14,48
CV (%)	9,57	10,95	10,74

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA e acúmulo desses micronutrientes na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Continua)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Aimoré	16,20	179,63	248,79	2758,93	343,24	3803,93	25,39	281,18
Relâmpago	14,19	158,14	283,34	3147,04	347,12	3854,30	21,22	235,57
Douradão	13,28	155,65	372,18	4364,30	313,48	3677,39	19,97	234,08
Tangará	14,29	167,91	293,53	3449,72	300,68	3538,59	27,43	322,29
Conai	12,49	151,13	379,12	4587,86	329,17	3980,09	22,34	270,00
Colosso	14,22	203,23	189,32	2711,04	316,51	4527,94	17,53	251,15
Centro América	14,69	211,27	280,96	4026,86	267,80	3841,19	23,05	330,71
Primavera	12,12	179,78	254,22	3767,99	211,00	3127,80	20,82	308,56
Apinajé	14,39	219,35	395,34	6027,31	280,34	4261,90	26,32	400,64
Guanai	15,99	262,68	222,49	3645,92	273,78	4493,35	25,13	411,56
Soberana	18,95	331,92	272,03	4764,49	252,91	4432,56	25,44	446,02
IAC 25	15,14	267,72	267,49	4729,47	289,57	5117,18	22,44	397,00
Pepita	18,67	335,21	203,40	3654,76	284,04	5099,50	18,44	330,80
IAC 60 dias	13,54	244,87	318,08	5747,93	225,09	4069,22	22,05	398,37
Carajás	17,23	322,21	221,90	4151,67	273,45	5121,62	20,62	386,53
Bonança	16,69	313,00	180,66	3382,39	238,57	4465,76	21,91	410,60
Jaguary	15,77	305,07	225,06	4355,88	181,03	3502,20	18,24	352,85
Aroma	17,57	346,32	270,55	5330,97	170,61	3365,40	16,13	318,45
Cambará	14,58	292,19	179,82	3598,51	187,80	3765,01	17,85	357,46
Carisma	22,71	459,17	216,09	4373,55	341,42	6899,21	17,03	344,17
Talento	13,71	280,50	255,47	5222,32	220,50	4510,86	19,70	403,26
IAC 202	13,91	300,67	280,92	6068,39	214,26	4625,92	20,48	442,01
Montanhinha 90 dias	16,08	353,40	277,87	6106,04	351,13	7714,50	22,68	498,32
Guaporé	13,98	356,47	291,85	7444,65	189,07	4820,26	20,56	524,48
Beira Campo	8,37	214,86	184,03	4717,86	164,70	4222,88	16,85	432,05
Rio Verde	12,69	328,91	256,50	6652,63	192,37	4992,63	15,89	412,04
Progresso	13,72	357,94	185,00	4831,59	191,57	5000,49	13,44	351,21

Tabela 5 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Conclusão)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Sertaneja	14,99	393,87	172,34	4524,98	214,44	5631,87	19,84	521,04
Araguaia	14,85	391,28	158,63	4181,53	167,20	4406,74	17,29	455,59
Xingú	18,36	485,06	219,17	5786,47	238,89	6308,95	17,73	468,18
Maravilha	15,68	416,69	123,77	3288,09	141,06	3747,21	16,32	433,63
Cateto Seda	11,48	304,93	271,16	7205,78	178,64	4747,72	17,70	470,36
Curinga	16,54	446,87	265,72	7179,57	177,76	4802,25	19,87	536,92
Caripuna	13,51	365,41	195,62	5287,90	214,02	5785,34	19,92	538,51
Canastra	16,19	449,12	168,92	4687,28	222,24	6162,64	15,35	425,28
Bico Ganga	10,24	290,60	251,28	7118,48	187,42	5315,51	18,34	519,20
Monarca	17,58	501,26	190,02	5416,69	195,95	5587,84	17,88	509,63
Guape	11,53	342,93	191,89	5723,30	180,70	5380,62	17,08	509,30
Ipê	15,96	495,47	207,12	6423,62	187,10	5806,95	17,94	556,98
Arroz Preto	12,07	376,14	157,04	4885,39	163,23	5071,76	13,10	407,58
IAC 47	13,18	411,67	203,47	6350,28	152,91	4769,72	18,50	576,63
Cabaçu	15,04	469,97	248,36	7768,88	182,68	5707,82	18,34	573,63
Rio Paranaíba	9,88	312,42	180,39	5703,16	213,56	6749,56	18,44	582,91
IAC 1246	11,53	378,59	237,18	7786,16	197,90	6496,64	16,12	529,23
Maranhão	10,43	343,64	254,85	8404,47	157,15	5181,44	13,84	456,30
Cuiabana	15,11	509,89	217,20	7325,34	176,30	5946,05	15,38	518,79
Zebu	11,27	397,12	186,30	6562,54	129,63	4565,31	18,26	643,13
Média	14,48	327,28	236,31	5217,66	226,17	4872,42	19,28	427,32
CV (%)	12,25	11,48	12,12	11,16	11,89	10,55	12,63	11,23

Os coeficientes de correlação (matriz de correlação) entre as 11 variáveis (MSPA, concentração de P na MSPA, acúmulo de P na MSPA, concentrações e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA) avaliadas na parte aérea das

plantas dos cultivares de arroz de terras altas, colhidas no estádio de maturação fisiológica, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA, na segunda das plantas dos 47 de arroz de terras altas

		Conc P	**P Acum**	**Conc Cu**	**Cu Acum**	**Conc Fe**
		g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}
MSPA	g/planta	0,486***	0,884***	-0,309***	0,775***	-0,545***
Conc P	g kg^{-1}		0,808***	0,370***	0,710***	-0,415***
P Acum	mg/planta			-0,026ns	0,850***	-0,531***
Conc Cu	mg kg^{-1}				0,354***	-0,032ns
Cu Acum	µg/planta					-0,526***
		Fe Acum	**Conc Mn**	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
MSPA	g/planta	0,718***	-0,772***	0,576***	-0,678***	0,845***
Conc P	g kg^{-1}	0,222**	-0,305***	0,392***	-0,447***	0,341***
P Acum	mg/planta	0,571***	-0,651***	0,540***	-0,641***	0,721***
Conc Cu	mg kg^{-1}	-0,321***	0,395***	0,136ns	0,216**	-0,205**
Cu Acum	µg/planta	0,479***	-0,508***	0,624***	-0,524***	0,682***
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,187*	0,469***	-0,274***	0,557***	-0,338***
Fe Acum	µg/planta		-0,502***	0,452***	-0,320***	0,700***
Conc Mn	mg kg^{-1}			0,036ns	0,604***	-0,603***
Mn Acum	µg/planta				-0,290***	0,565***
Conc Zn	mg kg^{-1}					-0,204*

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

Os valores de MSPA correlacionaram-se significativa e positivamente com as concentrações de P na MSPA (0,486***) e P acumulado na MSPA (0,884***) (Tabela 6). Portanto, houve resposta das plantas em produção de MSPA ao aumento de P no tecido vegetal. O dendograma resultante do agrupamento dessas três variáveis, dos cultivares de arroz de terras altas, na segunda amostragem, está apresentado na Figura 4. A partir dessa figura e dos valores médios apresentados na Tabela 4, os 47 cultivares de arroz de terras altas foram classificados nos quatro seguintes grupos:

- Primeiro: Cuiabana, Ipê, Cabaçu e Zebu (cultivares com maiores valores de MSPA, concentração e acúmulo de P na MSPA);

- Segundo: Cateto Seda, Beira Campo, Guaporé, Xingú, Sertaneja, Araguaia, Caripuna, Rio Parnaíba, IAC 47, Maranhão, IAC 1246, Arroz Preto, Guape, Monarca, Canastra, Maravilha, Rio Verde, Progresso, Curinga, Bonança, Pepita, Montaninha 90 dias, Carisma, Jaguary, Carajás, Aroma, IAC 202, Talento, Cambará, IAC 25 e Soberana;

- Terceiro: Tangará, Relâmpago, Aimoré, Conai, Douradão, Centro América, Colosso, Primavera, Apinajé, Guanai e IAC 60 dias (cultivares com menores valores de MSPA, concentração e acúmulo de P na MSPA);

- Quarto: Quarto: Bico Ganga.

Observou-se que o Bico Ganga não se agrupou com outro cultivar, porque apresentou alta produção de MSPA, mas baixa concentração e acúmulo de P na MSPA (Figura 4 e Tabela 4).

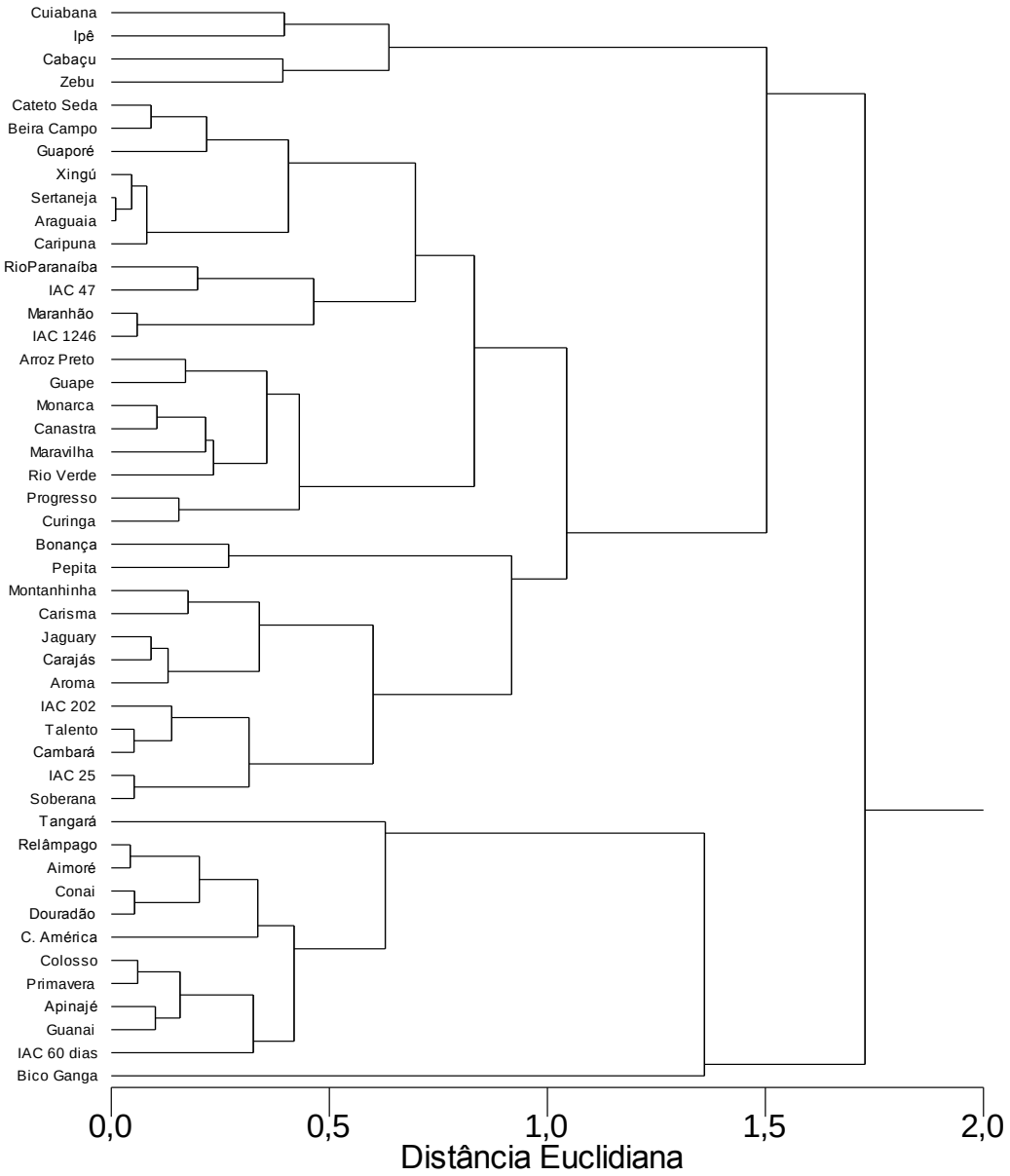

Figura 4 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração e fósforo acumulado na MSPA, na segunda amostragem das plantas

A produção de grãos de arroz de terras altas está associada com a MSPA [Y = -27,74 + 3,02X - 0,027X^2 (R^2= 0,92**); em que: Y= produção de grãos, g/vaso e X = produção de MSPA, g/vaso] (FAGERIA et al., 2004), sendo essa relação explicada por modelo quadrático. No entanto, considerando-se os 47 cultivares de arroz de terras

altas, avaliados na segunda amostragem, não foi observada correlação (linear) entre a MSPA e MSG (0,061^{ns}) (tabela não apresentada). Portanto, a existência de correlação entre MSPA e grãos produzidos depende do cultivar de arroz de terras altas, ou seja, esse efeito não parece ser geral com todos cultivares. Por exemplo, dentre os cultivares de arroz de terras altas, na segunda amostragem das plantas, com maiores valores de MSPA, concentração e acúmulo de P na MSPA (Cuiabana, Ipê, Cabaçu e Zebu) (Figura 4), nenhum foi classificado como altamente produtivo (Caripuna) ou muito produtivo (Bico Ganga, Sertaneja, IAC 202, Colosso e Rio Parnaíba), em termos de grãos produzidos (Figura 5). Além disso, a ausência de relação entre MSPA e MSG nesse experimento pode ser explicada pelo fato de que a correlação de Pearson é medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, e não modelo quadrático, como utilizado por Fageria et al. (2004).

O total de P acumulado na MSPA correlacionou-se negativamente com a concentração de Fe (-0,531***), Mn (-0,651***) e Zn (-0,641***) (Tabela 6). Assim, houve correlação negativa entre o acúmulo de P na MSPA e a concentração de Zn na MSPA das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, como também observado em cultivares de cevada (ZHU; SMITH; SMITH, 2002) e de grão-de-bico (SRINIVASARAO et al., 2006). No entanto, efeito inverso foi observado em termos de acúmulo de P e desses micronutrientes na MSPA, sendo que o total de P acumulado na MSPA correlacionou-se positivamente com o acúmulo de Cu (0,850***), Fe (0,571***), Mn (0,540***) e Zn (0,721***) (Tabela 6).

Considerando-se também houve correlação positiva entre MSPA com o acúmulo de P na MSPA e desses quatro micronutrientes na MSPA, conclui-se a redução da concentração dos micronutrientes Fe, Mn e Zn na MSPA ocorreu somente pelo efeito de diluição, e não pelo efeito direto de absorção ou transporte de micronutrientes na planta em genótipos mais eficientes na absorção de P, ou com maior acúmulo de P na parte aérea da planta, como verificado com o Zn em cultivares de cevada (ZHU; SMITH; SMITH, 2002).

Os coeficientes de correlação entre as 11 variáveis estudadas na parte aérea das plantas de arroz de terras altas na segunda amostragem e três variáveis avaliadas na primeira (AE, Valor L e Valor Lsem) estão apresentadas na Tabela 7. Essas

correlações foram realizadas com o objetivo principal de comparar o efeito da eficiência de absorção de P pelas plantas dos cultivares de arroz de terras altas na absorção de micronutrientes pelas plantas.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas na parte aérea das plantas de arroz de terras altas na segunda amostragem [matéria seca da parte aérea (MSPA[2]), concentração de fósforo na MSPA (Conc P[2]), P acumulado na MSPA (P Acum[2]), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu[2]), ferro (Conc Fe[2]), manganês (Conc Mn[2]) e zinco (Conc Zn[2]) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum[2]), Fe (Fe Acum[2]), Mn (Mn Acum[2]) e Zn (Acum Zn[2]) na MSPA] e as variáveis atividade específica (AE[1]), Valor L (Valor L[1]), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem[1]) referentes à primeira amostragem

		MSPA[2]	**Conc P[2]**	**P Acum[2]**	**Conc Cu[2]**	**Cu Acum[2]**
		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM μg^{-1} P	-0,187*	-0,123ns	-0,164ns	-0,090ns	-0,233**
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	0,175*	0,093ns	0,138ns	0,095ns	0,214*
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	0,171*	0,091ns	0,134ns	0,097ns	0,211*

		Conc Fe[2]	**Fe Acum[2]**	**Conc Mn[2]**	**Mn Acum[2]**	**Conc Zn[2]**	**Zn Acum[2]**
		mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM μg^{-1} P	0,199*	-0,008ns	0,095ns	-0,186*	0,249**	-0,076ns
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	-0,250**	-0,056ns	-0,068ns	0,199*	-0,254**	0,054ns
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	-0,248**	-0,058ns	-0,066ns	0,196*	-0,251**	0,052ns

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.
[1]Primeira amostragem – parte aérea das plantas dos cultivares de arroz de terras altas.
[2]Segunda amostragem – palha das plantas dos cultivares de arroz de terras altas (parte aérea menos grãos).

Considerando as correlações entre as variáveis Valor L dos cultivares de arroz de terras altas, na primeira amostragem, com a concentração ou acúmulo de micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA, na segunda amostragem, verificou-se correlação significativa e negativa da eficiência de absorção de P (Valor L) com a concentração de Fe (-0,250**) e Zn (-0,254**) na MSPA (Tabela 7). Apesar disso, os

coeficientes de correlação foram relativamente baixos, assim como também observado na primeira amostragem das plantas, em que o coeficiente de correlação entre variáveis Valor L e concentração de Zn na MSPA de foi -0,240** (Tabela 3); neste caso, não houve correlação significativa entre Valor L e concentração de Fe na MSPA (Tabela 3).

Não foi observado redução nas concentrações de Cu e Mn na MSPA com o aumento da eficiência de absorção de P, tanto na primeira amostragem (Tabela 3), como na segunda (Tabela 7). Também não houve correlação significativa e negativa entre as variáveis Valor L e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA, na segunda amostragem (Tabela 7).

Observou-se efeito negativo da eficiência de absorção de P na concentração de Zn na MSPA, mas, de modo geral, os cultivares de arroz de terras altas mais eficientes em absorver P não apresentaram menores concentrações de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA. Embora tenha sido observado efeito negativo da eficiência de absorção de P na concentração de Zn na MSPA, esse efeito não parece ser generalizado para todos os cultivares de arroz de terras altas e para todos os micronutrientes.

2.3.1.3 Segunda amostragem – grãos

Os valores médios de produção de MSG das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, concentração de P e P acumulado na MSG, na segunda amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca de grãos (MSG) das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSG (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSG	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Soberana	10,66	2,01	21,35
Guape	11,21	2,45	27,47
Carajás	11,47	1,88	21,45
Zebu	12,43	2,24	27,77
Cabaçu	12,46	2,10	26,21
Xingú	12,64	2,22	28,06
Araguaia	12,83	2,04	26,12
Centro América	12,88	1,92	24,73
Douradão	12,88	2,03	26,12
Arroz Preto	13,25	2,29	30,34
IAC 60 dias	13,51	1,98	26,75
Rio Verde	13,61	2,22	30,18
Primavera	13,64	2,02	27,56
IAC 25	14,04	1,97	27,69
Montanhinha 90 dias	14,10	2,12	29,89
Progresso	14,15	1,82	25,68
Bonança	14,17	2,02	28,65
IAC 1246	14,25	2,05	29,21
Ipê	14,34	2,08	29,85
Maravilha	14,48	1,94	28,11
Cuiabana	14,74	1,84	27,02
Aimoré	14,81	1,87	27,59
Jaguary	14,81	2,15	31,83
Guanai	14,96	1,71	25,52
Monarca	15,18	1,72	26,00
Carisma	15,25	1,95	29,80
Conai	15,35	1,94	29,71
Relâmpago	15,41	1,76	27,00
Tangará	15,47	1,73	26,78
Aroma	15,49	1,70	26,38
Pepita	15,60	1,93	30,03

Tabela 8 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca de grãos (MSG) das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSG (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	MSG	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Curinga	15,72	2,27	35,60
Beira Campo	15,78	1,91	30,09
Maranhão	15,88	2,09	33,15
Apinajé	16,15	1,94	31,38
Guaporé	16,36	2,00	32,70
Cambará	16,61	1,67	27,68
Canastra	16,79	2,11	35,41
Cateto Seda	17,37	2,20	38,31
Talento	17,60	1,95	34,26
Rio Paranaíba	17,69	1,79	31,63
IAC 47	17,79	1,99	35,44
Caripuna	18,18	2,39	43,34
Colosso	18,52	1,65	30,50
Sertaneja	20,20	1,88	37,91
IAC 202	20,39	1,69	34,43
Bico Ganga	20,59	2,04	41,87
Média	15,14	1,98	29,88
CV (%)	12,32	12,19	12,15

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSG e acúmulo desses micronutrientes na MSG, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca de grãos (MSG) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSG, na segunda amostragem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Continua)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Soberana	6,20	65,87	41,71	443,64	65,26	693,20	38,78	413,00
Guape	4,57	51,19	29,14	325,82	37,24	416,87	22,70	253,85
Carajás	4,33	49,40	27,15	309,85	72,05	819,50	42,00	478,16
Zebu	4,37	54,28	26,43	328,73	38,29	476,10	21,45	266,76
Cabaçu	4,61	57,36	27,28	339,84	37,23	463,66	41,34	514,95
Xingú	5,10	64,30	26,75	337,57	39,27	495,99	41,20	520,33
Araguaia	3,30	42,36	24,89	319,24	44,28	567,73	32,03	410,85
Centro América	5,14	66,19	26,52	341,51	62,66	806,50	32,97	424,46
Douradão	5,41	69,63	24,92	320,62	50,54	650,81	33,50	431,00
Arroz Preto	4,16	55,11	25,25	334,21	25,32	335,49	39,04	516,85
IAC 60 dias	5,20	70,34	32,36	437,35	48,46	654,85	36,10	487,83
Rio Verde	3,90	53,09	29,91	406,94	29,98	407,96	41,10	559,18
Primavera	5,07	69,19	33,93	461,77	73,90	1006,48	35,75	487,10
IAC 25	5,58	78,30	39,78	558,03	59,26	831,32	38,82	544,77
Montanhinha 90 dias	4,67	65,68	32,45	457,06	60,02	845,59	18,92	266,78
Progresso	3,85	54,31	25,89	365,39	49,63	699,97	33,24	468,82
Bonança	3,98	56,45	38,62	546,70	34,61	490,35	34,05	482,41
IAC 1246	4,11	58,47	30,15	429,57	50,06	713,20	21,63	307,76
Ipê	4,37	62,71	36,06	516,83	55,15	790,22	23,43	335,51
Maravilha	3,62	52,24	45,17	652,95	53,30	770,51	32,46	468,82
Cuiabana	4,18	61,37	28,48	417,91	41,30	607,08	25,35	372,27
Aimoré	4,89	72,42	35,34	522,70	56,20	829,98	33,18	490,15
Jaguary	5,02	74,34	40,57	600,90	36,35	538,15	23,29	344,98
Guanai	5,29	79,04	29,81	445,84	57,87	865,40	38,29	572,58
Monarca	3,89	58,87	31,10	470,67	67,37	1019,84	22,01	332,83
Carisma	3,55	54,22	31,23	475,44	42,20	642,86	31,17	474,32
Conai	4,64	71,14	36,50	558,57	65,72	1005,74	33,31	510,42

Tabela 9 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca de grãos (MSG) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSG, na segunda amostragem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

(Conclusão)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Relâmpago	5,83	89,44	42,92	659,15	109,65	1681,58	37,00	568,41
Tangará	6,41	99,06	41,73	645,13	57,25	885,04	34,26	529,78
Aroma	4,69	72,72	35,94	556,25	42,48	657,33	33,78	522,37
Pepita	4,75	73,98	29,95	466,81	78,57	1223,89	35,24	548,62
Curinga	4,57	71,62	36,60	574,40	39,23	615,94	20,35	319,84
Beira Campo	4,43	69,97	20,22	319,08	28,34	447,12	33,61	530,34
Maranhão	3,92	62,27	23,75	377,06	36,02	571,80	38,18	606,04
Apinajé	4,97	80,15	38,02	613,88	60,07	970,08	33,63	543,08
Guaporé	4,68	76,24	34,71	565,82	28,84	471,29	41,58	678,74
Cambará	3,59	59,72	33,20	551,39	58,37	969,29	36,18	600,82
Canastra	3,48	58,22	24,40	408,66	48,57	813,24	38,81	650,19
Cateto Seda	4,58	79,50	24,96	433,19	26,34	456,56	29,46	510,41
Talento	3,59	62,99	20,63	362,45	45,70	801,55	29,24	512,84
Rio Paranaíba	3,43	60,56	24,14	426,93	45,61	805,94	40,91	722,62
IAC 47	3,85	68,58	25,81	458,75	37,74	670,95	37,17	660,70
Caripuna	4,35	78,78	24,69	448,10	44,76	812,67	21,73	395,06
Colosso	3,69	68,30	26,61	492,84	65,53	1213,28	32,15	595,29
Sertaneja	3,76	76,10	24,47	492,64	54,92	1107,02	35,64	718,47
IAC 202	3,59	73,05	28,80	585,29	52,40	1065,99	32,11	653,05
Bico Ganga	4,43	91,36	22,39	460,89	45,10	926,93	34,52	710,41
Média	4,46	66,82	30,67	460,09	50,19	757,72	32,82	496,04
CV (%)	12,82	12,65	13,51	13,14	13,78	13,64	12,97	12,47

Os coeficientes de correlação (matriz de correlação) entre as 10 variáveis, estudadas nos grãos das plantas dos cultivares de arroz de terras altas, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca de grãos (MSG), concentração de fósforo na MSG (Conc P), P acumulado na MSG (P Acum), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSG das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas

		Conc P	**P Acum**	**Conc Cu**	**Cu Acum**	**Conc Fe**
		g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}
MSG	g/planta	-0,512***	0,711***	-0,427***	0,477***	-0,384**
Conc P	g kg^{-1}		0,321***	0,078ns	-0,207*	-0,113ns
P Acum	mg/planta			-0,328***	0,358***	-0,352***
Conc Cu	mg kg^{-1}				0,609***	0,490***
Cu Acum	µg/planta					0,234**
		Fe Acum	**Conc Mn**	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
MSG	g/planta	0,537***	-0,062ns	0,502***	-0,063ns	0,603***
Conc P	g kg^{-1}	-0,349***	-0,432***	-0,556***	-0,215**	-0,397***
P Acum	mg/planta	0,152ns	-0,341***	0,034ns	-0,203*	0,339***
Conc Cu	mg kg^{-1}	0,198*	0,347***	0,117ns	0,129ns	-0,168*
Cu Acum	µg/planta	0,549***	0,258**	0,550***	0,042ns	0,335***
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,773***	0,395***	0,231**	-0,023ns	-0214**
Fe Acum	µg/planta		0,332***	0,584***	-0,074ns	0,1878*
Conc Mn	mg kg^{-1}			0,881***	0,083ns	0,015ns
Mn Acum	µg/planta				0,033ns	0,285***
Conc Zn	mg kg^{-1}					0,749***

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

Os valores de MSG correlacionaram-se significativa e negativamente com as concentrações de P na MSG (-0,512***) e positivamente com os de P acumulado na MSG (0,711***) (Tabela 10). A concentração de P na MSG reduziu com o aumento da MSG pelo efeito de diluição.

A correlação positiva entre grãos produzidos e acúmulo de P na MSG indica que é possível aumentar a produção de grãos na cultura do arroz de terras altas com o aumento da absorção pelas plantas e acúmulo de P na MSG, assim como relatado por Fageria; Barbosa Filho; Stone (2004) para a cultura do feijoeiro comum, que indicam o uso de genótipos de feijoeiro mais eficientes no uso de P para aumentar a produtividade de grãos.

A partir da análise de agrupamento hierárquico das variáveis MSG, concentração e acúmulo de P na MSG foram identificados os cinco seguintes grupos, homogêneos e distintos entre si, de cultivares de arroz de terras altas: primeiro grupo formado pelo cultivar Guape; o segundo, pelos cultivares Soberana e Carajás; o terceiro, pelos cultivares Cambará, Relâmpago, Tangará, Aroma, Monarca, Guanai, Progresso, Cuiabana, Aimoré, Arroz Preto, Rio Verde, Xingú, Zebu, Cabaçu, Araguaia, Douradão, Centro América, Maravilha, IAC 25, IAC 60 dias, Primavera, Bonança, IAC 1246, Ipê, Montaninha 90 dias, IAC 47, Talento, Carisma, Conai, Pepita, Beira Campo, Apinajé, Guaporé, Maranhão, Jaguary, Curinga, Canastra e Cateto Seda; o quarto, pelos cultivares Bico Ganga, Sertaneja, IAC 202, Colosso e Rio Parnaíba; e quinto o pelo cultivar Caripuna (Figura 5). De acordo com os grupos pré-definidos e valores da Tabela 8, os cultivares de arroz de terras altas foram classificados em:

(1) Grupo altamente produtivo e altamente rico em P nos grãos: Caripuna;

(2) Grupo muito produtivo e muito rico em P nos grãos: Bico Ganga, Sertaneja, IAC 202, Colosso e Rio Parnaíba;

(3) Grupo produtivo e rico em P nos grãos: Cambará, Relâmpago, Tangará, Aroma, Monarca, Guanai, Progresso, Cuiabana, Aimoré, Arroz Preto, Rio Verde, Xingú, Zebu, Cabaçu, Araguaia, Douradão, Centro América, Maravilha, IAC 25, IAC 60 dias, Primavera, Bonança, IAC 1246, Ipê, Montaninha 90 dias, IAC 47, Talento, Carisma, Conai, Pepita, Beira Campo, Apinajé, Guaporé, Maranhão, Jaguary, Curinga, Canastra e Cateto Seda;

(4) Grupo medianamente produtivo e medianamente rico em P nos grãos: Guape;

(5) Grupo pouco produtivo e pobre em P nos grãos: Soberana e Carajás.

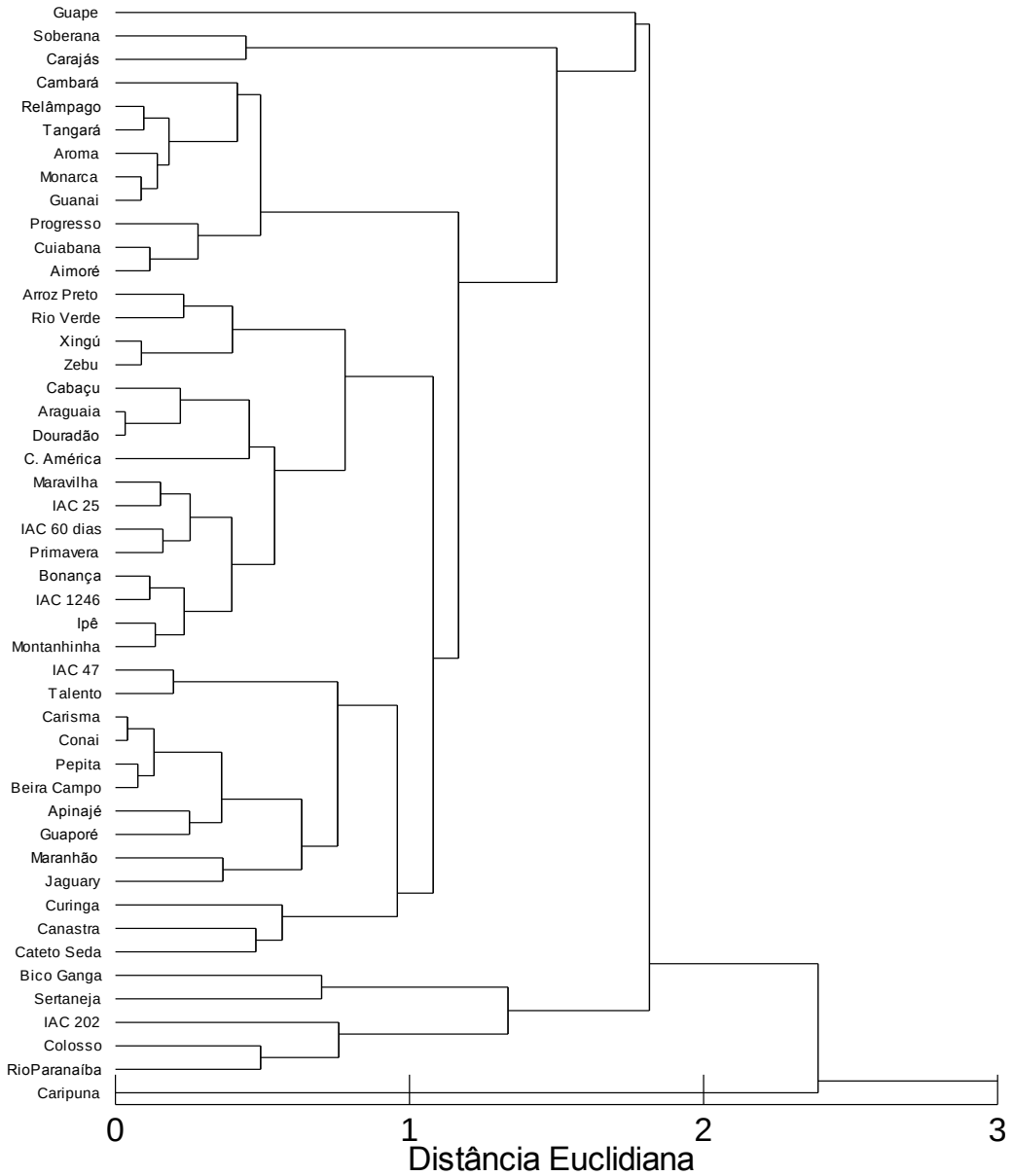

Figura 5 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis matéria seca de grãos (MSG), concentração e fósforo acumulado na MSG

O Guape não se agrupou com outro cultivar porque apresentou baixa produção de grãos, mas alto acúmulo de P na MSG; isso indica que esse cultivar não foi eficiente em converter o P acumulado em MSG. O Caripuna apresentou produção de grãos semelhante a de outros cultivares, porém não formou grupo com outro cultivar porque o acúmulo de P na MSG foi superior a dos demais cultivares de arroz de terras altas.

Nesse experimento, foi observado produção de grãos e acúmulo de P na MSG superior do cultivar Rio Parnaíba, em comparação ao Araguaia, sendo que esses cultivares foram classificados nos grupos muito produtivo e produtivo, respectivamente.

Em experimento de campo, genótipos de arroz de terras altas também apresentaram diferenças na produção de grãos quando cultivados em baixo teor de P disponível (P-Mehlich-1 = 2,2 mg kg^{-1}) no solo, sendo que o Rio Parnaíba foi mais produtivo que o Araguaia (FAGERIA; SANT'ANA; MORAIS, 1995). Além disso, também foi verificado diferenças na absorção e utilização de P pelos genótipos de arroz de terras altas (FAGERIA; SANT'ANA; MORAIS, 1995).

O cultivar Carisma, embora tenha sido o mais eficiente na absorção de P (Figuras 2 e 3), não foi classificado no grupos dos cultivares mais produtivos em termos de MSG. Portanto, considerando-se a definição de eficiência de utilização de Malavolta (2006), esse cultivar não foi o mais eficiente na utilização de P. No segundo grupo de cultivares (Arroz Preto, Sertaneja, Centro América, Maravilha, Rio Paranaíba, Talento, Progresso, Zebu e Bico Ganga) mais eficientes na absorção de P (Figuras 2 e 3), destacaramm-se o Bico Ganga, Sertaneja e Rio Parnaíba, pois esses foram classificados no segundo grupo dos cultivares mais produtivos, em termos de grãos (Figura 5).

A MSG correlacionou-se negativamente com a concentração de Cu (-0,427***), Fe (-0,384***) e positivamente com o acúmulo de Cu (0,477***), Fe (0,537***), Mn (0,502***) e Zn (0,603***) (Tabela 10). O total de P acumulado na MSG correlacionou-se negativamente com a concentração de Cu (-0,328***), Fe (-0,352***), Mn (-0,341***) e Zn (-0,203*) e positivamente com o acúmulo de Cu (0,358***) e Zn (0,339***) (Tabela 10). Portanto, observou-se que cultivares de arroz de terras altas mais produtivos e com maior conteúdo total de P na MSG apresentaram menor concentração de Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos. Esse efeito ocorreu provavelmente pela diluição dos micronutrientes na MSG, pois a produção de grãos correlacionou-se positivamente com o acúmulo desses quatro micronutrientes na MSG (Tabela 10).

Os estudos de eficiência de absorção de P por cultivares de plantas, sem o uso da técnica com ^{32}P, geralmente utilizam índices de eficiência baseados na MSPA ou MSG e no P acumulado pelas plantas. Nesse sentido, foram realizadas correlações

entre a matéria seca total da parte aérea das plantas (MST = MSPA + MSG) e acúmulo de P na MST, na segunda amostragem das plantas, com a concentração dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos.

Observou-se correlação significativa e positiva (0,903***) entre a MST e o P acumulado na MST. A MST correlacionou-se significativa e negativamente com a concentração e acúmulo de Cu (-0,603*** e -0,250**, respectivamente), Fe (-0,499*** e -0,244**, respectivamente) e Mn (-0,565*** e -0,340***, respectivamente) e com a concentração Zn (-0,227***) nos grãos (tabela não apresentada). O acúmulo de P na MST correlacionou-se significativa e negativamente com a concentração e acúmulo de Cu (-0,545*** e -0,229**, respectivamente), Mn (-0,552*** e -0,349**, respectivamente) e com as concentrações de Fe (-0,378***) e Zn (-0,370***) nos grãos (tabela não apresentada). O dendograma resultante da análise de agrupamento dessas nove variáveis correlacionadas (MST, P total acumulado na MST, concentração e acúmulo de Cu, Fe e Mn na MSG e concentração de Zn na MSG) é apresentado na Figura 6. Nesse caso, pela Figura 6 e os valores das Tabelas 8 e 9, foram considerados seis grupos de cultivares de arroz de terras altas homogêneos e distintos entre si, como descrito a seguir:

- Primeiro: Relâmpago (cultivar com menores valores de MST e P acumulado na MST e maiores valores de concentração e acúmulo de Cu, Fe e Mn e de concentração de Zn nos grãos);

- Segundo: Tangará;

- Terceiro: Soberana, IAC 25, Apinajé, Aimoré, Conai, Primavera, IAC 60 dias, Guanai, Centro América, Douradão, e Carajás;

- Quarto: Pepita, Colosso, Cambará, IAC 202, Sertaneja e Bico Ganga (cultivares desse grupo apresentaram altos valores de MST, de P acumulado na MST, de concentração e acúmulo de Cu, Fe e Mn e de concentração de Zn nos grãos);

- Quinto: Monarca, Montaninha 90 dias, Curinga, Ipê, Caripuna, IAC1246, Cuiabana, Zebu, Guape, Araguaia, Progresso, Talento, Canastra, Rio Parnaíba, IAC 47, Maranhão, Rio Verde, Arroz Preto, Cabaçu, Xingú, Beira Campo e Cateto Seda (cultivares com maiores valores de MST e P acumulado na MST e baixos valores de concentração e acúmulo de Cu, Fe e Mn e de concentração de Zn nos grãos);

- Sexto: Jaguary, Aroma, Guaporé, Carisma, Bonança e Maravilha (cultivares com valores intermediários de MST e P acumulado na MST e baixos valores de concentração e acúmulo de Cu, Fe e Mn e de concentração de Zn nos grãos).

Do ponto de vista agronômico e de qualidade do alimento, os cultivares do quarto grupo (Pepita, Colosso, Cambará, IAC 202, Sertaneja e Bico Ganga) foram os mais interessantes, pois são produtivos e ricos em micronutrientes nos grãos.

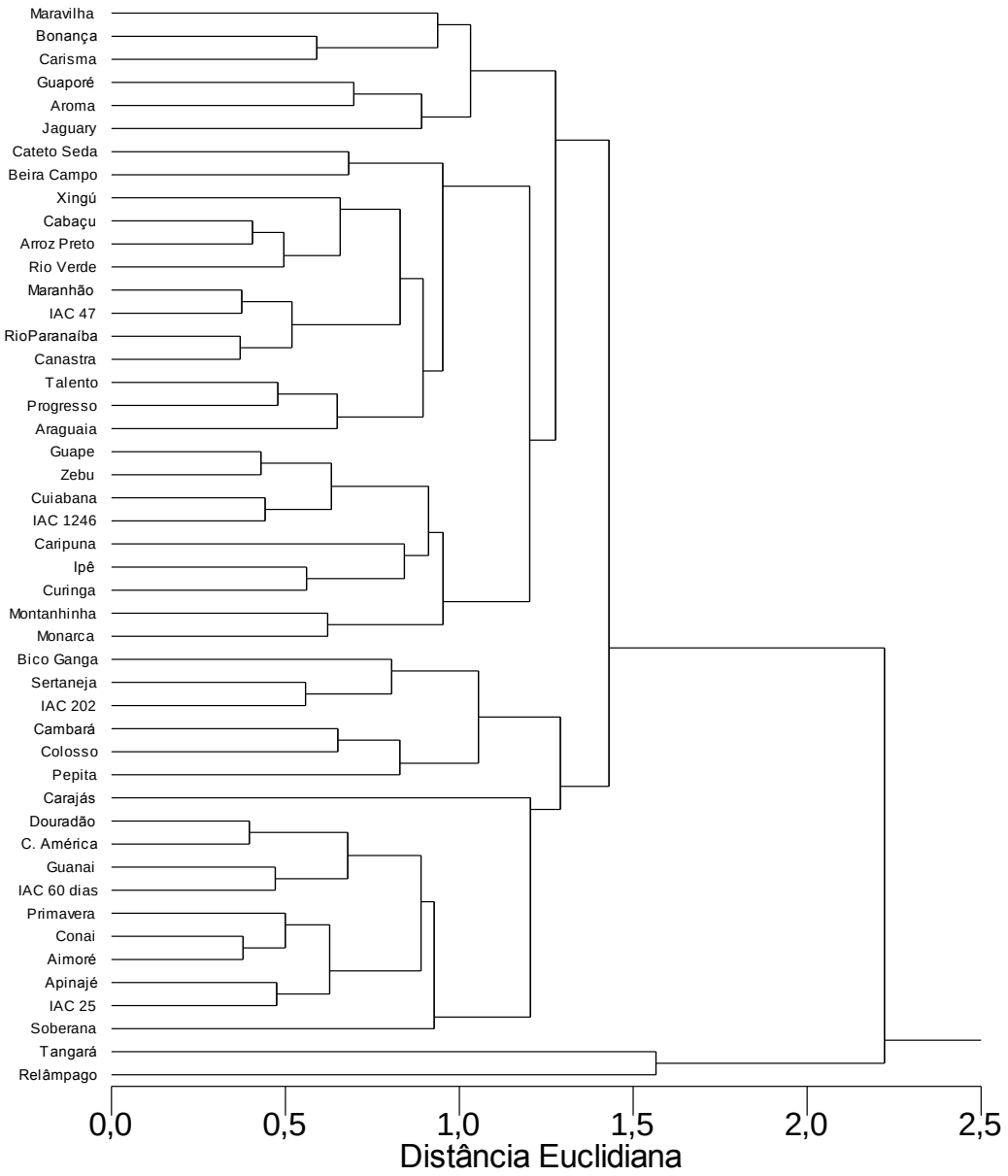

Figura 6 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, avaliados na segunda amostragem das plantas, e baseado nas variáveis matéria seca total da parte aérea das plantas (MST), acúmulo de P na MST, concentração e acúmulo de cobre, ferro, manganês e concentração de Zn nos grãos

Os coeficientes de correlação entre as 11 variáveis estudadas na parte aérea das plantas de arroz de terras altas, na segunda amostragem, e três variáveis avaliadas na primeira (AE, Valor L e Valor Lsem), estão apresentados na Tabela 11. Essas correlações foram realizadas com o objetivo principal de comparar o efeito da eficiência

de absorção de P pelas plantas dos cultivares de arroz de terras altas na concentração e acúmulo de micronutrientes nos grãos.

Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas nos grãos das plantas de arroz de terras altas na segunda amostragem [matéria seca de grãos (MSG), concentração de fósforo na MSG (Conc P MSG), P acumulado na MSG (P Acum MSG), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu MSG), ferro (Conc Fe MSG), manganês (Conc Mn MSG) e zinco (Conc Zn MSG) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum MSG), Fe (Fe Acum MSG), Mn (Mn Acum MSG) e Zn (Acum Zn MSG) na MSG] e as variáveis atividade específica (AE[1]), Valor L (Valor L[1]), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem[1]) referentes à primeira amostragem

		MSG	**Conc P MSG**	**P Acum MSG**	**Conc Cu MSG**	**Cu Acum MSG**
		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM $µg^{-1}$ P	-0,099ns	0,095ns	-0,020ns	0,444***	0,363***
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	0,126ns	-0,074ns	0,064ns	-0,426**	-0,319***
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	0,129ns	-0,075ns	0,067ns	-0,427**	-0,316***

		Conc Fe MSG	**Fe Acum MSG**	**Conc Mn MSG**	**Mn Acum MSG**	**Conc Zn MSG**	**Zn Acum MSG**
		mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM $µg^{-1}$ P	0,266**	0,194*	0,039ns	-0,023ns	-0,236**	-0,273***
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	-0,272**	-0,184*	-0,069ns	0,007ns	0,191*	0,256**
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	-0,270**	-0,179*	-0,068ns	0,009ns	0,192*	0,259**

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.
[1]Primeira amostragem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas.

A eficiência de absorção de P (Valor L) pelas plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas, obtida na primeira amostragem, correlacionou-se significativa e negativamente com a concentração e acúmulo de Cu (-0,426*** e -0,319***, respectivamente) e de Fe (-0,272** e -0,184*, respectivamente) nos grãos e positivamente com a de Zn (0,191* e 0,256**, respectivamente) (Tabela 11). Assim, os cultivares de arroz de terras altas mais eficientes em absorver P foram mais pobres nos

micronutrientes Cu e Fe na parte comestível. Dentre esses três micronutrientes, o Cu nos grãos foi o que apresentou maior coeficiente de correlação com o Valor L. Os baixos coeficientes lineares de Pearson dessas correlações, apesar de significativas, indicam que não se pode generalizar que o aumento da eficiência de absorção de P reduz as concentrações de micronutrientes nos grãos de cultivares de arroz de terras altas. Além disso, a concentração e o acúmulo de Zn nos grãos foram maiores nos cultivares de arroz de terras altas mais eficientes em absorver P.

O dendograma resultante do agrupamento das três variáveis (AE, Valor L e Valor Lsem) relacionadas à eficiência de absorção de P, avaliadas na primeira amostragem, e as variáveis concentração e acúmulo de Cu, Fe e Zn nos grãos dos cultivares de arroz de terras altas, está apresentado na Figura 7. Considerando-se essas variáveis, os cinco grupos de cultivares formados foram:

- Primeiro: Maravilha e Carisma (cultivares mais eficientes na absorção de P, mais ricos em Zn nos grãos e com menor concentração e acúmulo de Cu e Fe na MSG);

- Segundo: Zebu, Araguaia, Talento, Progresso, Arroz Preto, Centro América, Xingú, Rio Parnaíba, Sertaneja e Bico Ganga;

- Terceiro: Guaporé, IAC 25, Apinajé, Conai, Pepita, Primavera, IAC 60 dias, Guanai, Aimoré, Aroma, Bonança, Cambará, IAC 202, Colosso, IAC 47, Maranhão, Canastra, Rio Verde, Cabaçu, Carajás, Douradão, Soberana;

- Quarto: Jaguary, Curinga, Ipê, Monarca, IAC 1246, Montaninha 90 dias, Cuiabana, Guape, Caripuna, Cateto Seda e Beira Campo;

- Quinto: Relâmpago e Tangará (cultivares menos eficientes na absorção de P, com maior concentração e acúmulo de Cu e Fe na MSG e mais pobres em Zn nos grãos).

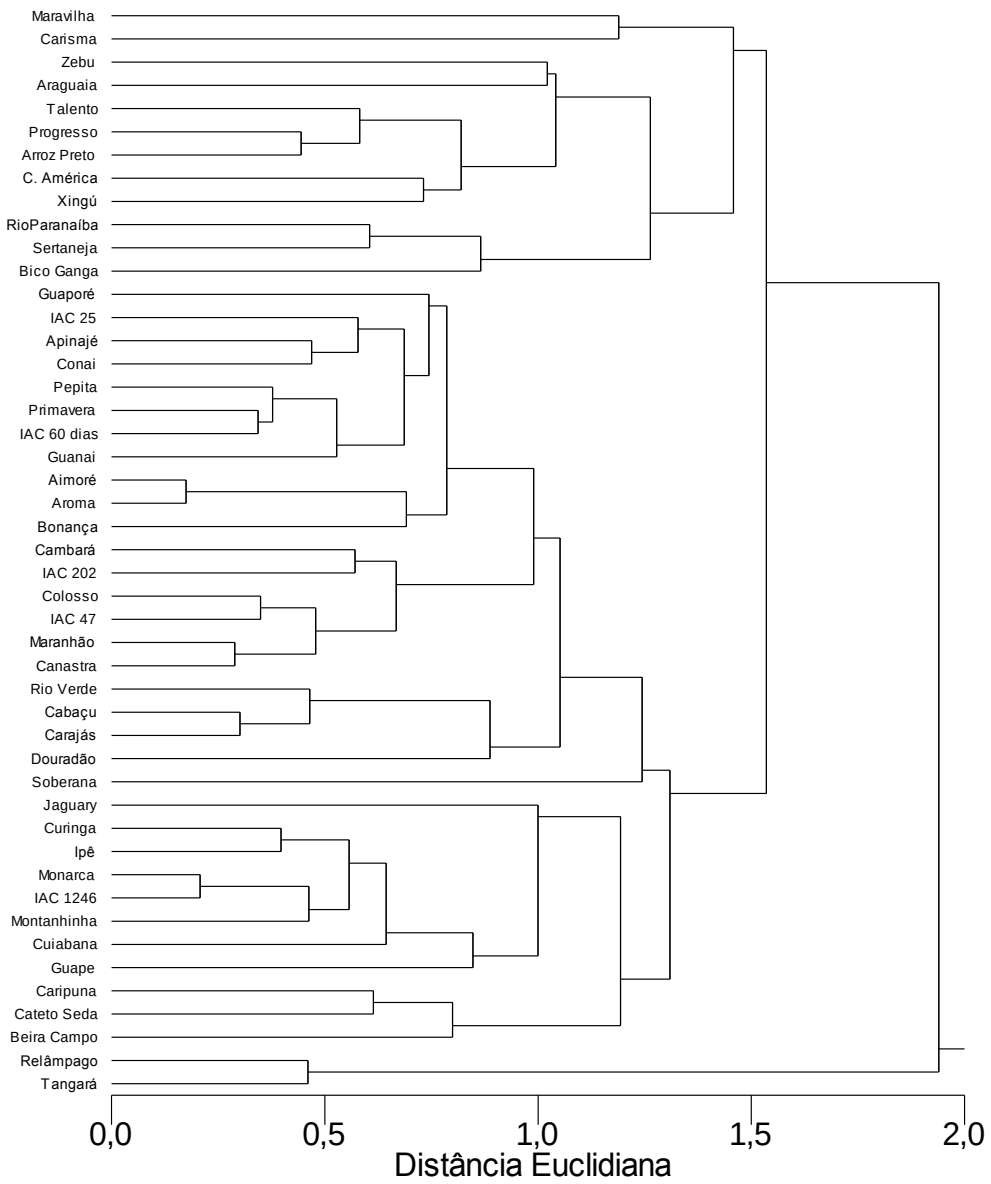

Figura 7 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 47 cultivares de arroz de terras altas, baseado nas variáveis eficiência de absorção de fósforo (Valor L e Valor L descontado o fósforo na planta proveniente da semente), avaliada na primeira amostragem, e concentração e acúmulo de cobre, ferro e zinco nos grãos, avaliadas na segunda amostragem

Os dois grupos de cultivares mais contrastantes foram o primeiro (cultivares Maravilha e Carisma) e o quinto (Relâmpago e Tangará). Considerando-se esses dois grupos de cultivares contrastantes, observou-se, pelos valores médios (Tabelas 1 e 9),

que os cultivares Maravilha (Valor L = 16,81 mg de P kg^{-1} de solo; Conc Cu= 3,62 mg kg^{-1}; Acum Cu = 52,24 mg/planta) e Carisma (Valor L = 21,24 mg de P kg^{-1} de solo; Conc Cu= 3,55 mg kg^{-1}; Acum Cu = 54,22 mg/planta) foram mais eficientes na absorção de P e apresentaram menor concentração e acúmulo de Cu nos grãos, em relação aos Relâmpago (Valor L = 8,39 mg de P kg^{-1} de solo; Conc Cu= 5,83 mg kg^{-1}; Acum Cu = 89,44 mg/planta) e Tangará (Valor L = 7,81 mg de P kg^{-1} de solo; Conc Cu= 6,41 mg kg^{-1}; Acum Cu = 99,06 mg/planta).

Não houve correlação significativa das variáveis AE, Valor L e Valor Lsem das plantas dos 47 cultivares de arroz de terras altas, na primeira amostragem, com a produção de MSG, concentração e acúmulo de P na MSG (Tabela 11). Isso demonstra que cultivares de arroz de terras altas mais eficientes na absorção de P não são, necessariamente, os mais eficientes em converter o nutriente absorvido em grãos. A produção de grãos também envolve o conceito de eficiência de utilização, conforme definição de Malavolta (2006).

2.3.2 Eficiência de uso de fósforo por cultivares de feijoeiro comum.

Neste experimento foram considerados quatro ou cinco grupos em todos os dendogramas, e os cultivares de feijoeiro comum foram classificados em grupos, como descrito no experimento 1 (Eficiência de uso de fósforo por cultivares de arroz de terras).

2.3.2.1 Primeira amostragem - parte aérea

Os resultados obtidos com as duas espécies padrões foram: (i) tremoço branco - MSPA = 0,56 g/vaso, P Acum MSPA = 1,34 mg/vaso, AE = 17,71 DPM µg P^{-1}, Valor L = 47,44 mg de P kg^{-1} de solo e Valor Lsem = 29,5 mg de P kg^{-1} de solo; (ii) Crotalaria juncea - MSPA = 3,49 g/vaso, P Acum MSPA = 5,40 mg/vaso, AE = 75,49 DPM µg P^{-1}, Valor L = 10,26 mg de P kg^{-1} de solo e Valor Lsem = 9,95 mg de P kg^{-1} de solo. Considerando as duas espécies padrões e os 50 cultivares de feijoeiro comum estudados, observou-se que o tremoço branco foi a planta mais eficiente em absorver P, pois apresentou menor AE, e superiores Valor L e Valor Lsem.

Os valores médios de produção de MSPA das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, concentração de P e P acumulado na MSPA, AE , Valor L e Valor Lsem, na primeira amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L e Valor L descontando-se o P proveniente da semente (Valor Lsem), na primeira amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum	AE	Valor L	Valor Lsem
	g/vaso	g kg^{-1}	mg/vaso	DPM µg P^{-1}	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
Chapecó	5,33	1,42	7,57	56,06	11,81	11,00
IAPAR 31	5,56	1,51	8,38	65,40	10,10	9,38
Rosado	5,62	1,45	8,11	63,48	10,42	9,28
Roxinho	5,77	1,51	8,69	51,04	13,00	12,23
CNF 10	5,78	1,51	8,71	58,81	11,25	10,25
Rubi	5,80	1,71	9,92	49,47	13,43	12,43
Diamante Negro	5,82	1,52	8,82	65,87	10,03	9,29
Pitanga	6,00	1,33	7,97	51,16	12,98	11,83
Grafite	6,06	1,59	9,60	44,86	14,82	13,44
Valente	6,07	1,46	8,86	60,08	11,02	10,05
CV-48	6,20	1,56	9,65	53,00	12,51	11,05
Xodó	6,32	1,43	9,04	58,42	11,33	10,69
Princesa	6,43	1,43	9,20	57,95	11,43	10,61
Colibri	6,47	1,32	8,50	66,46	9,94	9,18
Rosinha de Cipó	6,47	1,43	9,26	53,42	12,41	11,58
FT Nobre	6,47	1,27	8,24	47,68	13,95	12,50
Aporé	6,49	1,34	8,65	57,00	11,62	10,28
Roxo 90	6,53	1,23	8,03	76,04	8,66	7,81
Xamego	6,53	1,52	9,93	56,38	11,75	11,08
IAC UNA	6,56	1,51	9,93	52,85	12,54	11,34
Horizonte	6,58	1,55	10,18	44,28	15,02	13,80
Macanudo	6,59	1,36	8,95	55,39	11,96	11,15
Pioneiro	6,60	1,49	9,82	43,33	15,37	14,33
Tybatã	6,60	1,34	8,82	50,49	13,15	11,77
Carioca 80	6,63	1,51	10,01	53,68	12,34	11,36

Tabela 12 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L e Valor L descontando-se o P proveniente da semente (Valor Lsem), na primeira amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum	AE	Valor L	Valor Lsem
	g/vaso	g kg^{-1}	mg/vaso	DPM µg P^{-1}	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
Vereda	6,66	1,43	9,51	51,21	12,99	11,96
Thayú	6,67	1,57	10,44	46,21	14,40	13,54
Roxão	6,68	1,51	10,10	52,91	12,53	10,85
Ônix	6,68	1,27	8,47	49,53	13,41	12,20
Rudá	6,79	1,30	8,83	52,53	12,62	11,75
Pérola	6,80	1,44	9,81	53,40	12,41	11,37
LP01-38	6,85	1,23	8,46	54,93	12,08	10,81
Gen99TG50-47	6,88	1,41	9,70	48,87	13,58	11,08
Requinte	6,91	1,42	9,78	59,88	11,05	10,31
Talismã	6,97	1,45	10,12	57,35	11,54	10,71
Rosinha Brilhosa	7,01	1,33	9,33	54,86	12,07	11,23
Pontal	7,02	1,42	9,96	55,58	11,92	10,99
IAC Alvorada	7,05	1,35	9,49	60,09	11,01	9,86
Timbó	7,20	1,39	10,03	49,39	13,44	12,63
Gen99TG34-50	7,22	1,38	9,97	46,67	14,23	12,51
Sangue de Boi	7,40	1,37	10,13	47,30	14,05	13,06
Triunfo	7,42	1,38	10,25	51,75	12,82	11,61
Safira	7,86	1,33	10,45	52,61	12,60	11,86
Ouro Negro	7,98	1,19	9,45	58,96	11,23	10,31
Rosinha G2	7,99	1,31	10,48	57,90	11,44	10,72
Jalo Precoce	8,01	1,31	10,51	39,72	16,77	15,14
Gen99TGR1-10	8,14	1,15	9,34	51,52	12,88	11,39
Média	6,78	1,40	9,44	53,80	12,51	11,43
CV (%)	12,46	9,10	9,43	12,58	12,42	12,42

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA e acúmulo desses micronutrientes na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Continua)

Cultivar	Cu	Cu Acum	Fe	Fe Acum	Mn	Mn Acum	Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/vaso	MG kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
Chapecó	3,78	20,07	108,25	574,67	69,32	368,63	28,09	149,17
IAPAR 31	4,39	24,35	114,32	634,57	58,25	323,22	35,01	194,26
Rosado	4,55	25,50	149,79	838,29	57,73	323,97	35,78	200,02
Roxinho	4,59	26,44	117,76	677,61	85,93	495,22	32,07	184,76
CNF 10	7,85	45,40	140,50	811,75	86,29	498,87	29,86	172,35
Rubi	4,39	25,49	128,34	744,90	91,42	530,61	35,95	208,52
Diamante Negro	4,50	26,07	125,86	730,11	55,99	324,03	53,74	312,26
Pitanga	3,63	21,81	99,66	598,02	44,64	267,94	31,35	188,17
Grafite	5,10	30,81	147,71	894,34	83,27	503,43	33,05	199,86
Valente	4,44	26,92	127,30	771,57	91,17	553,33	31,37	190,14
CV-48	3,80	23,60	123,42	765,29	70,90	439,69	31,45	195,19
Xodó	3,81	24,07	113,74	717,25	81,44	513,64	26,82	168,85
Princesa	4,22	27,08	102,53	657,99	46,08	296,45	34,51	221,48
Colibri	3,42	22,15	106,77	689,17	50,09	322,31	23,99	154,32
Rosinha de Cipó	3,64	23,56	118,61	767,12	60,65	392,62	28,61	185,07
FT Nobre	3,23	20,87	115,29	745,24	51,50	333,14	27,41	176,99
Aporé	5,73	37,15	121,99	788,32	65,35	422,27	32,87	212,26
Roxo 90	4,87	31,66	109,14	709,97	71,15	463,22	30,86	200,83
Xamego	4,60	30,10	120,49	786,80	57,03	372,11	30,56	199,73
IAC UNA	5,09	33,35	115,42	757,09	80,64	528,27	30,55	200,43
Horizonte	4,85	31,83	122,33	804,62	82,06	539,34	35,66	234,66
Macanudo	3,78	24,92	112,94	741,85	89,34	588,09	31,90	210,27
Pioneiro	6,59	43,45	125,88	830,42	63,97	422,30	28,62	188,72
Tybatã	3,75	24,67	127,53	839,90	59,94	395,51	29,54	194,52
Carioca 80	4,35	28,77	122,01	807,65	77,72	514,84	35,81	236,95
Vereda	3,97	26,37	131,40	873,45	56,23	373,64	29,74	197,97
Thayú	4,77	31,74	109,27	726,33	51,13	339,00	30,45	201,80
Roxão	4,66	31,15	126,42	844,06	74,12	494,91	25,82	172,47
Ônix	3,46	23,10	90,77	605,15	56,43	376,15	26,56	177,22

Tabela 13 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Conclusão)

Cultivar	Cu	Cu Acum	Fe	Fe Acum	Mn	Mn Acum	Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
Rudá	4,08	27,70	99,82	677,76	59,48	403,58	27,94	189,35
Pérola	4,66	31,66	111,34	756,03	55,59	377,91	26,28	178,48
LP01-38	3,55	24,28	130,14	891,52	54,86	376,09	25,97	177,71
Gen99TG50-47	4,03	27,69	118,42	810,20	66,80	458,31	27,11	185,94
Requinte	5,01	34,58	110,09	758,24	56,20	386,86	34,39	236,93
Talismã	4,31	29,90	106,94	743,66	78,22	545,80	30,01	208,63
Rosinha Brilhosa	3,47	24,27	116,35	816,05	45,95	322,12	27,40	191,92
Pontal	3,74	26,26	113,48	795,75	63,67	446,70	28,67	200,76
IAC Alvorada	3,97	28,02	116,24	818,15	48,37	340,65	22,83	160,48
Timbó	3,95	28,43	96,93	698,29	52,05	374,69	27,39	197,17
Gen99TG34-50	5,01	36,04	158,08	1133,11	59,94	429,52	43,77	314,15
Sangue de Boi	5,73	42,28	130,89	966,08	78,31	578,68	28,81	212,01
Triunfo	3,71	27,51	96,34	713,31	72,17	534,33	26,68	197,69
Safira	3,77	29,51	102,96	807,95	56,37	442,24	25,05	196,45
Ouro Negro	3,17	25,31	97,10	774,10	53,23	424,77	28,20	224,74
Rosinha G2	3,11	24,79	119,44	952,87	60,77	484,88	25,82	206,16
Jalo Precoce	3,32	26,52	120,57	966,13	57,77	462,22	18,31	146,51
Gen99TGR1-10	3,27	26,62	99,95	812,54	47,11	382,81	26,41	214,74
Média	4,26	28,61	117,28	791,56	64,24	431,69	29,80	199,43
CV (%)	15,93	16,08	13,17	15,13	16,05	15,41	16,87	16,24

Os coeficientes de correlação entre as 14 variáveis (MSPA, concentração de P na MSPA, acúmulo de P na MSPA, AE, Valor L, Valor L descontado o P na planta proveniente da semente, concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA), estudadas na primeira amostragem das plantas de feijoeiro comum, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L, Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Continua)

		Conc P	**P Acum**	**AE**	**Valor L**	**Valor Lsem**
		g kg^{-1}	mg/vaso	DPM μg^{-1} P	mg kg^{-1} solo	mg kg^{-1} solo
MSPA	g/vaso	-0,625***	0,675***	-0,320***	0,320***	0,294**
Conc P	g kg^{-1}		0,146^{ns}	-0,055ns	0,046ns	0,089ns
P Acum	mg/vaso			-0,466***	0,456***	0,464***
AE	DPM μg^{-1} P				-0,982***	-0,960***
Valor L	mg kg^{-1} solo					0,974***

		Conc Cu	**Cu Acum**	**Conc Fe**	**Fe Acum**
		mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
MSPA	g/vaso	-0,370***	0,180*	-0,313***	0,560***
Conc P	g kg^{-1}	0,494***	0,154ns	0,473***	-0,139ns
P Acum	mg/vaso	-0,005ns	0,389***	0,005ns	0,566***
AE	DPM μg^{-1} P	0,270ns	-0,168*	-0,074ns	-0,341***
Valor L	mg kg^{-1} solo	0,001ns	0,196*	0,094ns	0,359***
Valor Lsem	mg kg^{-1} solo	0,009ns	0,190*	0,033ns	0,284**
Conc Cu	mg kg^{-1}		0,841***	0,483***	0,106ns
Cu Acum	µg/vaso			0,323***	0,430***
Conc Fe	mg kg^{-1}				0,697***

Tabela 14 – Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), atividade específica (AE), Valor L, Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA, na primeira amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Conclusão)

		Conc Mn	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		mg kg^{-1}	µg/vaso	mg kg^{-1}	µg/vaso
MSPA	g/vaso	-0,360***	0,230**	0,560***	0,024^{ns}
Conc P	g kg^{-1}	0,523***	0,144ns	0,515***	0,136ns
P Acum	mg/vaso	0,014ns	0,428***	0,248**	0,260**
AE	DPM µg^{-1} P	-0,024ns	-0,220**	0,246**	0,057ns
Valor L	mg kg^{-1} solo	0,021ns	0,213**	-0,237**	-0,054ns
Valor Lsem	mg kg^{-1} solo	0,027ns	0,204*	-0,213**	-0,039ns
Conc Cu	mg kg^{-1}	0,440***	0,232**	0,381***	0,183*
Cu Acum	µg/vaso	0,250**	0,376***	0,070ns	0,225**
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,384***	0,186*	0,420***	0,228**
Fe Acum	µg/vaso	0,013ns	0,349***	-0,127ns	0,207*
Conc Mn	mg kg^{-1}		0,821***	0,223**	0,019ns
Mn Acum	µg/vaso			-0,095ns	0,050ns
Conc Zn	mg kg^{-1}				0,803***

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

Os valores de MSPA correlacionaram-se significativa e negativamente com as concentrações de P na MSPA (-0,625***) e positivamente com P acumulado na MSPA (0,675***) (Tabela 14). O acúmulo de P na MSPA foi superior com o aumento da MSPA, mas as concentrações de P no tecido vegetal diminuíram pelo efeito diluição do P na MSPA. Pela análise de agrupamento realizada com essas três variáveis (Figura 8), foram identificados os cinco seguintes grupos de cultivares de feijoeiro comum:

- Primeiro grupo formado pelo cultivar Rubi;

- Segundo, pelos cultivares Grafite, CV-48, Pioneiro, Xamego, IAC UNA, Carioca 80, Roxão, Horizonte, Thayú, Triunfo, Sangue de Boi, Gen99TG3450, Timbó, Talismã, Pontal, Pérola, Requinte, Gen99TG50-47, Vereda, IAC Alvorada, Rosinha Brilhosa;

- Terceiro, pelos cultivares Pitanga, Roxo 90, FT Nobre, Ônix, LP01-38, Rudá, Colibri, Aporé, Tybatã, Macanudo, Rosinha Cipó, Princesa, Xodó, Valente, Diamante Negro, CNF 10, Roxinho, IAPAR 31, Rosado e Chapecó;

- Quarto, pelos cultivares Gen99TGR1-10, Ouro Negro, Rosinha, Safira, Rosinha G2, Jalo Precoce e Roxão EEP;

- Quinto, pelo cultivar IAC Boreal.

Dos cinco grupos de cultivares de feijoeiro comum formados pela análise de agrupamento hierárquico (Figura 8) e considerando-se os valores de MSPA e P acumulado na MSPA apresentados na Tabela 12, verificou-se que o cultivar IAC Boreal apresentou maior produção de MSPA e valor superior de acúmulo de P na MSPA, enquanto que, os cultivares Pitanga, Roxo 90, FT Nobre, Ônix, LP01-38, Rudá, Colibri, Aporé, Tybatã, Macanudo, Rosinha Cipó, Princesa, Xodó, Valente, Diamante Negro, CNF 10, Roxinho, IAPAR 31, Rosado e Chapecó foram os que menos produziram MSPA e menos acumularam P na MSPA.

O cultivar Jalo Precoce foi classificado no segundo grupo dos cultivares que mais produziram MSPA e acumularam P na MSPA. Dentre oito genótipos de feijoeiro comum cultivados em condições de baixa dose de P (24 mg dm^{-3} de P_2O_5) no substrato (vasos com 16 kg de areia) e colhidos aos 45 dias após a germinação, os cultivares BAT 477, Jalo Precoce e Roxo foram os que mais produziram MSPA (LANA et al., 2006). Os cultivares Pérola e Xamego não foram classificados como os mais produtivos em termos de MSPA e acúmulo de P na MSPA, assim como também observado por Lana et al. (2006).

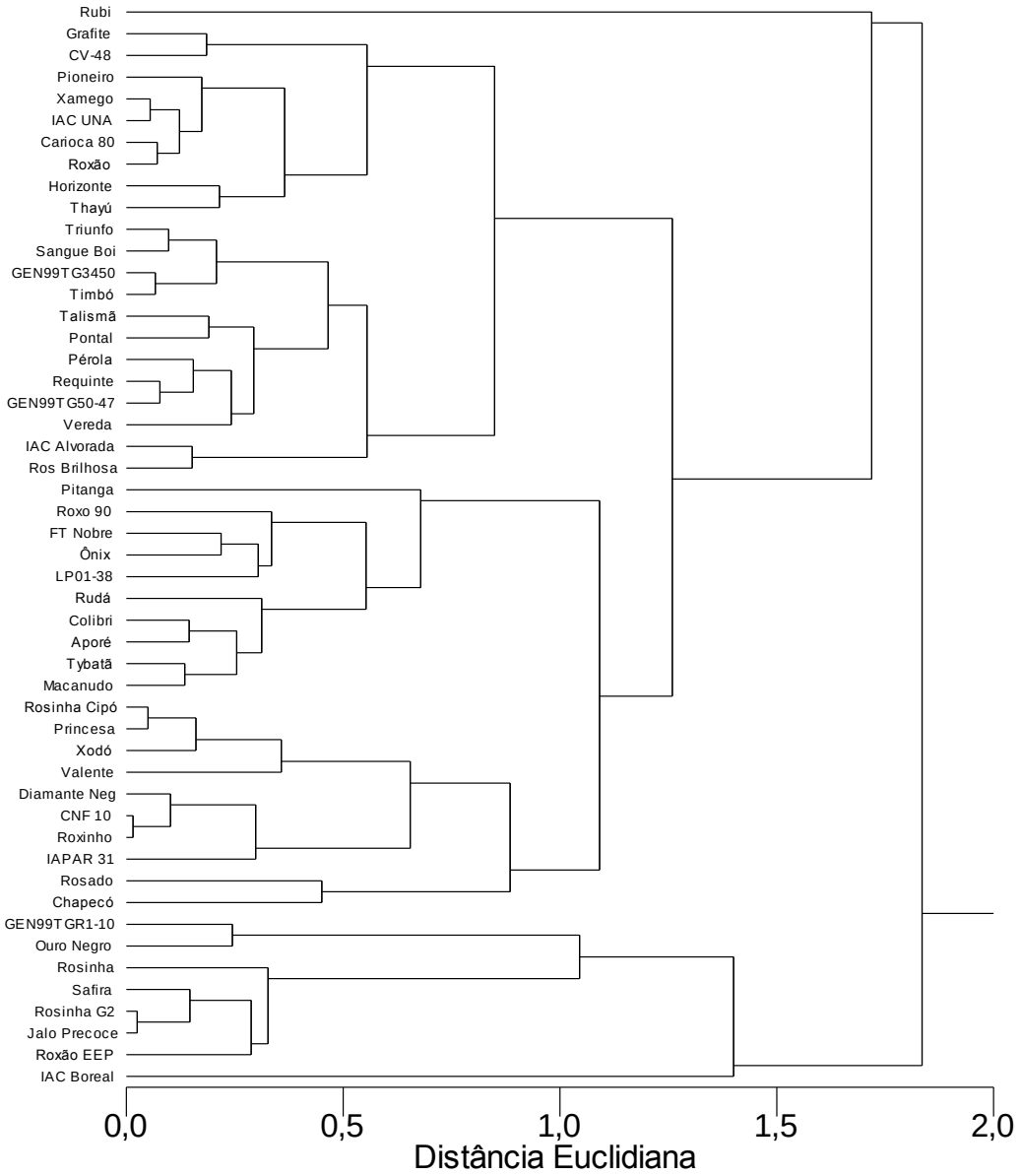

Figura 8 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 50 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração e fósforo acumulado na MSPA

O Rubi não se agrupou com outro cultivar, porque apresentou alta concentração e acúmulo de P, mas baixa produção de MSPA. Isso indica que esse cultivar provavelmente não foi eficiente em utilizar o P absorvido para produzir MSPA, no inicio do desenvolvimento da planta. Ressalta-se que cultivares mais produtivos, em termos de MSPA, não são, necessariamente, mais eficientes na absorção de P em condições

de baixa disponibilidade no substrato; deve-se considerar o P na planta proveniente da semente, que é importante fonte P para as plantas no inicio de desenvolvimento, na avaliação da eficiência de absorção de P pelas plantas. Além disso, a produção de MSPA também envolve o conceito de eficiência de utilização, sendo que cultivares mais eficientes em utilizar o P são aqueles que melhor convertem o nutriente absorvido em MSPA.

Semelhante ao verificado no experimento 1, observou-se que as variáveis AE, Valor L e Valor Lsem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, colhidas na primeira amostragem, foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação de Pearson entre si (Tabela 14). A AE correlacionou-se significativa e negativamente com o Valor L (-0,982***) e com o Valor Lsem (-0,960***), e o Valor L positivamente com o Valor Lsem (0,974***) (Tabela 14).

Pela análise de agrupamento com as variáveis AE e Valor L (Figura 9), observou-se a formação dos quatro seguintes grupos de cultivares de feijoeiro comum:

(1) Grupo pouco eficiente na absorção de P: Roxo 90;

(2) Grupo medianamente eficiente na absorção de P: Colibri, Diamante Negro, IAPAR 31, Rosado, IAC Alvorada, Valente, Requinte, Ouro Negro, CNF 10, Xodó, Princesa, Rosinha G2, Talismã, Aporé, Xamego, Chapecó, Pontal, Macanudo, LP01-38 e Rosinha Brilhosa;

(3) Grupo eficiente na absorção de P: Carioca 80, Rosinha Cipó, Pérola, CV-48, Roxão, IAC UNA, Safira, Rudá, Triunfo, Gen99TGR1-10, Vereda, Pitanga, Roxinho, Tybatã, Ônix, Rubi, Timbó, Roxão EEP, GenTG50-47, IAC Boreal, FT Nobre, Sangue de Boi, Rosinha, Gen99TG3450 e Thayú;

(4) Grupo muito eficiente na absorção de P: Grafite, Horizonte, Pioneiro e Jalo Precoce.

Os cultivares Grafite, Horizonte, Pioneiro e Jalo Precoce foram os que apresentaram valores inferiores de AE e superiores de Valor L. Assim, esses cultivares de feijoeiro comum foram classificados como mais eficientes em absorver P. Ressalta-se que nessa classificação dos cultivares, quanto à eficiencia de absorção de P, não foi descontado o P na planta proveniente das sementes. Em outro estudo de avaliação da eficiência de absorção de P por oito cultivares de feijoeiro comum, sem o uso da técnica

com ^{32}P, o cultivar Jalo Precoce também foi classificado como eficiente na absorção e utilização de P (LANA et al., 2006).

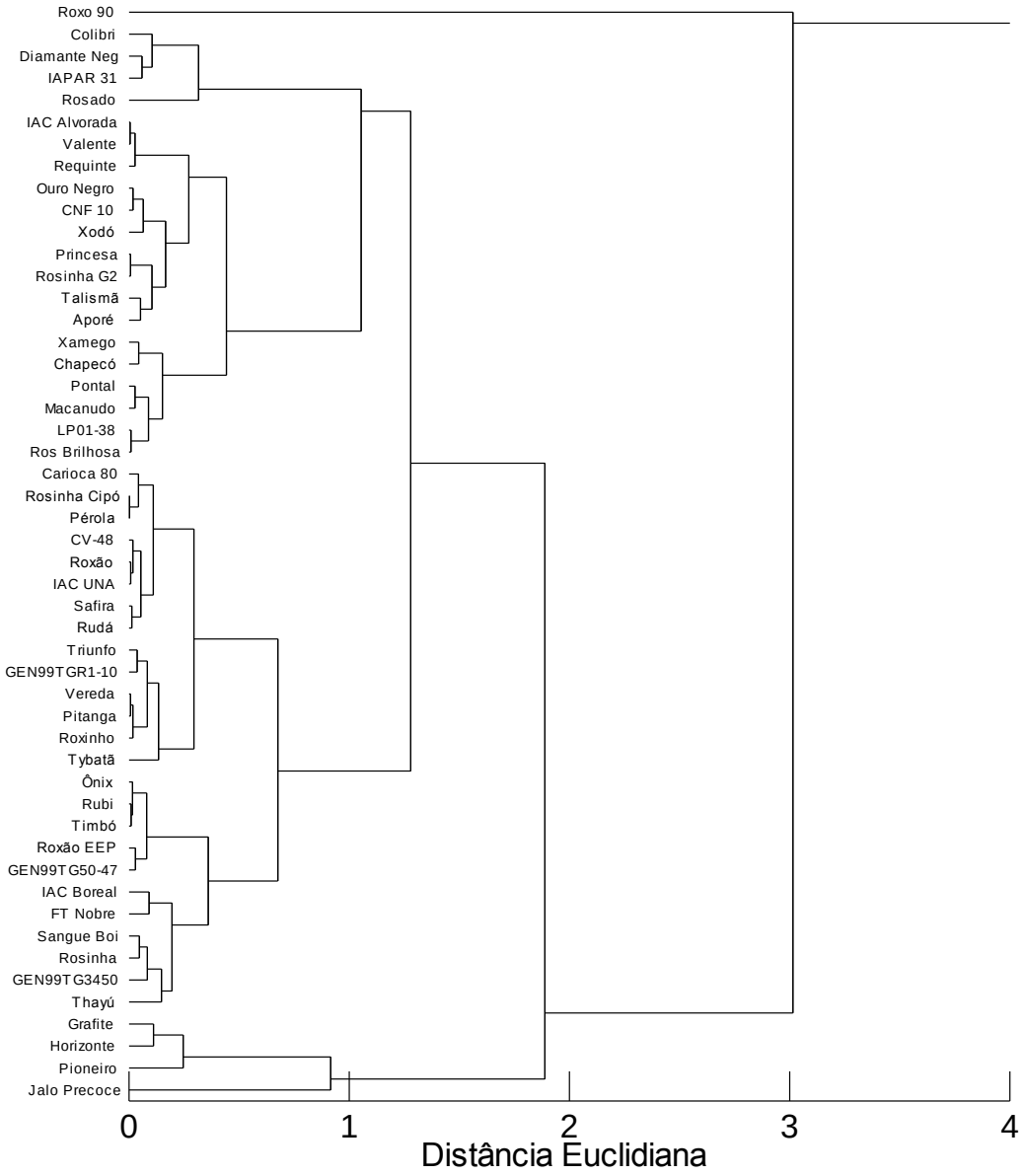

Figura 9 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 50 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis atividade específica e Valor L

Pela análise de agrupamento com as variáveis AE e Valor Lsem (Figura 10), observou-se a formação dos quatro seguintes grupos de cultivares de feijoeiro comum:

- Primeiro grupo (pouco eficiente na absorção de P): Roxo 90;

- Segundo grupo (medianamente eficiente): Colibri, Diamante Negro, IAPAR 31, Rosado, IAC Alvorada, Valente, Requinte, Ouro Negro, CNF 10, Aporé, Talismã, Princesa, Rosinha G2 e Xodó;

- Terceiro grupo (eficiente na absorção de P): Rosinha Brilhosa, Macanudo, Pontal, Chapecó, Xamego, LP01-38, Roxão, CV-48, IAC UNA, Pérola, Carioca 80, Rosinha Cipó, Gen99TGR1-10, Triunfo, Rudá, Safira, Vereda, Pitanga, Tybatã, Gen99TG50-47, IAC Boreal, Roxinho, Ônix, Rubi, Roxão EEP, Timbó, FT Nobre e Gen99TG3450;

- Quarto grupo (muito eficiente na absorção de P): Sangue de Boi, Rosinha, Thayú, Grafite, Horizonte, Pioneiro e Jalo Precoce.

Os cultivares Xamego, Chapecó, Pontal, Macanudo, LP01-38, Rosinha Brilhosa, Sangue de Boi, Rosinha e Thayú foram classificados em grupos diferentes, quando a análise de agrupamento hierárquico foi realizada com base no Valor L descontando-se (Figura 3), ou não (Figura 2), o P na planta proveniente da semente. Portanto, o P presente nas sementes afetou a avaliação e classificação dos cultivares de feijoeiro comum quanto à eficiência de absorção de P.

Os cultivares Xamego, Chapecó, Pontal, Macanudo, LP01-38 e Rosinha Brilhosa foram agrupados no terceiro grupo, quando foi descontado o P na planta proveniente das sementes no cálculo do Valor L, e classificados como eficientes na absorção de P. Os cultivares Sangue de Boi, Rosinha e Thayú foram agrupados no quarto grupo, quando foi descontado o P na planta, e foram classificados como muito eficientes na absorção de P.

As plantas dos cultivares de trigo durum (*Triticum durum* L.) são mais tolerantes a deficiência de P em comparação aos de trigo (*Triticum aestivum* L.) (OZTURK et al., 2005; GUNES et al., 2006). Apesar de não ter avaliado o efeito do P das sementes na eficicia dos cultivares com a técnica com ^{32}P, esses autores atribuíram essa maior tolerância dos genótipos de trigo durum ao conteúdo superior de P nas sementes, em relação aos de trigo.

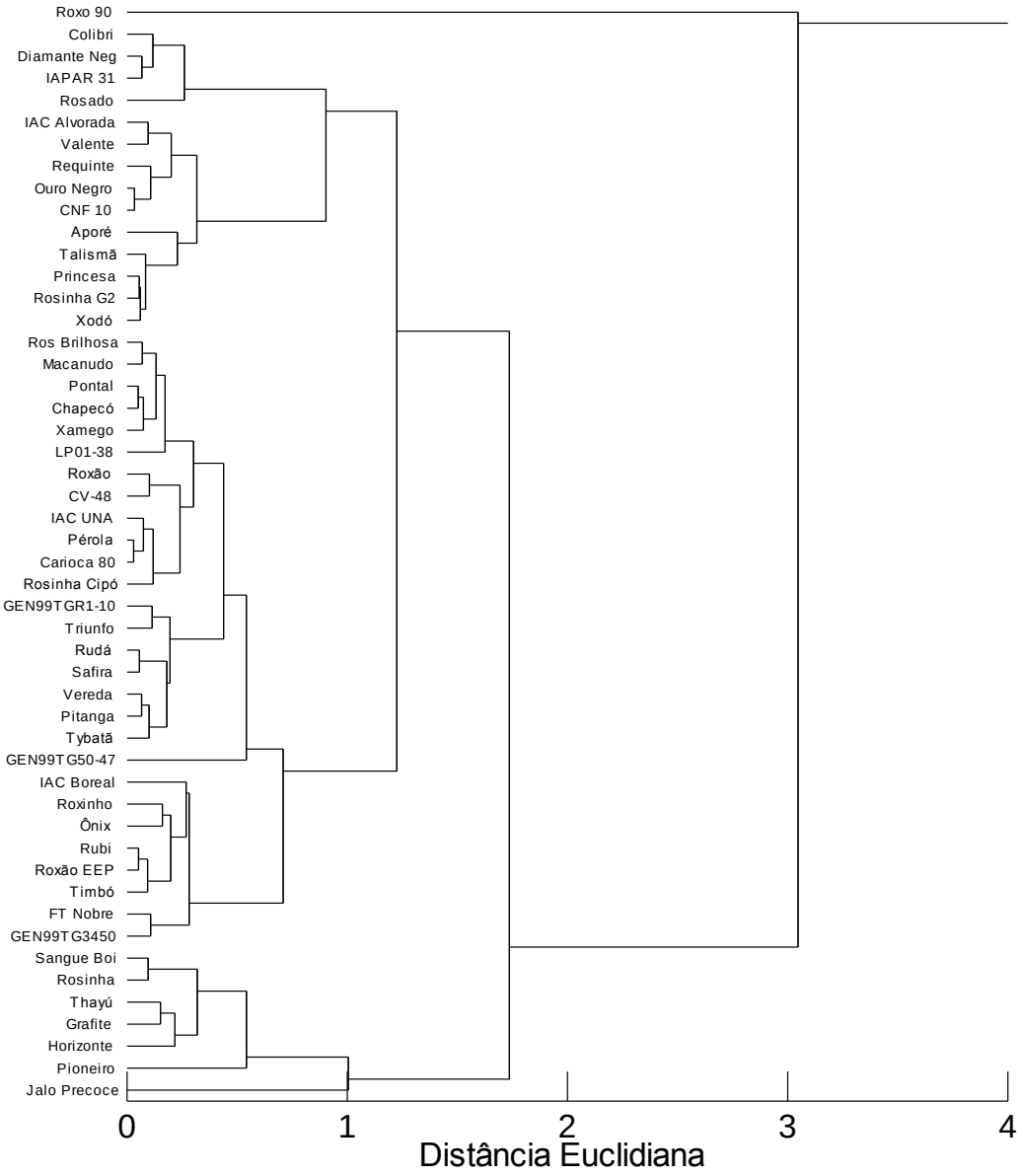

Figura 10 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 50 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis atividade específica e Valor L descontando-se o fósforo proveniente da semente (Valor Lsem)

O comprimento do sistema radicular e exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes são características que influenciam os cultivares quanto a capacidade de absorver formas de P menos disponíveis do solo (LONERAGAN, 1978). Além disso, quando o P limita o crescimento vegetal as raízes transformam-se em forte dreno de carboidratos e isso causa maior limitação ao crescimento da parte aérea do que da raiz

(ARAÚJO; MACHADO, 2006). Raízes de plantas de feijoeiro crescidas em condições de deficiência de P apresentaram concentrações de açúcares muito superiores às de raízes de plantas em meio com adequado suprimento de P, em virtude da maior translocação de fotoassimilados da parte aérea (WANKE et al., 1998). Em outro estudo foi observado que a diferença na seleção dos genótipos de feijoeiro quanto à eficiência de uso de P e à produção de matéria seca está relacionada com a translocação do P das raízes para a parte aérea (LANA et al., 2006). A arquitetura radicular é outro fator que diferencia a absorção de P entre cultivares, e relaciona-se à configuração espacial do sistema radicular, ou seja, à geometria de desenvolvimento dos eixos radiculares (LYNCH, 1995).

A eficiência de absorção de P (Valor Lsem) correlacionou-se significativa e negativamente (-0,213**) com as concentrações de Zn na MSPA das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, ou seja, houve redução na concentração de Zn na MSPA das plantas nos cultivares mais eficientes em absorver P do solo (Tabela 14). Esse efeito não foi observado com as concentrações dos micronutrientes Cu, Fe e Mn.

Em termos de acúmulo de micronutrientes na MSPA foi observado efeito inverso, pois o acúmulo de Cu (0,190*), Fe (0,284**) e Mn (0,204*) foi significativamente maior nos cultivares mais eficientes na absorção de P (Valor Lsem) (Tabela 14). O total de P acumulado na MSPA correlacionou-se positivamente (0,248**) com a concentração de Zn na MSPA (Tabela 14), e esse efeito foi inverso ao observado em cultivares de cevada (ZHU; SMITH; SMITH, 2002) e de grão-de-bico (SRINIVASARAO et al., 2006). Não foi observado efeito significativo e negativo entre o total de P acumulado na MSPA das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro com as concentrações de Cu, Fe e Mn na MSPA (Tabela 14).

2.3.2.2 Segunda amostragem - parte aérea

Os valores médios da produção de MSPA das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, concentração de P e P acumulado na MSPA, na segunda amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSPA (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
CNF 10	6,12	0,68	4,19
Macanudo	6,25	0,56	3,48
Ouro Negro	6,35	0,76	4,80
Rosinha G2	6,38	0,84	5,34
Gen99TG50-47	6,41	1,00	6,38
Aporé	6,47	0,62	3,98
Carioca 80	6,71	0,62	4,14
Sangue de Boi	6,90	0,94	6,52
Safira	6,96	0,72	4,99
CV-48	6,99	0,76	5,30
Colibri	7,03	0,98	6,86
Gen99TG34-50	7,32	0,79	5,77
LP01-38	7,37	0,76	5,57
Xamego	7,37	0,80	5,87
Princesa	7,43	0,72	5,36
IAPAR 31	7,45	0,78	5,78
Pontal	7,52	0,83	6,23
Jalo Precoce	7,53	0,87	6,58
Horizonte	7,55	0,89	6,71
IAC Alvorada	7,59	0,64	4,86
Rubi	7,67	0,71	5,43
Xodó	7,69	0,74	5,70
Pioneiro	7,82	0,60	4,71
Valente	7,85	0,74	5,77
Triunfo	7,88	0,71	5,57
Roxão EEP	7,96	0,59	4,67
Talismã	7,99	0,79	6,32
Pérola	8,03	0,63	5,03
Pitanga	8,11	0,58	4,65
Rosinha	8,13	0,86	6,95

Tabela 15 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSPA (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	MSPA	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
IAC UNA	8,20	0,65	5,31
Rosinha de Cipó	8,22	0,94	7,69
Chapecó	8,25	0,91	7,52
Diamante Negro	8,36	0,78	6,48
Rosinha Brilhosa	8,37	0,87	7,30
FT Nobre	8,39	0,67	5,62
Roxinho	8,43	0,73	6,18
Vereda	8,48	0,64	5,39
Rudá	8,63	0,82	7,08
Timbó	8,63	0,54	4,68
Rosado	8,64	0,57	4,94
Gen99TGR1-10	8,79	0,82	7,18
Roxo 90	8,89	0,75	6,64
Thayú	8,89	0,58	5,14
Requinte	8,90	0,85	7,55
Ônix	9,05	0,80	7,28
Roxão	9,26	1,15	10,68
Média	7,91	0,76	5,99
CV (%)	13,10	14,26	15,12

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA e acúmulo desses micronutrientes na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Continua)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
CNF 10	13,49	82,62	153,16	937,44	187,70	1148,41	19,84	121,47
Macanudo	16,34	101,86	191,11	1192,55	182,76	1141,13	21,30	133,14
Ouro Negro	15,57	98,65	127,09	804,73	136,46	864,29	23,90	151,44
Rosinha G2	11,72	74,69	148,74	947,82	127,82	814,76	27,70	176,66
Gen99TG50-47	13,76	88,03	187,84	1201,19	159,48	1020,53	23,64	151,36
Aporé	13,86	89,69	132,33	855,41	158,05	1021,79	19,36	125,14
Carioca 80	15,07	101,17	152,50	1023,33	190,86	1280,39	36,72	246,43
Sangue de Boi	19,36	133,61	205,20	1416,38	182,38	1258,92	20,86	143,97
Safira	13,38	92,94	149,36	1037,22	131,37	912,75	19,51	135,49
CV-48	14,58	101,51	162,19	1129,90	157,42	1097,46	25,66	178,72
Colibri	16,32	114,39	184,72	1294,30	147,27	1031,44	32,55	227,47
Gen99TG34-50	12,94	94,46	118,15	863,74	129,57	945,96	21,52	157,03
LP01-38	12,38	91,06	169,80	1249,56	123,61	909,52	24,07	177,34
Xamego	16,92	124,54	134,75	991,82	124,04	912,22	25,66	188,90
Princesa	19,29	142,98	183,24	1357,38	100,14	742,01	24,29	179,83
IAPAR 31	18,38	136,40	175,06	1301,48	133,77	994,05	24,31	180,13
Pontal	12,28	92,29	159,13	1192,41	143,66	1075,80	25,75	193,17
Jalo Precoce	15,15	114,09	113,16	851,57	147,25	1107,83	14,46	108,94
Horizonte	16,39	123,61	180,07	1355,65	148,22	1114,28	27,29	205,18
IAC Alvorada	15,43	117,06	194,49	1474,39	136,23	1032,82	27,20	206,28
Rubi	19,47	149,07	156,88	1199,98	159,57	1221,04	27,01	207,26
Xodó	16,15	123,99	129,76	996,98	144,26	1107,75	20,10	154,12
Pioneiro	12,21	95,47	172,67	1349,99	137,09	1070,55	19,59	152,91
Valente	15,53	121,68	192,15	1507,48	180,44	1415,40	25,54	200,49
Triunfo	19,87	155,78	173,74	1363,79	162,47	1275,75	25,29	198,43
Roxão EEP	11,07	87,85	161,70	1283,16	134,55	1068,35	19,29	153,20
Talismã	13,37	107,02	159,18	1271,81	167,00	1333,92	29,85	238,68
Pérola	15,13	121,52	180,55	1449,58	127,17	1021,11	29,09	233,61

Tabela 16 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

(Conclusão)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Pitanga	11,94	96,66	126,20	1022,22	83,41	675,13	19,55	158,20
Rosinha	16,09	130,56	143,62	1163,09	166,05	1343,20	28,75	232,63
IAC UNA	13,17	107,76	200,60	1642,19	158,41	1296,50	19,38	158,56
Rosinha de Cipó	16,38	134,70	162,35	1334,48	154,22	1267,69	37,21	306,09
Chapecó	21,27	175,25	153,18	1261,87	154,22	1270,65	25,70	211,95
Diamante Negro	17,47	145,90	137,70	1150,34	111,01	926,93	21,53	179,84
Rosinha Brilhosa	15,29	127,94	153,15	1281,15	113,58	949,87	34,45	288,26
FT Nobre	13,46	112,90	209,76	1756,79	137,59	1151,89	27,39	229,80
Roxinho	13,56	114,25	163,10	1374,25	158,51	1335,32	18,37	154,88
Vereda	13,27	112,58	168,35	1427,76	123,88	1050,24	22,08	187,28
Rudá	16,62	143,35	157,71	1359,87	136,38	1175,20	29,16	251,39
Timbó	10,67	92,00	135,18	1166,04	131,38	1133,39	15,95	137,58
Rosado	13,70	118,25	195,42	1687,42	143,65	1239,73	26,64	230,07
Gen99TGR1-10	17,74	155,81	126,21	1109,43	132,61	1165,17	24,20	212,69
Roxo 90	12,12	107,69	132,68	1179,46	184,09	1636,35	22,51	199,98
Thayú	14,11	125,28	177,03	1572,30	159,77	1419,45	23,10	204,88
Requinte	13,39	119,15	155,56	1383,92	117,84	1048,18	25,34	225,25
Ônix	17,24	155,99	167,91	1519,55	134,93	1221,07	29,43	266,40
Roxão	18,38	169,73	142,14	1312,36	170,90	1579,03	22,99	212,64
Média	15,08	119,01	159,92	1260,32	144,97	1140,17	24,38	192,44
CV (%)	15,92	16,23	14,27	14,74	15,15	16,29	16,36	16,94

Os coeficientes de correlação (matriz de correlação) entre as 11 variáveis (MSPA, concentração de P na MSPA, acúmulo de P na MSPA, concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA), avaliadas na parte aérea das plantas

de feijoeiro comum, colhidas no estádio de maturação fisiológica, estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de fósforo na MSPA (Conc P), P acumulado na MSPA (P Acum), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSPA, na segunda amostragem das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum

		Conc P	**P Acum**	**Conc Cu**	**Cu Acum**	**Conc Fe**
		g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}
MSPA	g/planta	-0,016ns	0,587***	-0,094ns	0,556***	-0,185*
Conc P	g kg^{-1}		0,824***	0,429***	0,371***	-0,054ns
P Acum	mg/planta			0,309***	0,651***	-0,173*
Conc Cu	g kg^{-1}				0,795***	0,170*
Cu Acum	µg/planta					0,008ns
		Fe Acum	**Conc Mn**	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
MSPA	g/planta	0,565***	-0,269***	0,541***	-0,080ns	0,529***
Conc P	g kg^{-1}	-0,081ns	0,120ns	0,114ns	0,286***	0,247***
P Acum	mg/planta	0,342**	-0,044ns	0,457***	0,184*	0,515***
Conc Cu	mg kg^{-1}	0,062ns	0,184*	0,095ns	0,325***	0,254**
Cu Acum	µg/planta	0,385***	-0,022ns	0,395***	0,211**	0,498***
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,817***	0,251**	0,077ns	0,272***	0,139ns
Fe Acum	µg/planta		0,004ns	0,418***	0,181*	0,466***
Conc Mn	mg kg^{-1}			0,783***	0,116ns	-0,049ns
Mn Acum	µg/planta				0,047ns	0,312***
Conc Zn	mg kg^{-1}					0,840***

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

A MSPA das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, na segunda amostragem, correlacionou-se significativa e positivamente com acúmulo de P na MSPA (0,587***), mas não com a concentração de P na MSPA (Tabela 17). O dendograma resultante do agrupamento dessas duas variáveis correlacionadas está apresentado na Figura 11. Os quatro grupos de cultivares formados foram:

- Primeiro: Roxão (cultivar com maiores valores de MSPA e acúmulo de P na MSPA);

- Segundo: IAC Boreal, Tybatã e Grafite;

- Terceiro: Roxo 90, Rudã, Gen99TGR1-10, Ônix, Requinte, Rosinha Cipó, Chapecó, Rosinha Brilhosa, Rosinha, Talismã, Diamante Negro, Roxinho, Timbó, Rosado, Thayú, FT Nobre, Vereda, IAC UNA, Pérola, Pitanga, Roxão EEP, Pioneiro, IAC Alvorada, Triunfo, Valente, Xodó, Rubi, Princesa, LP01-38, Gen99TG3450, Xamego, IAPAR 31, Pontal, Jalo Precoce, Horizonte, Colibri, Sangue de Boi e Gen99TG50-47;

- Quarto: Safira, CV-48, Rosinha G2, Ouro Negro, Carioca 80, Aporé, CNF 10 e Macanudo (cultivares com menores valores de MSPA e acúmulo de P na MSPA).

A produção de grãos do feijoeiro está associada significativamente [$Y = -2610,23 + 5,58X - 0,0013X^2$ (R^2= 0,60**); em que: Y= produção de grãos, kg ha^{-1} e X = produção de MSPA, kg ha^{-1}] com a produção de MSPA, sendo que a produtividade máxima de aproximadamente 3200 kg ha^{-1} foi obtida com a produção de 2098 kg ha^{-1} de MSPA (FAGERIA; BARBOSA FILHO; STONE, 2004). Observa-se, neste estudo, que foi utilizado modelo quadrático para explicar a relação entre MSPA e MSG duas variáveis quantitativas e dependentes.

Considerando-se os 50 cultivares de feijoeiro avaliados na segunda amostragem, foi observada correlação (linear) significativa e positiva entre a MSPA e MSG, mas com baixo coeficiente de correlação (0,292***). Isso indica que a relação existente entre MSPA e grãos produzidos depende do cultivar de feijoeiro, ou seja, esse efeito não parece ser geral com todos cultivares. Por exemplo, o cultivar Roxão apresentou maiores valores de MSPA e acúmulo de P na MSPA, mas foi classificado no grupo medianamente produtivo e medianamente rico em P nos grãos (Figura 12). Assim, em estudos comparativos de produção entre genótipos de culturas graníferas, mesmo que

realizados em casa de vegetação, as plantas devem ser desenvolvidas até a produção de grãos.

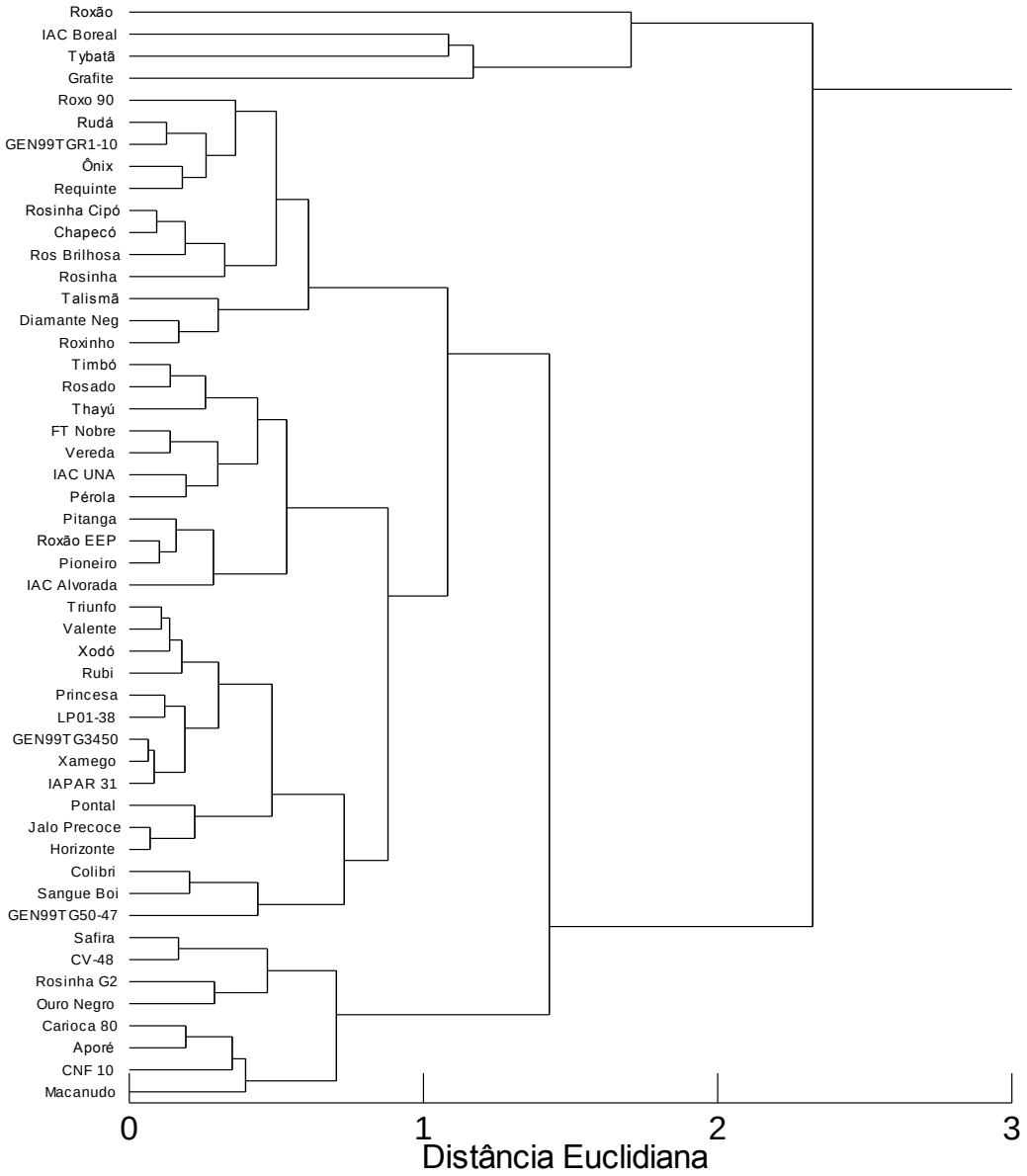

Figura 11 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 50 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA) e fósforo acumulado na MSPA, na segunda amostragem das plantas

O total de P acumulado na MSPA correlacionou-se positivamente com a concentração de Cu na MSPA (0,309**), Mn (0,457***) e Zn (0,184*) e negativamente

com a de Fe (-0,173*) (Tabela 17). Assim, diferentemente do observado em cultivares de cevada (ZHU; SMITH; SMITH, 2002) e de grão-de-bico (SRINIVASARAO et al., 2006), não houve correlação negativa entre o acúmulo de P na MSPA e a concentração de Zn na MSPA das plantas dos cultivares de feijoeiro comum.

Os coeficientes de correlação entre as 11 variáveis estudadas na parte aérea das plantas de feijoeiro comum na segunda amostragem, e três variáveis avaliadas na primeira (AE, Valor L e Valor Lsem), estão apresentados na Tabela 18. Essas correlações foram realizadas com o objetivo principal de comparar o efeito da eficiência de absorção de P pelas plantas dos cultivares de feijoeiro comum na absorção de micronutrientes pelas plantas.

Tabela 18 – Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas na parte aérea das plantas de feijoeiro comum na segunda amostragem [matéria seca da parte aérea (MSPA[2]), concentração de fósforo na MSPA (Conc P[2]), P acumulado na MSPA (P Acum[2]), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu[2]), ferro (Conc Fe[2]), manganês (Conc Mn[2]) e zinco (Conc Zn[2]) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum[2]), Fe (Fe Acum[2]), Mn (Mn Acum[2]) e Zn (Acum Zn[2]) na MSPA] e as variáveis atividade específica (AE[1]), Valor L (Valor L[1]), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem[1]) referentes à primeira amostragem

		MSPA[2]	**Conc P[2]**	**P Acum[2]**	**Conc Cu[2]**	**Cu Acum[2]**
		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM µg^{-1} P	-0,128ns	0,003ns	-0,062ns	0,052ns	-0,043ns
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	0,150ns	0,005ns	0,078ns	-0,070ns	0,039ns
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	0,141ns	-0,052ns	0,026ns	-0,052ns	0,043ns

		Conc Fe[2]	**Fe Acum[2]**	**Conc Mn[2]**	**Mn Acum[2]**	**Conc Zn[2]**	**Zn Acum[2]**
		mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM µg^{-1} P	0,017ns	-0,078ns	0,027ns	-0,057ns	0,209*	0,108ns
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	-0,044ns	0,070ns	-0,004ns	0,009ns	-0,252**	-0,135ns
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	-0,049ns	0,063ns	-0,014ns	0,008ns	-0,227**	-0,117ns

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.
[1]Primeira amostragem – parte aérea das plantas.
[2]Segunda amostragem – palha (folhas, ramos e cascas das vagens).

Considerando as correlações entre as variáveis Valor Lsem dos cultivares de feijoeiro comum, na primeira amostragem, com a concentração ou acúmulo de micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA, na segunda amostragem, verificou-se somente correlação significativa e negativa da eficiência de absorção de P (Valor Lsem) com a concentração de Zn na MSPA (Tabela 18). Apesar disso, o coeficiente de correlação foi relativamente baixo (-0,252**), assim como também observado na primeira amostragem (coeficiente de correção entre variáveis Valor Lsem e concentração de Zn na MSPA de -0,213**) (Tabela 14). Não foi observado redução nas concentrações de Cu, Fe e Mn na MSPA com o aumento da eficiência de absorção de P, tanto na primeira amostragem (Tabela 14) como na segunda (Tabela 18).

Foi observado o efeito negativo da eficiência de absorção de P na concentração de Zn na MSPA, mas, de modo geral, os cultivares de feijoeiro comum mais eficientes em absorver P não apresentaram menores concentrações de Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA. Embora tenha sido observado efeito negativo da eficiência de absorção de P na concentração de Zn na MSPA, esse efeito não parece ser generalizado para todos os cultivares de feijoeiro comum, ou para todos os micronutrientes. Não houve correlação significativa entre as variáveis Valor Lsem e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na MSPA, na segunda amostragem das plantas (Tabela 18).

2.3.2.3 Segunda amostragem - grãos

Os valores médios de produção de MSG das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, concentração de P e P acumulado na MSG, na segunda amostragem das plantas, estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca de grãos (MSG) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSG (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Continua)

Cultivar	MSG	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
IAC Boreal	6,48	3,62	23,45
Talismã	6,74	4,51	30,30
Ouro Negro	6,86	3,95	26,99
Roxão	6,87	3,29	22,57
Horizonte	7,15	3,78	27,02
Jalo Precoce	7,26	3,24	23,54
Rosinha G2	7,30	3,44	25,09
Princesa	7,34	3,49	25,57
Gen99TGR1-10	7,46	3,30	24,65
Gen99TG50-47	7,49	3,20	23,93
Rubi	7,64	3,34	25,48
Gen99TG34-50	7,81	3,22	25,04
Safira	7,85	3,41	26,77
Xamego	8,04	3,06	24,56
IAPAR 31	8,11	3,83	31,09
Rosinha Brilhosa	8,18	3,28	26,84
CV-48	8,19	3,44	28,21
Chapecó	8,26	3,16	26,06
IAC Alvorada	8,39	3,31	27,75
CNF 10	8,46	3,62	30,66
Macanudo	8,46	3,27	27,60
Pitanga	8,47	3,32	28,09
Carioca 80	8,58	3,49	29,94
Pérola	8,64	3,62	31,21
Roxão EEP	8,69	3,82	33,10
Triunfo	8,72	3,33	29,05
Rosinha de Cipó	8,73	3,15	27,44
Grafite	8,74	2,92	25,55
Diamante Negro	8,76	3,18	27,82
LP01-38	8,84	3,11	27,44

Tabela 19 - Valores médios das variáveis produção de matéria seca de grãos (MSG) das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum, concentração de P (Conc P) e P acumulado na MSG (P Acum), na segunda amostragem das plantas

(Conclusão)

Cultivar	MSG	Conc P	P Acum
	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Colibri	8,91	2,98	26,49
Requinte	9,14	3,23	29,50
Aporé	9,16	3,58	32,78
Xodó	9,30	3,19	29,62
Thayú	9,59	3,04	29,12
Roxinho	9,63	2,87	27,63
FT Nobre	9,64	3,17	30,50
Rudá	9,65	3,32	32,01
Pioneiro	9,67	3,41	32,94
Pontal	9,68	3,39	32,80
Rosinha	9,69	3,09	29,97
IAC UNA	9,70	2,85	27,57
Timbó	9,71	3,31	32,14
Sangue de Boi	9,76	3,03	29,56
Tybatã	9,77	2,92	28,47
Vereda	9,85	3,10	30,54
Roxo 90	9,95	2,95	29,17
Média	8,64	3,29	28,20
CV (%)	12,68	10,56	9,70

Os valores médios de concentração de Cu, Fe, Mn e Zn na MSG e acúmulo desses micronutrientes na MSG, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum, estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca de grãos (MSG) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSG, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum

(Continua)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
IAC Boreal	9,65	62,46	83,59	540,94	20,06	129,94	39,43	255,23
Talismã	11,14	75,03	78,70	527,27	33,45	224,54	42,39	285,38
Ouro Negro	9,97	68,15	64,07	439,37	22,54	154,43	36,49	249,65
Roxão	8,94	61,25	73,03	500,64	22,16	152,07	37,98	260,41
Horizonte	9,27	66,22	62,85	448,55	25,54	181,91	36,02	257,26
Jalo Precoce	8,95	64,92	74,30	538,43	18,12	131,72	36,53	264,98
Rosinha G2	7,73	56,27	62,72	457,83	27,60	201,98	33,40	243,64
Princesa	7,99	58,53	68,73	504,60	25,79	189,31	32,08	235,41
Gen99TGR1-10	8,26	61,66	57,33	427,04	20,45	152,82	36,76	274,11
Gen99TG50-47	8,37	62,65	51,59	386,25	17,29	129,41	31,90	238,88
Rubi	9,11	69,57	64,92	495,81	26,07	199,14	34,49	263,38
Gen99TG34-50	7,22	56,06	48,85	379,42	15,83	123,31	31,73	246,50
Safira	8,73	68,43	64,51	505,82	21,85	170,86	31,24	245,25
Xamego	8,93	71,74	64,93	521,14	26,24	211,01	33,85	272,11
IAPAR 31	7,81	63,18	63,90	518,46	24,46	198,11	32,85	266,13
Rosinha Brilhosa	8,54	69,76	71,15	582,71	25,41	208,12	32,30	264,24
CV-48	9,43	77,17	66,03	540,70	24,17	197,50	35,87	293,82
Chapecó	9,16	75,52	71,20	587,72	23,13	190,76	37,95	313,65
IAC Alvorada	8,23	68,94	59,69	500,78	22,32	186,81	33,46	280,46
CNF 10	9,16	77,37	57,76	488,94	26,17	221,12	32,66	276,10
Macanudo	9,35	79,03	63,31	534,96	25,21	212,24	31,88	269,41
Pitanga	8,16	68,93	62,95	531,99	24,96	211,12	31,00	262,47
Carioca 80	8,60	73,84	73,93	634,33	34,96	300,51	36,71	315,03
Pérola	9,02	77,83	71,03	613,65	27,07	233,72	35,78	308,82
Roxão EEP	10,27	89,00	62,82	544,43	31,91	276,24	31,01	268,40
Triunfo	10,06	87,65	69,87	608,91	28,35	247,21	38,51	335,82
Rosinha de Cipó	8,26	71,88	63,13	549,35	23,91	208,67	34,54	300,15
Grafite	8,21	71,66	61,82	539,51	32,11	280,46	34,44	300,33

Tabela 20 - Valores médios das variáveis concentração de Cu (Conc Cu), Fe (Conc Fe), Mn (Conc Mn) e Zn (Conc Zn) na matéria seca de grãos (MSG) e acúmulo de Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Zn Acum) na MSG, na segunda amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum

(Conclusão)

Cultivar	Conc Cu	Cu Acum	Conc Fe	Fe Acum	Conc Mn	Mn Acum	Conc Zn	Zn Acum
	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/ planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/ planta
Diamante Negro	7,27	63,56	54,17	473,41	25,54	223,26	31,05	271,51
LP01-38	8,40	74,14	75,60	668,01	23,83	210,82	30,75	271,76
Colibri	7,42	66,07	70,17	625,19	26,04	231,87	34,35	305,95
Requinte	7,85	71,70	70,16	640,65	32,96	301,04	33,96	310,16
Aporé	8,79	80,44	68,54	627,36	27,01	247,29	34,29	313,78
Xodó	8,98	83,34	67,12	624,24	23,38	218,13	36,08	335,14
Thayú	9,04	86,46	73,90	707,43	29,65	284,19	36,45	348,83
Roxinho	5,84	56,15	63,62	612,33	28,87	277,07	30,88	296,93
FT Nobre	7,22	69,60	76,99	741,87	27,06	260,82	35,63	343,23
Rudá	8,25	79,47	70,06	675,80	31,35	302,26	34,45	331,79
Pioneiro	7,72	74,51	72,06	696,26	32,04	308,50	34,76	335,86
Pontal	8,35	80,68	68,85	665,87	28,24	273,12	34,21	331,01
Rosinha	7,47	72,38	73,58	712,88	23,73	230,05	35,27	341,59
IAC UNA	7,70	74,52	68,10	658,71	22,34	216,27	35,35	342,08
Timbó	8,12	78,82	68,85	668,24	26,83	260,53	35,13	340,78
Sangue de Boi	7,88	76,51	54,94	534,38	24,90	242,75	27,78	270,39
Tybatã	6,89	67,24	62,86	614,01	26,79	261,13	35,58	347,05
Vereda	7,79	76,72	69,36	683,53	24,66	243,17	34,16	336,58
Roxo 90	7,67	75,87	70,49	696,96	28,72	285,42	34,08	338,21
Média	8,41	72,00	66,63	574,92	25,74	223,54	34,31	295,17
CV (%)	12,71	11,90	11,48	14,20	14,97	15,71	8,78	12,44

Os coeficientes de correlação (matriz de correlação), entre as 10 variáveis estudadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Coeficientes de correlação entre as variáveis matéria seca de grãos (MSG), concentração de fósforo na MSG (Conc P), P acumulado na MSG (P Acum), concentração dos micronutrientes cobre (Conc Cu), ferro (Conc Fe), manganês (Conc Mn) e zinco (Conc Zn) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum), Fe (Fe Acum), Mn (Mn Acum) e Zn (Acum Zn) na MSG das plantas de feijoeiro comum

		Conc P	**P Acum**	**Conc Cu**	**Cu Acum**	**Conc Fe**
		g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}
MSG	g/planta	-0,654***	0,604***	-0,569***	0,462***	-0,091ns
Conc P	g kg^{-1}		0,191*	0,682***	0,007ns	0,222**
P Acum	mg/planta			-0,026ns	0,620***	0,100ns
Conc Cu	mg kg^{-1}				0,457***	0,350***
Cu Acum	µg/planta					0,251**
		Fe Acum	**Conc Mn**	**Mn Acum**	**Conc Zn**	**Zn Acum**
		µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
MSG	g	0,733***	0,247**	0,722***	-0,386***	0,764***
Conc P	g kg^{-1}	-0,371***	0,187*	-0,239**	0,423***	-0,394***
P Acum	mg/planta	0,556***	0,511***	0,684***	-0,081ns	0,569***
Conc Cu	mg kg^{-1}	-0,216**	0,108ns	-0,245**	0,537***	-0,224**
Cu Acum	µg/planta	0,545***	0,370***	0,536***	0,130ns	0,568***
Conc Fe	mg kg^{-1}	0,603***	0,332***	0,189*	0,602***	0,313***
Fe Acum	µg/planta		0,422***	0,705***	0,104ns	0,832***
Conc Mn	mg kg^{-1}			0,844***	0,148ns	0,356***
Mn Acum	µg/planta				-0,106ns	0,671***
Conc Zn	mg kg^{-1}					0,291***

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

Existe correlação significativa e positiva entre o acúmulo de P nos grãos e a produtividade do feijoeiro (FAGERIA, BARBOSA FILHO, STONE, 2004). Portanto,

segundo esses autores, é possível aumentar a produtividade do feijoeiro comum com o aumento da absorção e acúmulo de P nos grãos, com o uso de genótipos eficientes.

Os valores de MSG correlacionaram-se significativa e negativamente com as concentrações de P na MSG (-0,654***) e positivamente com P acumulado na MSG (0,604***) (Tabela 21). O acúmulo de P na MSG foi superior com o aumento da MSPA, mas as concentrações de P diminuíram, portanto, houve diluição do P na MSG. Pela análise de agrupamento realizada com essas três variáveis, foram identificados os cinco seguintes grupos de cultivares de feijoeiro comum (Figura 12):

- Primeiro: Talismã;
- Segundo (grupo pouco produtivo e pobre em P nos grãos): Ouro Negro e Horizonte;
- Terceiro (grupo medianamente produtivo e medianamente rico em P nos grãos): IAC Boreal, Roxão, Jalo Precoce, Gen99TG50-47, Gen99TGR1-10, Rubi, Gen99TG3450, Rosinha G2, Princesa, Safira, Rosinha Brilhosa, Macanudo, IAC Alvorada, Pitanga, CV-48, Diamante Negro, Rosinha Cipó, LP01-38, Grafite, Colibri, Chapecó e Xamego;
- Quarto (grupo produtivo e rico em P nos grãos): Valente, Rosado, Ônix, Roxo 90, Tybatã, Roxinho, IAC UNA, Thayú, Sangue de Boi, Rosinha, Vereda, FT Nobre, Xodó, Requinte, Triunfo;
- Quinto (grupo muito produtivo e muito rico em P nos grãos): Carioca 80, CNF 10, Pérola, IAPAR 31, Roxão EEP, Aporé, Pioneiro, Pontal, Timbó e Rudá.

O Talismã não formou grupo com outro cultivar porque apresentou baixa produção de grãos, mas alta concentração e acúmulo de P na MSG. Por isso, os outros grupos foram classificados, em termos de produtividade de grãos e P na MSG, em quatro grupos, como pré-defindo, e não cinco.

Os cultivares Carioca 80, CNF 10, Pérola, IAPAR 31, Roxão EEP, Aporé, Pioneiro, Pontal, Timbó e Rudá foram os mais produtivos quando cultivados em condições de baixa disponibilidade de P. Esses 10 cultivares de feijoeiro mais produtivos, em termos de grãos, apresentaram maior eficiência de utilização; sendo esta definida como a capacidade de converter o elemento absorvido pela planta em produto agrícola de interesse comercial (folha, fruto, raiz e caule) (MALAVOLTA, 2006).

A eficiência de utilização está geralmente associada com a produtividade, isto é, quanto maior a EU, maior a produção de grãos (MALAVOLTA; AMARAL, 1978). Desses cultivares, somente o Pioneiro foi classificado como eficiente na absorção de P (Figura 10).

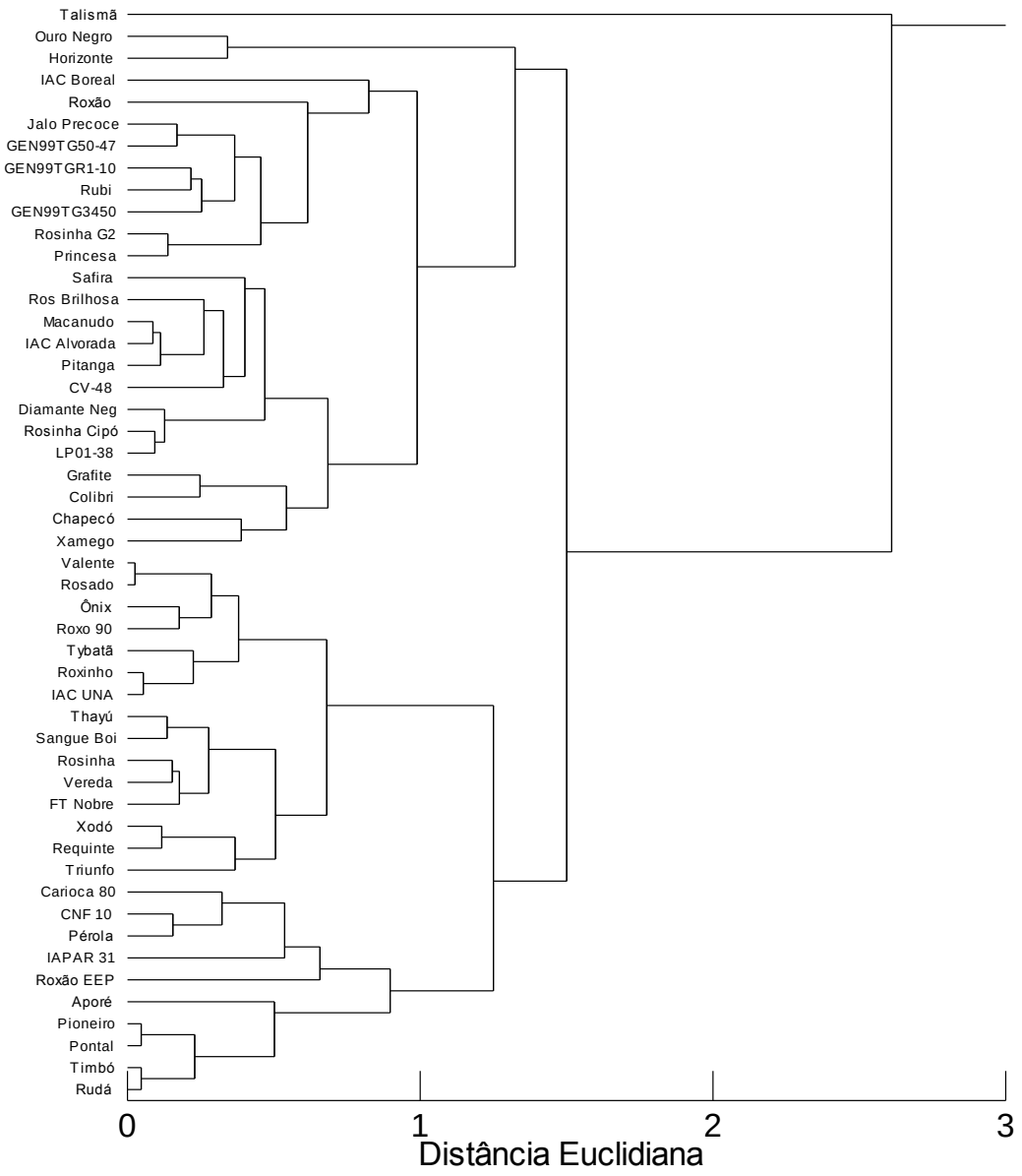

Figura 12 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 50 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis matéria seca de grãos (MSG), concentração e fósforo acumulado na MSG

A eficiência de recuperação do P pela planta de feijoeiro é menor que 10% em solos de Cerrado, dependendo da dose aplicada (FAGERIA, BARBOSA FILHO, STONE, 2004). Esse baixo valor de eficiência pela planta de feijoeiro pode ser aumentado com o uso de genótipos mais eficiente na absorção de P.

A MSG correlacionou-se negativamente com a concentração de Cu (-0,569***) e Zn (-0,386***) na MSG (Tabela 21). Isso se deve ao efeito de diluição, pois a MSG foi correlacionado positivamente com o acúmulo de Cu (0,462***) e de Zn (0,764***) nos grãos (Tabela 21). O acúmulo de Fe (0,733***) e Mn (0,722***) também aumentaram significativamente com o aumento do total de P acumulado na MSG. O total de P acumulado na MSG correlacionou-se positivamente com a concentração de Mn (0,511***) e com o acúmulo de Cu (0,620***), Fe (0,556***), Mn (0,684***) e Zn (0,569***) na MSG (Tabela 21). Assim, cultivares de feijoeiro comum mais produtivos ou com maior conteúdo total de P na MSG não apresentaram menor concentração ou acúmulo desses micronutrientes nos grãos.

Para verificar se as concentrações dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn diminuem com o aumento da produção de MST ou do acúmulo de P na MST, variáveis estas comumente utilizadas nos estudos de eficiência de absorção de P por cultivares de plantas, quando não usada a técnica com ^{32}P, foram realizadas correlações entre a MST e acúmulo de P na MST, na segunda amostragem das plantas de feijoeiro comum, com as concentrações dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos (tabela não apresentada).

A MST correlacionou-se significativa e positivamente com o total de P acumulado na MST (0,530***). Considerando-se os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn, a MST correlacionou-se significativa e negativamente somente com a concentração de Cu (-0,563***) nos grãos e positivamente com a de Mn (0,238**). Além disso, a MST correlacionou-se significativa e positivamente com o acúmulo de Cu (0,279***), Fe (0,663***), Mn (0,623***) e Zn (0,739***) nos grãos. O acúmulo de P na MST correlacionou-se significativa e positivamente com a concentração de Fe (0,181*), de Mn (0,462***) nos grãos, mas não com a de Cu e Zn. Além disso, o total de P acumulado na MST correlacionou-se positivamente com o acúmulo de Cu (0,505***), Fe (0,572***), Mn (0,639***) e Zn (0,601***) nos grãos.

Diferentemente do observado no experimento com cultivares de arroz de terras altas, não houve redução dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) nos grãos em resposta ao aumento da MST ou do P acumulado na MST das plantas dos cultivares de feijoeiro comum. Por esse motivo, não foi realizada a análise de agrupamento com essas variáveis.

Os coeficientes de correlação entre as 11 variáveis estudadas na parte aérea das plantas dos cultivares de feijoeiro comum na segunda amostragem e três variáveis avaliadas na primeira (AE, Valor L e Valor Lsem) estão apresentados na Tabela 22. Essas correlações foram realizadas com o objetivo principal de comparar o efeito da eficiência de absorção de P pelas plantas dos 50 cultivares de feijoeiro na concentração e acúmulo de micronutrientes nos grãos.

Tabela 22 – Coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas nos grãos das plantas dos 50 cultivares de feijoeiro comum na segunda amostragem [matéria seca de grãos (MSG), concentração de fósforo na MSG (Conc P MSG), P acumulado na MSG (P Acum MSG), concentrações dos micronutrientes cobre (Conc Cu MSG), ferro (Conc Fe MSG), manganês (Conc Mn MSG) e zinco (Conc Zn MSG) e acúmulo dos micronutrientes Cu (Cu Acum MSG), Fe (Fe Acum MSG), Mn (Mn Acum MSG) e Zn (Acum Zn MSG) na MSG] e as variáveis atividade específica (AE[1]), Valor L (Valor L[1]), Valor L descontado o P na planta proveniente da semente (Valor Lsem[1]), referentes à primeira amostragem.

		MSG	**Conc P MSG**	**P Acum MSG**	**Conc Cu MSG**	**Cu Acum MSG**
		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM μg^{-1} P	0,101ns	-0,006ns	0,094ns	-0,080ns	0,020ns
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	-0,085ns	-0,020ns	-0,103ns	0,047ns	-0,040ns
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	-0,003ns	-0,008ns	-0,018ns	0,044ns	0,174ns

		Conc Fe MSG	**Fe Acum MSG**	**Conc Mn MSG**	**Mn Acum MSG**	**Conc Zn MSG**	**Zn Acum MSG**
		mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta	mg kg^{-1}	µg/planta
AE[1]	DPM μg^{-1} P	-0,036ns	0,054ns	0,101ns	0,109ns	-0,084ns	0,047ns
Valor L[1]	mg kg^{-1} solo	0,043ns	-0,036ns	-0,107ns	-0,101ns	0,083ns	-0,032ns
Valor Lsem[1]	mg kg^{-1} solo	0,078ns	0,032ns	-0,003ns	-0,001ns	0,062ns	0,013ns

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.
[1]Primeira amostragem das plantas dos cultivares de feijoeiro comum

Não foi verificado efeito negativo da eficiência de absorção de P (AE, Valor L e Valor Lsem) pelas plantas dos cultivares de feijoeiro comum na concentração ou acúmulo de micronutrientes nos grãos, pois não houve correlação significativa e negativa entre essas variáveis (Tabela 22). Assim, os cultivares de feijoeiro comum mais eficientes em absorver P não foram mais pobres nos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn na parte comestível dessa cultura.

Não houve correlação significativa das variáveis AE, Valor L e Valor Lsem das plantas de feijoeiro na primeira amostragem com a MSG, concentração e acúmulo de P na MSG (Tabela 22). Isso indica que cultivares mais eficientes na absorção de P não

são, necessariamente, os mais eficientes em converter o nutriente absorvido em produto comestível, grãos neste caso. A produção de grãos também envolve o conceito de eficiência de utilização, conforme definição de Malavolta (2006).

2.3.3 Eficiência da fixação biológica de N_2 por cultivares de feijoeiro comum

O termo matéria seca total da parte aérea (MSTPA), utilizado nesse experimento, refere-se a soma da MSPA com a MSG, ou seja, a planta toda exceto as raízes.

Os valores médios dos resultados das plantas usadas como controle (feijoeiro não nodulante), com ou sem adubação com N mineral foram os seguintes:

1) sem N-uréia - número de nódulos = 0; MSPA = 12,40g/planta; N Acum MSPA = 80,53 mg/planta; $Npp_{fertilizante}$ MSPA = 2,49%; $Npp_{atmosfera}$ MSPA = 0%; Npp_{solo} MSPA = 97,51%; Ap Uréia MSPA = 36,42%; MSR = 5,37 g/planta; MSG = 0,96 g/planta; N Acum MSG = 31,59 mg/planta; número de vagens = 9,0; número de grãos = 16,5; $Npp_{fertilizante}$ MSG = 1,64%; $Npp_{atmosfera}$ MSG = 0%; Npp_{solo} MSG = 98,36%; Ap Uréia MSG = 9,43%; N Acum MSTPA = 112,12 mg/planta; $Npp_{atmosfera}$ MSTPA = 0%; $Npp_{fertilizante}$ MSTPA = 0,46%; Ap Uréia MSTPA = 45,85%; e Npp_{solo} MSTPA = 99,54%.

2) com N-uréia - número de nódulos = 0; MSPA = 54,24 g/planta; N Acum MSPA = 307,33 mg/planta; Nppfertilizante MSPA = 68,96%; Nppatmosfera MSPA = 0%; Nppsolo MSPA = 31,04%; Ap Uréia MSPA = 42,43%; MSR = 15,76 g/planta; MSG = 3,83 g/planta; N Acum MSG = 141,62 mg/planta; número de vagens = 20,5; número de grãos = 40,3; Nppfertilizante MSG = 69,39%; Nppatmosfera MSG = 0%; Nppsolo MSG = 30,61%; Ap Uréia MSG = 19,65%; N Acum MSTPA = 448,95 mg/planta; Nppatmosfera MSTPA = 0%; Nppfertilizante MSTPA = 69,11%; Ap Uréia MSTPA = 62,08%; e Nppsolo MSTPA = 30,89%.

Esses valores não foram submetidos à análise estatística, porque o objetivo de utilizar a planta controle foi somente pela necessidade da metodologia empregada com ^{15}N, mais especificamente nos cálculos para quantificar o N na planta proveniente da atmosfera, do fertilizante ou do solo.

A baixa dose de N-uréia utilizada para a marcação do solo com ^{15}N foi confirmada nesse tratamento, pois as plantas de feijoeiro do cultivar não nodulante, que tinham duas fontes de N para absorver (N-solo e N-uréia em baixa dose) apresentaram

MSPA aproximadamente quatro vezes menor, em comparação ao mesmo cultivar que recebeu alta dose de N-uréia. Além disso, foram observados sintomas visuais de deficiência de N (clorose generalizada, inicialmente das folhas mais velhas) nas plantas dos cultivares que receberam baixa dose de N-uréia.

Os valores médios das 33 variáveis avaliadas nas plantas dos 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com N-uréia, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continua)

Cultivar	Nódulos		MSPA	Conc N MSPA	N Acum MSPA
	Massa fresca	Número			
	mg/planta		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Jalo precoce	0,77	133,33	10,27	14,98	153,85
*JaloPrecoce	1,19	171,33	33,78	17,90	603,72
Roxão EEP	1,03	141,33	13,20	14,44	190,67
*Roxão EEP	0,97	112,67	27,24	11,29	307,28
SangueBoi	0,84	126,00	14,52	13,81	200,02
*Sangue Boi	0,73	115,00	30,61	16,08	491,57
Rubi	0,95	137,67	14,64	15,02	219,45
*Rubi	1,62	162,67	32,79	15,10	494,61
Grafite	1,21	138,67	14,82	13,88	204,92
*Grafite	1,93	246,33	35,42	14,58	515,95
CNF 10	1,04	156,67	16,84	15,59	262,38
*CNF 10	0,81	145,33	26,34	14,60	384,50
Pontal	1,82	195,00	17,01	14,90	253,36
*Pontal	1,28	198,67	35,25	14,84	523,11
Aporé	1,34	139,00	17,56	11,33	199,08
*Aporé	2,22	226,67	35,48	17,93	636,08
LP01-38	1,45	154,00	17,87	16,15	288,63
*LP01-38	1,56	157,00	30,93	13,09	404,88
Rudá	1,03	171,00	18,68	11,72	218,50
*Rudá	0,66	107,33	26,09	16,91	440,97

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

Cultivar	Nódulos		MSPA	Conc N MSPA	N Acum MSPA
	Massa fresca	Número			
	mg/planta		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Pioneiro	0,76	114,33	18,81	11,43	214,87
*Pioneiro	0,95	130,33	34,67	16,45	570,06
Ouro Negro	1,53	170,67	18,91	16,96	319,92
*Ouro Negro	1,30	148,67	30,12	15,26	459,28
FT Nobre	1,36	124,00	19,59	16,11	314,76
*FT Nobre	1,14	145,33	33,41	15,00	500,97
Ônix	1,41	142,00	19,65	12,51	244,89
*Ônix	1,08	137,00	41,88	12,12	507,70
Roxo 90	1,49	147,00	19,77	14,05	277,75
*Roxo 90	2,02	300,67	33,49	14,33	479,50
Carioca 80	0,59	161,67	19,98	11,03	219,71
*Carioca 80	0,52	172,67	29,41	16,87	496,03
Horizonte	1,83	191,33	20,05	11,58	231,93
*Horizonte	3,09	242,00	38,90	16,06	624,70
Rosinha	0,84	154,67	20,81	11,25	233,82
*Rosinha	1,05	212,33	34,50	13,24	456,98
Tybatã	1,40	158,00	21,20	12,28	260,31
*Tybatã	1,53	155,00	45,18	14,80	668,38
Pitanga	1,47	157,67	21,25	17,59	373,59
*Pitanga	1,43	149,33	30,71	14,42	443,03
IAC UNA	0,80	152,67	21,40	18,15	387,29
*IAC UNA	1,06	168,33	35,55	16,10	571,25

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

Cultivar	Nódulos		MSPA	Conc N MSPA	N Acum MSPA
	Massa fresca	Número			
	mg/planta		g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Thayú	1,27	156,67	21,72	15,93	345,64
*Thayú	1,72	268,00	38,49	16,76	644,32
Roxinho	1,25	135,33	23,23	17,87	415,05
*Roxinho	0,86	135,00	36,29	16,81	609,67
Vereda	1,51	173,33	23,70	16,73	396,57
*Vereda	2,11	247,67	42,75	15,63	668,16
Timbó	0,66	108,00	31,87	14,10	449,06
*Timbó	0,68	101,67	43,82	15,30	670,37
Média	1,26	161,94	26,81	14,82	400,98
CV (%)	20,18	18,21	11,93	12,45	12,22

	$Npp_{fertilizante}$ MSPA		$Npp_{atmosfera}$ MSPA		Npp_{solo} MSPA	
	%	mg/planta	%	mg/planta	%	mg/planta
Jalo precoce	1,19	1,83	52,17	80,27	46,64	71,75
*JaloPrecoce	40,98	247,36	40,58	245,03	18,44	111,32
Roxão EEP	0,69	1,32	72,18	137,68	27,12	51,67
*Roxão EEP	45,24	138,96	34,40	105,79	20,36	62,54
SangueBoi	0,68	1,36	72,55	145,24	26,77	53,41
*Sangue Boi	36,16	177,70	47,56	233,90	16,27	79,97

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	$Npp_{fertilizante}$ MSPA		**$Npp_{atmosfera}$ MSPA**		**Npp_{solo} MSPA**	
	%	mg/planta	%	mg/planta	%	mg/planta
Rubi	0,48	1,06	80,70	177,00	18,82	41,39
*Rubi	38,74	191,71	43,82	216,61	17,44	86,28
Grafite	0,51	1,04	79,64	163,09	19,86	40,79
*Grafite	31,73	163,71	53,99	278,56	14,28	73,67
CNF 10	0,50	1,32	79,79	209,33	19,71	51,72
*CNF 10	39,73	152,59	42,39	163,24	17,88	68,67
Pontal	0,56	1,42	77,58	196,51	21,86	55,44
*Pontal	36,50	191,00	47,07	246,16	16,43	85,96
Aporé	0,43	0,85	82,87	164,93	16,70	33,30
*Aporé	30,37	193,18	55,96	355,96	13,67	86,94
LP01-38	0,58	1,68	76,69	221,35	22,73	65,60
*LP01-38	42,06	170,18	39,01	158,10	18,93	76,59
Rudá	0,46	1,01	81,40	177,87	18,14	39,62
*Rudá	33,63	148,25	51,24	226,00	15,13	66,72
Pioneiro	0,51	1,09	79,64	171,14	19,86	42,64
*Pioneiro	34,17	194,76	50,46	287,65	15,38	87,65
Ouro Negro	0,43	1,36	82,91	265,14	16,67	53,42
*Ouro Negro	35,61	163,61	48,37	222,05	16,02	73,63
FT Nobre	0,67	2,10	73,25	230,41	26,08	82,25
*FT Nobre	34,12	170,98	50,52	253,05	15,36	76,95
Ônix	0,49	1,20	80,30	196,68	19,21	47,01
*Ônix	32,87	166,81	52,34	265,82	14,79	75,07
Roxo 90	0,47	1,30	81,24	225,67	18,30	50,79
*Roxo 90	38,34	183,81	44,40	212,96	17,26	82,72

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	$Npp_{fertilizante}$ MSPA		**$Npp_{atmosfera}$ MSPA**		**Npp_{solo} MSPA**	
	%	mg/planta	%	mg/planta	%	mg/planta
Carioca 80	0,40	0,89	83,81	184,09	15,79	34,73
*Carioca 80	27,03	134,03	60,80	301,68	12,17	60,32
Horizonte	0,53	1,23	78,60	182,39	20,87	48,30
*Horizonte	31,51	196,70	54,32	339,47	14,18	88,52
Rosinha	0,47	1,09	81,28	190,04	18,25	42,69
*Rosinha	34,67	158,48	49,73	227,18	15,60	71,32
Tybatã	0,48	1,26	80,58	209,93	18,94	49,13
*Tybatã	34,88	233,17	49,42	330,27	15,70	104,94
Pitanga	0,44	1,66	82,17	306,99	17,39	64,93
*Pitanga	34,57	153,03	49,87	221,13	15,56	68,87
IAC UNA	0,54	2,08	78,43	303,80	21,03	81,41
*IAC UNA	30,20	172,60	56,20	320,97	13,59	77,68
Thayú	0,42	1,44	83,23	287,68	16,36	56,51
*Thayú	27,06	174,33	60,76	391,53	12,18	78,46
Roxinho	0,39	1,61	84,45	350,57	15,17	62,88
*Roxinho	34,41	209,72	50,11	305,57	15,49	94,38
Vereda	0,34	1,37	86,15	341,75	13,50	53,45
*Vereda	25,81	172,46	62,57	418,09	11,62	77,61
Timbó	0,36	1,60	85,67	384,73	13,97	62,73
*Timbó	26,79	179,49	61,15	410,10	12,06	80,78
Média	17,40	89,46	64,69	244,82	17,91	66,70
CV (%)	13,33	12,54	14,12	13,77	12,85	12,39

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSPA	**MSR**	**MSG**	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**
	%	g/planta	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Jalo precoce	33,33	5,26	7,02	35,58	249,67
*JaloPrecoce	49,47	16,41	18,22	34,81	633,79
Roxão EEP	24,00	5,30	13,31	28,60	380,34
*Roxão EEP	27,79	10,80	21,03	33,23	697,66
SangueBoi	24,81	7,13	20,68	24,27	500,40
*Sangue Boi	35,54	14,14	31,05	27,11	840,03
Rubi	19,23	4,81	15,00	30,68	460,17
*Rubi	38,34	9,46	29,65	27,94	826,17
Grafite	18,95	8,10	10,41	32,27	334,52
*Grafite	32,74	14,58	24,89	29,56	735,38
CNF 10	24,03	7,20	23,37	27,05	631,80
*CNF 10	30,52	7,97	28,86	30,91	891,89
Pontal	25,75	7,83	20,07	30,06	602,04
*Pontal	38,20	9,48	33,71	24,79	835,25
Aporé	15,47	5,40	24,49	26,72	654,17
*Aporé	38,64	11,07	28,08	27,38	768,87
LP01-38	30,48	4,68	24,53	23,84	584,42
*LP01-38	34,04	11,91	29,20	29,76	867,99
Rudá	18,41	6,54	27,83	26,46	735,98
*Rudá	29,65	8,35	29,45	28,20	830,28
Pioneiro	19,81	5,26	28,35	24,50	694,25
*Pioneiro	38,95	8,80	35,24	23,58	830,82

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSPA	**MSR**	**MSG**	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**
	%	g/planta	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Ouro Negro	24,82	3,81	26,20	24,79	649,24
*Ouro Negro	32,72	11,87	35,47	27,19	964,40
FT Nobre	38,21	5,37	21,88	28,14	615,14
*FT Nobre	34,20	12,65	33,48	30,77	1030,60
Ônix	21,84	6,94	21,81	27,80	605,98
*Ônix	33,36	12,15	28,84	31,47	907,45
Roxo 90	23,59	5,59	19,22	29,18	559,40
*Roxo 90	36,76	13,19	33,20	27,71	919,77
Carioca 80	16,14	7,31	28,33	26,43	748,38
*Carioca 80	26,81	9,61	32,70	27,99	915,74
Horizonte	22,44	6,04	17,34	35,35	612,42
*Horizonte	39,34	9,22	25,49	30,53	778,23
Rosinha	19,83	6,55	29,32	24,57	720,43
*Rosinha	31,70	11,34	35,95	25,09	901,34
Tybatã	22,82	9,34	22,35	30,59	683,46
*Tybatã	46,63	12,38	29,46	26,76	787,84
Pitanga	30,16	5,65	22,58	29,98	676,74
*Pitanga	30,61	9,65	27,59	33,61	925,97
IAC UNA	37,82	6,12	24,00	27,38	657,18
*IAC UNA	34,52	12,59	32,31	32,73	1056,59
Thayú	26,25	6,94	24,89	31,45	782,44
*Thayú	34,87	14,35	30,52	38,57	1176,54

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSPA	**MSR**	**MSG**	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**
	%	g/planta	g/planta	g kg^{-1}	mg/planta
Roxinho	29,21	10,55	23,68	28,77	680,78
*Roxinho	41,94	15,30	32,23	31,58	1017,85
Vereda	24,83	10,58	24,81	30,73	761,60
*Vereda	34,49	16,40	30,06	29,70	892,03
Timbó	29,14	9,30	15,72	38,09	598,88
*Timbó	35,90	21,24	19,81	36,18	716,84
Média	30,18	9,45	25,47	29,41	738,58
CV (%)	12,03	15,23	12,89	13,30	13,11

	Número		**Nppfertilizante MSG**	
	Vagens	**Grãos**		
			%	mg
Jalo precoce	20,00	108,00	0,17	1,28
*JaloPrecoce	19,00	115,67	0,16	1,21
Roxão EEP	19,00	95,67	0,16	1,06
*Roxão EEP	11,67	74,67	0,19	1,14
SangueBoi	12,00	66,67	0,20	1,23
*Sangue Boi	20,00	121,33	0,17	1,20
Rubi	22,67	127,67	0,13	0,93
*Rubi	11,00	59,00	0,26	1,19
Grafite	18,00	105,67	0,16	1,25
*Grafite	17,67	104,00	0,13	0,92

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Número		**Nppfertilizante MSG**	
	Vagens	**Grãos**		
			%	mg
CNF 10	16,00	94,33	0,18	1,15
*CNF 10	11,67	50,67	0,31	1,19
Pontal	17,33	103,33	0,20	1,01
*Pontal	16,67	99,67	0,15	1,05
Aporé	22,33	81,67	0,13	0,81
*Aporé	14,33	72,67	0,18	1,02
LP01-38	21,67	106,33	0,14	0,92
*LP01-38	17,00	87,67	0,19	1,26
Rudá	13,33	94,33	0,18	1,10
*Rudá	17,33	92,00	0,18	1,19
Pioneiro	5,33	21,33	0,49	1,21
*Pioneiro	8,67	48,00	0,32	1,07
Ouro Negro	21,67	107,33	0,13	1,05
*Ouro Negro	15,67	93,00	0,20	1,21
FT Nobre	15,33	93,00	0,19	1,08
*FT Nobre	24,33	122,33	12,82	117,56
Ônix	23,33	150,33	16,52	137,11
*Ônix	27,67	172,67	19,01	146,11
Roxo 90	24,00	160,67	16,31	136,20
*Roxo 90	21,33	132,33	18,77	146,16
Carioca 80	31,33	174,33	19,19	159,41
*Carioca 80	32,33	189,00	16,88	152,09

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Número		**Nppfertilizante MSG**	
	Vagens	**Grãos**		
			%	mg
Horizonte	28,67	158,67	18,05	149,11
*Horizonte	27,00	160,00	14,14	125,82
Rosinha	26,33	154,67	16,06	126,46
*Rosinha	22,67	131,67	24,35	217,30
Tybatã	26,67	117,67	26,34	183,80
*Tybatã	30,00	161,00	19,45	163,46
Pitanga	30,33	172,00	15,42	156,93
*Pitanga	21,67	100,33	15,33	109,90
IAC UNA	27,00	161,67	17,12	157,34
*IAC UNA	24,67	136,00	16,64	153,93
Thayú	26,67	135,00	20,28	195,59
*Thayú	28,67	159,33	17,54	159,24
Roxinho	24,67	138,67	14,34	151,49
*Roxinho	15,67	56,00	22,00	139,25
Vereda	18,33	102,00	17,00	125,24
*Vereda	27,00	146,33	12,77	150,38
Timbó	29,33	187,33	18,15	186,73
*Timbó	18,67	99,00	22,80	197,81
Média	20,87	116,05	9,04	77,44
CV (%)	13,65	14,47	12,42	12,24

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Nppatmosfera MSG		**Nppsolo MSG**	
	%	MG	%	mg
Jalo precoce	89,61	670,64	10,22	76,46
*JaloPrecoce	90,01	662,45	9,82	72,33
Roxão EEP	90,15	589,70	9,69	63,41
*Roxão EEP	88,48	532,67	11,33	68,23
SangueBoi	87,81	537,79	11,99	73,40
*Sangue Boi	89,44	620,92	10,39	72,13
Rubi	92,19	664,13	7,68	55,38
*Rubi	84,29	387,92	15,45	71,06
Grafite	90,05	685,78	9,79	74,58
*Grafite	91,81	627,49	8,05	55,05
CNF 10	88,93	561,88	10,89	68,78
*CNF 10	80,91	307,79	18,78	71,36
Pontal	87,70	438,82	12,10	60,56
*Pontal	90,58	616,66	9,26	63,07
Aporé	91,79	549,74	8,08	48,34
*Aporé	88,86	497,13	10,95	61,25
LP01-38	91,70	620,60	8,16	55,22
*LP01-38	88,17	572,42	11,63	75,55
Rudá	88,95	539,04	10,87	65,83
*Rudá	88,95	584,60	10,87	71,39
Pioneiro	70,47	175,94	29,05	72,52
*Pioneiro	80,55	269,60	19,13	63,85
Ouro Negro	91,84	718,64	8,03	62,75
*Ouro Negro	88,02	541,44	11,79	72,49

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Nppatmosfera MSG		**Nppsolo MSG**	
	%	MG	%	mg
Grafite	90,05	685,78	9,79	74,58
*Grafite	91,81	627,49	8,05	55,05
CNF 10	88,93	561,88	10,89	68,78
*CNF 10	80,91	307,79	18,78	71,36
Pontal	87,70	438,82	12,10	60,56
*Pontal	90,58	616,66	9,26	63,07
Aporé	91,79	549,74	8,08	48,34
*Aporé	88,86	497,13	10,95	61,25
LP01-38	91,70	620,60	8,16	55,22
*LP01-38	88,17	572,42	11,63	75,55
Rudá	88,95	539,04	10,87	65,83
*Rudá	88,95	584,60	10,87	71,39
Pioneiro	70,47	175,94	29,05	72,52
*Pioneiro	80,55	269,60	19,13	63,85
Ouro Negro	91,84	718,64	8,03	62,75
*Ouro Negro	88,02	541,44	11,79	72,49
FT Nobre	88,73	518,58	11,09	64,76
*FT Nobre	81,52	746,33	5,66	51,85
Ônix	76,20	632,71	7,29	60,47
*Ônix	72,60	558,32	8,39	64,44
Roxo 90	76,50	638,97	7,19	60,07
*Roxo 90	72,96	567,60	8,28	64,47
Carioca 80	72,34	601,10	8,46	70,31
*Carioca 80	75,68	682,17	7,44	67,08

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Nppatmosfera MSG		**Nppsolo MSG**	
	%	MG	%	mg
Horizonte	73,99	611,28	7,96	65,77
*Horizonte	79,63	710,71	6,23	55,50
Rosinha	76,86	605,61	7,08	55,77
*Rosinha	64,91	578,75	10,74	95,84
Tybatã	62,04	432,80	11,62	81,07
*Tybatã	71,97	604,47	8,58	72,10
Pitanga	77,77	791,70	6,80	69,21
*Pitanga	77,90	558,46	6,76	48,47
IAC UNA	75,33	693,03	7,55	69,40
*IAC UNA	76,02	704,15	7,34	67,89
Thayú	70,78	682,54	8,94	86,27
*Thayú	74,72	677,98	7,74	70,23
Roxinho	79,33	838,29	6,33	66,82
*Roxinho	68,29	433,12	9,70	61,42
Vereda	75,50	554,91	7,50	55,24
*Vereda	81,59	959,83	5,63	66,33
Timbó	73,85	761,50	8,00	82,36
*Timbó	67,14	582,94	10,06	87,24
Média	81,11	594,03	9,85	67,11
CV (%)	13,88	13,43	12,79	12,87

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSG	**N Acum MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{fertilizante}$ MSTPA**
	%	mg/planta	mg/planta	%	mg/planta
Jalo precoce	22,03	403,52	256,21	63,49	3,04
*JaloPrecoce	27,85	1237,51	678,15	54,77	386,62
Roxão EEP	21,67	571,01	445,47	78,00	2,51
*Roxão EEP	36,76	1004,95	538,58	53,59	322,76
SangueBoi	18,39	700,41	584,07	83,39	2,38
*Sangue Boi	32,69	1331,60	838,37	62,95	341,16
Rubi	21,58	679,62	564,93	83,14	2,24
*Rubi	29,82	1320,77	827,90	62,69	340,83
Grafite	19,39	539,44	432,69	80,22	2,11
*Grafite	25,05	1251,33	833,48	66,62	288,94
CNF 10	20,89	894,18	771,21	86,25	2,47
*CNF 10	43,46	1276,39	742,00	58,14	369,88
Pontal	20,72	855,40	729,17	85,24	2,56
*Pontal	27,24	1358,35	885,13	65,15	327,20
Aporé	19,26	853,25	754,63	88,45	1,91
*Aporé	29,22	1404,94	914,28	65,08	339,28
LP01-38	19,67	873,05	739,93	84,75	2,76
*LP01-38	39,56	1272,87	741,04	58,20	367,99
Rudá	21,97	954,48	840,31	88,04	2,22
*Rudá	27,42	1271,26	858,71	67,55	285,36
Pioneiro	21,91	909,12	792,06	87,13	2,29
*Pioneiro	31,88	1400,88	888,75	63,44	354,17

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSG	**N Acum MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{fertilizante}$ MSTPA**
	%	mg/planta	mg/planta	%	mg/planta
Ouro Negro	22,95	969,16	837,56	86,43	2,63
*Ouro Negro	39,12	1423,68	904,58	63,55	359,20
FT Nobre	22,02	929,90	771,85	83,01	3,31
*FT Nobre	37,35	1531,56	1014,55	66,22	357,71
Ônix	20,00	850,87	735,73	86,47	2,30
*Ônix	31,85	1415,15	943,80	66,70	326,05
Roxo 90	18,60	837,15	722,80	86,34	2,32
*Roxo 90	31,47	1399,27	905,99	64,73	341,15
Carioca 80	23,22	968,09	854,73	88,29	2,16
*Carioca 80	23,51	1411,77	1048,01	74,24	251,59
Horizonte	22,29	844,34	720,19	85,29	2,46
*Horizonte	29,23	1402,93	907,07	64,66	342,87
Rosinha	16,82	954,25	854,17	89,50	2,02
*Rosinha	30,42	1358,32	909,35	66,95	310,57
Tybatã	16,72	943,77	837,42	88,72	2,17
*Tybatã	25,29	1456,22	935,88	64,26	359,63
Pitanga	16,77	1050,32	927,60	88,31	2,58
*Pitanga	30,79	1369,01	925,28	67,58	306,97
IAC UNA	21,68	1044,47	888,40	85,05	3,27
*IAC UNA	30,30	1627,84	1159,26	71,21	324,09
Thayú	19,06	1128,08	1006,32	89,20	2,49
*Thayú	30,08	1820,86	1351,36	74,23	324,71

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	Ap Uréia MSG	**N Acum MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{atmosfera}$ MSTPA**	**$Npp_{fertilizante}$ MSTPA**
	%	mg/planta	mg/planta	%	mg/planta
Roxinho	19,16	1095,83	967,23	88,26	2,66
*Roxinho	31,39	1627,51	1097,27	67,41	366,65
Vereda	22,65	1158,17	1027,52	88,72	2,61
*Vereda	25,16	1560,19	1128,80	72,33	298,28
Timbó	14,68	1047,94	934,46	89,17	2,41
*Timbó	21,98	1387,21	968,56	69,81	289,40
Média	25,46	1139,56	838,86	75,26	166,90
CV (%)	12,41	12,67	13,58	13,41	12,44

	$Npp_{fertilizante}$ MSTPA	**Ap Uréia MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**
	%	%	mg/planta	%
Jalo precoce	0,75	55,36	144,27	35,75
*JaloPrecoce	31,26	77,32	172,74	13,97
Roxão EEP	0,44	45,68	123,03	21,56
*Roxão EEP	32,12	64,55	143,60	14,29
SangueBoi	0,34	43,21	113,97	16,27
*Sangue Boi	25,63	68,23	152,07	11,42
Rubi	0,33	40,81	112,45	16,53
*Rubi	25,80	68,17	152,05	11,51

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	$Npp_{fertilizante}$ MSTPA	**Ap Uréia MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**
	%	%	mg/planta	%
Grafite	0,39	38,34	104,64	19,39
*Grafite	23,08	57,79	128,91	10,30
CNF 10	0,28	44,92	120,50	13,48
*CNF 10	28,98	73,98	164,51	12,89
Pontal	0,30	46,48	123,67	14,46
*Pontal	24,09	65,44	146,03	10,75
Aporé	0,22	34,73	96,71	11,33
*Aporé	24,15	67,86	151,38	10,77
LP01-38	0,32	50,15	130,36	14,94
*LP01-38	28,92	73,60	163,83	12,88
Rudá	0,23	40,37	111,95	11,73
*Rudá	22,45	57,07	127,19	10,01
Pioneiro	0,25	41,72	114,77	12,62
*Pioneiro	25,28	70,83	157,96	11,28
Ouro Negro	0,27	47,76	128,97	13,30
*Ouro Negro	25,22	71,84	159,90	11,23
FT Nobre	0,36	60,23	154,74	16,64
*FT Nobre	23,37	71,54	159,31	10,41
Ônix	0,27	41,83	112,84	13,26
*Ônix	23,04	65,21	145,30	10,27
Roxo 90	0,28	42,20	112,04	13,39
*Roxo 90	24,39	68,23	152,12	10,88

Tabela 23 – Valores médios das variáveis massa fresca de nódulos, número de nódulos, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTP (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

	$Npp_{fertilizante}$ MSTPA	**Ap Uréia MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**	**Npp_{solo} MSTPA**
	%	%	mg/planta	%
Carioca 80	0,22	39,36	111,20	11,49
*Carioca 80	17,82	50,32	112,17	7,94
Horizonte	0,29	44,73	121,69	14,42
*Horizonte	24,44	68,57	152,99	10,90
Rosinha	0,21	36,65	98,07	10,29
*Rosinha	22,86	62,11	138,40	10,19
Tybatã	0,23	39,54	104,18	11,05
*Tybatã	24,70	71,93	160,71	11,04
Pitanga	0,25	46,94	120,15	11,44
*Pitanga	22,43	61,39	136,76	9,99
IAC UNA	0,31	59,50	152,80	14,64
*IAC UNA	19,91	64,82	144,49	8,88
Thayú	0,22	45,31	119,26	10,58
*Thayú	17,83	64,94	144,78	7,95
Roxinho	0,24	48,37	125,94	11,49
*Roxinho	22,54	73,33	163,59	10,06
Vereda	0,23	47,49	128,04	11,06
*Vereda	19,13	59,66	133,11	8,54
Timbó	0,23	43,82	111,07	10,60
*Timbó	20,87	57,88	129,25	9,32
Média	12,16	55,64	133,81	12,59
CV (%)	12,35	12,36	12,39	12,47

*Cultivares que receberam adubação com N-uréia.

Nesse experimento, as correlações foram realizadas principalmente para se verificar os seguintes efeitos entre as variáveis (1) efeito do N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA) na produção de MSPA, MSR e MSG (Figura 20); (2) relação entre N na planta (total acumulado ou proveniente da FBN) na MSPA, na MSG e na MSTPA com a produção de MSPA e MSG (Figura 21); (3) relação entre número de grãos e de vagens e MSG (Figura 22); (4) efeito do número e da massa de nódulos no N total acumulado na parte aérea das plantas (N Acum MSTPA) e no N total MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA) (Figura 23); (5) efeito da FBN no aproveitamento do N-uréia pelos cultivares de feijoeiro (Figura 24); e (6) efeito do aproveitamento do N-uréia na absorção do N-solo (Figura 25). A distância euclidiana foi fixada em 1,0 para a formação do número de grupos, em todos os agrupamentos (dendogramas).

Os coeficientes de correlação entre as 33 variáveis avaliadas nas plantas de feijoeiro comum, colhidas no estádio de maturação fisiológica, estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continua)

		Núm Nódulos	**MSPA**	**Conc N MSPA**	**N Acum MSPA**	**$Npp_{fertilizante}$ MSPA**	
			g	g kg^{-1}	mg	%	mg
MF Nódulos	mg	0,704***	0,259**	0,133ns	0,280***	0,124ns	0,197*
Núm Nódulos			0,333***	0,115ns	0,344***	0,224**	0,293***
MSPA	g			0,201*	0,941***	0,790***	0,878***
Conc N MSPA	g kg^{-1}				0,506***	0,163*	0,262**
N Acum MSPA	mg					0,743***	0,862***
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%						0,963***

		$Npp_{atmosfera}$ MSPA		**Npp_{solo} MSPA**		**Ap Uréia MSPA**	**MSR**
		%	mg	%	mg	%	mg
MF Nódulos	mg	-0,071ns	0,267***	-0,184*	0,224**	0,222**	0,106ns
Núm Nódulos		-0,153ns	0,287***	-0,260**	0,221**	0,198*	0,250**
MSPA	g	-0,635***	0,662***	-0,636***	0,737***	0,699***	0,817***
Conc N MSPA	g kg^{-1}	-0,131ns	0,556***	-0,129ns	0,558***	0,576***	0,211**
N Acum MSPA	mg	-0,593***	0,771***	-0,609***	0,821***	0,798***	0,795***
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%	-0,948***	0,178**	-0,379***	0,723***	0,681***	0,687***
	mg	-0,890***	0,348***	-0,434***	0,807***	0,768***	0,761***
$Npp_{atmosfera}$ MSPA	%		0,032ns	0,067ns	-0,734***	-0,701***	-0,573***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		$Npp_{atmosfera}$ MSPA		**Npp_{solo} MSPA**		**Ap Uréia MSPA**	**MSR**
		%	mg	%	mg	%	mg
	mg			-0,659***	0,443***	0,444***	0,536***
Npp_{solo} MSPA	%				-0,133ns	-0,098ns	-0,491***
	mg					0,998***	0,612***
Ap Uréia MSPA	%						0,583***

		MSG	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**	**Número**		**$Npp_{fertilizante}$ MSG**
					Vagens	**Grãos**	
		mg	g kg^{-1}	mg			%
MF Nódulos	mg	0,054ns	0,039ns	0,113ns	0,003ns	0,105ns	0,137ns
Núm Nódulos		0,285***	0,010ns	0,332***	0,157ns	0,251**	0,197*
MSPA	g	0,557***	0,199*	0,722***	0,747***	0,686***	0,770***
Conc N MSPA	g kg^{-1}	0,079ns	0,091ns	0,148ns	0,083ns	0,073ns	0,159ns
N Acum MSPA	mg	0,537***	0,207*	0,685***	0,680***	0,627***	0,725***

		MSG	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**	**Número**		**$Npp_{fertilizante}$ MSG**
					Vagens	**Grãos**	
		mg	g kg^{-1}	mg			%
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%	0,581***	0,107ns	0,674***	0,699***	0,646***	0,988***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		MSG	**Conc N MSG**	**N Acum MSG**	**Número**		**$Npp_{fertilizante}$ MSG**
					Vagens	**Grãos**	
		mg	g kg^{-1}	mg			%
	mg	0,578***	0,123ns	0,680***	0,699***	0,659***	0,944***
$Npp_{atmosfera}$ MSPA	%	-0,424***	-0,117ns	-0,496***	-0,546***	-0,503***	-0,933***
	mg	0,300***	0,225**	0,456***	0,415***	0,366***	0,170*
Npp_{solo} MSPA	%	-0,594***	0,006ns	-0,675***	0,607***	-0,567***	-0,375***
	mg	0,340***	0,154ns	0,432***	0,475***	0,433***	0,700***
Ap Uréia MSPA	%	0,307***	0,154ns	0,396***	0,440***	0,399***	0,658***
MSR	mg	0,347***	0,362***	0,561***	0,524***	0,443***	0,674***
MSG	mg		-0,434***	0,875***	0,824***	0,878***	0,544***
Conc N MSG	g kg^{-1}			0,036ns	-0,139ns	-0,287***	0,116ns
N Acum MSG	mg				0,821***	0,813***	0,638***
Número Vagens						0,992***	0,675***
Grãos							0,614***

		$Npp_{fertilizante}$ MSG	**$Npp_{atmosfera}$ MSG**		**Npp_{solo} MSG**		**Ap Uréia MSG**
		mg	%	%	mg	%	%
MF Nódulos	mg	0,125ns	-0,071ns	0,084ns	-0,167*	-0,070ns	0,065ns

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		$Npp_{fertilizante}$ MSG	**$Npp_{atmosfera}$ MSG**		**Npp_{solo} MSG**		**Ap Uréia MSG**
		mg	%	%	mg	%	%
Núm Nódulos		0,223**	-0,090ns	0,323***	-0,268***	-0,104ns	0,126ns
MSPA	g	0,776***	-0,526***	0,533***	-0,673***	-0,196*	0,513***
Conc N MSPA	$g\ kg^{-1}$	0,165*	-0,124ns	0,110ns	-0,106ns	-0,096ns	0,085ns
N Acum MSPA	mg	0,732***	-0,497***	0,511***	-0,631***	-0,217**	0,470***
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%	0,980**	-0,874***	0,323***	-0,438***	0,172*	0,840***
	mg	0,938***	-0,804***	0,366***	-0,485***	0,034ns	0,745***
$Npp_{atmosfera}$ MSPA	%	-0,921***	0,942***	-0,111ns	0,179*	-0,262**	-0,835***
	mg	0,195*	0,097ns	0,534***	-0,605***	-0,455***	-0,055ns
Npp_{solo} MSPA	%	-0,397***	0,005ns	-0,693***	0,857***	0,223**	-0,207*
	mg	0,679***	-0,626***	0,188*	-0,297***	-0,029ns	0,514***
Ap Uréia MSPA	%	0,637***	-0,593***	0,166*	-0,271***	-0,036ns	0,478***
MSR	mg	0,668***	-0,507***	0,379***	-0,490***	-0,179*	0,437***
MSG	mg	0,620***	-0,246**	0,804***	-0,744***	0,142ns	0,546***
Conc N MSG	$g\ kg^{-1}$	0,124ns	-0,181*	-0,020ns	0,115ns	-0,045ns	0,076ns
N Acum MSG	mg	0,732***	0,329***	0,907***	0,786***	0,142ns	0,633***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		$Npp_{fertilizante}$ MSG	**$Npp_{atmosfera}$ MSG**		**Npp_{solo} MSG**		**Ap Uréia MSG**
		mg	%	%	mg	%	%
Número Vagens		0,721***	-0,402***	0,685***	-0,717***	-0,001***	0,559***
Grãos		0,675***	-0,345***	0,698***	-0,695***	0,029ns	0,538***
$Npp_{fertilizante}$ MSG	%	0,982***	-0,905***	0,270***	-0,405***	0,223**	0,865***
	mg		-0,869***	0,383***	-0,436***	0,267***	0,898***
$Npp_{atmosfera}$ MSG	%				-0,025ns	-0,387***	-0,851***
	mg				-0,825***	-0,038ns	0,279***
Npp_{solo} MSG	%					0,304***	-0,200*
	mg						0,662***

		N Acum (MSTPA)	**$Npp_{atmosfera}$ (MSTPA)**		**$Npp_{fertilizante}$ (MSTPA)**	
		mg	mg	%	mg	%
MF Nódulos	mg	0,206*	0,171*	-0,092ns	0,166*	0,142ns
Núm Nódulos		0,367***	0,350***	-0,137ns	0,264**	0,218**
MSPA	g	0,895***	0,656***	-0,624***	0,842***	0,797***
Conc N MSPA	$g\ kg^{-1}$	0,340***	0,310***	-0,172*	0,221**	0,177*
N Acum MSPA	mg	0,902***	0,686***	-0,599***	0,814***	0,755***
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%	0,768***	0,305***	-0,928***	0,986***	0,995***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		N Acum (MSTPA)	**$Npp_{atmosfera}$ (MSTPA)**		**$Npp_{fertilizante}$ (MSTPA)**	
		mg	mg	%	mg	%
	mg	0,831***	0,406***	-0,882***	0,986***	0,967***
$Npp_{atmosfera}$ MSPA	%	-0,588***	-0,066ns	0,982***	-0,918***	-0,943***
	mg	0,653***	0,796***	0,107ns	0,281***	0,197*
Npp_{solo} MSPA	%	-0,702***	-0,769***	0,054ns	-0,423***	-0,382***
	mg	0,664***	0,319***	-0,733***	0,759***	0,734***
Ap Uréia MSPA	%	0,631***	0,302***	-0,702***	0,718***	0,693***
MSR	mg	0,727***	0,493***	-0,579***	0,729***	0,697***
MSG	mg	0,783***	0,699***	-0,326***	0,607***	0,555***
Conc N MSG	$g\ kg^{-1}$	0,124ns	0,078ns	-0,162*	0,120ns	0,113ns
N Acum MSG	mg	0,932***	0,838***	-0,407***	0,715***	0,647***
Número Vagens		0,823***	0,661***	-0,478***	0,720***	0,684***
Grãos		0,792***	0,650***	-0,425***	0,677***	0,627***
$Npp_{fertilizante}$ MSG	%	0,738***	0,264**	-0,936***	0,976***	0,995***
	mg	0,797***	0,354***	-0,901***	0,982***	0,977***
$Npp_{atmosfera}$ MSG	%	-0,442***	0,105ns	0,980***	-0,847***	-0,888***
	mg	0,7941***	0,936***	-0,002ns	0,378**	0,289***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		N Acum (MSTPA)	**$Npp_{atmosfera}$ (MSTPA)**		**$Npp_{fertilizante}$ (MSTPA)**	
		mg	mg	%	mg	%
Npp_{solo} MSG	%	-0,779***	-0,841***	0,090ns	-0,469***	-0,427***
	mg	-0,024ns	-0,217**	-0,277***	0,145ns	0,170*
Ap Uréia MSG	%	0,608***	0,176*	-0,828***	0,829***	0,837***
N Acum (MSTPA)	mg		0,836***	-0,539***	0,828***	0,759***
$Npp_{atmosfera}$ (MSTPA)	mg			0,003ns	0,388***	0,288***
	%				-0,905***	-0,935***
$Npp_{fertilizante}$ (MSTPA)	mg					0,987***

		Ap Uréia (MSTPA)	**Npp_{solo} (MSTPA)**	
		%	%	mg
MF Nódulos	mg	0,174*	-0,159*	0,164*
Núm Nódulos		0,191*	-0,258**	0,135ns
MSPA	g	0,712***	-0,613***	0,550***
Conc N MSPA	$g\ kg^{-1}$	0,405***	-0,047ns	0,446***
N Acum MSPA	mg	0,751***	-0,562***	0,620***
$Npp_{fertilizante}$ MSPA	%	0,877***	-0,375***	0,725***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Continuação)

		Ap Uréia (MSTPA)	**Npp_{solo} (MSTPA)**	
		%	%	mg
	mg	0,880***	-0,413***	0,731***
$Npp_{atmosfera}$ MSPA	%	-0,886***	0,083ns	-0,779***
	mg	0,244**	-0,589***	0,169*
Npp_{solo} MSPA	%	-0,173*	0,938***	-0,008ns
	mg	0,899***	-0,145ns	0,870***
Ap Uréia MSPA	%	0,882***	-0,114ns	0,866***
MSR	mg	0,599***	-0,448***	0,454***
MSG	mg	0,485***	-0,713***	0,371***
Conc N MSG	$g\ kg^{-1}$	0,137ns	0,108ns	0,115ns
N Acum MSG	mg	0,588***	-0,759***	0,453***
Número Vagens		0,575***	-0,676***	0,419***
Grãos		0,538***	-0,655***	0,398***
$Npp_{fertilizante}$ MSG	%	0,876***	-0,352***	0,730***
	mg	0,880***	-0,389***	0,733***
$Npp_{atmosfera}$ MSG	%	-0,828***	-0,069ns	-0,745***
	mg	0,253**	-0,813***	0,148ns
Npp_{solo} MSG	%	-0,277***	0,971***	-0,114ns
	mg	0,333***	0,249**	0,465***

Tabela 24 – Coeficientes de correlação linear entre as variáveis [massa fresca de nódulos (MF Nódulos), número de nódulos (Núm Nódulos), matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA (Conc N MSPA), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA), N na MSPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; % e mg), N na MSPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSPA (Ap Uréia MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de grãos (MSG), concentração de N na MSG (Conc N MSG), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG), número de vagens e de grãos, N na MSG da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG; % e mg), N na MSG da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSG; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSG (Ap Uréia MSG), acúmulo de N na matéria seca total da parte aérea (N Acum MSTPA), N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; % e mg), N na MSTPA da planta proveniente do fertilizante ($Npp_{fertilizante}$ MSTPA; % e mg), aproveitamento do N da uréia na MSTPA (Ap Uréia MSTPA) e N na MSTPA da planta proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA; % e mg)] avaliadas nos grãos das plantas de feijoeiro comum

(Conclusão)

		Ap Uréia (MSTPA)	**Npp_{solo} (MSTPA)**	
		%	%	mg
Ap Uréia MSG	%	0,836***	-0,189*	0,781***
N Acum (MSTPA)	mg	0,721***	-0,729***	0,576***
$Npp_{atmosfera}$ (MSTPA)	mg	0,284***	-0,825***	0,176*
	%	-0,883***	0,014ns	-0,786***
$Npp_{fertilizante}$ (MSTPA)	mg	0,894***	-0,408***	0,744***
	%	0,883***	-0,366***	0,733***
Ap Uréia (MSTPA)	%		-0,172*	0,960***
Npp_{solo} (MSTPA)	%			-0,006ns

*, **, *** Significativo aos níveis de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%.

Os valores de N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; mg) dos 25 cultivares de feijoeiro comum, que receberam ou não aplicação de N-uréia, correlacionaram-se significativa e positivamente com a MSPA (0,656***), a MSG (0,699***) e a MSR (0,493***) (Tabela 24). Esse aumento na produção de MSG, MSPA e MSR indica que as plantas responderam em produção tanto de grãos, como de parte aérea e raízes ao N fornecido à planta pela FBN. Considerando-se essas três variáveis, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana, observou-se a

formação de sete grupos homogêneos e distintos entre si, como apresentado na Figura 20 e descrito a seguir:

- Primeiro grupo, formado pelos tratamentos Jalo Precoce, Grafite, Roxão EEP e Rubi;

- Segundo, pelos tratamentos *Roxão EEP e *Jalo Precoce;

- Terceiro, pelos tratamentos Sangue de Boi, CNF 10, Ônix, Pontal, Roxo 90, Horizonte, Thayú, Pitanga, IAC UNA, FT Nobre, Aporé, LP 01-38, Ouro Negro, Pioneiro, Rudá, Carioca 80, Rosinha, Tybatã, Roxinho e Vereda;

- Quarto, pelo tratamento Timbó;

- Quinto, pelos tratamentos *Carioca 80, *FT Nobre, *Roxo 90, *Ouro Negro, *Rosinha, *Pontal, *Pioneiro, *CNF 10, *Rudá, *Rubi, *Pitanga, *Aporé, *Horizonte, *Grafite, *Sangue de Boi, *LP01-38, *Ônix, *Tybatã;

- Sexto, pelos tratamentos *Vereda, *Roxinho, *IAC UNA e *Thayú;

- E o sétimo, pelo tratamento *Timbó.

Pela Figura 20, observou-se resposta em produção de grãos, de MSPA e de MSR à FBN, mesmo com adição de N-uréia ao solo, e essa resposta variou entre os cultivares. Os cultivares, em associação com o rizóbio, que mais se beneficiaram da FBN e que mais produziram MSPA, MSG e MSR foram Vereda, Roxinho, IAC UNA e Thayú, ambos no tratamento com adubação de N-mineral (sexto grupo). A FBN contribuiu com cerca de 70% do total de N nesses cultivares, mesmo com a adição de N-uréia ao solo (Tabela 23); isso demonstra que, dependo do cultivar de feijoeiro, a FBN pode contribuir com altas quantidades de N fixado, mesmo em plantas fertilizadas com N. Além disso, considerando-se os sete grupos formados de cultivares, observou-se que nenhum cultivar dos tratamentos com e sem adubação com N-uréia foi classificado no mesmo grupo; assim, os cultivares que dependeram somente do N do solo e da FBN, como fontes de N para se desenvolverem, não foram tão eficientes, em termos de MSPA, MSG e MSR, quanto os que receberam adubação nitrogenada. Na média geral, considerando-se os 25 cultivares de feijoeiro, adubados ou não com N-uréia, a FBN contribuiu com cerca de 75% do total de N acumulado na planta (Tabela 23).

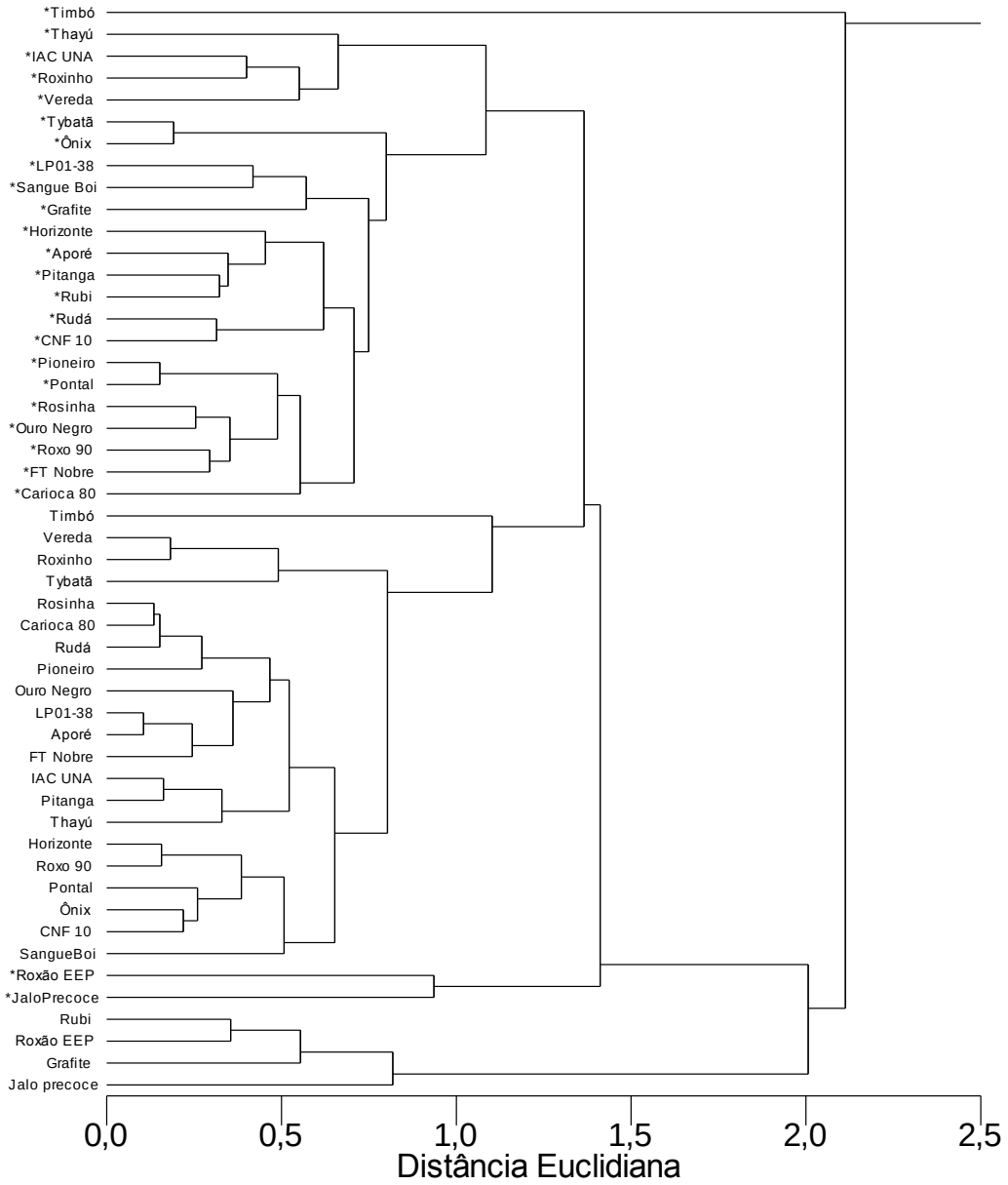

Figura 20 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com uréia, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA, g), de raízes (MSR, g), de grãos (MSG, g) e nitrogênio (N) na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA; mg). *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

Em experimento de campo realizado no sistema de plantio convencional sobre área em pousio, com predomínio de *Brachiaria decumbens*, não houve resposta em produtividade de grãos (CV de 10,1%), de feijoeiro (cultivar Pérola) dos tratamentos com inoculação de rizóbio sem N-uréia (3131 kg ha^{-1}) e inoculado + 20 kg ha^{-1} de N-uréia (3339 kg ha^{-1}), em comparação à testemunha absoluta (tratamento sem N mineral e nem inoculação das sementes com rizóbio, com produtividade de 2967 kg ha^{-1}) (PELEGRIN et al., 2009). As ausências de resposta a inoculação e a aplicação de N-mineral podem ser atribuídas a população nativa de rizóbios do solo, a baixa dose baixa de N aplicada e, provavelmente, a grande contribuição de N do solo na nutrição das plantas.

Diversos fatores químicos (pH, Al^{3+} tóxico e disponibilidade de P e metal pesado), físicos (temperatura do solo) e biológicos (características intrínsecas da espécie hospedeira), podem interferir nas etapas que levam à simbiose mutualista (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Assim, a ausência de nodulação ou nodulação ineficiente em determinada espécie sob determinadas condições edáficas e ambientais, é decorrente de fatores limitantes ao estabelecimento, desenvolvimento e funcionamento da simbiose (FREIRE, 1984).

Entre as espécies de *Leguminosae* nodulíferas, existe uma ampla variação com relação ao potencial de FBN, que pode ser classificado como baixo, médio e alto (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Essa diferença ocorre entre diferentes espécies e entre genótipos de mesma espécie. Em feijoeiro comum, foram encontradas diferenças significativas entre nove linhagens, cuja FBN variou de 18 a 51 kg ha^{-1} de N; neste estudo foi observado que as plantas mais beneficiadas com a FBN foram as que apresentaram nodulação precoce, ou seja, as que nodularam mais rapidamente após a germinação das sementes (KIPE-NOLT et al., 1993).

Foi realizado o agrupamento entre as variáveis referentes à produção e N na planta (total acumulado ou proveniente da FBN) na MSPA e/ou MSG (Figura 21). Neste agrupamento não foi considerado a MSR, pois não foi determinado o N nas raízes. Os valores de $Npp_{atmosfera}$ MSTPA (mg) correlacionaram-se significativa e positivamente com a MSPA (0,656***), com o N Acum MSPA (0,686***), com o $Npp_{atmosfera}$ MSPA (mg)

(0,796***), com a MSG (0,699***), com o N Acum MSG (0,838**), com o $Npp_{atmosfera}$ MSG (mg) (0,936***) e com o N Acum MSTPA (0,836***) (Tabela 24).

Considerando-se essas oito variáveis, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana, observou-se a formação de cinco grupos homogêneos e distintos entre si, como apresentado na Figura 21 e descrito a seguir:

(1) tratamento *Thayú;

(2) tratamentos Timbó, IAC UNA, Pitanga, Roxinho, Vereda, Thayú, Rosinha, Carioca 80, Rudá, Pioneiro, Aporé, Tybatã, Ouro Negro, CNF 10, LP 01-38, FT Nobre, Roxo 90, Ônix, Pontal, Horizonte e *Roxão EEP;

(3) tratamentos *CNF 10, *LP01-38, *Ônix, *Rubi, *Sangue de Boi, *Rudá, *Pitanga, *Ouro Negro, *Roxo 90, *Rosinha, *Pontal, *Pioneiro, *Carioca 80, *FT Nobre, *Roxinho, *IAC UNA e *Vereda;

(4) tratamentos *Timbó, *Tybatã, *Horizonte, *Aporé, *Grafite e *Jalo Precoce;

(5) tratamentos Sangue de Boi, Rubi, Roxão EEP, Grafite e Jalo Precoce.

Pela Figura 21 e pelos valores médios apresentados na Tabela 23, observou-se que o cultivar Thayú, no tratamento com adição de N-uréia, apresentou maiores valores das variáveis MSPA, N Acum MSPA, $Npp_{atmosfera}$ MSPA, MSG, N Acum MSG, $Npp_{atmosfera}$ MSG), $Npp_{atmosfera}$ MSTPA e N Acum MSTPA, quando essas variáveis foram analisadas estatisticamente em conjunto. No entanto, em outro estudo, não foram observadas diferenças significativas na MSPA (g/planta; CV de 22,9%), na concentração de N na MSPA (g kg^{-1}; CV de 6,4%) e na concentração de N nos grãos (g kg^{-1}; CV de 4,6%) de plantas de feijoeiro entre tratamentos com ou sem inoculação das sementes com rizóbio, e com ou sem adubação com fertilizante nitrogenado mineral (doses de N variando de 20 a 160 kg ha^{-1}) (PELEGRIN et al., 2009).

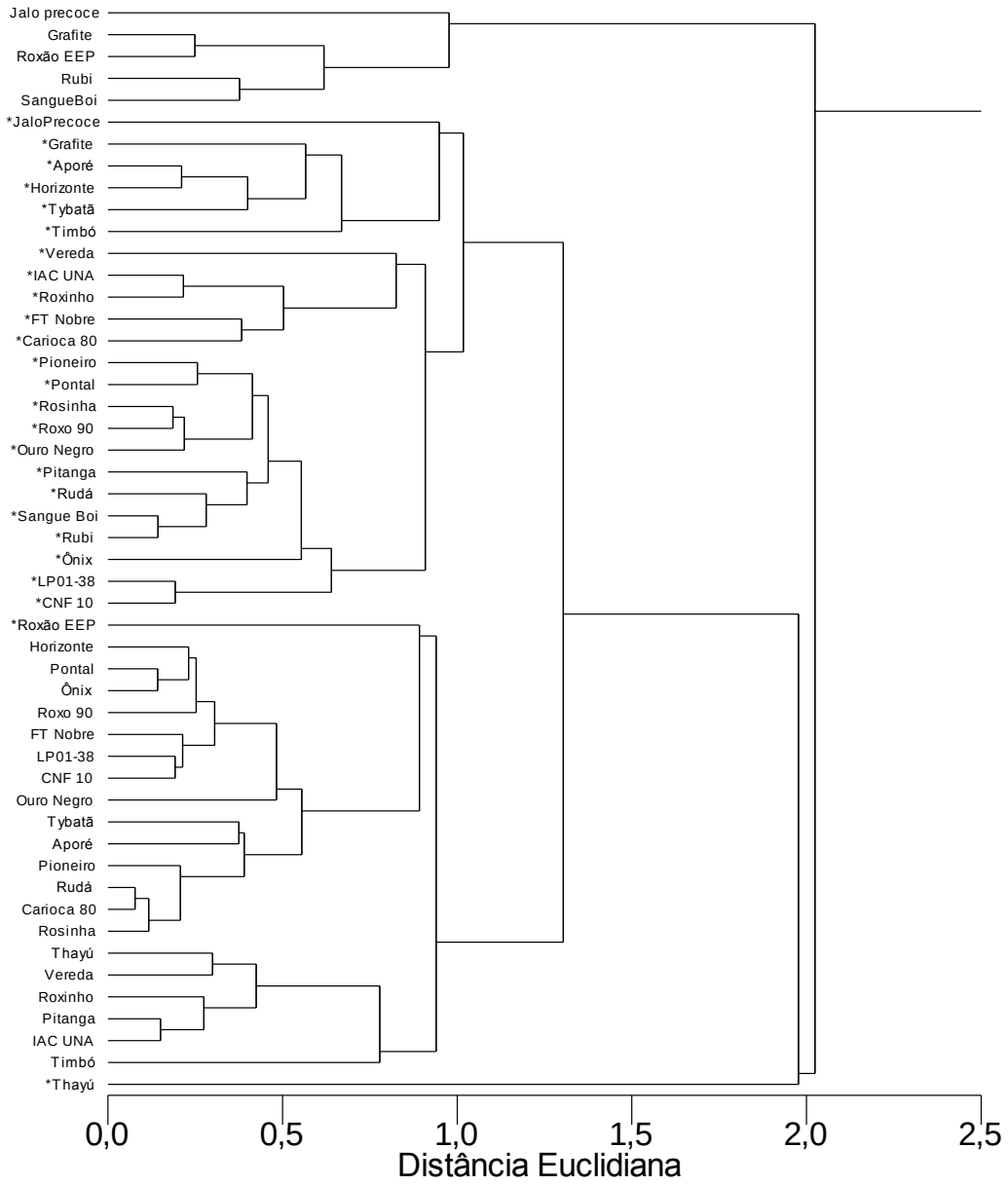

Figura 21 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, baseado nas variáveis matéria seca da parte aérea (MSPA, g), acúmulo de N na MSPA (N Acum MSPA, mg), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA, mg), matéria seca de grãos (MSG, g), acúmulo de N na MSG (N Acum MSG, mg), N na MSG proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG, mg), N na matéria seca total da parte aérea MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA, mg) e acúmulo de N na MSTPA (N Acum MSTPA, mg). *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

Considerando-se somente a parte comestível e de interesse econômico da cultura, observou-se que a MSG dos cultivares de feijoeiro comum, fertilizados ou não com N-uréia, correlacionou-se significativa e positivamente com o número de vagens

(0,824***) e com o número de grãos (0,878***) (Tabela 24). Assim, observou-se que o número de vagens e de grãos por plantas são características altamente correlacionadas positivamente com a produção de grãos. O número de vagens é uma das características mais importantes no aumento da produção das plantas de feijoeiro (FAGERIA; BARBOSA FILHO; STONE, 2004).

A partir das variáveis MSG, número de vagens e de grãos, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana do dendograma da Figura 22, observou-se a formação de quatro grupos homogêneos e distintos entre si: o primeiro, formado pelo tratamento Jalo Precoce; o segundo pelos tratamentos Grafite, Roxão EEP, Rubi, Horizonte, Pontal, Roxo 90 e *Jalo Precoce; o terceiro pelos tratamentos *Roxão EEP, Timbó, *Timbó, Pitanga, Thayú, Ouro Negro, Vereda, *Grafite, Aporé, IAC UNA, Roxinho, CNF 10, LP01-38, FT Nobre, Sangue de Boi, Tybatã, Ônix, *LP01-38, Carioca 80, Rudá, Pioneiro, *Horizonte, Rosinha, *CNF10, *Pitanga e *Rudá; e o quarto pelos tratamentos *Carioca 80, *IAC UNA, *Ouro Negro, *Pontal, *Roxo 90, *Roxinho, *Sangue de Boi, *Thayú, *Tybatã, *Vereda, *Rubi, *Onix, *Aporé, *FT Nobre, *Pioneiro e *Rosinha (Figura 22).

De acordo com os valores médios das três variáveis (Tabela 23) usadas nesse agrupamento, os quatro grupos de tratamentos foram classificados, quanto à produção de grãos de feijão, em:

(1) Grupo muito produtivo: *Carioca 80, *IAC UNA, *Ouro Negro, *Pontal, *Roxo 90, *Roxinho, *Sangue de Boi, *Thayú, *Tybatã, *Vereda, *Rubi, *Onix, *Aporé, *FT Nobre, *Pioneiro e *Rosinha;

(2) Grupo produtivo: *Roxão EEP, Timbó, *Timbó, Pitanga, Thayú, Ouro Negro, Vereda, *Grafite, Aporé, IAC UNA, Roxinho, CNF 10, LP01-38, FT Nobre, Sangue de Boi, Tybatã, Ônix, *LP01-38, Carioca 80, Rudá, Pioneiro, *Horizonte, Rosinha, *CNF10, *Pitanga e *Rudá;

(3) Grupo medianamente produtivo: Grafite, Roxão EEP, Rubi, Horizonte, Pontal, Roxo 90 e *Jalo Precoce;

(4) Grupo pouco produtivo: Jalo Precoce.

Dentre os 25 cultivares estudados no tratamento sem adubação nitrogenada mineral, nenhum foi classificado no grupo 1 (muito produtivo); isso indica que somente a

FBN não foi capaz de suprir todas as demandas de N das plantas, para atingirem produções de grãos semelhantes aos mesmos cultivares que receberam adubação N-uréia.

O feijoeiro é considerado uma espécie com baixa capacidade de nodulação e de FBN, quando comparado a outras leguminosas de grão (GRAHAM et al., 2003). Apesar disso, a FBN contribuiu com até 90 kg ha^{-1} de N em vários cultivos de feijoeiro, o que representou de 40 a 50 % da demanda dessa cultura (WESTERMANN et al., 1981); em sete experimentos de campo foram observados valores médios e máximos de, respectivamente, 35 e 70 % do N na planta proveniente da atmosfera em cultivares de feijoeiro comum (HARDARSON et al., 1993).

A eficiência da FBN na cultura do feijoeiro depende, entre outro fatores, dos diferentes cultivares. A seleção de cultivares mais eficientes na simbiose com rizóbio é alternativa para reduzir os gastos com a adubação nitrogenada. Por exemplo, em estudo de campo, a adubação com 20 kg ha^{-1} de N, acrescida de inoculante com a estirpe de *R. tropici* CIAT 899 possibilitou a obtenção de rendimento de grãos na cultura de feijoeiro superior a 3000 kg ha^{-1} e equivalente à aplicação de até 160 kg ha^{-1} de N (PELEGRIN et al., 2009). Além disso, deve-se considerar que o sucesso de inoculação do feijoeiro com estirpes de rizóbio com alta eficiência está associado à habilidade competitiva de tais estirpes e adaptação às condições ambientais (STRALIOTTO et al., 2002). Sob condições ambientais adequadas, o N_2 atmosférico fixado pela simbiose pode atender à grande parte das necessidades do feijoeiro (HUNGRIA et al., 1985). Entretanto, algumas condições do solo, como pH baixo e concentrações elevadas de Al tóxico, frequentemente, limitam todas as etapas do processo de infecção das raízes, formação de nódulos e assimilação do N pela planta (MARTINEZ-ROMERO et al., 1991).

Estudos em condições de campo têm demonstrado que é possível alcançar produtividades acima de 2.500 kg ha^{-1} de grãos de feijão em função do processo de FBN, sem adição de fertilizante nitrogenado mineral (HUNGRIA et al., 2000; PELEGRIN et al., 2009). Vale ressaltar, porém, que na FBN a energia utilizada é o ATP; os fotossintatos são importantes para o processo da FBN e para os organismos fixadores de N_2, porque geram força redutora e ATP para o sistema nitrogenase, são substratos

para crescimento e manutenção das células microbianas e suprem esqueletos de carbono, ATP e força redutora para a assimilação de NH_3 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Portanto, as condições ambientais ou manejos que influenciam a disponibilidade de fotossintatos também afetam a FBN. A época de cultivo do feijoeiro (inverno/verão), por exemplo, influencia a disponibilidade de fotossintatos, e consequentemente, na FBN.

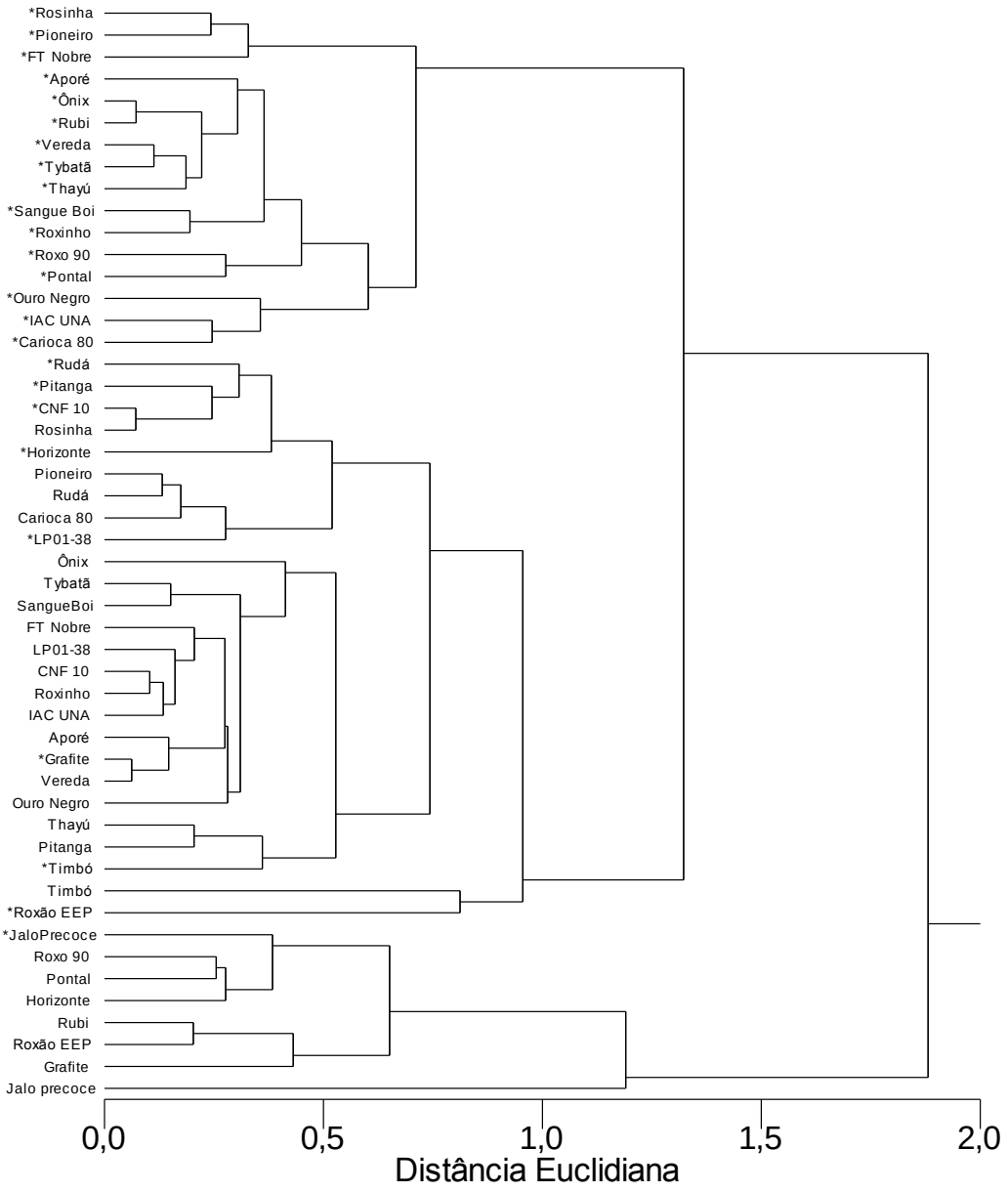

Figura 22 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com uréia, baseado nas variáveis matéria seca de grãos, número de vagens e de grãos. *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

O número de nódulos das plantas correlacionou-se positivamente com a massa fresca de nódulos (0,704***), com o conteúdo total de N na MSTPA (N Acum MSTPA, mg) (0,367***) (Tabela 24), assim como com o total de N na planta proveniente da FBN ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA, mg) (0,350***). Apesar de correlações altamente significativas, os coeficientes de correlação do número e massa fresca de nódulos com o conteúdo total de N na planta e com o N acumulado na planta proveniente da FBN foram relativamente baixos. O número (18,21%) e a massa fresca de nódulos (20,18) foram as variáveis que apresentaram maiores coeficientes de variação (Tabela 23), entre as 33 variáveis avaliadas nesse experimento. Considerando-se essas quatro variáveis, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana (Figura 23), observou-se a formação de sete grupos homogêneos e distintos entre si:

(1) tratamentos Jalo Precoce, Grafite, Roxão EEP, Rubi, Sangue de Boi e *Roxão EEP;

(2) tratamentos Horizonte e Pontal;

(3) tratamentos Pitanga, Tybatã, Ouro Negro, LP01-38, Roxo 90, Ônix, Aporé, FT Nobre, CNF 10, Rudá, IAC UNA, Rosinha, Carioca 80, *CNF 10, *Jalo Precoce, *Rosinha, *Pontal, *LP01-38, *Rubi, Roxinho, Thayú, Vereda, *Tybatã, *Pitanga, *Ouro Negro, *FT Nobre, *Ônix, *Pioneiro, *Timbó, *Rudá, *Sangue de Boi, Timbó e Pioneiro;

(4) tratamentos *Carioca 80, *Roxinho e *IAC UNA;

(5) tratamento *Thayú;

(6) tratamentos *Roxo 90, *Grafite, *Aporé e *Vereda;

(7) tratamento *Horizonte.

Dentre esses grupos, destacaram-se, principalmente, na nodulação e no acúmulo de N o sexto e sétimo grupos, formados pelos tratamentos *Horizonte, *Roxo 90, *Grafite, *Aporé e *Vereda. Esses cinco cultivares de feijoeiro comum com maior nodulação foram cultivados na presença de alta dose de N mineral. Assim, aplicação de N-uréia parcelada (1/3 da dose total na semeadura e o restante no estádio V4 - emissão da terceira folha trifoliada), não reduziu a nodulação dos cultivares de feijoeiro.

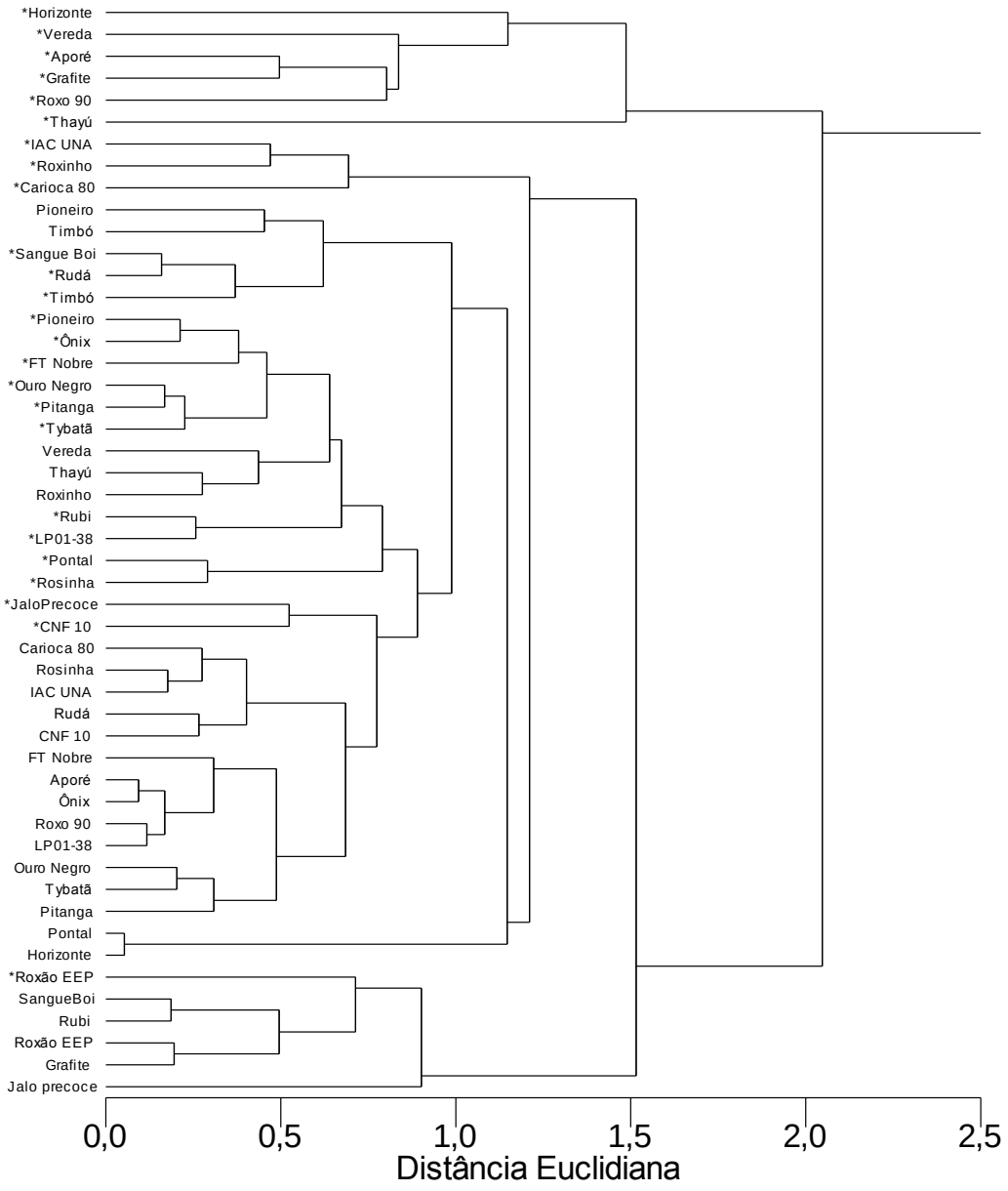

Figura 23 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com uréia, baseado nas variáveis número e massa fresca de nódulos, acúmulo de nitrogênio (N) na matéria seca total da parte aérea da planta (N Acum MSTPA; mg) e N na MSTPA proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA; mg). *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

Em experimento realizado em campo, também não foi verificada diferença significativa na nodulação (número e matéria seca de nódulos) das plantas de feijoeiro, cultivar Pérola, em que as sementes foram inoculados com a estirpe *R. tropici* CIAT 899 (SEMIA 4077), entre tratamentos com e sem adição de N mineral (inoculação com rizóbio e sem aplicação de N; e inoculação de rizóbio e aplicação de 20 kg ha^{-1} de N, na semeadura) (PELEGRIN et al., 2009). Além disso, neste experimento também não foi observada diferença na nodulação entre a testemunha absoluta (tratamento sem aplicação de N mineral e sem inoculação das sementes com rizóbio) com os tratamentos que receberam doses de N variando de 40 kg ha^{-1} a 160 kg ha^{-1}.

A nodulação das plantas de feijoeiro que não foram inoculadas nem receberam aplicação de N mineral (testemunha absoluta) foi similar à dos demais tratamentos, e esse efeito foi atribuído a existência de elevada e eficiente população nativa de rizóbios simbiontes do feijoeiro (PELEGRIN et al., 2009). No entanto, essa ausência de diferença na nodulação entre tratamentos, com ou sem inoculação das sementes, e que receberam ou não N mineral, poderia ser atribuída ao erro experimental (alto resíduo da análise de variância), pois o número de nódulos (75,9%) e massa seca de nódulos (81,8%) apresentaram altos valores de coeficiente de variação. A promiscuidade do hospedeiro também pode ser um fator limitante à FBN, sendo que o feijoeiro comum, por exemplo, nodula com, pelo menos 12 espécies de rizóbio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Como esperado, em termos de porcentagem, o Ap Uréia MSTPA (%) correlacionou-se negativamente com o $Npp_{atmosfera}$ MSPA (%) (-0,886***), com o $Npp_{atmosfera}$ MSG (%) (-0,828***) e com o $Npp_{atmosfera}$ MSTPA (%) (-0,883***) (Tabela 24). Isso não significa que a uréia inibiu a FBN nas plantas, pois não houve correlação significativa e negativa do Ap Uréia MSTPA (%) com o $Npp_{atmosfera}$ MSPA (mg), com o $Npp_{atmosfera}$ MSG (mg) e com o $Npp_{atmosfera}$ MSTPA (mg). As plantas que apresentaram maior Ap Uréia MSTPA, também tiveram maior Nppfertilizante MSTPA (%) (correlação de 0,883*** entre essas duas variáveis), e menor quantidade de N-atmosfera no tecido vegetal. Assim, do total de N acumulado na planta (100%), plantas que apresentaram maior $Npp_{atmosfera}$ MSTPA (%), e consequentemente maior Ap Uréia MSTPA (%), tiveram menor porcentagem de N proveniente da atmosfera.

Considerando-se essas quatro variáveis, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana, observou-se a formação de dois grupos homogêneos e distintos entre si: o primeiro, formado pelos tratamentos *Jalo Precoce, *LP01-38, *CNF 10, *Roxão EEP, Jalo Precoce, *Grafite, *Rudá, *Pitanga, *Rosinha, Ônix, *Aporé, *Horizonte, *FT Nobre, *Ouro Negro, *Pioneiro, *Sangue de Boi, *Rubi, *Roxo 90, *Pontal, *Tybatã, *Roxinho, *IAC UNA, *Thayú, *Vereda, *Timbó e *Carioca 80; o segundo pelos tratamentos IAC UNA, FT Nobre, Roxão EEP, Grafite, Rubi, Sangue de Boi, LP01-38, Pontal, Horizonte, CNF 10, Ouro Negro, Vereda, Roxinho, Pitanga, Thayú, Timbó, Roxo 90, Ônix, Pioneiro, Rudá, Carioca 80, Tybatã, Rosinha e Aporé (Figura 24). Com exceção do Jalo Precoce, os demais cultivares foram agrupados em grupos diferentes quando adubados ou não com N-uréia.

O aumento do Ap Uréia MSTPA (%) não reduziu as quantidades totais (mg) de $Npp_{atmosfera}$ MSPA, de $Npp_{atmosfera}$ MSG e de $Npp_{atmosfera}$ MSTPA, e nem o número ou massa fresca de nódulos (Tabela 24). O N mineral, dependendo da dose, reduz drasticamente a nodulação das leguminosas, porque a nodulação ocorre em resposta às demandas nutricionais da planta, e na presença de N mineral, tais demandas são reduzidas, não havendo, portanto, estimula à nodulação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nesse estudo, o parcelamento da dose total de N-uréia foi responsável por não prejudicar a nodulação e a FBN.

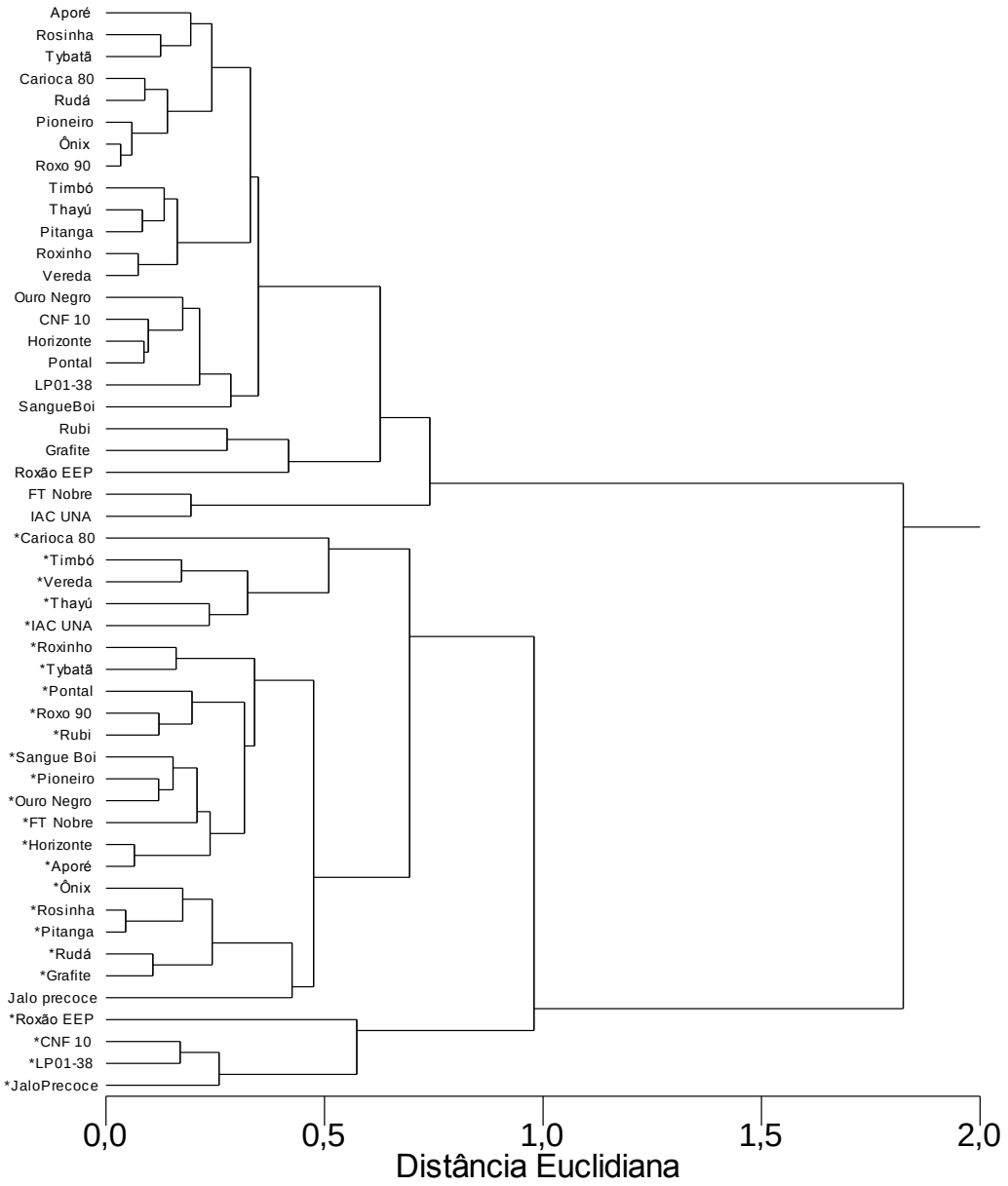

Figura 24 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com uréia, baseado nas variáveis aproveitamento do nitrogênio (N) da uréia na matéria seca total da parte aérea (Ap Uréia MSTPA, %), N na MSPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSPA, %), N na MSG proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSG, %) e N na MSTPA da planta proveniente da atmosfera ($Npp_{atmosfera}$ MSTPA, %). *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

O Ap Uréia MSTPA (%) correlacionou-se positivamente com o Npp_{solo} MSTPA (mg) (0,960***) e com a MSR (g) (0,599***) (Tabela 24), ou seja, houve maior absorção de N-solo pelos cultivares que apresentaram maior aproveitamento do N-uréia; esse efeito pode ser explicado pelo maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, que também se correlacionou positivamente com o Ap Uréia MSTPA (%). Considerando-se essas três variáveis, no nível de homogeneidade de 1,0 na distância euclidiana, observou-se a formação de quatro grupos homogêneos e distintos entre si (Figura 25):

(1) tratamentos *Timbó, *Vereda e *Grafite;

(2) tratamentos Jalo Precoce, IAC UNA e FT Nobre;

(3) tratamentos *CNF 10, *Pioneiro, *Horizonte, *Rubi, *Pontal, *Aporé, *FT Nobre, *Tybatã, *Ouro Negro, *LP01-38, *Roxo 90, *Sangue de Boi, *Thayú, *IAC UNA, *Ônix, *Roxão EEP, *Rosinha, *Roxinho e *Jalo Precoce;

(4) *Pitanga, *Rudá, Roxinho, Vereda, Ouro Negro, LP01-38, *Carioca 80, Timbó, Tybatã, Grafite, Carioca 80, Rudá, Ônix, Sangue de Boi, Roxo 90, Pioneiro, Rubi, Roxão EEP, Pitanga, Horizonte, Thayú, CNF 10, Pontal, Rosinha e Aporé.

Pela análise de agrupamento hierárquico (Figura 25) e os valores médios das variáveis da Tabela 23, verificou-se que os tratamentos com maior aproveitamento do N-uréia, maior absorção de N-solo e maior desenvolvimento do sistema radicular foram *CNF 10, *Pioneiro, *Horizonte, *Rubi, *Pontal, *Aporé, *FT Nobre, *Tybatã, *Ouro Negro, *LP01-38, *Roxo 90, *Sangue de Boi, *Thayú, *IAC UNA, *Ônix, *Roxão EEP, *Rosinha, *Roxinho e *Jalo Precoce. Desses 19 cultivares com maior sistema radicular, todos foram cultivados com adubação com N mineral.

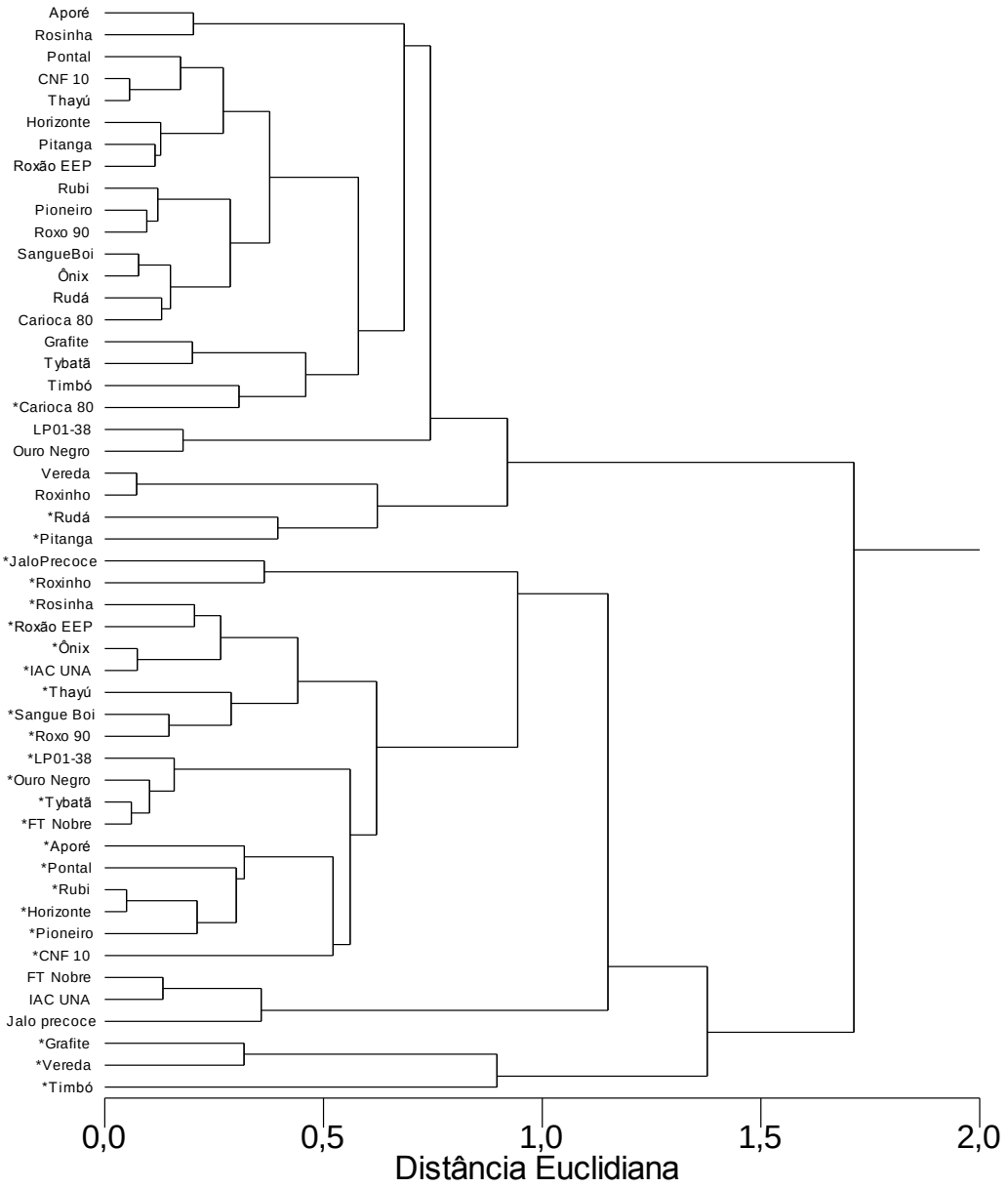

Figura 25 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de 25 cultivares de feijoeiro comum, adubados ou não com uréia, baseado nas variáveis aproveitamento do nitrogênio (N) da uréia na matéria seca total da parte aérea da planta (Ap Uréia MSTPA), N na MSTPA proveniente do solo (Npp_{solo} MSTPA) e matéria seca de raízes. *Cultivares que receberam aplicação de N-uréia

3 CONCLUSÕES

- Os cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de absorção de P;

- O cultivar de arroz de terras altas Carisma é o mais eficiente em absorver P;

- Os cultivares de feijoeiro comum Sangue de Boi, Rosinha, Thayú, Grafite, Horizonte, Pioneiro e Jalo Precoce são os mais eficientes em absorver P;

- O P presente nas sementes não afeta a identificação e classificação dos cultivares de arroz de terras altas, porém influencia nos cultivares de feijoeiro comum;

- O cultivar de arroz de terras altas Caripuna é o mais produtivo, em termos grãos, em condições de baixo P disponível no solo (cultivar mais eficiente na utilização de P);

- Os cultivares de feijoeiro comum Carioca 80, CNF 10, Pérola, IAPAR 31, Roxão EEP, Aporé, Pioneiro, Pontal, Timbó e Rudá são os mais produtivos, em termos grãos, em condições de baixo P disponível no solo (cultivares mais eficientes na utilização de P);

- A concentração e o acúmulo dos micronutrientes Cu e Fe nos grãos dos cultivares de arroz de terras altas diminuem com o aumento da eficiência de absorção de P;

- A concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos dos cultivares de feijoeiro comum não diminuem com o aumento da eficiência de absorção de P;

- A concentração e acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos dos cultivares de arroz de terras altas não diminuem com o aumento da produção de grãos, ou com o aumento do acúmulo de P na MSG;

- A concentração dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos dos cultivares de arroz de terras altas diminuem com o aumento da produção de MST, ou com o aumento do acúmulo de P na MST;

- A concentração dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos dos cultivares de arroz de feijoeiro comum não diminuem com o aumento da produção de MST, ou com o aumento do acúmulo de P na MST;

- Os cultivares de feijoeiro comum diferem quanto à capacidade de fixar N_2 da atmosfera pelo processo da FBN;

- Os cultivares mais eficientes na FBN são Horizonte, Roxo 90, Grafite, Aporé e Vereda, quando desenvolvidos na presença de N mineral;

- Somente com a FBN e o solo como fontes de N para as plantas (ausência de adubação com N-uréia), nenhum cultivar de feijoeiro comum produz grãos, MSPA ou MSR igual ao mesmo cultivar fertilizado com N-mineral.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais eficientes no uso de P são recomendados para o cultivo em solos com menores teores de P disponível, ou pode-se reduzir a dose de P aplicada na adubação fosfatada com o cultivo desses cultivares mais eficientes, sem contudo, reduzir significativamente a produtividade de grãos. Além disso, os resultados obtidos nesse trabalho podem ser usados em pesquisas de programas de melhoramento genético vegetal, que objetivam a identificação de características genéticas relacionadas à alta eficiência de uso de nutrientes em genótipos de plantas.

A redução na concentração de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) nos grãos de cultivares de arroz de terras altas e de feijoeiro comum mais produtivos, ou mais eficientes no uso de P, não parece ser generalizada em todos cultivares, pois, quando significativas, as correlações apresentaram baixos coeficientes. Existe a possibilidade de cultivares mais produtivos, ou mais eficientes no uso de P, também apresentarem altas concentrações de micronutrientes nos grãos, o que é interessante do ponto de vista agronômico e de qualidade nutricional do alimento.

A identificação de genótipos mais eficientes no uso de nutrientes e com maior concentração de micronutrientes na parte comestível é alternativa de baixo custo, para reduzir gastos com fertilizantes e produzir alimentos com melhor qualidade nutricional. Portanto, recomenda-se, em trabalhos futuros, a seleção de genótipos mais eficientes no uso de nutrientes e com maior concentração de micronutrientes na parte comestível. Além disso, o P proveniente das sementes também deve ser considerado nesse tipo de estudo, principalmente em espécies que apresentem alto conteúdo de P nas sementes.

Somente a FBN, além do N-solo, não foi capaz de suprir todas as demandas de N da planta, mesmo em cultivares de feijoeiro comum mais favorecidos pela FBN. Portanto, a adubação nitrogenada mineral nessa cultura é indispensável. Como houve diferença na quantidade de N fornecida pela FBN entre os cultivares, as doses de N-mineral, a serem recomendadas na adubação, podem variar entre cultivares.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. de. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 203, p.173-182, 1998.

ARAUJO, A.P.; MACHADO, C.T.T.; Fósforo. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: UFV, 2006. p.253-280.

BALIGAR, V.C.; BENNETT, O.L. Outlook on fertilizer use efficiency in the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 10, p. 83-96, 1986a.

BALIGAR, V.C.; BENNETT, O.L. NPK-fertilizer efficiency. A situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 10, p. 147-164, 1986b.

BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 921-950, 2001.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S.; HUNGRIA, M.; DÖBEREINER, J. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízico-arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 627-639, 1997.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1995. 414 p.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA – CNPAF, 2001. 8p. (Circular Técnica, 49).

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass Spectrometry of soils.** New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

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

BROOKES, P.C. Correction for seed-phosphorus effects in L-value determinations. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 33, p. 329-335, 1982.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 302, p.1-17, 2008.

CARBONELL.; S.A.M.; CHIORATO, A.L. Novas variedades de feijão do IAC: características e recomendações. In: FANCELLI, A.L. **Feijão: tópicos especiais de manejo**, 2009. p. 15-22.

CARVALHO, A.M.; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 61-67, 1995.

CAVALCANTE, V.A.; DÖBEREINER, J. A new acidtolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 108, p. 23-31, 1988.

CHALK, P.M.; DOUGLAS, L.A.; BUCHANAN, S.A. Use of ^{15}N enrichment of soil mineralizable N as a reference for isotope dilution measurements of biologically fixed nitrogen. **Canadian Journal of Microbiology**, Otawa,v. 29, p. 1046-1052, 1983.

CHALK, P.M.; LADHA, J.K. Estimation of legume symbiotic dependence: an evaluation of techniques based on ^{15}N dilution. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1901-1917, 1999.

CHIARINI, L.; BEVIVINO, A.; TABACCHIONI, S.; DALMASTRI, C. Inoculation of Burkholderia cepacia, Pseudomonas fluorescens and Enterobacter sp. on Sorghum bicolor: root colonization and plant growth promotion of dual strain inocula. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 81-87, 1998.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, p.227-234, 1995.

CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research,** Amsterdam, v. 27, p. 219-240, 1991.

COOKE, G.W. Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, p.1357-1369, 1987.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F.I.F. DE; OLIVEIRA, A.C. de; SILVA, J.A.G. da; GUTKOSKI, L.C.; SARTORI, J.F.; BARBIERI, R.L.; BARETTA, D. Conteúdo de β-glucana em cultivares de aveia-branca cultivadas em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 261-268, 2010.

CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R.C.F.; LIMA, E.V.; TIRITAN, C.S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 643-649, 2005.

DEL PELOSO, M.J.; MELO, L.C.; PEREIRA, H.S.; FARIA, L.C. de; COSTA, J.G.C. da; DIAZ, J.L.C.; WENDLAND, A. Cultivares de feijoeiro comum desenvolvidas pela Embrapa. In: FANCELLI, A.L. **Feijão:** tópicos especiais de manejo, 2009. p. 23-40.

DÖBEREINER, J. Nitrogen fixing bacteria of the genus Beijerinckia Derx in the rizosphere of sugar cane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 15, p. 211-216, 1961.

DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, p. 144-152, 1990.

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

DUNCAN, R.R.; CARROW, R.N. Molecular genetic improvement for abiotic/edaphic stress environment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 67, p. 233-306, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas-MG.v.3 - Edição 15 - Junho / Julho de 2009. Disponível em: http://www.cnpms.Embrapa.br/grao/15_edicao/grao_em_grao_materia_02.htm. Acesso em: 16 jul. 2010.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants**: principles and perspectives. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FAGERIA, N.K. Rice in Cerrado soils with water deficiency and its response to phosphorus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 259-265, 1980.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N.K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2115-2110, 2000.

FAGERIA, N.K. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 32, p. 2603-2629, 2001.

FAGERIA, N.D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília;EMBRAPA/CNPAF, 1980. 22p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Phosphorus – use efficiency by corn genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, p. 1267-1277, 1997.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1211-1215, 2005.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. Piracicaba/SP: Livroceres, 2007. 386p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P. Response of Upland Rice to Phosphorus Fertilization on an Oxisol of Central Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p.51-56, 1982.

FAGERIA, N.K.; WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht , v. 111, p. 105-109, 1988.

FAGERIA, N.K.; SANT´ANA, E.P.; MORAIS, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1155-1161, 1995.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: EMBRAPA-SCT/EMBRAPA-CNPAF, 1999. 294 p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais ...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. cap 17, p. 435-455.

FAGERIA, N.K.; MORAES, O.P.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on na oxisol. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 16, p. 195-206, 1988.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. Nutrição de fósforo na produção de arroz de terras altas. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais ...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. cap 15, p. 401-418.

FAOSTAT, 2007. **Banco de Dados da FAO**. Disponível em: <http://www.fao.com>. Acesso em: 04 jun. 2009.

FARDEAU, J.C.; GUIRAUD, G.; MAROL, C. The role of isotopic techniques on the evaluation of the agronomic effectiveness of P fertilizers, **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 45, p. 101-109, 1996.

FERNANDES, M.F.; FERNANDES, R.P.M.; RODRIGUES, L.S. Bactérias diazotróficas associadas a coqueiros na região de baixada litorânea em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1509-1517, 2001.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 781-787, 2002.

FONSECA MARQUES, M.F.; BORA, P.S. Composición química y análisis de aminoácidos de alubias. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, Lugo, v. 2, p. 248-252, 2000.

FRANCO, M.C.; CASSINI, S.T.A.; OLIVEIRA, V.R.; VIEIRA, C.; TSAI, S.M. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1145-1150, 2002.

FREIRE, J.R. Important limiting factors in soil. In: ALEXANDER, M. (Ed.). **Biological nitrogen fixation:** ecology, technology and physiology. New York: Plenum Press, 1984. p. 51-74.

FRIED, M.; MIDDELBOE, V. Measurement of the amount of nitrogen fixed by a legume crop. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.47, p.713-715, 1977.

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; AZZINI, L.E.; CAMARGO, O.B. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 291-303, 1983.

FURTINI NETO, A.E.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; SILVA, I.R. da; ACCIOLY, A.M. de. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.567-573, 2000.

GLASS, A.D.M.; SIDDIQI, M.X.; GILES, K.I. Correlation's between potassium uptake and hydrogen efflux in barley varieties. **Plant Physiology**, Rockville, v. 68, p. 458-459, 1981.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M.; FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.86, n.13, p.2213-2220, 2006.

GOEDERT, W.J. Região dos cerrados: Potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 24, p. 1-17, 1989.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES – SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, 1, 1984, São Paulo. **Anais**... São Paulo: MANAH S/A, 1986. p.21-53.

GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHI, A.(Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 57-102.

GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C.; DE JENSEN, C.E.; PERALTA, E.; TLUSTY, B.; ACOSTA-GALLEGOS, J. ; PEREIRA, P.A.A. Addressing edaphic constraints to bean production: The Bean/Cowpea CRSP project in perspective. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, p. 179-192, 2003.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; NEVES, P.C.F. Resposta fenotípica de arroz de terras altas ao estresse de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 578-584, 2007.

GUIMARÃES, C.M.; SANTOS, A.B dos; MAGALHÃES JÚNIOR, A. de; STONE, L.F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A.B. dos; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R. de A. **A cultura do arroz no Brasil**, 2006. p. 53-96.

GUNES, A.; INAL, A.; ALPASLAN, M.; CAKMAK, I. Genotypic variation in phosphorus efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, p. 470-478, 2006.

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.80, p.1874-1881, 2000.

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

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers:** an introduction to nutrient management. 7th ed. New Jersey: Pearson, 2005. 515 p.

HOCKING, P.J.; KEERTHISINGHE, G.; SMITH, F.W.; RANDALL, P.J. Comparation of the ability of different crop species to access poorly-available soil phosphorus. In: ANDO, T.; FUJITA K.; MATSUMOTO, K.H.; MORI, S.; SEKIYA, J. **Plant Nutrition - for sustainable food production and environment**. Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 305-308,

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

HUNGRIA, M.; NEVES, M.C.P.; VICTORIA, R.L. Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro; II. Absorção e translocação do N mineral e do N_2 fixado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 202-209, 1985.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; CHUEIRE, L.M.O.; PROBANZA, A.; GUTTIERREZ-MAÑERO, F.J.; MEGÍAS, M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (Phaseolus vulgaris L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biology & Biochemistry,** Oxford, v. 32, p. 1515-1528, 2000.

ISRAEL, D.W.; RUFTY JUNIOR, T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological response in soybean. **Crop Science,** Madison, v. 28, p. 954-960, 1988.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on Rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, Washington, v. 80, p. 589-596, 2003.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 205, p. 25-44, 1998.

KIPE-NOLT, J.A.; VARGAS, H.; GILLER, K.E. Nitrogen fixation in breeding lines of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 152, p. 103-106, 1993.

LANA, R.M.Q.; JÚNIOR, L.A.Z.; CORREIA, N.M.; LANA, A.M.Q. Variabilidade entre genótipos de feijoeiro na eficiência no uso do fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 778-784, 2006.

LARSEN, S. The use of ^{32}P in studies of the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 4, p. 1-10, 1952.

LI, R.P.; MACRAE, I.C. Isolation and identification of N_2-fixing enterobacteria associated with sugarcane in tropical Australia. **Journal of General and Applied Microbiology**, Tokyo, v. 38, p. 523-531, 1992.

LIAO, H.; RUBIO, G.; YAN, X.; CAO, A.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 232, p. 69-79, 2001.

LONERAGAN, J.F. The physiology of plant tolerance to low phosphorus availability. In: JUNG G.A. (Ed.). **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p. 329-343. (Special Publication, 32).

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.

LOPES, E.S. Fixação biológica do nitrogênio no sistema solo-planta. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. In:SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007, Piracicaba. **Anais**... International Plant Nutrition Institute, 2007. cap. 2, p. 43-72.

LYNCH, J.P.; van BEEM, J. Growth and Architecture of Seedling Roots of Common Bean Genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 1253-1257, 1993.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, Rockville, v.109, p.7-13, 1995.

MALAVOLTA, E.; AMARAL, F.A.L. Nutritional efficiency of 104 bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Plant Nutrition**. 1978. 81th Internatl. Coll. Plant Analysis and Fertilizer Problems (Auckland) New Zealand. Dept. of Scientific and Industrial Research Information Series, v. 134, p. 313-318, 1978.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 231-307.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo, 2006. 638p.

MANLY, B.J.F. **Métodos estatísticos multivariados:** uma introdução. 3ed., Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p.

MARANVILLE, J. W.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M. Nitrogen efficiency in grain sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 2, p. 577-589, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, E.; FLORES, E.; BROM, S.; ROMERO, D.; DAVILA, G.; PALACIOS. R. Rhizobium phaseoli a molecular genetics view. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 108, p. 179-184, 1988.

MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F.M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P.; PARDO, M.A. Rhizobium tropici, a novel species nodulating Phaseolus vulgaris L. beans and Leucaena sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Reading, v. 41, p. 417-426, 1991.

MATIAS, G.C.S. **Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2006. 93 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

McAULIFFE,C.; CHAMBLEE, D.S.; URIBE-ARANGO, H.; WOODHOUSE JR., W.W. Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by ^{15}N. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 334-337, 1958.

MESSINA, M.J. Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. **American Journal of Clinical Nutrition**, Houston, v. 70, p. 439-450, 1999.

MODA-CIRINO, V. Cultivares de feijão IAPAR: características e recomendações. In: FANCELLI, A.L. **Feijão**: tópicos especiais de manejo, 2009. p. 23-40.

MOLINO, M.M. Relationship between wheat grain protein percentage and grain yield, plant growth and mutation at anthesis. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 2, p. 169-178, 1992.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 562-564, 1982.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F.C.A.; FERNANDES, C.; CORAZZA, E.J. Comparison of the ability of different plant species and corn hybrids to access poorly-available soil phosphorus in an oxisol of the cerrado region, Brazil. In: **MANAGEMENT PRACTICES FOR IMPROVING SUSTAINABLE CROP PRODUCTION IN TROPICAL ACID SOILS**. Proceedings Series, IAEA, , 2006. p. 137-146.

MURPHY, K.M.; REEVES, P.G.; JONES, S.S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. **Euphytica**, Dordrecht, v.163, n.3, p.381-390, 2008.

MUURINEN, S.; KLEEMOLA, J.; SAINIO, P.P. Accumulation and Translocation of Nitrogen in Spring Cereal Cultivars Differing in Nitrogen Use Efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 441-449, 2007.

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

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**,** 2007. p. 471-550.

OHSE, S.; RAMOS, D.M.R.; CARVALHO, S.M. de; FETT, R. OLIVEIRA, J.L.B. Composição centesimal e teor de nitrato em cinco cultivares de alface produzidas sob cultivo hidropônico. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 407-414, 2009.

OLIVEIRA, I. P. de; ARAUJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 169-221.

OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.; KLUTHCOUSKI,J.; AIDAR, H.; CARVALHO, J.R. Avaliação de cultivares de feijão quanto à eficiência no uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 39-45, 1987.

OTANI, T.; AE, N. Sensitivity of phosphorus uptake to change in root length and soil volume. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 371-375, 1996.

O' TOOLE, J.C.; BLAND, W.L. Gentypic variation in crop plant root systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 41, p. 91-145, 1987.

OZTURK, L.; EKER, S.; TORUN, B.; CAKMAK, I. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 269, p. 69-80, 2005.

PALMER, B.; JESSOP, R.S. Some aspects of wheat cultivar response to applied phosphate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 47 p. 63-67, 1977.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; MIYUKI, I.; OTSUBO, N.; OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, 2009.

PIASKOWSKI, S.R.; RONZELLI JÚNIOR, P.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Adubação nitrogenada em cobertura para o feijoeiro em plantio direto na palha. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 2, p. 67-72, 2001.

PIRES, C.V.; OLIVEIRA M.G.A.; ROSA, J.C.; COSTA, N.M.B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, p. 179-187, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 77-159, 1996.

RAPOSO, R.W.C. **Eficiência de cultivares de soja na absorção e utilização de fósforo**. 2003. 75 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

REIS, V.M.; OLIVEIRA, A.L.M.; BALDANI, V.L.D.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, J.I. Fixação simbiótica de nitrogênio e associativa. In: Fernandes, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa,: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 6, p. 153-174.

RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. ^{15}N-determined time course for N_2 fixation in two cultivars of field bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 146-154, 1984.

ROTILI, E.A. **Eficiência e resposta quanto ao uso de Nitrogênio e Fósforo de cultivares de arroz em solos de várzea irrigada e terras altas no sul do Estado de Tocantins**. 2009. 91 p. (Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal) – Fundação Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2009.

RIBEIRO, N.D.; LONDERO, P.M.G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E.; POERSCH, N.L.; MALLMANN, C.A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1393-1399, 2007.

ROTILI, E.A.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M. DOS; CASTRO NETO, M.D. DE; KICHEL, E.; CANCELLIER, E.L. Eficiência no uso de fósforo de variedades de arroz cultivadas em solos de várzea irrigada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 415-420, 2010.

SAITO, S.M.T.; MONTANHEIRO, M.N.S.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. The effects of N fertilizer and soil moisture on the nodulation and growth of Phaseolus vulgaris. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 103, p. 87-93, 1984.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technologies for managing Oxisols and utilsols in tropical América. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANTOS, A.B. dos; FAGERIA, N.K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p. 1237-1248, 2007.

SANTOS, A.B. dos; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. da; MELO, M.L.B. de. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1265-1271, 2003.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

SARIC, M.R. Theoretical and practical approaches to the genetic specificity of mineral nutrition of plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 72, p. 137-150, 1983.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics. Versão 8.2. Cary: SAS Institute, 2001.

SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 880-883, 1979.

SHEARER, G.; KOHL, D.H. N_2 fixation in field setting: estimations based on natural ^{15}N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 13, p. 699-756, 1986.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.

SILVA, C.C.; SILVEIRA, P.M. da. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v 30, p. 86-96, 2000.

SILVA, L.M. da; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C.; FELTRAN, J.C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.701-707, 2004.

SMITH, S.E.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. The involvement of mycorrhizas in assessment of genetically dependent efficiency of nutrient uptake and use. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 146, p.169-179, 1992.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C. de; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 259-265, 2006.

SRINIVASARAO, CH.;GANESHAMURTHY, A.N.;ALI, M.;VENKATESWARLU, B. Phosphorus and micronutrients nutrition of chickpea genotypes in a multi-nutrient-deficient typic Ustochrept. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 747-763, 2006.

STONE, L.F.; SARTORATO, A. **O cultivo do feijão:** recomendações técnicas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 83p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 48).

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G. ;MERCANTE, F.M. Fixação biológica de nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. **Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p.122-153.

SUBBA RAO, N.S. Nitrogen-fixing bacteria associated with plantation and orchard plants. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 29, p. 863-866,1983.

TRUGO, L.C.; DONANGELO, C.M.; TRUGO, N.M. F.; BACK-KNUDSEN, E. Effect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, p. 2082-2086, 2000.

VARGAS, M.T.A.; MENDES, I.C.; HUNGRIA, M. The response of field growm Phaseolus vulgaris to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 32, p. 228-233, 2000.

VILLAR, P.M. del; GAMEIRO, A.H.; FERREIRA, C.M.; BARATA, T.S. Competitividade entre o arroz irrigado e o de terras altas no Brasil. In: FERREIRA, C.M.; SOUSA, I.S.F. de; VILLAR, P.M. del. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005, p. 51-61.

VOSE, P.B. **Introduction to nuclear techniques in agronomy plant biology**. London: Pergamon Press, 1980. 391 p.

WANKE, M.; CIERESZKO, I.; PODBIELKOSKA, M.; RYCHTER, A.M. Response to phosphate deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots. Respiratory metabolism, sugar localization and changes in ultrastructure of bean root cells. **Annals of Botany**, Oxford, v.82, p.809-819, 1998.

WELCH, R.M.; HOUSE, W.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; CHENG, Z. Potential for improving bioavailable Zinc in wheat grain (*Triticum Species*) through plant breeding. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.53, n.6, p.2176-2180, 2005.

WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPF, G.E.; PORTER, L.K. & LEGGETT, G.E. Nitrogen sources for bean seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 660-664, 1981.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.;STONE, L.F. **Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás:EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p.249- 292.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plants proteins in relation to human protein and amino-acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 59, p. 1203-1212, 1994.

ZHU, Y.G.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Plant growth and cation composition in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in uptake efficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 1277-1282, 2001.

ZHU, Y.G.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Phosphorus efficiencies and their effects on Zn, Cu, and Mn nutrition of different barley (*Hordeum vulgare*) cultivars grown in sand culture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 53, p. 211-216, 2002.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo