

ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) E TEORES DE NUTRIENTES E FITATOS NOS GRÃOS

JULIO CESAR PIRES SANTOS

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof^a. Dra. SIU MUI TSAI

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1998

DEDICATÓRIA

À minha mulher Hígia, companheira de todas as horas, mesmo
naquelas em que minhas limitações me
impediram de ser companheiro,

Aos meus queridos filhos, Gabriela e João Henrique, que souberam
comprender minhas ausências.

À meus pais, Julio (*in memorian*) e Adelina que, na luta honrada
pela vida, deram aos filhos amor, educação e
exemplo de respeito ao próximo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado de Santa Catarina / UDESC, pela liberação que permitiu meu aperfeiçoamento profissional,

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ / USP, pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional,

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA / USP, pelo acolhimento para realização de meu trabalho,

À Dr^a. Siu Mui Tsai, pela orientação, incentivo e, sobretudo, pela amizade,

A todos os amigos que, de uma forma ou de outra, colaboraram com meu trabalho, mas especialmente ao Wladecir, Alessandra, Cileide, Artur, Clóvis e Antonio, que foram especiais,

Aos funcionários José Elias Gomes e Francisco Montrazi, pela colaboração e amizade,

Aos colegas de trabalho, professores Paulo Roberto Ernani e Olívio Ciprandi, pelo constante apoio,

À todos os meus irmãos que, de uma forma ou de outra, contribuíram sempre e decisivamente para minha formação.

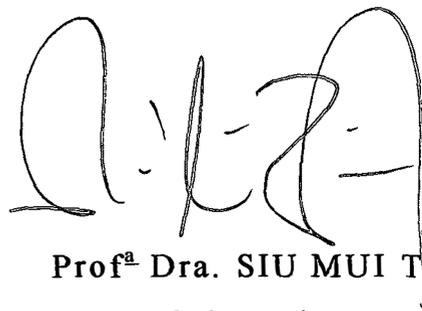
**ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)
E TEORES DE NUTRIENTES E FITATOS NOS GRÃOS**

JULIO CESAR PIRES SANTOS

Aprovado em: 27.02.1998

Comissão julgadora:

Prof ^a Dra. Siu Mui Tsai	CENA/USP
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello	ESALQ/USP
Prof. Dr. Murilo de Melo	ESALQ/USP
Dr. Sérgio Augusto Morais Carbonell	IAC
Dr. Hipólito Antonio Mascarenhas	IAC



Prof^a Dra. SIU MUI TSAI
Orientadora

SUMÁRIO

RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura do feijão	3
2.2. Características nutricionais do feijão	4
2.2.1. Fornecimento de proteínas	4
2.2.2 Macro e micronutrientes	6
2.2.3. Fatores antinutricionais.....	7
2.3. Nutrição do feijoeiro	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Local da pesquisa	18
3.2. Seleção de variedades, caracterização e obtenção das sementes utilizadas	18
3.3. Tratamentos experimentados	20
3.4. Práticas culturais	20
3.5. Determinação de fitatos.....	23
3.5.1. Reagentes	24
3.5.2. Curva de calibração para determinação de fitatos.....	25

3.5.3 . Preparo da resina trocadora de ânions	25
3.5.4. Preparo das amostras, extração e determinação de fitatos.....	26
3.6. Análise estatística	28
3.6.1. Avaliação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea.....	28
3.6.2. Avaliação de grãos	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Efeito da disponibilidade de nutrientes sobre o crescimento do feijoeiro ao longo do ciclo	30
4.2. Comparação entre variedades e concentração de soluções nutritivas	38
4.2.1. Época I- 20 DAG	38
4.2.2. Época II- 40 DAG	47
4.3. Concentração de P, fitatos, Zn, Ca, Mg e proteína na semente	55
5. CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro apresenta importância econômica para o Brasil, da mesma forma que para outros tantos países subdesenvolvidos das Américas, por ser uma das principais fontes de proteínas, minerais e energia, com lugar de destaque na dieta brasileira.

A maior parte da área cultivada com feijoeiro no Brasil, o qual detém aproximadamente 35% da produção mundial, está sobre solos ácidos e pobres em nutrientes, principalmente o fósforo e, boa parte da produção brasileira é advinda de pequenas propriedades, o que lhe confere importância socio-econômica na manutenção dos pequenos produtores na terra.

Tendo em vista o baixo retorno financeiro por unidade de área, a produção em escala economicamente viável, para médios e grandes produtores, exige o uso de altas doses de fertilizantes, principalmente os fosfatados. Associado a isso, as variedades comerciais são obtidas em programas de melhoramento, voltados principalmente para a obtenção de altas produtividades e resistência à pragas e doenças.

Além disso, caracteriza-se por ser uma cultura de produção bastante diferenciada das demais, visto que é um produto destinado ao consumo interno, e este, apresenta exigências

regionalizadas de mercado. Assim, na busca de novas variedades, quaisquer que sejam as metas de seleção, há necessidade de passar-se obrigatoriamente pela busca de características aceitas pelo consumidor, diferentemente de outras grandes culturas.

Dessa forma, muitas são as preocupações em combinar características influentes na produtividade, com as exigências de mercado, e pouca atenção tem sido dispensada à qualidade dos grãos produzidos para o uso na alimentação humana.

As pesquisas realizadas para a avaliação de qualidades nutricionais, quase sempre estão desvinculadas da realidade de produção e, estas, variam de acordo com os diferentes manejos culturais que são realizados, desde a pequena, média até a grande produção, a qual objetiva altas produtividades pelo alto nível tecnológico, empregado e alto consumo de insumos como os fertilizantes.

Da mesma forma que algumas pesquisas relatam a deficiência de zinco na população em países onde a dieta é baseada em produtos vegetais obtidos em solos pobres nesse nutriente e por uma agricultura incipiente, pode-se ter desbalanços entre os teores de nutrientes minerais nos produtos vegetais obtidos da produção com alto uso de fertilizantes, notadamente os fosfatados.

Este trabalho teve como objetivo, estudar a influência do fornecimento de doses crescentes de nutrientes para plantas de feijoeiro, nos teores de nutrientes minerais, fitatos e proteína total dos grãos produzidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijoeiro

Cultura de importância econômica para o Brasil, da mesma forma que para outros tantos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento das Américas, devido a ser uma das principais fontes de proteínas e Zn (Sgarbieri,1989; Moraghan, 1994), bem como, boa fonte de ferro e potássio (Sgarbieri et al., 1979), e minerais como Ca, Fe, Cu e P (Martin-Cabrejas et al., 1997). Segundo Sgarbieri & Garruti (1986), o feijão representa 28% da proteína e 12% das calorias da dieta brasileira.

A maior parte da área cultivada com feijoeiro no Brasil, que detém aproximadamente 35% da produção mundial, está sobre solos ácidos e pobres em nutrientes, principalmente o fósforo (Thung, 1990). Assim, de um modo geral, a obtenção de produtividades economicamente viáveis exige o uso de doses altas de fertilizantes, principalmente os fosfatados. Associado a isso, as variedades comerciais de boa aceitação no mercado consumidor são, normalmente, obtidas em programas de melhoramento voltados quase que exclusivamente para altas produtividades(Reyes-Moreno & Paredez-Lopez, 1993) e resistência à pragas e doenças.

Além disso, é uma cultura com características de produção bastante diferenciadas das demais, visto que é um produto destinado ao consumo interno, e este apresenta exigências regionalizadas de mercado. Assim, todos os estudos em busca de novas variedades, quaisquer que sejam as metas de seleção, precisam apresentar características visuais e sensoriais aceitas pelo consumidor, mais que para outras grandes culturas.

Desta forma, muitas são as preocupações em combinar características que influenciam a produtividade com as exigências de mercado, e pouca atenção é dispensada à qualidade do grão produzido para o uso na alimentação humana ou animal.

2.2 Características nutricionais do feijão

2.2.1 Fornecimento de proteínas

O feijão é um dos grãos de leguminosas de maior consumo humano no mundo (Sgarbieri, 1989), particularmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento como o Brasil, que tem a base de sua dieta protéica nos produtos de origem vegetal.

O controle genético do conteúdo total de proteínas é complexo, e depende não somente da expressão dos genes que controlam a síntese e acúmulo das frações protéicas, como também daqueles que controlam outros fatores como absorção de nutrientes, vigor de planta, maturação, produtividade, tamanho de sementes e produção e acúmulo de amido (Osborn, 1988).

Durigan et al. (1987), trabalhando com variedades brasileiras de feijão, encontraram teores de proteína total, desde 23% para o Carioca, até 29% para outros, enquanto Koehler et al.(1987) encontraram variação nesses teores de 19,6 até 32,2% trabalhando com 36 variedades.

Mesmo considerando que o teor médio de proteína total no feijão está em torno de 20% (Sgarbieri, 1989), o seu aproveitamento é considerado baixo, em comparação com proteínas de origem animal (Romero & Ryan, 1978; Sgarbieri et al., 1979) devido à baixa digestibilidade verificada, baixa disponibilidade de aminoácidos sulfurados, e à presença de antinutrientes protéicos ou não (Ma & Bliss, 1978; Sgarbieri, 1989). Em 1950, Jaffé em estudos com feijões pretos, rosas e brancos, encontrou relação inversa entre digestibilidade de proteínas e pigmentação da casca, sugerindo que os componentes fenólicos da casca podem estar envolvidos em interações com as proteínas, insolubilizando-as parcialmente. Para Durigan et al. (1987), a limitação de aminoácidos sulfurados e a presença de proteínas e substâncias antinutricionais não protéicas, são os responsáveis pelo baixo valor protéico do feijão.

Também existem evidências que envolvem o ácido fítico(AF) no baixo aproveitamento de proteínas e nutrientes do feijão, conforme propôs Thompson (1989).

2.2.2 Macro e micronutrientes

O feijão é tido como uma boa fonte de minerais como P, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn (Martín-Cabrejas et al., 1997), no entanto, sua biodisponibilidade depende de fatores endógenos e exógenos ao grão (Erdman, 1981). Os endógenos dizem respeito à composição bioquímica do grão, como ácido fítico, fibras, aminoácidos e proteínas, os quais podem alterar a biodisponibilidade dos nutrientes minerais. Além disso, a interação desses compostos durante o processamento dos alimentos, no preparo ou no organismo, podem alterar sua biodisponibilidade.

A composição centesimal do feijão pode apresentar grandes variações em função das diferenças varietais e de condições ambientais de produção (Soares, 1997). De uma forma geral, as pesquisas realizadas sobre a qualidade nutricional do feijão estão muito mais relacionadas com diferenças varietais (Meiners et al., 1976; McCarthy et al., 1977; Erdman, 1981; Koehler et al., 1987; Durigan et al., 1987; Morris & Hill, 1996) do que propriamente com o “status” nutricional da planta, ou ainda, quando existe a preocupação concomitante com a nutrição da planta e a avaliação da qualidade nutricional dos grãos, restringe-se a um só nutriente ou uma interação (Peck et al., 1980; McKenzie & Soper, 1983; Moraghan & Grafton, 1997), sendo mais comuns P e Zn. Pesquisas realizadas por cientistas de alimentos, são em geral desenvolvidas sem a preocupação ou participação de nutricionistas de plantas. Por outro lado, nutricionistas de plantas avaliam tão somente a presença de um ou mais nutrientes, sem

atentar para a questão da biodisponibilidade, ou ainda pior, conforme Loneragan & Webb (1993), sem atentar para as diferenças de disponibilidade de nutrientes entre solução nutritiva e o solo.

Dessa forma, existe ainda falta de informação sobre os efeitos dos diferentes níveis de fertilização, sobre a disponibilidade de nutrientes, notadamente dos micronutrientes, no feijão, com o que concordam Moraghan & Grafton (1997).

2.2.3 Fatores antinutricionais

Além de carboidratos, proteínas e minerais, o feijão apresenta em sua composição alguns compostos considerados como antinutricionais. A casca é rica em compostos fenólicos, aos quais têm sido atribuídas possíveis interações com nutrientes, amido e proteínas (Jafé, 1950). Também devido à presença de inibidores de proteases, inibidores de α -amilases e lectinas, são atribuídas interações que diminuem o aproveitamento das proteínas e dos nutrientes presentes no feijão (Sgarbieri, 1989; Raboy, 1990; Soares, 1997), mas o que mais tem recebido destaque é a presença do ácido fítico(AF).

Ácido fítico, fitina, fitato, inositol hexafosfato são nomenclaturas que se misturam e se confundem na literatura científica para denominar o ácido fítico (myo-inositol 1,2,3,4,5,6 hexaquisfosfato) e fitatos, seus sais com cátions como potássio, magnésio, cálcio, ferro e zinco (Lolas & Markakis, 1975; Raboy, 1990), aparecendo tanto na forma de hexafosfato (máxima fosforilação) e pentafosfato, mas também como os denominados

inositois menores (tetra, tri, di e monofosfatos). Segundo Campbell et al.(1991), é a principal forma de armazenamento de fósforo em grãos, localizando-se na camada de aleurona de grãos como o arroz ou trigo, no germen do milho, ou no endosperma das dicotiledôneas, podendo representar entre 60 e 90% do fósforo total da semente, ou 1 a 2,7% da massa de material seco da semente pode ser composta de sais do ácido fítico.

Em se tratando de feijão, os teores podem variar de 0,5 a 1,6% do MS aproximadamente (Lolas & Markakis, 1975), valores variáveis, uma vez que os resultados encontrados na literatura são de pesquisas realizadas nas mais diversas condições de produção, armazenamento e determinação (Reyes-Moreno & Paredes-Lopes, 1993).

Os fitatos representam uma classe complexa de compostos que ocorrem naturalmente e que podem alterar significativamente as propriedades funcionais e nutricionais dos alimentos (Reyes-Moreno & Paredes-Lopes, 1993). Embora sejam considerados importantes fontes de fósforo e cátions durante a germinação da semente, Raboy et al. (1985) não verificaram diferenças na germinação de sementes de soja produzidas com diferentes teores de ácido fítico (0,19 a 1,0 mg AF/semente). Segundo aqueles autores, a soja apresenta naturalmente, na semente, reservas de P maiores do que as necessárias para a germinação. Nesse sentido, Cosgrove (1966) sugeriu em sua revisão, que o ácido fítico atua muito mais como regulador do que como reserva, e que sua formação durante a maturação da semente, é uma forma de prevenir o acúmulo de P-inorgânico em níveis excessivamente altos. Assim, a afirmação de Cosgrove faz sentido,

então é possível esperar-se que, os acúmulos de fitatos na semente, possam ocorrer em diferentes graus de fosforilação para as diferentes condições e nas diversas variedades.

De uma forma geral, os resultados das pesquisas mostram que os teores de AF nos grãos são altamente correlacionados com a disponibilidade de P para a planta, mas em algumas culturas, como o trigo, os resultados têm demonstrado tendências de correlação negativa com a produtividade (Raboy et al., 1991), o que é contraditório, pelo menos em parte.

As evidências e a tendência geral das pesquisas indicam claramente que as dietas ricas em ácido fítico na alimentação humana ou animal, causam prejuízo na absorção de nutrientes, principalmente zinco (Cherian, 1980; Morris & Ellis, 1980; Maga, 1982; Sandström et al., 1987 a, b; Lönnerdal et al., 1988; Sandberg et al., 1989;

Devido a apresentar uma carga fortemente negativa, o ácido fítico ingerido na alimentação pode reagir com cátions e proteínas, formando compostos insolúveis, motivo pelo qual tem sido considerado como um fator anti-nutritivo (Reyes-Moreno & Paredes-Lopes, 1993). Muitos trabalhos têm demonstrado que as dietas ricas em ácido fítico têm causado sintomas de deficiências de Zn em animais não ruminantes (Simons et al., 1990), o que parece ser potencializado pela presença de outros cátions como o cálcio (Thompson, 1989). Sandström et al. (1987a) encontraram redução significativa de aproveitamento de Ca e Zn por efeito do ácido fítico e, sugerem que dietas ou processamento de alimentos que possam reduzir os teores de fitatos, podem reduzir esses problemas. Segundo Lo et al. (1981) relação molar fitatos/Zn

maiores que 12,5:1 em dieta a base de soja causaram significativa redução de aproveitamento do Zn em ratos, e Sandstrom et al. (1987) encontraram que esta redução é mais significativa em dietas com baixo nível proteico e altas em Ca. Morris & Ellis (1989) em trabalho com pessoas concluíram que a utilização do Zn pode ser prejudicada em relação molar fitatos/Zn maiores que 12-15:1.

Em grãos considera-se, normalmente, que grande parte do P de fitatos está na forma de inositol hexafosfato (IP6), uma pequena parte na forma de inositol pentafosfato (IP5) e, muito pouco, nas outras formas menores tetra-tri- di e mono (IP4, IP3, IP2 e IP). Morris & Hill (1996), avaliando grãos de 14 leguminosas, encontraram que o feijão preto apresentou 88% do P de fitatos na forma de IP6, 10,2% na forma de IP5 e muito pouco como IP4 e IP3, enquanto Gustafsson & Sandberg (1995) encontraram 92% do P de fitatos como IP6 e não detectaram IP4 e IP3 em feijões marrons. Estas variações de composição têm fundamental importância do ponto de vista nutricional e podem representar um fator importante a ser considerado na busca por novas variedades.

A capacidade de quelatar cátions, atribuída ao IP6 em relação aos seus ésteres com menores graus de fosforilação, tem sido estudada, e diferenças significativas têm sido encontradas. Lönnerdall et al. (1989) trabalhando com ratos como animal teste, e Zn e Ca marcados, encontraram redução significativa na absorção de Zn e Ca, para os animais suplementados separadamente com IP6 e IP5, o que não verificaram para IP4 e IP3. Estes autores sugeriram que os métodos analíticos que

avaliam inositol fosfatos com diferentes graus de fosforilação, sem separá-los convenientemente, podem levar à conclusões errôneas sobre biodisponibilidade dos nutrientes nos alimentos. Outros autores, como Erdman Jr. (1981), sem discordar dos possíveis efeitos do ácido fítico, acharam importante observar, que a adição de produtos purificados, como fitato de sódio nos testes de biodisponibilidade de nutrientes nos alimentos, pode não refletir com precisão as condições reais de comportamento do ácido fítico nos alimentos naturais.

A hidrólise do AF é catalizada pela myo-inositol hexafosfato fosfohidrolase (Ec3.1.3.8), também denominada fitase (Lim & Tate, 1971), com a liberação de inositol e Pi, sendo que esta enzima já foi detectada em plantas, fungos e animais. Outras fosfohidrolases, fosfatases ácidas e alcalinas, também promovem a hidrólise de grupamentos fosfato, porém, sem muita especificidade. Apenas a fitase é capaz de promover a hidrólise total. Como o homem e os não-ruminantes não apresentam essa enzima no trato digestivo, são afetados mais significativamente por alimentos ricos em fitatos.

A maioria das pesquisas realizadas sobre o AF, têm dado atenção especial às suas interações com nutrientes, proteínas e amido (Figura 1), e seus respectivos efeitos antinutricionais (Erdman Jr., 1979; Thompson, 1989).

A detecção do AF nas raízes (Campbell et al., 1991;), a relação antagônica da absorção do fósforo e zinco pela planta (Singh et al., 1988) e a relação estabelecida, mas não explicada, da retenção de zinco nas raízes de plantas deficientes nesse nutriente (Singh et al., 1988), abrem a possibilidade do estudo

das relações prováveis entre a eficiência de absorção, acúmulo e transporte do fósforo e do zinco pelas plantas.

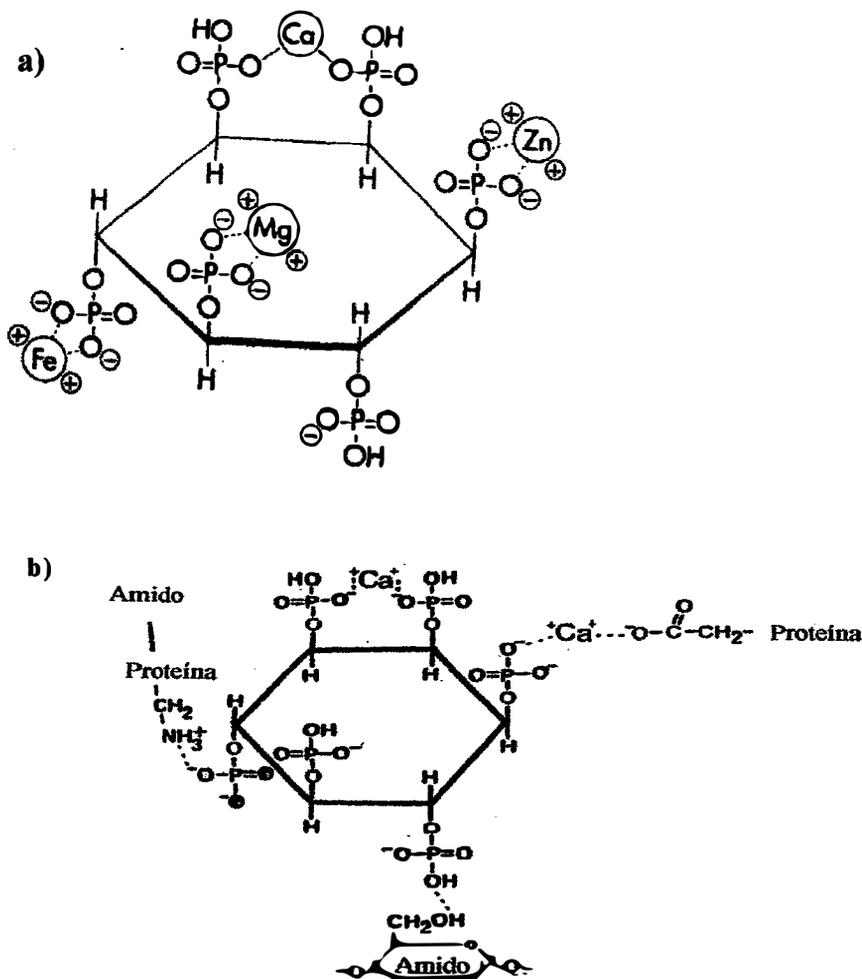


Figura 1 - Interações possíveis do ácido fítico com proteínas, minerais e amido. (a- Erdman Jr., 1979; b-Thompson, 1989).

Se para o feijoeiro também pode ser considerada válida a hipótese levantada para a soja (Raboy et al., 1984), de que a semente apresenta reservas maiores do que as necessárias para a germinação e desenvolvimento inicial, então, a obtenção de variedades com teores reduzidos de ácido fítico em programas de

melhoramento, poderia aumentar a qualidade nutritiva, sem influir negativamente na produtividade da cultura.

Contudo, deve-se tomar cuidado em avaliar-se os possíveis efeitos do uso de sementes de feijão com baixos teores de AF. Trabalhos que só avaliem o desenvolvimento inicial de plantas em condições controladas (Raboy et al., 1985), podem estar subestimando os efeitos negativos sobre, por exemplo, as simbioses entre o feijoeiro e o *Rhizobium* ou fungos micorrízicos arbusculares, que contribuem para o fornecimento de nutrientes.

2.3 Nutrição mineral do feijoeiro

Com a acidez do solo e deficiência de nutrientes, apresentando-se como limitantes da produtividade, e com a necessidade crescente de obtenção de maiores produtividades para viabilizar economicamente a produção, o uso indiscriminado de fertilizantes pode levar ao surgimento de desordens nutricionais nas plantas, principalmente, em relação a micronutrientes. Dentre os macronutrientes, o P é o mais limitante e, conseqüentemente, o mais utilizado.

Com produtividade média muito baixa e cultivo em solos que exigem fertilização maciça, um dos fatores mais limitantes para a obtenção de maiores produtividades do feijoeiro é a deficiência de fósforo (Malavolta, 1972), que reduz drasticamente a crescimento das plantas, por redução da área foliar e da taxa fotossintética (Lynch et al., 1991).

No caso dos estudos da nutrição fosfatada do feijoeiro, a maior parte dos experimentos realizados no Brasil foram conduzidos com um número limitado de variedades, nos ensaios clássicos de competição de variedades, dirigido mais em função da produtividade e da preferência do mercado consumidor. Esta tendência descarta materiais genéticos importantes, do processo de seleção de novas variedades.

Amaral (1975) trabalhando com 104 variedades de feijões procedentes de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, detectou diferentes respostas aos diferentes níveis de P. Haag et al (1971) testaram 124 variedades em campo, e observaram diferenças mais acentuadas para a variação de disponibilidade de P do que para N. Isso denota que existem plantas com diferentes capacidades de aproveitamento do P disponível.

O termo eficiência, usado para definir a maior ou menor capacidade de aproveitamento de um determinado nutriente pela planta, pode ter vários enfoques (Epstein, 1972; Thung, 1990), mas não deve ser confundido com tolerância. Para Amaral (1975), eficiência de aproveitamento do P do solo é uma capacidade, ligada à carga genética da planta, de transformar o P absorvido em produção de MS e grãos. Thung (1990) classifica os feijões do grupo Carioca e o Tibagi como tolerantes ao baixo nível de P, no entanto, é necessário avaliar-se até que ponto essa tolerância não se torna um potencial limite da capacidade de resposta à adição do nutriente e, por conseguinte, da produtividade.

O fornecimento de P para as culturas via adubação do solo, é uma prática já estudada exaustivamente por pesquisadores

das áreas de química e fertilidade do solo, e são bastante conhecidas as interações desse nutriente no solo. Segundo Rosolem (1997), o uso da irrigação com pivô central no plantio de feijão elevou os patamares de produção por área da ordem de 2,5 a 3 vezes. Para tanto, o autor cita como exemplo a elevação da dose mais econômica de P_2O_5 de 50 para 400 kg ha⁻¹.

A adição continuada e, em altas doses de P, tem aumentado a incidência de desordens nutricionais nas plantas, causando deficiências de um ou mais micronutrientes. No caso particular do Zn, sabe-se que o aumento do P disponível para valores muito altos, pode ocasionar sintomas de deficiência de Zn nas plantas, em solos com pouca disponibilidade desse nutriente (Olsen, 1972), também conhecida como deficiência de Zn induzida por P.

Murphy et al. (1981) sugerem, em sua revisão, que as interações de micronutrientes com P têm sido interpretadas como uma intensificação da deficiência do micronutriente, quando sua disponibilidade está próxima do nível crítico mínimo de fornecimento e doses suplementares de P são adicionadas, o que podemos entender como um efeito de diluição, pela resposta de crescimento da planta ao P aplicado. Para Loneragan et al. (1982), pode ser uma desordem metabólica da planta devida ao desequilíbrio entre P e Zn. Entretanto, para Loneragan & Webb (1993), grande parte dos estudos que relatam sintomas visuais de deficiência de Zn associados aos altos níveis de disponibilidade de P, são trabalhos pouco esclarecedores ou até confusos, por não considerarem as interações com outros nutrientes.

O estudo dessa interação tem sido abordado não só sob o aspecto da deficiência de Zn, mas também, pelo mecanismo apresentado por algumas plantas de quelatar o Zn nas raízes pela presença de ácido fítico, como foi verificado em alfafa (Campbell et al., 1991) e alfafa, soja e tremoço (Steveninck et al., 1994), que podem reduzir o influxo de Zn para a parte aérea da planta, causando o sintoma de deficiência. É possível que exista uma relação entre a característica da planta de acumular AF nas raízes e nas sementes. Em feijoeiro, Singh et al. (1988), trabalhando com uma variedade, determinaram a redução na translocamento de Zn em doses altas de P; embora não tenham investigado o mecanismo causador, pode ter sido devido à quelação pelo AF. Para Mengel & Kirkby (1987), as interações entre P e Zn na planta são muito mais importantes na nutrição de Zn do que sua própria disponibilidade no solo.

A constatação de que há indução de acúmulo de ácido fítico nas raízes de algumas plantas, pode ser perfeitamente relacionada com a eficiência de aproveitamento do P disponível. Em alfafa, foi determinado que de 10 a 15% do P total da planta estava na raiz, sob a forma de AF (Campbell et al., 1991), e em cenoura e batata inglesa, de 15 e 23% respectivamente (McCance & Widdowson, 1935).

A obtenção de informações sobre a capacidade de resposta à adição de P, à tolerância aos baixos níveis de sua disponibilidade, os teores de P-total e de AF na semente e 0 estabelecimento de simbioses, em condições variáveis mas em um mesmo ambiente, pode ser um caminho para se entender um pouco melhor a questão da eficiência de utilização do P e chegar-se à

novas variedades de feijão, com boas características de produção e qualidade nutritiva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local da pesquisa

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, e as análises químicas no Laboratório de Biologia Celular e Molecular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA / USP, em Piracicaba, SP, no período de setembro de 1996 a outubro de 1997.

3.2 Seleção de variedades, caracterização e obtenção das sementes utilizadas

O primeiro passo deste projeto foi a definição de quais variedades avaliar para o acúmulo de fitatos nos grãos. Com este objetivo instalou-se um ensaio, onde foram produzidas algumas das variedades disponíveis no banco de sementes do Laboratório de Biologia Celular e Molecular / CENA, dentre as quais selecionou-se três variedades.

Nesse ensaio, todas as parcelas tiveram a planta melhor desenvolvida colhida separadamente, com o objetivo de ter-se sementes oriundas de uma mesma planta para a instalação do experimento principal, visando reduzir-se, tanto quanto possível, a variação devida às diferenças genéticas.

A variedade Rio Tibagi, com sementes de cor preta, porte ereto, hábito de crescimento determinado tipo 1, com

florescimento previsto em 40-45 dias, e ciclo vegetativo aproximado de 100 dias. É classificado como tolerante a baixos níveis de P no solo, e pouco responsivo à adubação fosfatada (Thung, 1990). Comportou-se no ensaio com o menor acúmulo de fitatos no grão.

A variedade Carioca, com semente de cor bege e com listras mais escuras, apresenta porte semi-prostrado, hábito de crescimento indeterminado tipo 3, com florescimento previsto em 30-35 dias, e ciclo vegetativo até a maturação de 85 dias (Almeida et al., 1971). Caracteriza-se como uma variedade tolerante a baixos níveis de P no solo e com boa resposta à adubação fosfatada (Thung, 1990), é produzida em quase todo o país, sendo o tipo comercial mais aceito. No ensaio apresentou teores de fitatos ligeiramente superiores aos verificados para a variedade Rio Tibagi.

A IAC-UNA, com semente do grupo preto, apresenta porte ereto, hábito de crescimento indeterminado, com florescimento observado aos 35 dias, ciclo vegetativo até a maturação variando de 92 a 105 dias (IAC, s.d.). É considerado como mais exigente em P do que as variedades anteriores e apresentou boa resposta à adubação fosfatada no ensaio, tendo sido a variedade comercial que acumulou maiores níveis de fitatos nos grãos. Vem destacando-se no estado de São Paulo, como o genótipo do grupo preto com melhor desempenho em produtividade e o mais procurado por produtores de sementes e de grãos para consumo de acordo com Carbonell¹.

¹ CARBONELL, S. Comunicação pessoal, 1997

Foram utilizadas seis concentrações de solução nutritiva preparadas a partir de uma solução 1,45 vezes mais concentrada do que a proposta por Hoagland & Arnon (1950), C1, C2, C3, C4, C5 e C6, e três variedades de feijão, Carioca, Rio Tibagi e IAC-UNA.

3.3 Tratamentos experimentados

3.4 Práticas culturais

A semeadura foi feita em vasos plásticos com capacidade para 3 litros, com 3 repetições, considerando-se então cada vaso como uma parcela. Utilizou-se areia lavada em água como substrato. As sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio a 0,3% por 3 minutos e lavadas em água esterilizada por 3 vezes. A semeadura foi feita a 1 cm de profundidade, com 2 sementes por vaso, procedendo-se a irrigação com água destilada nos primeiros 3 dias e então com solução nutritiva conforme planejado, até o final do período experimental. Uma semana após a emergência procedeu-se o desbaste, deixando-se uma planta por vaso.

A solução nutritiva utilizada foi preparada sempre na maior concentração, C6 (Tabela 1), e então diluída para os outros tratamentos, mantendo-se o equilíbrio químico entre os nutrientes, segundo o esquema :

$$C5 = C6 \div 3; \quad C4 = C5 \div 3; \quad C3 = C4 \div 11; \quad C2 = C3 \div 3; \quad C1 = C2 \div 3$$

Para manter-se constante a concentração dos nutrientes disponíveis para as plantas, o fornecimento de solução nutritiva para os tratamentos C1, C2 e C3 foi contínuo, por gotejamento, sendo o excesso descartado pelo fundo dos vasos para evitar-se anaerobiose. Os demais, C4, C5 e C6 foram irrigados igualmente em número de vezes e volume de solução, conforme as necessidades das plantas. No auge do crescimento das mesmas, a necessidade diária média de solução nutritiva, entre todos os tratamentos, foi de 450 litros.

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva C6 preparada para o experimento.

Solução estoque	Volume utilizado (mL L-1)
KH ₂ PO ₄ M	1,45
KNO ₃ M	7,25
Ca(NO ₃) ₂ M	7,25
MgSO ₄ M	2,9
Solução de micronutrientes*	1,45
Solução de Fe-EDTA**	1,45

* Composição (g/L) : H₃BO₃- 2,86; MnCl₂.4H₂O- 1,81; ZnCl₂- 0,10; CuCl- 0,04 e H₂MoO₄.H₂O- 0,02.

** Composição (g/L) : EDTA- 26,1 g; Fe₂SO₄.H₂O- 29,9 g; NaOH 1M- 286 mL; completar a 1000 mL e arejar por 24 horas.

As concentrações das soluções nutritivas utilizadas foram calculadas para simular a solução do solo nas 3 menores concentrações (C1, C2 e C3) e, as 3 mais concentradas (C4, C5 e

C6) para simular altas fertilizações e, portanto, alta disponibilidade de nutrientes, conforme Tabela 2.

A temperatura da casa-de-vegetação foi mantida na faixa de 28-30⁰C através de ventilação e umedecimento.

Tabela 2 - Concentração dos nutrientes nas soluções nutritivas utilizadas no cultivo de feijão.

Nutriente	Solução C1	Solução C2	Solução C3	Solução C4	Solução C5	Solução C6
	mg L ⁻¹					
P	0,050505	0,151515	0,45454	5,0000	15,0000	45,0000
N	0,342087	1,026262	3,07878	33,8666	101,6000	304,8000
K	0,381257	1,143771	3,43131	37,7444	113,2333	339,7000
Ca	0,325813	0,977441	2,93232	32,2555	96,7666	290,3000
Mg	0,078529	0,235589	0,70676	7,7744	23,3233	69,9700
S	0,104264	0,312794	0,93838	10,3222	30,9666	92,9000
B	0,000561	0,001684	0,00505	0,0555	0,1667	0,5002
Mn	0,000780	0,002342	0,00702	0,0773	0,2319	0,6957
Zn	5,38X10 ⁻⁵	0,000161	0,00048	0,0053	0,0160	0,0480
Cu	2,12X10 ⁻⁵	6,36X10 ⁻⁵	0,00019	0,0021	0,0063	0,0189
Mo	1,31X10 ⁻⁵	3,94X10 ⁻⁵	0,00011	0,0013	0,0039	0,0117
Fe	0,005960	0,017878	0,05363	0,5900	1,7700	5,3101

Aos 20 dias após a germinação (DAG) foi realizada uma coleta de 3 plantas por tratamento, as quais tiveram suas raízes separadas da parte aérea e foram fartamente lavadas em água corrente. Parte aérea e raízes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar por 72 horas a 65⁰C, pesadas, moídas em moinho de tecido e armazenadas para posteriores análises químicas. O mesmo procedimento se repetiu aos 40 DAG. No final do ciclo, as vagens foram coletadas em sacos de papel poroso, deixadas por 3 dias em ambiente seco e

ensolarado para uniformizar o teor de umidade e, então, armazenadas em freezer na temperatura de -20°C , para evitar alterações bioquímicas.

As amostras do material seco de parte aérea e raízes de 20 e 40 DAG foram digeridas pelo método da digestão nítricoperclórica para a avaliação do P-total por colorimetria através do método do metavanadato e do Zn-total por espectrofotometria de absorção atômica (Isaac & Johnson, 1975).

Uma pequena amostra de grãos foi congelada em nitrogênio líquido, quebrada em um recipiente de aço inoxidável, liofilizada, moída em moedor de café até a granulometria de farinha, para a determinação dos teores de fitatos e submetida à digestão nítricoperclórica para a determinação de P-total por colorimetria pelo método do metavanadato (Malavolta et al., 1989) e Ca, Mg e Zn por espectrofotometria de absorção atômica (Isaac & Johnson, 1975). A determinação de proteína total foi feita pelo método proposto por Parkinson & Allen (1975).

3.5 Determinação dos fitatos

A metodologia utilizada para a determinação dos fitatos foi a proposta por Latta & Eskin (1980), e é descrita minuciosamente, uma vez que foi adaptada para as condições existentes.

Esse método é um procedimento indireto de determinação dos fitatos, que se baseia na formação de um composto Fe-ácido sulfossilissílico, de cor azul intensa, chamado de Reagente de Wade. Na presença de fitatos, o Fe desloca-se para

reagir com este, reduzindo a intensidade da coloração azul. O cálculo da concentração é baseado no peso molecular do ácido fítico puro (660). Como este método não é seletivo para diferentes compostos e inositol fosfato com diferentes graus de fosforilação é aceitável para a determinação de fitatos em grãos novos.

3.5.1. Reagentes

. HCl 2,4% - Diluiu-se 54 mL de HCl concentrado a um volume final de 1000 mL.

. NaCl 0,07 M e 0,7 M - pesou-se respectivamente 4,06 e 40,6 g de NaCl puro, e dissolveu-se a um volume final de 1000 mL.

. Reagente de Wade - pesou-se 0,03 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (cloreto férrico hexahidratado) e 0,3 g de ácido sulfosalicílico e dissolveu-se a 100 mL.

. Resina trocadora de ânions de 200-400 mesh

. Padrão de fitato de sódio - Para o preparo do padrão de aferição do equipamento e definição da curva de calibração, pesou-se 0,03 g de fitato de sódio e dissolveu-se a 100 mL. Desta solução estoque, retirou-se uma alíquota de 15 mL que foi diluída a 100 mL. Esta solução que contém 0,0045 % ou 45 mg L^{-1} de fitato de sódio foi utilizada, conforme a Tabela 3, para a elaboração da curva.

Tabela 3 - Preparo da curva de calibração para espectrofotômetro na determinação de fitatos

Frasco	Sol. Fitato de sódio mL	água	concentração mg L ⁻¹	conc. %
1	-	3,0	-	-
2	-	3,0	-	-
3	0,5	2,5	7,5	0,00075
4	1,0	2,0	15,0	0,00150
5	1,5	1,5	22,5	0,00225
6	2,0	1,0	30,0	0,00300
7	2,5	0,5	37,5	0,00375
8	3,0	-	45,0	0,00450

3.5.2 Curva de calibração para determinação de fitatos

Para a aferição do equipamento, procedeu-se a leitura da absorbância do Zero (0) em comprimento de 500 nm com o frasco 1 (água). Nos demais frascos, adicionou-se 1 mL da solução de Wade, agitou-se bem e fez-se a leitura da absorbância, conforme explicado anteriormente. Para o cálculo da curva padrão, deve-se descontar a leitura do frasco 2 (água+reag. Wade).

3.5.3 Preparo da resina trocadora de ânions

Para ser utilizada a resina necessita ser devidamente preparada. A preparação consistiu de embebição em água deionizada por 1 hora, drenagem da água e adição de NaCl 0,7 M. Deixada em agitação suave por mais uma hora, novamente drenada e lavada em água deionizada, a resina estava pronta para uso, com a garantia de estar na forma Cl⁻. Se houver a intenção de reutilizar

a resina, a recuperação é um processo igual ao preparo. No entanto, tendo em vista as características químicas do fitato, não se recomenda utilizar a resina por mais de 3 vezes.

3.5.4 Preparo das amostras, extração e determinação dos fitatos

Para a extração de fitatos dos grãos, as amostras foram moídas na granulometria mais fina possível. Pesou-se 0,5 g da amostra que, colocada em tubo de Falcon com 20 mL de HCl 2,4% foi agitada por 3 horas a 200 g (se o grau de moagem for bem fino pode-se agitar por 1 hora ou menos). A extração em amostras muito finamente moídas, pode ser feita em 3 a 5 minutos por sonicação.

Após, a amostra foi submetida à centrifugação por 5 minutos a 2200 g, e filtrada para separar a solução sobrenadante de partículas sólidas mais grosseiras. Na seqüência, o extrato sobrenadante foi centrifugado novamente por 15 minutos a 41.000 g, para eliminar as partículas mais finas ainda em suspensão.

Uma vez o extrato limpo, foi coletada uma alíquota de 3 mL que foi colocada em tubo de Falcon com a resina preparada e 15 mL d'água deionizada e agitada por 1 hora a 200 g. É necessário diluir-se a alíquota do extrato devido a sua acidez que poderia interferir na adsorção dos fitatos à resina. Após esse tempo, descartou-se o líquido sobrenadante e a resina foi lavada com 10-15 mL de NaCl 0,07 M para eluir as impurezas como o P-inorgânico. Descartada a solução de lavagem, adicionou-se 15 mL de NaCl 0,7 M para eluir os fitatos retidos na resina e agitou-se

por 30 minutos. Passado esse tempo, os tubos foram centrifugados em 2200 g para decantar a resina.

Coletou-se uma alíquota de 3 mL e adicionou-se 1 mL de reagente de Wade para a leitura da absorbância em 500 nm. Nessa solução forma-se um precipitado de fitato de ferro, motivo pelo qual é necessário centrifugar-se por 10 minutos a 2200 g. A não centrifugação pode inverter os resultados. Após isso, leu-se a absorbância em espectrofotômetro a 500 nm. O mesmo procedimento descrito acima deve ser utilizado com uma solução padrão de fitato de sódio para que se tenha o percentual de recuperação de fitatos da resina. Não se recomenda utilizar resina que apresente recuperação inferior a 95%.

O teor de fitatos foi calculado aplicando-se a equação de regressão linear obtida na curva padrão e a correção pelo fator de diluição da amostra, como no exemplo a seguir:

$$Y = -209,28 X - 0,042 \quad R^2 = 0,9995$$

$$\text{Leitura absorbância frasco 2} = 0,539$$

$$\text{Leitura absorbância amostra} = 0,239.$$

$$\text{Leitura corrigida} = 0,239 - 0,539 = -0,300$$

$$Y = (-209,28 - 0,300) - 0,042$$

$$Y = 49,98 \text{ mg fitatos kg}^{-1}$$

$$\text{FD} = 200 \text{ Logo } Y = 49,98 \cdot 200 = 9.996 \text{ mg kg}^{-1}, \text{ ou } 0,9996\%$$

O cálculo de P- fitatos em relação ao P-total foi feito considerando-se que o peso molecular do ácido fítico puro é de 660, segundo a fórm.(1):

$$\text{P-fitatos/P-t} = (\text{fitatos mg kg}^{-1} \div 660) \div \text{P-total (mg kg}^{-1}) \quad (1)$$

O cálculo da relação molar fitato/cálcio(F/Ca) form.(2) e fitato/zinco(F/Zn) form.(3), foi feito conforme o que segue:

$$\text{fitatos/Ca} = [(\text{fitatos mg kg}^{-1} \div 660) \div (\text{Ca mg kg}^{-1} \div 40)] \quad (2)$$

$$\text{fitatos/Zn} = [(\text{fitato mg kg}^{-1} \div 660) \div (\text{Zn mg kg}^{-1} \div 65,37)] \quad (3)$$

3.6 Análise estatística

3.6.1. Avaliação de material seco das raízes e da parte aérea

Para a análise do experimento, utilizou-se um modelo matemático para delineamento inteiramente casualizado com arranjo de tratamentos fatorial(3x6x2), conforme a form.(4), sendo que os fatores foram: variedade (3), concentrações da solução nutritiva (6) e época (20 e 40 dias após a germinação).

$$\gamma_{ijkl} = \mu + V_i + C_j + E_k + VC_{ij} + VE_{ik} + CE_{jk} + VCE_{ijk} + e_{ijkl} \quad (4)$$

onde: $i = 1, 2, 3$ índice de variedades;

$j = 1, 2, \dots, 6$ índice de concentrações de solução nutritiva;

$k = 1, 2$ índice de épocas;

$l = 1, 2, 3$ índice de repetições.

Foram avaliadas as variáveis P (mg kg⁻¹), Zn (mg kg⁻¹), produção de massa seca de raiz e parte aérea.

Utilizou-se testes de comparações múltiplas de Tukey para variedades e regressão polinomial para concentrações de solução nutritiva.

3.6.2 Avaliação dos grãos

Para análise do experimento, utilizou-se um modelo matemático análogo ao anterior para delineamento inteiramente casualizado, com arranjo de tratamentos fatorial (3X6) conforme a form.(5), sendo que os fatores foram variedade (3 variedades) e concentração de solução nutritiva(6 diferentes concentrações).

$$\gamma_{ijk} = \mu + V_i + C_j + VC_{ij} + e_{ijk} \quad (5)$$

onde: $i = 1, 2, 3$ índice de variedades;

$j = 1, 2, \dots, 6$ índice de concentrações de solução nutritiva;

$k = 1, 2, 3$ índice de repetições.

Foram avaliadas as variáveis P (mg kg^{-1}), fitatos (mg kg^{-1}), Zn (mg kg^{-1}), Ca (mg kg^{-1}), Mg (mg kg^{-1}) e Proteína total (%).

Utilizou-se testes de comparações múltiplas de Tukey para comparação entre as variedades e regressão polinomial para concentrações de solução nutritiva, onde se verificou interações significativas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância dos resultados obtidos da parte aérea (PA) e das raízes para as épocas 20 e 40 dias após a germinação (DAG), detectou-se interação tripla entre soluções nutritivas, variedades e épocas. Assim, procedeu-se primeiramente a análise de comparação entre épocas para a interação entre variedades e concentrações da solução nutritiva e, a seguir, a análise comparativa dentro de cada época.

Para os grãos, a análise de variância apresentou interação significativa entre as soluções nutritivas e as variedades para as variáveis estudadas: P, Zn, Ca, fitatos, P-fitatos, relação molar fitato/Zn e relação molar fitato/Ca, menos para o Mg. Nestas condições, efetuou-se o teste de médias para variedades dentro de cada solução e desdobrou-se a interação com o estudo de regressão polinomial para soluções dentro de cada variedade.

4.1 Efeito da disponibilidade dos nutrientes sobre o crescimento do feijoeiro ao longo do ciclo

A massa de material seco e as concentrações de P e Zn da parte aérea apresentaram interação significativa entre soluções

nutritivas e variedades que foi estudada por regressão polinomial, perfazendo um total de 54 gráficos de regressão. Para facilitar a análise dos resultados, optou-se por apresentá-los através de testes de comparação de médias de Tukey.

O acúmulo de MS na parte aérea do feijoeiro (Tabela 4) nas concentrações de solução consideradas baixas (C1, C2 e C3) para as variedades IAC-Una e Rio Tibagi não apresentaram diferenças significativas entre as épocas, o que pôde ser verificado na variedade Carioca para a concentração C3. Nas concentrações mais altas (C4, C5 e C6) todas as variedades apresentaram diferenças entre as épocas.

Tabela 4- Comparação entre médias para as variedades dentro de cada nível de concentração da solução nutritiva, na variável MS (g/planta^{-1}) da parte aérea do feijoeiro.

Variedade	Época	Concentrações da solução nutritiva					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	20 DAG	0,38a	0,49a	0,49a	0,80b	3,55b	4,79b
	40 DAG	1,21a	1,40a	2,29a	7,77a	20,52a	27,76a
R. Tibagi	20 DAG	0,38a	0,33a	0,31a	0,98b	2,03b	3,86b
	40 DAG	1,14a	1,29a	2,05a	17,27a	23,71a	29,15a
Carioca	20 DAG	0,33a	0,66a	0,45b	0,88b	3,13b	6,98b
	40 DAG	1,13a	1,33a	3,90a	10,12a	21,93a	28,75a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna entre épocas não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 19,434%

A concentração de P na parte aérea (Tabela 5), para a variedade Carioca só apresentou diferença significativa entre

épocas para a concentração C6. Na Rio Tibagi, a partir da concentração C5 e, na IAC-Una, a partir da C4 já se verificaram diferenças significativas na concentração de P. O maior acúmulo de MS pela variedade Carioca, já na concentração C3, e a constatação de diferenças no P só na concentração mais alta da solução nutritiva, podem representar uma maior eficiência de translocação de P da raiz para parte aérea.

Thung (1990) classifica a variedade Carioca como tolerante a baixos níveis P no solo, eficiente e responsiva à adição de P, e a Rio Tibagi como tolerante a baixo P mas ineficiente e não responsiva. A relação de igualdade estatística da variedade Carioca até a concentração C5, enquanto as outras variedades apresentaram diferenças estatísticas em concentrações menores, é mais um indicativo de que essa variedade é realmente mais eficiente em translocar P para a parte aérea, sem acumulá-lo nas raízes.

Para Murphy et al. (1981), a maior concentração de P nos tecidos de parte aérea está muitas vezes associada à redução da absorção de outros nutrientes, particularmente os micronutrientes. Considerando essa assertiva, pode-se supor uma resposta diferencial das variedades às diferentes concentrações da solução nutritiva experimentadas, mesmo sem a alterar a proporção entre os nutrientes.

Para a concentração de Zn na parte aérea (Tabela 6) a variedade Carioca só não apresentou diferenças significativas nas concentrações C2 e C6. A Rio Tibagi não apresentou diferenças estatísticas nas concentrações C1, C5 e C6, e a IAC-Una somente não apresentou diferenças significativas para a concentração C2.

Tabela 5- Comparação entre médias para as variedades dentro de cada nível de concentração da solução nutritiva, na variável P (mg kg^{-1}) da parte aérea do feijoeiro.

Variedade	Época	Concentrações da solução nutritiva					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	20 DAG	563a	601a	634a	1368a	2543a	3123a
	40 DAG	541a	767a	807a	973b	1750b	2352b
R. Tibagi	20 DAG	367a	632a	892a	1251a	1000b	1531b
	40 DAG	603a	628a	962a	1181a	1479a	2463a
Carioca	20 DAG	555a	600a	593a	1056a	1216a	894b
	40 DAG	615a	574a	790a	940a	1324a	2070a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 16,818%

Segundo Longnecker & Robson (1993), plantas com suprimento de Zn de baixo a adequado apresentam usualmente concentrações de Zn maiores nos tecidos novos do que nos tecidos maduros. Assim, esperava-se que os resultados obtidos apresentassem valores maiores para 20 DAG do que para 40 DAG, mas deve-se considerar que, neste trabalho, a variação dos níveis de Zn foi acompanhada pela variação dos níveis de todos os outros nutrientes na mesma magnitude, mantendo-se, portanto, as mesmas possibilidades de interações entre nutrientes. A comparação dos valores de P e Zn na MS de parte aérea, mostrou clara tendência de que, onde foram obtidas as maiores concentrações de P, obteve-se também as menores de Zn e vice-versa.

A produção de MS de raiz do feijoeiro não apresentou diferenças significativas entre as épocas para as diferentes variedades e concentrações, no entanto, a concentração de P na raiz, apresentou (Tabela 7). As variedades Carioca e IAC-Una apresentaram diferenças significativas nas concentrações mais altas. A Rio Tibagi só não apresentou diferença significativa para a concentração mais baixa.

Tabela 6- Comparação entre médias para as variedades dentro de cada nível de concentração da solução nutritiva, na variável Zn (mg kg^{-1}) da parte aérea do feijoeiro.

Variedades	Época	Concentrações da solução nutritiva					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	20 DAG	56,3b	77,0a	42,6b	68,6a	70,6a	80,6a
	40 DAG	82,6a	75,6a	83,6a	30,0b	32,0b	54,3b
R. Tibagi	20 DAG	74,3a	99,6a	70,0a	90,6a	55,6a	64,3a
	40 DAG	71,0a	79,0b	63,6b	34,6b	39,0a	55,0a
Carioca	20 DAG	76,0b	91,6a	93,6a	69,6a	62,0a	84,3a
	40 DAG	114,3a	90,6a	49,0b	39,3b	39,0b	66,6a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 16,679%

A eficiência de aproveitamento de P pelo feijoeiro está ligada ao genótipo da planta e, provavelmente, é o resultado da capacidade de transformar o P absorvido em produção de grãos (Amaral, 1975). Os resultados apresentados estão em concordância com essa hipótese, uma vez que as variedades Carioca e IAC-Una

são, sabidamente mais produtivas que a Rio Tibagi e apresentaram valores absolutos de P nas raízes iguais ou menores que a última.

Thung (1990) encontrou resultados semelhantes para os genótipos eficientes, entre eles o Carioca, e os ineficientes. A comparação dos resultados das Tabelas 6 e 7 mostra a variedade Carioca com teores de P na parte aérea e raízes menos contrastantes do que Rio Tibagi e IAC-Una, sem que isso tenha tido reflexo em termos de acúmulo de MS nas diferentes épocas.

Tabela 7- Comparação entre médias para as variedades dentro de cada nível de concentração da solução nutritiva, na variável P (mg kg^{-1}) na raiz do feijoeiro.

Variedades	Época	Concentrações da solução nutritiva					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	20 DAG	605a	589a	689a	742a	1541a	1647b
	40 DAG	640a	882a	1201a	1260a	1709a	4489a
R. Tibagi	20 DAG	611a	448b	629b	752b	1460b	1328b
	40 DAG	605a	1200a	1127a	1329a	2147a	2678a
Carioca	20 DAG	632a	613a	772a	866a	1401a	1091b
	40 DAG	733a	746a	970a	951a	1358a	1901a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 32,246%

A concentração de Zn nas raízes (Tabela 8) da variedade Carioca só não apresentou diferença significativa para as concentrações mais altas. A Rio Tibagi não apresentou diferenças significativas para as concentrações C3, C5 e C6. Para

a IAC-Una não foi encontrada diferença significativa para as concentrações C4 e C5.

A primeira fonte de Zn para a planta é a própria semente que a originou. Como as sementes utilizadas na instalação do experimento foram produzidas em condições iguais e, segundo a teoria de Longnecker & Robson (1993), de que em condições de suprimento deficiente a bom, os tecidos novos devem apresentar concentrações maiores de Zn do que os tecidos maduros, era de se esperar resultados contrários aos que foram obtidos. Adriano (1969) citado por Murphy et al. (1981), trabalhando com duas variedades de feijão, não relacionou o alto teor de Zn na parte aérea com alta disponibilidade do nutriente na solução, mas sim alto teor de Zn nas raízes com alta disponibilidade de P na solução, e concluíram que a interação P-Zn não foi ao nível do translocamento. Os resultados aqui apresentados destoam dessa conclusão.

A avaliação concomitante dos resultados de Zn na parte aérea e raízes deixa transparecer que em baixas concentrações de P e Zn na solução, a relação Zn-raiz/Zn-parte aérea é alta, e cai abruptamente com o aumento da concentração da solução. Esta alteração de comportamento parece estar ligada a uma maior dificuldade de translocação do Zn das raízes para parte aérea não devido às altas disponibilidades de P, mas sim em função de sua baixa concentração na solução. A relação dos valores de P/Zn acumulados nas raízes e na parte aérea aumenta sempre com o aumento da concentração da solução nutritiva, mas a variedade Carioca apresenta sempre os índices menos contrastantes.

De uma forma geral, pode-se dizer que o acúmulo de Zn na parte aérea e raízes seguiu a tendência inversa do acúmulo

de P verificado em todas as variedades, com poucas oscilações. Comparando-se as concentrações de Zn das raízes/parte aérea, pode se observar que existe uma tendência de reduzir a relação com o aumento da concentração da solução nutritiva, com exceção da variedade Carioca, que aumenta até a concentração C3 e reduz drasticamente até a C6.

Da mesma forma, na comparação dos resultados, separando-se as concentrações C1 a C3 e C4 a C6, embora apresentem a mesma tendência ou semelhantes tendências tanto para P quanto para Zn nas raízes e na parte aérea, fica clara a relação de que onde se verifica os mais altos valores de concentração de P, obteve-se os menores teores de Zn e vice-versa. Assim, entende-se que, embora bem fundamentada, a crítica de Loneragan e Webb (1993) considerando a literatura sobre a interação P/Zn confusa, falha e pouco esclarecedora, por apresentarem condições de desenvolvimento experimentais fora da realidade, é muito forte.

Embora tenha sido desenvolvido em casa-de-vegetação, este trabalho foi planejado criteriosamente e, conduzido dentro de condições que simulassem, tanto quanto possível, desde soluções semelhantes àsquelas encontradas no solo, até soluções bem concentradas (C1= C6/900). Ainda há que se reafirmar a renovação constante das soluções com baixas concentrações de nutrientes (C1 a C3). Assume-se que esses cuidados tenham compensado, parcialmente, as diferenças de ambiente. Os resultados nas concentrações menores aqui estudadas, que objetivaram simular a solução do solo de onde as plantas retiram os seus nutrientes, indicam ser realmente importante esta interação na nutrição do feijoeiro. Os baixos coeficientes de variação verificados para

quase todas as avaliações estatísticas, qualificam os resultados como altamente confiáveis.

Tabela 8- Comparação entre médias para as variedades dentro de cada nível de concentração da solução nutritiva, na variável Zn (mg kg^{-1}) nas raízes do feijoeiro.

Variedades	Época	Concentrações da solução nutritiva					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	20 DAG	179,0b	215,7b	174,3b	121,0a	70,0a	65,0b
	40 DAG	457,0a	620,3a	253,0a	130,7a	86,3a	215,3a
R. Tibagi	20 DAG	345,0b	251,0b	276,3a	84,7b	52,3a	89,0a
	40 DAG	515,3a	502,0a	336,0a	167,3a	93,0a	154,3a
Carioca	20 DAG	214,7b	189,3b	290,0b	106,3b	107,7a	81,0a
	40 DAG	403,3a	382,3a	438,7a	228,0a	68,7a	57,7a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 19,889%

4.2 Comparação entre variedades e concentração de soluções nutritivas

4.2.1 Época I- 20 DAG.

A comparação entre médias de produção de MS da parte aérea (Tabela 9), não detectou diferenças estatísticas entre todas as variedades até a concentração C4, sendo que para a C5, as médias das variedades IAC-Una e da Carioca foram maiores que as

da Rio Tibagi e, na C6 o Carioca foi maior que IAC-Una e Rio Tibagi.

Embora o teste Tukey entre as variedades dentro das concentrações indique igualdade entre Carioca, Rio Tibagi e IAC-Una até a concentração C4, a análise do efeito das concentrações dentro de cada variedade para produção de MS, feita por regressão polinomial (Figura 2), coloca a variedade Rio Tibagi como a variedade com pior desempenho, e a Carioca como a de melhor, embora superada pela IAC-Una em C4 e C5.

Na análise de comparação entre médias, para as concentrações de P na parte aérea (Tabela 10), nota-se que até a concentração C4 não houve diferenças entre as variedades, apresentando a mesma tendência do MS da parte aérea. Em C5 e C6, a variedade IAC-Una foi superior.

Tabela 9- Comparação entre médias de MS (g/planta^{-1}) da parte aérea de feijoeiro, na época 20 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	0,383a	0,480a	0,480a	0,800a	3,540a	4,780b
R. Tibagi	0,376a	0,330a	0,310a	0,980a	2,030b	3,860b
Carioca	0,333a	0,660a	0,450a	0,880a	3,120a	6,980a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 29,257%

Embora a igualdade estatística entre C1 e C5, a variedade Rio Tibagi só não apresentou valores absolutos maiores

nessas duas concentrações. No entanto, a observação de ela que sempre acumulou menos MS na parte aérea (Tabela 9) é um reflexo claro da sua ineficiência em relação à variedade Carioca.

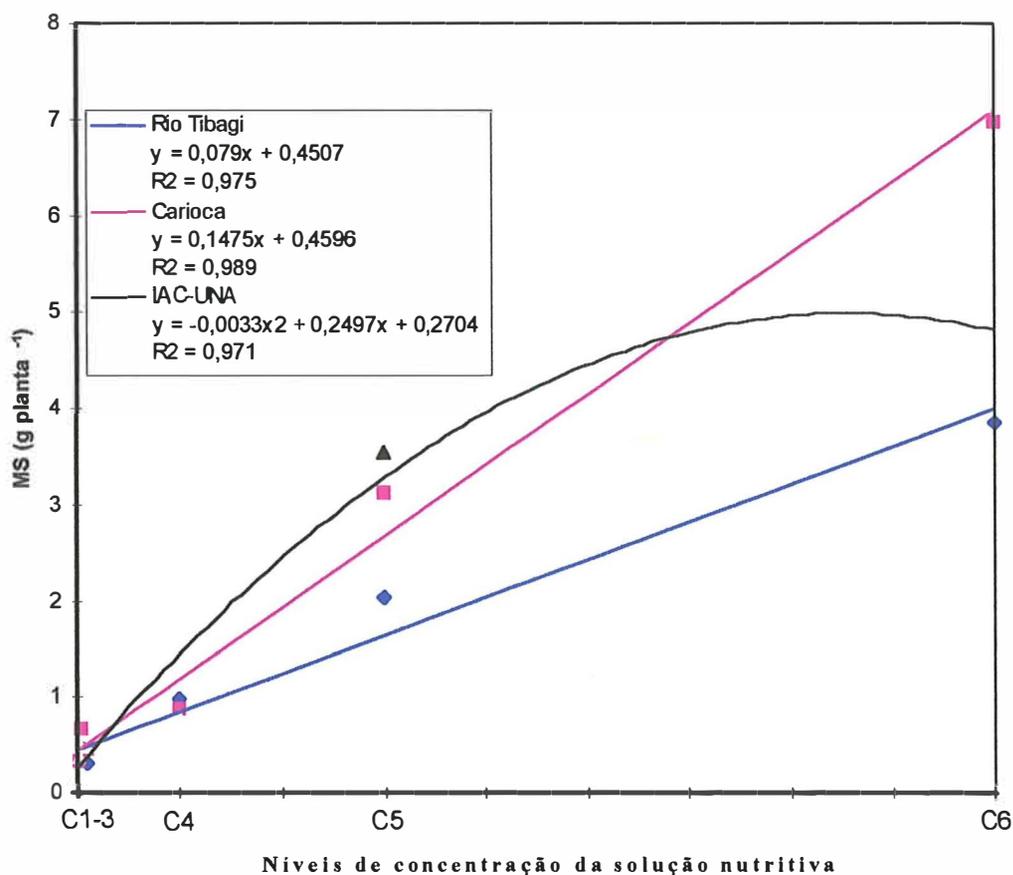


Figura 2- Produção de massa de material seco de parte aérea da parte aérea de feijoeiro (g planta^{-1}), aos 20 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

Para Thung (1990), maior produção de MS e a concentração de P na raiz, na fase inicial, não são indicativos de eficiência. Em seu trabalho, genótipos ineficientes em translocar P das raízes para a parte aérea

apresentaram maior acúmulo de MS e concentração de P na raiz e na parte aérea aos 21 DAG.

Tabela 10- Comparação entre médias de P (mg kg^{-1}) da parte aérea de feijoeiro, na época 20 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	562a	601a	634a	1368a	2543a	3123a
R. Tibagi	367a	631a	892a	1251a	999b	1531b
Carioca	554a	600a	593a	1056a	1216b	894c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 15,561%

A regressão para a concentração da solução nutritiva (Figura 3) destaca o desempenho muito superior da variedade IAC-Una nas maiores concentrações, com a Rio Tibagi e a Carioca só diferindo significativamente entre si em C6.

O teste Tukey para comparar as médias entre as concentrações de Zn na parte aérea (Tabela 11) só detectou diferenças significativas entre as variedades na concentração C3, onde a Carioca apresentou maior média e a IAC-Una a menor. Todas as variedades apresentaram valores médios nas concentrações baixas de solução nutritiva, entretanto, somente a Carioca apresentou um coeficiente de determinação razoável.

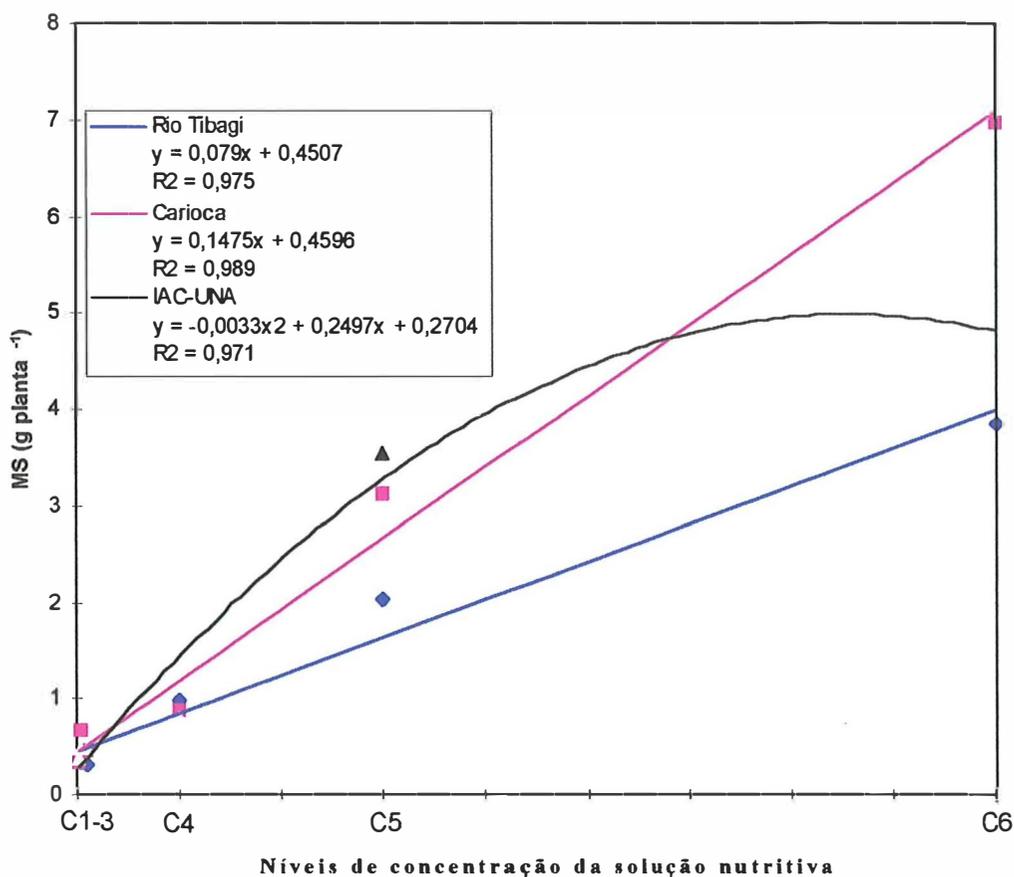


Figura 3 - Acúmulo de P (mg kg^{-1}) na massa de material seco da parte aérea de feijoeiro, aos 20 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

A regressão polinomial para o efeito das concentrações da solução nutritiva (Figura 4) destaca que o ponto de máxima para concentração de Zn na parte aérea das variedades Carioca e Rio Tibagi situa-se nas concentrações baixas, verificando-se o contrário para a IAC-Una.

McKenzie & Soper (1983) relataram que a absorção de Zn não foi afetada pela concentração de P, quando o Zn foi mantido suficientemente alto. De modo geral, esse é o resultado mais próximo ao obtido nesta pesquisa, embora apresente a

diferença de que os nutrientes tiveram suas proporções de participação na solução alteradas.

Tabela 11- Comparação entre médias de Zn (mg kg^{-1}) da parte aérea de feijoeiro, na época 20 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	56a	77a	42c	68a	70a	80a
R. Tibagi	74a	99a	70b	90a	55a	64a
Carioca	76a	91a	93a	63a	62a	84a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 15,889%

Embora a variedade IAC-Una tenha apresentado os maiores efeitos das concentrações da solução nutritiva sobre a concentração de P no tecido, verifica-se na Figura 4, que essa variedade apresentou também para Zn, uma linha de tendência de crescimento com o aumento da concentração da solução. Entretanto, o fraco coeficiente de determinação prejudica sua avaliação.

A produção de MS das raízes (Tabela 12) comportou-se de forma semelhante até a concentração C4, destacando-se as variedades IAC-Una e Rio Tibagi na concentração C5 e IAC-Una na C6, observando-se a Carioca com a pior média. A partir das concentrações mais altas, a variedade IAC-Una comportou-se com a maior capacidade de aumento de MS nas raízes (Figura 5).

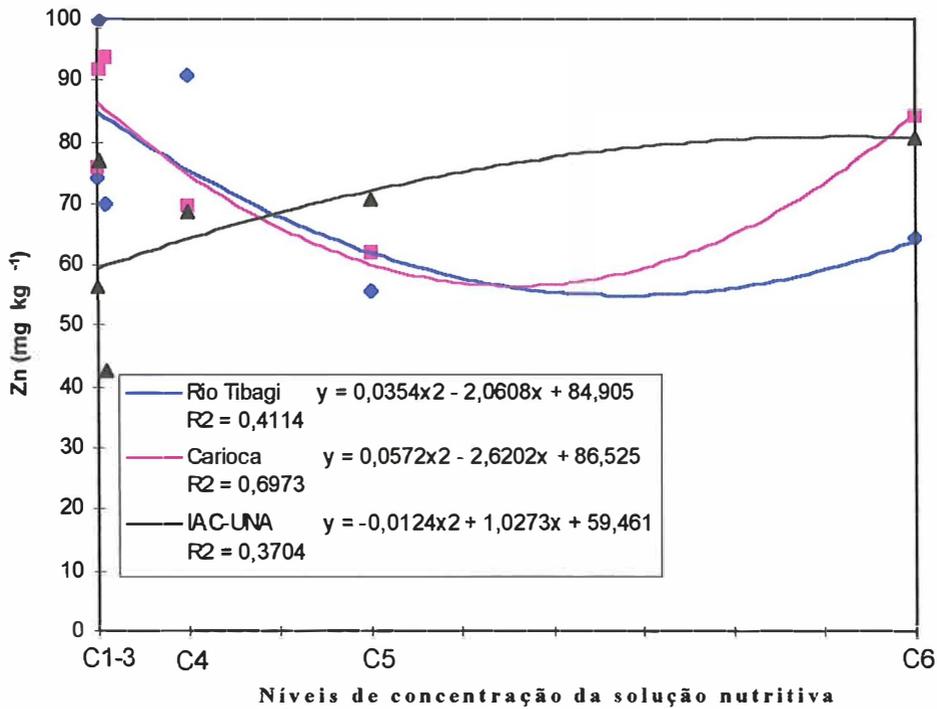


Figura 4 - Acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na massa de material seco da parte aérea de feijoeiro, aos 20 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

Tabela 12- Comparação entre médias de MS (g planta^{-1}) das raízes de feijoeiro, na época 20 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	0,32a	0,30a	0,35a	0,53a	0,88a	1,42a
R. Tibagi	0,26a	0,32a	0,26a	0,53a	0,79a	0,54c
Carioca	0,16a	0,35a	0,34a	0,45a	0,44b	0,80b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 24,848%

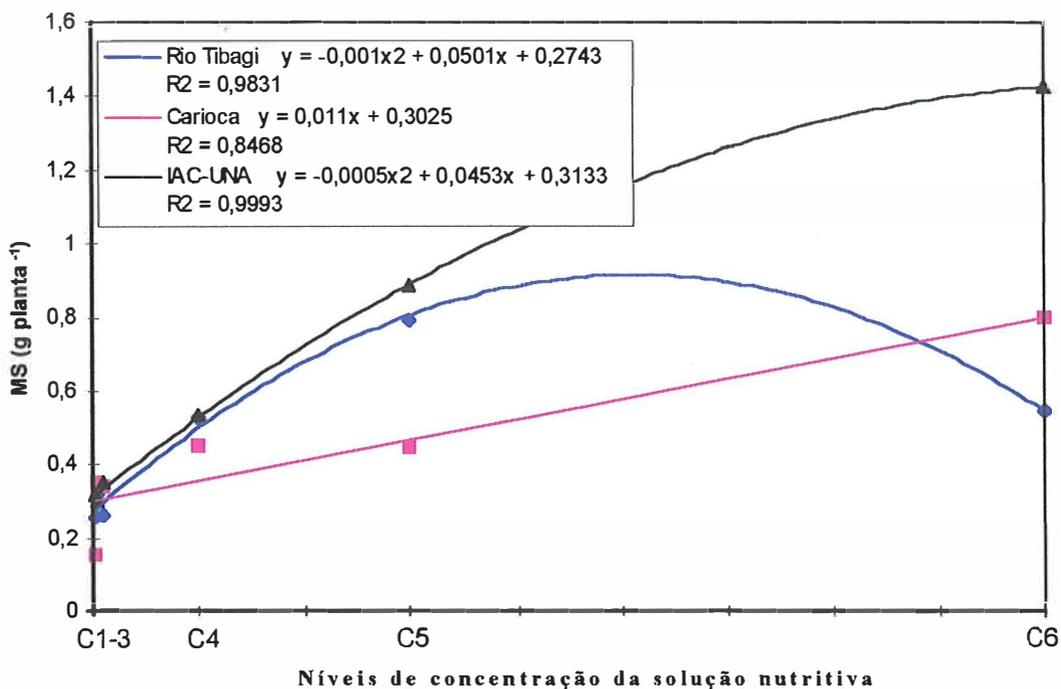


Figura 5 - Acúmulo de massa de material seco(g/planta⁻¹) das raízes de feijoeiro, aos 20 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

A comparação dos resultados de produção de MS da parte aérea com a de raízes, mostra, claramente, a variedade Carioca como a de maior produção de MS de parte aérea e de menores de raízes. Isto quer dizer menor relação raízes/parte aérea e, em última análise, reforça a hipótese de sua maior eficiência em absorver e translocar os nutrientes absorvidos, embora essa relação não seja, por si só, um parâmetro bom e definitivo para avaliar diferenças intervarietais (Amaral, 1975).

A concentração de Zn nas raízes (Tabela 13) só não apresenta diferenças significativas entre as variedades, na concentração em C6. Onde observa-se diferenças a variedade Rio Tibagi só não apresentou concentração maior em C5.

A Figura 6 apresenta a regressão polinomial para o efeito das concentrações da solução nutritiva, onde observa-se que todas as variedades apresentaram tendência de redução na concentração de Zn nas raízes com o aumento da concentração da solução, sendo a Rio Tibagi a mais prejudicada até C5.

Tabela 13- Comparação entre médias de Zn (mg kg^{-1}) nas raízes de feijoeiro, na época 20 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	179b	215ab	174b	121a	70ab	65a
R. Tibagi	345a	251a	276a	84a	52b	89a
Carioca	214b	189b	290a	106a	107a	81a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 16,266%

A comparação desses resultados com o acúmulo de P nas raízes, sugere que a variedade Rio Tibagi apresenta alguma dificuldade adicional em translocar o Zn das raízes para a parte aérea em baixas concentrações, acumulando altas concentrações nas raízes, ou em absorver o Zn em concentrações muito altas (baixas concentrações nas raízes). Da mesma forma, Longnecker & Robson (1993) discutem resultados não publicados, onde verificaram mais retenção de Zn nas raízes de plantas de *Lupinus* e soja deficientes, do que nas plantas adequadamente suplementadas. Ruano et al. (1987) propuseram a hipótese de que em feijoeiro sob vários níveis de Zn, a interação Zn-P teve lugar principalmente nas raízes, e foi menos importante do que a

interação P-Zn, assim, a proporcionalidade mantida entre os nutrientes da solução nutritiva deveria ter beneficiado mais a absorção de P do que a de Zn.

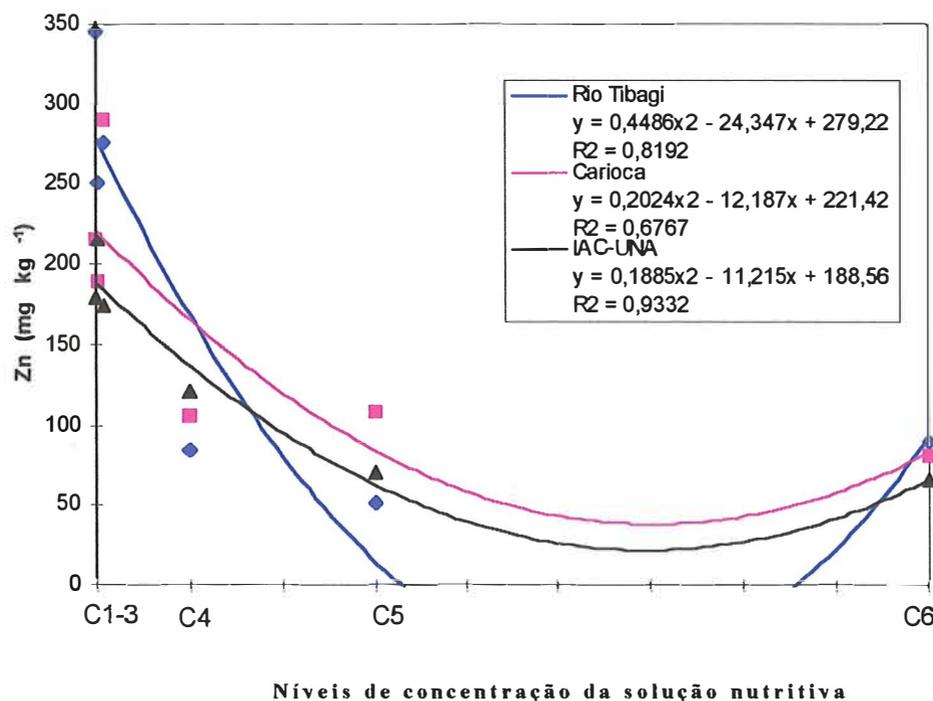


Figura 6 - Acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na massa de material seco das raízes de feijoeiro, aos 20 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

4.2.2 Época II- 40 DAG

No teste de comparação entre médias de produção de MS de parte aérea dentro de cada solução (Tabela 14), só verificou-se diferença estatística em C4 onde a variedade Rio Tibagi destacou-se com o maior acúmulo de MS e, a IAC-Una apresentou-se com os menores valores absolutos nas concentrações C4, C5 e C6. O estudo da regressão (Figura 7) evidencia para a Rio Tibagi,

valores de MS ligeiramente maiores, estando a Carioca em posição intermediária e a IAC-Una com o pior desempenho.

Como a variedade Rio Tibagi é do tipo I, de crescimento determinado, é justificável que tenha tido aumentos de MS semelhantes a os da IAC-Una e Carioca até esse momento (40DAG), entretanto, a IAC-Una, do tipo II e a Carioca, do tipo III têm comportamento diferente quanto ao acúmulo de MS e a absorção de nutrientes após esse estágio e, portanto, vão apresentar, provavelmente, diferenças que se refletirão no potencial de produção de grãos.

Tabela 14-Comparação entre médias de produção de MS(g planta⁻¹) da parte aérea de feijoeiro, na época 40 DAG dentro das variedades para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	1,21a	1,40a	2,29a	7,77b	20,52a	27,76a
R. Tibagi	1,14a	1,29a	2,05a	17,27a	23,71a	29,15a
Carioca	1,13a	1,33a	3,09a	10,12b	21,93a	28,75a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 15,193%

O ponto de acúmulo máximo de MS para as 3 variedades situa-se intermediariamente entre C5 e C6, correspondendo a 31 a 36 mg L⁻¹ de P, com coeficientes de determinação muito significativos, e que é muito próximo da concentração da solução onde verificou-se os menores acúmulos de Zn no MS aos 20 DAG.

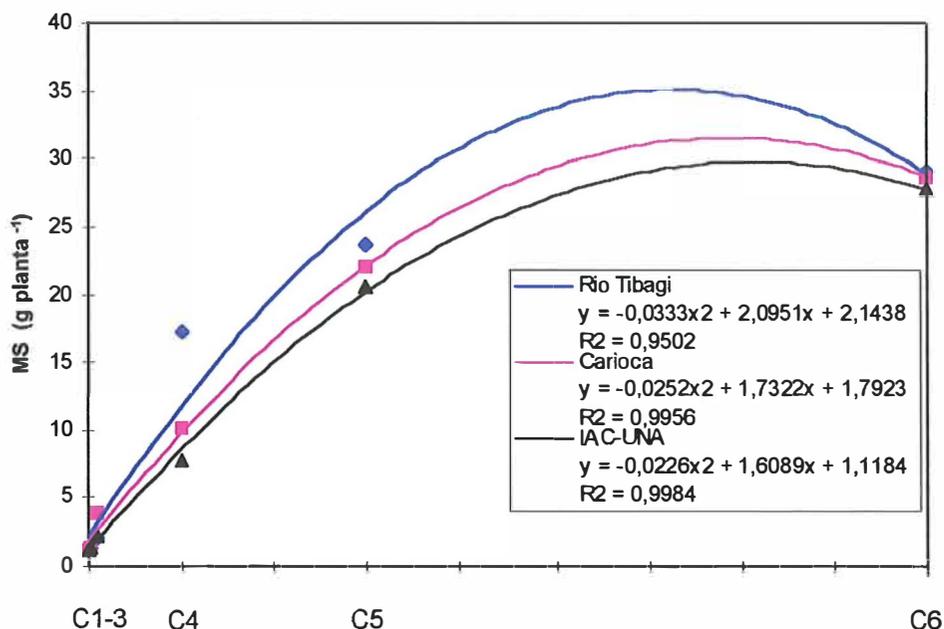


Figura 7 - Acúmulo de massa de material seco da parte aérea de feijoeiro, aos 40 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

Nessa época a concentração de P na parte aérea não apresentou interação significativa entre as concentrações da solução e as variedades. Com relação ao Zn, todas as variedades apresentaram decréscimo até a concentração de solução C5, com aumentos em C6 (Tabela 15), só apresentando diferenças em C1, onde a variedade Carioca foi superior e em C3 onde a IAC-Una apresentou maior média. Aparentemente, a concentração de Zn na MS começa a diminuir até atingir um mínimo, que ocorre praticamente junto com a máxima produção de MS, logo após cai o acúmulo de MS e volta a ter leve um leve acréscimo na concentração de Zn até C6, o que parece ser um efeito de diluição, não verificado para o P, que apresentou sempre

tendência de aumento, tanto nas raízes como na parte aérea, da solução mais diluída para a mais concentrada.

Todas as variedades apresentaram seu ponto estimado de concentração máxima de Zn na parte aérea (Figura 8) na menor concentração de nutrientes estudada e, o menor acúmulo, em concentrações da solução nutritiva correspondentes entre 25 a 27 mg L⁻¹ de P, valores muito próximos dos pontos de acúmulo máximo de MS.

Tabela 15- Comparação entre médias de Zn (mg kg⁻¹) da parte aérea de feijoeiro, na época 40 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
AC-Una	82,6b	75,6a	83,6a	30,0a	32,0a	54,3a
Tibagi	71,0b	79,0a	63,6ab	34,6a	39,0a	55,0a
Carioca	114,3a	90,6a	49,0b	39,3a	39,0a	66,6a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 17,584%

Nessa época não se verificou interação significativa entre concentrações da solução e as variedades para produção de MS nas raízes.

Para a concentração de P nas raízes, o teste de comparação entre médias (Tabela 16) só detectou diferenças estatísticas com a variedade IAC-Una, que apresentou maior valor em C6. Não obstante a igualdade estatística, é clara a tendência de

aumento na concentração de P, com o aumento das concentrações da solução nutritiva, mas a variedade Carioca apresentou uma tendência importante de manter em valores absolutos, concentrações bem menores que Rio Tibagi e IAC-Una e, com menores aumentos, verificados para cada variação de concentração da solução. Os resultados de P nas raízes, mais uma vez confirmam as teorias de Thung (1990).

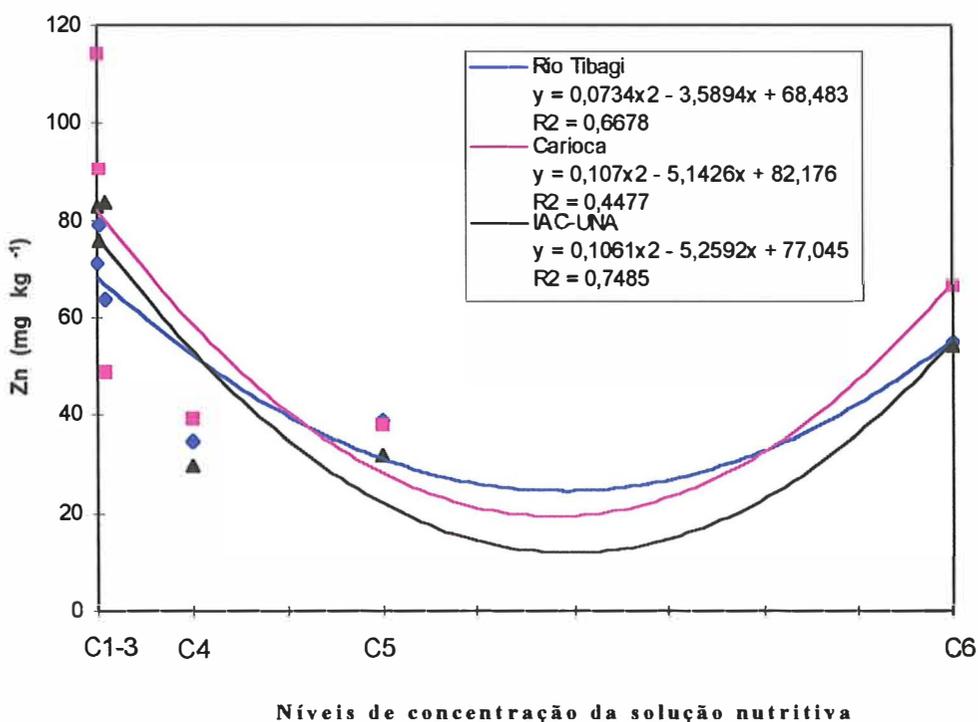


Figura 8 - Acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na massa de material seco da parte aérea de feijoeiro, aos 40 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

A variedade Carioca apresentou sempre valores absolutos menores que a Rio Tibagi e a IAC-Una, exceto em C1, embora tenha sempre produzido mais grãos que a Rio Tibagi, em

todas as concentrações da solução nutritiva. A regressão para as concentrações da solução (Figura 9), mostra as maiores concentrações de P nas raízes da Rio Tibagi até C4 e a da IAC-Una acima desta.

A concentração de Zn nas raízes apresentou, pelo teste Tukey (Tabela 17), igualdade entre as variedades nas concentrações C1, C3, C4 e C5, mas em C2 e C6 a variedade IAC-UNA foi significativamente maior. Para o teste do efeito das concentrações da solução nutritiva (Figura 10), a regressão polinomial expressa a tendência clara de decréscimo com o aumento de C1 até C5, com as variedades apresentando comportamento muito semelhante, e a elevação das concentrações em C6, onde a IAC-Una exibe os maiores valores.

Tabela 16- Comparação entre médias de P (mg kg^{-1}) das raízes de feijoeiro, na época 40 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	640a	882a	1201a	1260a	1708a	4478a
R. Tibagi	605a	1200a	1127a	1329a	2147a	2677b
Carioca	733a	746a	970a	951a	1357a	1901b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 33,86%

Em um ensaio realizado, com diferentes concentrações de P e Zn em solução nutritiva aerada, observou-se que as variedade Rio Tibagi e IAC-Una obtiveram índices de participação de 7 a 13 % do P-total das raízes como fitatos, nas concentrações

entre 1 a 100 mg L⁻¹ de P, e para a Carioca, só foi detectado 6%, para a maior concentração. Esses resultados, embora sirvam somente para especulação, porque o método de Latta & Eskin (1980) não é suficientemente preciso para esse tipo de determinação, mostram que a variedade Carioca apresenta uma característica diferencial quanto à absorção, acúmulo, transporte e aproveitamento de P, em relação às outras duas variedades estudadas.

Também fica evidente, que pode existir uma relação entre acúmulo de P e fitatos nas raízes e interação entre P e Zn, levantando uma questão que pode vir a auxiliar no entendimento da nutrição de P e Zn no feijoeiro.

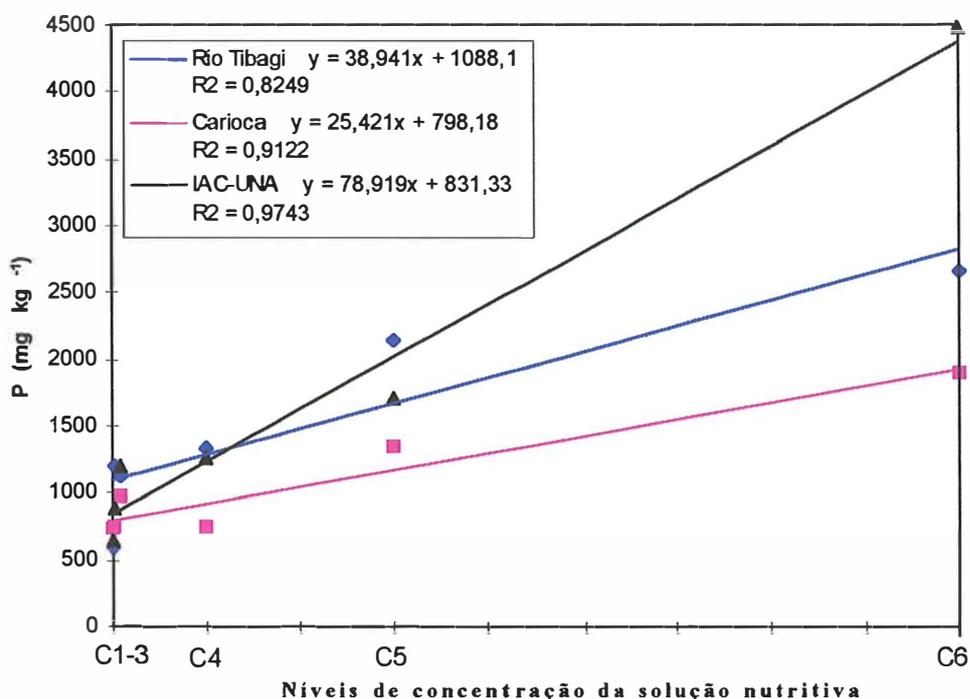


Figura 9 - Acúmulo de P (mg kg⁻¹) na massa de material seco das raízes de feijoeiro, aos 40 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

Resultados encorajadores, neste sentido, foram obtidos por Steveninck et al. (1994) trabalhando com soja e outras culturas de grão, quando encontraram Zn nas raízes ligado a fitatos. Também Campbell et al. (1991), detectaram a presença de fitatos nas raízes de alfafa, chegando a representar até 15 % do P-total das raízes. Se considerarmos que o fitato é tido como uma forma de reserva de P pela planta e, portanto, seja armazenado em órgãos de reserva, fica a dúvida da finalidade de seu aparecimento nas raízes, quando estas não tem finalidade de reserva. Essa é a mesma tendência apresentada na época de 20 DAG, e dá sustentação à hipótese da dificuldade de translocação do Zn das raízes para a parte aérea, quando em baixas concentrações na solução e dificuldade em absorver Zn, quando em altas concentrações na solução. Também pode ser resultado de interações com outros nutrientes, embora seja conveniente lembrar que a proporção entre os nutrientes não foi alterada em nenhum dos tratamentos.

Tabela 17- Comparação entre médias de Zn (mg kg^{-1}) das raízes de feijoeiro, na época 40 DAG, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	457,0a	620,3a	253,0b	130,7a	86,3a	215,3a
R. Tibagi	515,3a	502,0b	336,0ab	167,3a	93,0a	154,3ab
Carioca	403,3a	382,3c	438,7a	228,0a	68,7a	57,7b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 20,039%

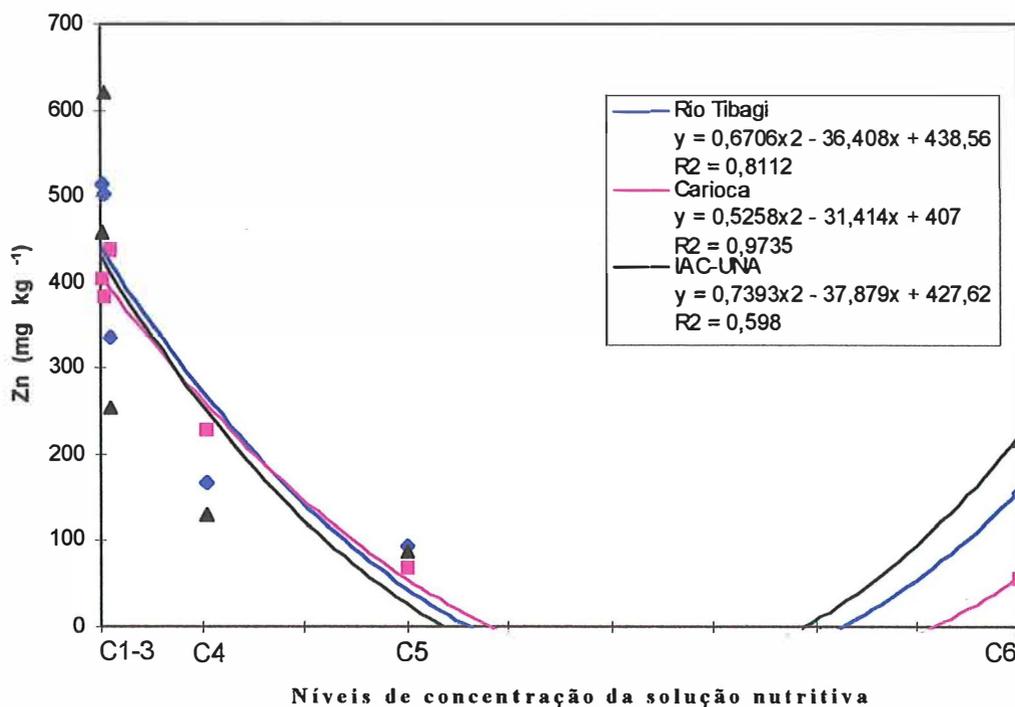


Figura 10 - Acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) na massa de material seco das raízes de feijoeiro, aos 40 DAG, em função das concentrações da solução nutritiva.

4.3 Concentração de P, fitatos, Zn, Ca, Mg e proteína nos grãos

A análise de variância dos resultados obtidos para todas as variáveis determinadas nos grãos, com exceção do Mg, apresentaram interação significativa entre as concentrações de solução e as variedades, assim procedeu-se a análise de comparação entre médias das variedades dentro de cada concentração, pelo teste de Tukey e, efetuou-se o estudo da regressão polinomial para estudar o efeito das concentrações dentro das variedades, para todas as variáveis estudadas.

Os resultados relativos à produção de grãos por planta no experimento (Tabela 18) foram submetidos à análise estatística, não para caracterizar o interesse em comparação de produtividade entre as variedades, visto que essas variedades já são bastante conhecidas em seus potenciais de produção, no entanto, são resultados interessantes, que servem aos comentários feitos com relação, principalmente, ao acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes e teores dos nutrientes nos grãos. Como era de se esperar, a variedade Rio Tibagi sempre produziu menos grãos que a Carioca, e a IAC-Una foi superior às duas outras.

A análise de regressão evidenciou a superioridade da variedade IAC-Una na produção de grãos. Todas as variedades apresentaram um ponto estimado de concentração de solução nutritiva para máxima produção de grãos, muito próximo entre elas e muito parecidos com aqueles calculados para P na parte aérea e raízes aos 20 e 40 DAG, entretanto, com produção efetiva de grãos significativamente diferentes.

Tabela 18- Produção média de grãos em feijoeiro (g planta^{-1}) em função das concentrações da solução nutritiva.

Variedades	Concentração da Solução Nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Rio Tibagi	2,5a	3,8b	6,8b	21,4c	31,8c	42,9b
Carioca	2,8a	5,5a	8,6a	27,3b	40,4b	49,8a
IAC-Una	2,9a	4,3ab	8,9a	32,7a	45,4a	53,2a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 20,039%

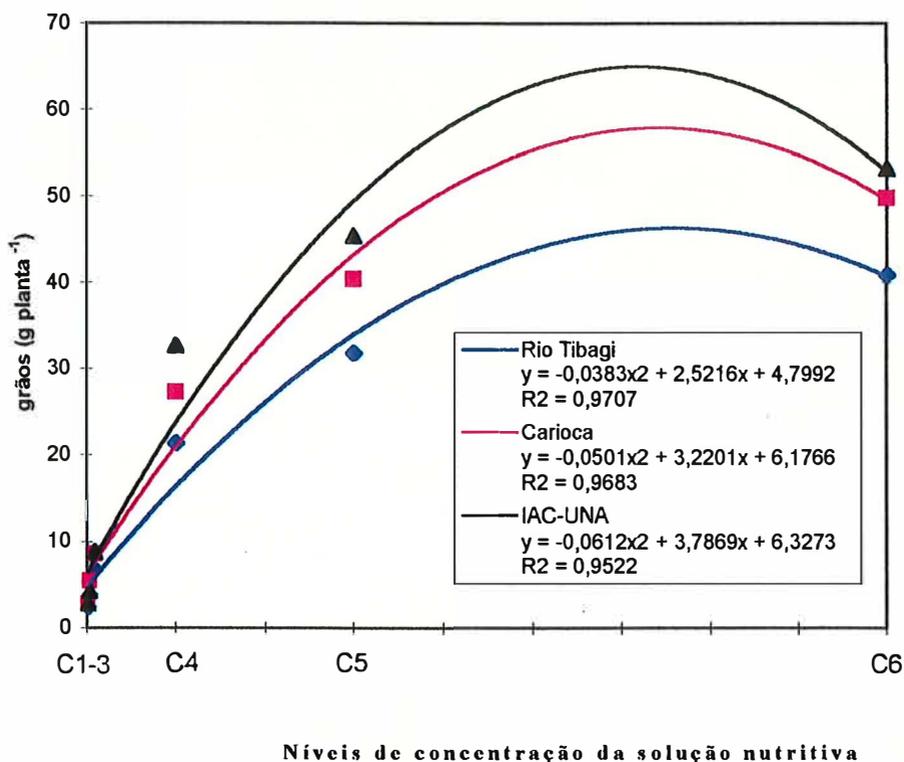


Figura 11 - Produção de grãos (g planta⁻¹) em feijoeiros cultivados em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

A concentração de P nos grãos não apresentou resposta igual de aumento para todas as variedades (Tabela 19), exceto na concentração C1, onde igualam-se Rio Tibagi e IAC-Una, a variedade Carioca sempre apresentou os menores valores.

Também é importante destacar-se que, não obstante a menor produção de grãos por parte da variedade Rio Tibagi, ela apresenta, a partir da concentração C3, teores de P estatisticamente iguais, mas menores em valores absolutos, aos da IAC-Una, que produziu mais grãos. Isso coloca a variedade IAC-Una como grande acumuladora de P nos grãos e ao mesmo tempo eficiente em relação ao P, e a Rio Tibagi como acumuladora de P

no grão, mas ineficiente em transformar o P absorvido em grãos. A regressão polinomial para as concentrações (Figura 12), mostra com clareza o comportamento das variedades.

Tabela 19 - Comparação entre médias da variável P (mg kg^{-1}) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	2470a	2613b	4050a	4567a	5135a	5497a
R. Tibagi	2531a	3439a	3999a	4349a	4997a	5347ab
Carioca	2494a	2627b	2597b	3703b	4540b	5090b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV=4,786%

Embora a Carioca apareça quase sempre como estatisticamente menor quanto ao teor de P que a Rio Tibagi, há que se considerar a diferença de produção entre elas. Então, em concordância com Thung (1990), não se considera o conteúdo de P dos grãos e MS de raízes e parte aérea, como bons parâmetros de avaliação para produtividade.

Com base unicamente no teor de P nos grãos, e considerando-se os parâmetros considerados pela pesquisa como seguros em termos nutricionais, IAC-Una e Rio Tibagi colocam-se como as melhores variedades para a alimentação, com vistas a fornecimento de P.

Semelhantemente ao que verificou-se para concentração de P nas raízes e parte aérea, os pontos calculados como de máximo acúmulo de P nos grãos, estão localizados entre

C5 e C6, com valores correspondentes de 30 a 35 mg L⁻¹ de P solução nutritiva. Essa comparação de resultados sugere que a translocação de P das raízes para parte aérea e grãos não foi significativamente alterado pelo aumento da concentração desse nutriente e dos outros na solução nutritiva. Parece que o inverso pode ser dito para o Zn, onde verificou-se os pontos de menor acúmulo, principalmente nas raízes e na parte aérea, muito próximo dessa mesma concentração da solução, o que permite supor-se que existiu uma forte interação P/Zn nas condições testadas.

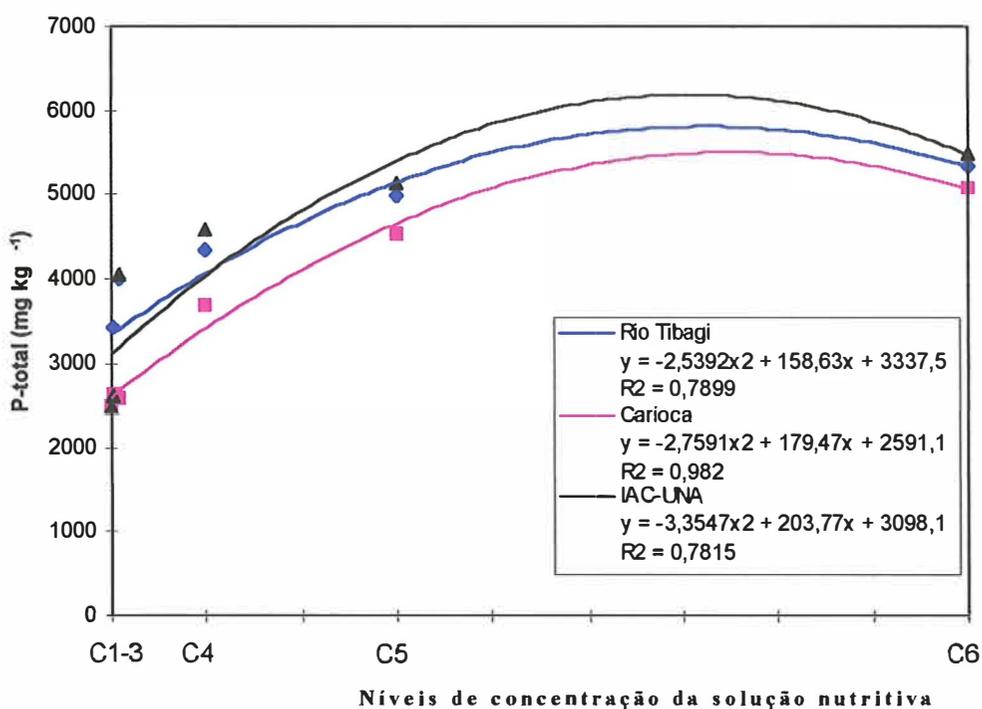


Figura 12 - Acúmulo de P (mg kg⁻¹) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

Com exceção das concentrações mais baixas, a variedade Rio Tibagi sempre apresentou as maiores médias de acúmulo de fitatos nos grãos (Tabela 20), e, exceto na concentração C1, a variedade carioca sempre teve as menores concentrações.

Na Figura 13, que ilustra a regressão polinomial para as concentrações da solução nutritiva, identifica-se a mesma tendência verificada no acúmulo de P nos grãos, com a diferença significativa de que para fitatos, a variedade Rio Tibagi apresenta maiores valores que a IAC-Una, que apresentou maiores concentrações de P nos grãos. A comparação entre os pontos de máxima concentração de P na solução, calculados para atingir a máxima concentração de P e de fitatos nos grãos, mostram uma proximidade muito grande entre todas as variedades estudadas.

Tabela 20- Comparação entre médias da variável fitatos (mg kg^{-1}) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
AC-Una	6498a	8064a	10113b	11475b	14556b	16227b
R.Tibagi	4065b	8221a	12045a	14040a	16181a	17553a
Carioca	4851b	6012b	7989c	9495c	11925c	14590c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV=5,936%

Esses resultados são de difícil comparação com outras informações de pesquisa, visto que não encontrou-se outros trabalhos com preocupação semelhante para o feijoeiro.

Trabalhando com soja, Raboy & Dickinson (1984) obtiveram respostas lineares de aumento de P nos grãos e de fitatos em função da adição de P na solução.

A comparação entre os pontos de máximo calculados para fitatos e para produção de grãos mostra que, estatisticamente, a tendência é diferente daquela verificada por Raboy et al. (1991) para trigo, onde verificaram redução dos teores de P nos grãos com o aumento de produtividade.

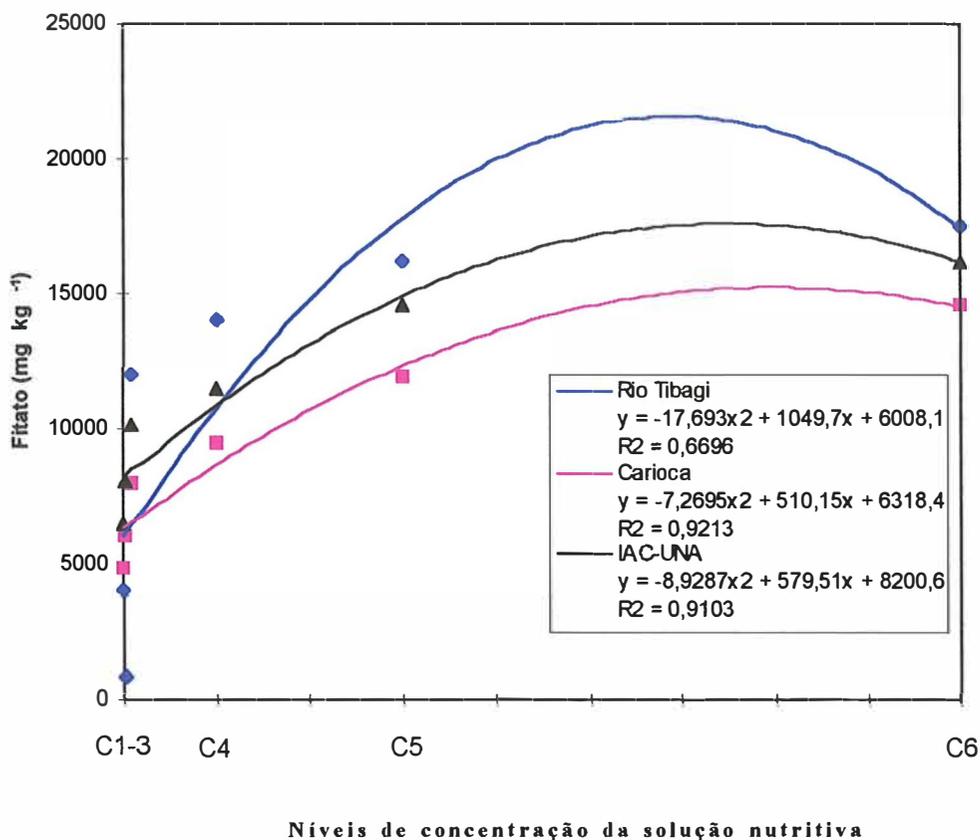


Figura 13 - Acúmulo de fitatos (mg kg⁻¹) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

A combinação entre baixa produção de grãos e alto acúmulo de P e fitatos na variedade Rio Tibagi, média produção e baixo acúmulo de P e fitatos na Carioca e, alta produção de grãos e alto acúmulo de P e fitatos para a variedade IAC-Una, estabelecem comportamentos diferenciais para as três variedades que, associados à coincidência do ponto calculado de máxima produção de grãos e acúmulo de P nos grãos, em uma mesma faixa de disponibilidade de nutrientes na solução, sugere um prejuízo da hipótese normalmente utilizada de diluição de nutrientes em maiores produtividades e, leva a concluir-se, que a Carioca realmente acumula menos P na semente e que as diferenças de concentrações de micronutrientes nos grãos, como Zn, são devidas realmente às interações entre os nutrientes.

Tabela 21-Comparação entre médias da variável P-Fitatos(mg kg^{-1}) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	1831a	2273a	2850b	3234b	4102b	4573b
R. Tibagi	1145b	2317a	3395a	3957 ^a	4560a	4947a
Carioca	1367b	1696b	2251c	2676c	3360c	3865c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV= 5,59%

Com exceção das concentrações C1 e C2, pode-se verificar no teste de comparação entre médias para P-fitatos (Tabela 21) que a variedade Rio Tibagi é a que apresenta os maiores valores, o que é confirmado pelo teste de Tukey para a

relação P-fitatos/P-total. Também são evidenciados os menores valores de P-fitatos para a variedade Carioca.

Duas hipóteses viáveis podem explicar os maiores valores de P-fitatos na variedade Rio Tibagi em relação às outras variedades (Figura 14). Pode ser uma característica varietal, acumular teores mais altos de fitatos em relação às maiores concentrações de P disponível, ou diferentemente das outras variedades, a Rio Tibagi acumula P em fitatos de diferentes graus de fosforilação. Esta última hipótese pode ser discutida de dois modos: como a variedade apresenta a característica de acumular muito P e produzir pouco grão, ineficiência que caracteriza um consumo de luxo semelhante ao de K em algumas situações, faz sentido que seja adaptada para acumular altos teores de fitatos, ou pode-se questionar se este P-fitatos é acumulado mesmo como inositol hexa e pentafosfato ou como fitatos com menores graus de fosforilação.

Tabela 22- Comparação entre médias da relação P-fitato/P-total em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

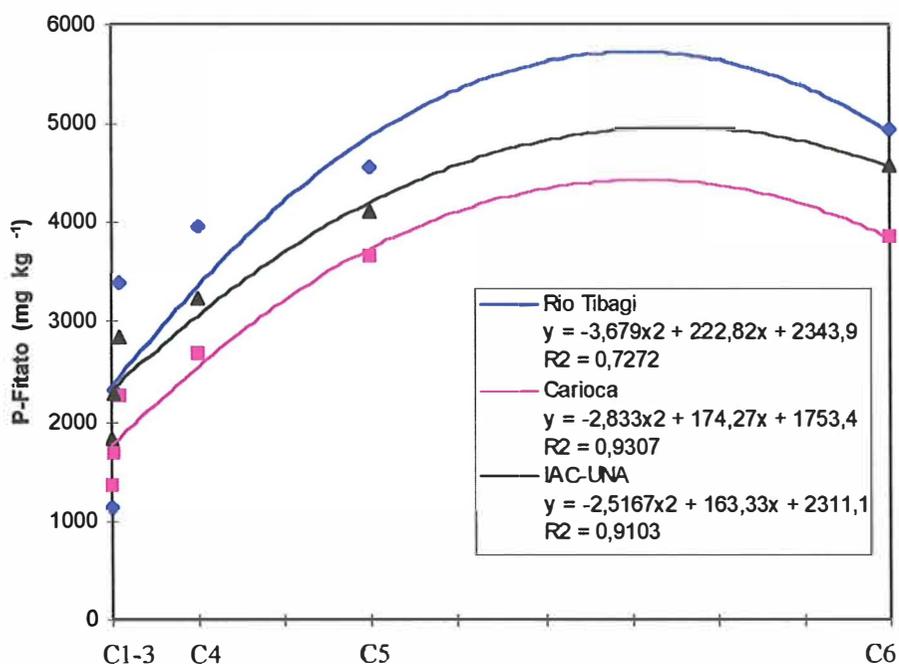
Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	0,74a	0,87a	0,71b	0,71b	0,80ab	0,83ab
R. Tibagi	0,45b	0,67b	0,85a	0,91a	0,91a	0,93a
Carioca	0,55b	0,65b	0,87a	0,73b	0,74b	0,76b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV=7,444%

Esta última consideração é de extrema importância em termos de qualidade nutricional dos grãos, pois, de acordo com os estudos, influencia, de modo geral, a biodisponibilidade dos outros nutrientes acumulados, mas a metodologia empregada neste trabalho não permite essa comprovação.

No homem, em animais e em células vivas utilizadas em estudos, o grau de ação inibitória dos IP na utilização de nutrientes é diretamente proporcional ao seu grau de fosforilação (Brune et al., 1992; Han et al., 1994). Embora o método de Latta & Eskin (1980) seja considerado eficiente para grãos novos, visto que subentende-se para eles um pequeno acúmulo de isômeros de menores graus de fosforilação, existem metodologias bem mais precisas, que separam os isômeros de menor grau de fosforilação do inositol hexafosfato, como a proposta por Lehrfeld (1994). Morris & Hill (1996) encontraram valores de 84 a 88% de IP6, 11 a 15% de IP5 e 0,8 a 1,3% de IP4 para feijões variados, e Ferrel (1978) determinou em feijões brancos, 66% de IP6, 15% como IP4 e o restante em outras formas.

Também fica claro, que a maior parte desses trabalhos não levou em consideração o nível nutricional da planta que produziu os grãos, bem como não tem o controle da origem exata dos mesmos. Desta forma fica evidenciada a importância do estudo conjunto da nutrição vegetal/qualidade do alimento.



Níveis de concentração da solução nutritiva

Figura 14 - Acúmulo de P-fitatos (mg kg^{-1}) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

O estudo da regressão polinomial do efeito das concentrações da solução sobre o P-fitatos coloca a variedade Rio Tibagi como a que apresenta os maiores valores em relação à IAC-Una, inversamente ao que se verificou para a concentração de P nos grãos (Figura 14), embora tenha sido mantida a mesma tendência de crescimento entre as variedades.

O feijão é considerado uma boa fonte de minerais como Zn, Ca e Mg (Meiners et al., 1976; McCarthy et al., 1977; Koehler et al., 1987), no entanto, faltam estudos que relacionem a

biodisponibilidade desses nutrientes com o estado nutricional da planta que produziu os grãos, ou que tenham preocupação em tentar aproximar-se do que se verificou nos diferentes sistemas de manejos e/ou diferentes níveis tecnológicos de produção.

No teste de comparação entre médias das variedades para a concentração de Zn nos grãos (Tabela 22), temos nas concentrações C1 e em C4, C5 e C6, as 3 doses mais altas, a Rio Tibagi com as mais altas concentrações, e a IAC-Una é a que apresenta, quase sempre, os valores absolutos mais baixos, embora em igualdade estatística com a Carioca ou a Rio Tibagi.

Tabela 23- Comparação entre médias de Zn (mg kg^{-1}) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	35,49a	29,11c	36,06b	28,59b	27,78a	25,42a
R. Tibagi	37,35a	39,22b	40,75ab	43,59a	29,60a	27,73a
Carioca	35,18a	50,99a	45,72a	33,84b	27,78a	25,88a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. 8,388%

A regressão polinomial para as concentração das soluções, evidencia bem a tendência de redução nos teores de Zn nos grãos (Figura 15), com o aumento das concentrações até C5 e novo aumento nos teores, para todas as variedades, em C6. Essa variação reflete-se na relação molar fitatos/Zn.

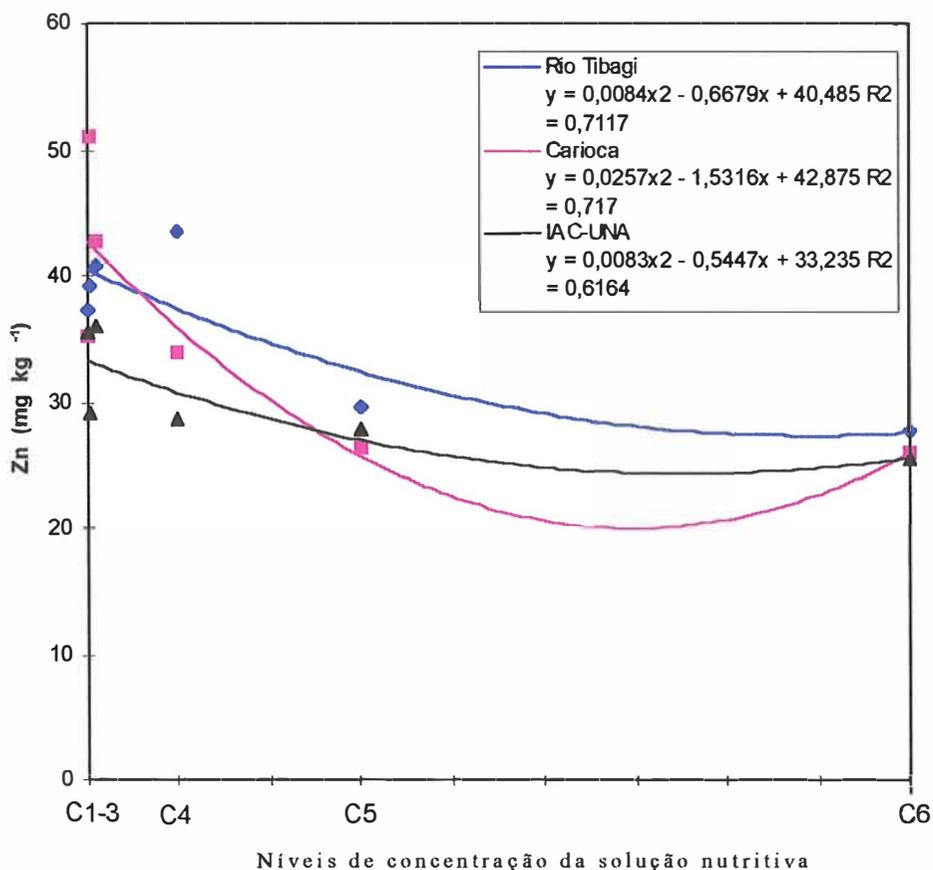


Figura 15 - Acúmulo de Zn (mg kg^{-1}) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

A relação molar fitatos/Zn, que é considerada de alta importância em termos de biodisponibilidade do Zn e também do Ca em alimentos de origem vegetal (Lo et al., 1981; Sandstrom et al., 1987a; Morris & Ellis, 1989), foi afetada pelo aumento da concentração da solução nutritiva, conforme a Tabela 24.

No teste de Tukey para variedades dentro das doses, observa-se que a variedade IAC-Una esteve sempre entre as médias mais altas e a Carioca esteve sempre em valores estatisticamente iguais ou menores do que a variedade Rio Tibagi, entretanto,

exceto para a Rio Tibagi na concentração C1 e o Carioca em C1 e C2, a relação molar fitatos/Zn sempre esteve muito acima dos valores considerados seguros em termos nutricionais.

Tabela 24- Comparação entre médias da relação molar fitato/Zn em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	18,1a	27,6a	27,8a	39,8a	52,1a	63,2a
R. Tibagi	10,8b	20,8b	29,3a	31,9b	54,4a	62,8a
Carioca	13,7ab	11,9c	18,6b	27,9b	44,9b	56,2b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV=9,705%.

A regressão polinomial para as concentrações da solução nutritiva (Figura 16), mostra que nas concentrações C1, C2 e C3 a variedade IAC-Una teve valores ligeiramente maiores que a Rio Tibagi, e que nas doses altas inverteu-se o quadro. A Carioca manteve-se sempre com valores bem menores que as demais. Aqui inverte-se a avaliação e, a Carioca com menores teores de P nos grãos coloca-se em melhor avaliação de biodisponibilidade de P e Zn para a alimentação.

A comparação dos pontos de máximo acúmulo de P, fitatos, P-fitatos e relação molecular fitatos/Zn, identifica que, para as 3 variedades de feijão e para estas variáveis observadas a concentração da solução nutritiva intermediária entre C5 e C6, correspondente a aproximadamente 30 a 35 mg L⁻¹ de P, foi crítica.

O Ca também foi um elemento que apresentou tendência de decréscimo com o aumento da concentração da solução (Tabela 25).

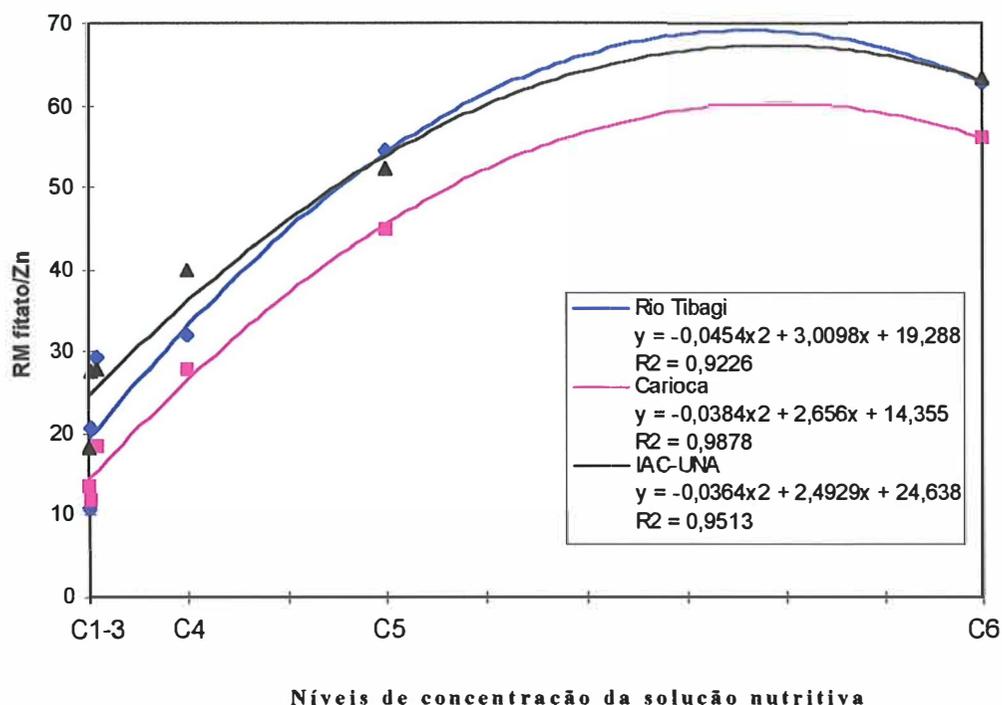


Figura 16 - Relação molar fitato/Zn nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

A variedade IAC-Una teve sempre valores significativamente menores que a Rio Tibagi e também que a Carioca, com exceção da concentração C1. Todas as variedades apresentaram valores razoavelmente estáveis até C4, a partir da qual, todas tiveram reduções drásticas nos teores. Pela equação de regressão calculada para as concentrações da solução nutritiva, visualiza-se melhor o comportamento das variedades em relação ao acúmulo de Ca nos grãos (Figura 17). Os menores valores de Ca

nos grãos, verificados para o IAC-Una, serão de extrema importância na relação molar fitatos/Ca.

Tabela 25- Comparação entre médias de Ca (mg kg^{-1}) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	1837b	1493b	1467b	2143b	1373c	643b
R. Tibagi	2670a	2067a	2163a	2573a	2027b	1157a
Carioca	1903b	1847a	2373a	2623a	2430a	953a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV= 7,589%

Como resultado dessa tendência de redução mais intensa dos teores de Ca na variedade IAC-Una, a relação molar fitatos/Ca apresenta para ela incrementos muito maiores (Tabela 26), o que é indesejável do ponto de vista nutricional. Segundo Lonnerdal et al. (1989), quando a relação molar fitatos/Ca é menor que 1, o prejuízo no aproveitamento do Ca é muito pequeno ou pode não ocorrer, e para Tompson (1989), alto Ca potencializa o efeito da deficiência de Zn em dietas ricas em fitatos. Independentemente da interpretação dos resultados de biodisponibilidade do Ca apresentados, os baixos teores acumulados desse nutriente na variedade IAC-Una, pode ser considerado, como um resultado do melhoramento, sem acompanhamento da avaliação e da visão crítica do ponto de vista de nutrição humana. É evidente, que esta variedade pode, em produção a campo, apresentar respostas um pouco diferentes desta

obtida, embora tenha-se procurado proporcionar condições de absorção de nutrientes o mais próximas possível da realidade do solo.

Tabela 26- Comparação entre médias da relação molar fitato/Ca em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedades	Concentrações da solução nutritiva					
	C1	C2	C3	C5	C5	C6
IAC-Una	0,21a	0,33a	0,42a	0,33a	0,65a	1,56 ^a
R. Tibagi	0,09a	0,24a	0,33ab	0,32a	0,48a	0,92b
Carioca	0,15a	0,20a	0,20b	0,22a	0,30b	0,93b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Médias de 3 repetições. CV= 19,147%

Para o Mg nos grãos não ocorreu interação das concentrações da solução nutritiva e as variedades, como também não houve diferença significativa entre as variedades, mas todas mostraram tendência de aumento dos teores acumulados até a concentração C5 e um leve decréscimo em C6. Os valores observados de 1970 a 2323 para a Rio Tibagi, de 1930 a 2290 para a Carioca e 1713 a 2250 mg kg⁻¹ de Mg para a IAC-Una, para menor e maior valores observados, respectivamente, estão, de modo geral, em concordância com os observados por outros pesquisadores (Moraghan & Grafton, 1997) e maiores do que os obtidos por outros (McCarthy et al., 1977; Meiners et al., 1976; Koehler et al., 1987).

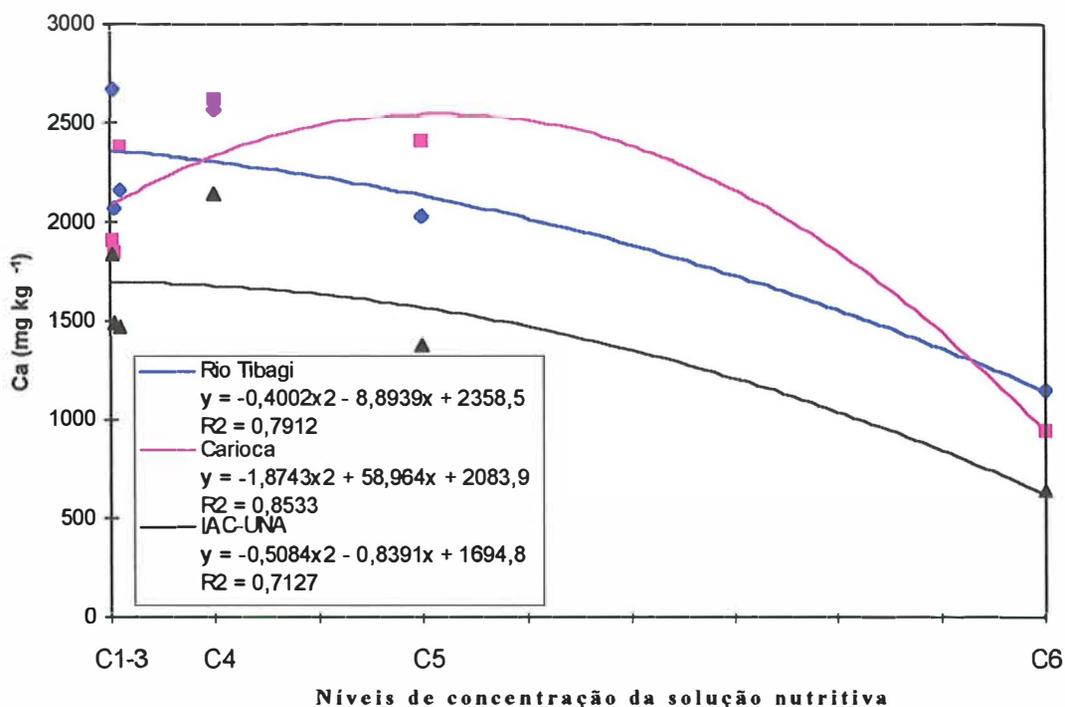


Figura 17 - Acúmulo de Ca (mg kg⁻¹) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

Com exceção das concentrações C2 e C3, onde a variedade Carioca apresentou teores de proteína total menores que a Rio Tibagi, as variedades não diferiram estatisticamente em todas as concentrações da solução nutritiva (tabela 27).

As variações dos teores percentuais de proteína total em feijão, relatadas na literatura variam muito. Koehler et al. (1987) determinaram valores desde 19 até 28,7% em trinta e seis variedades. Durigan et al. (1987) obtiveram valores de 23 a 29% em doze variedades brasileiras, entre elas a Carioca, com 23%.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são, em média, menores do que os obtidos por outros pesquisadores, mesmo considerando as mais altas concentrações da solução nutritiva. Raboy et al. (1984 e 1991), trabalhando respectivamente com trigo e soja, obtiveram altas correlações para P-total, P-fitatos e proteína total, e sugerem que a seleção contra P-total e fitatos pode trazer surpresas desagradáveis quanto a proteína total.

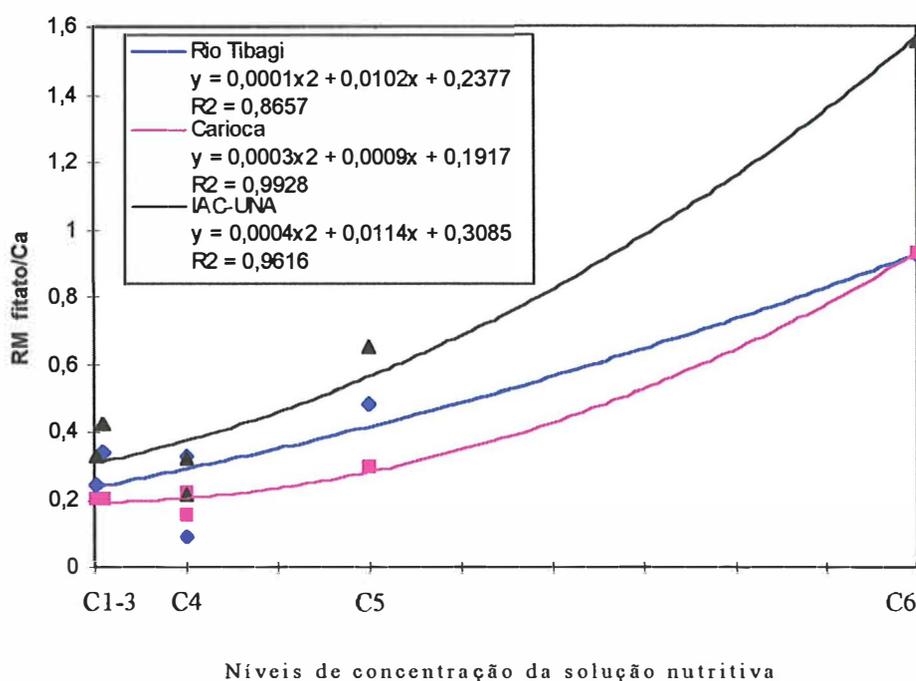


Figura 18 - Relação molar fitato/Ca nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

Tabela 25- Comparação entre médias de teor de proteínas (%) em grãos de feijão, dentro das variedades, para cada concentração da solução nutritiva.

Variedade	C1	C2	C3	C4	C5	C6
IAC-Una	17,88a	20,57a	18,79b	19,58a	21,76a	23,42a
R. Tibagi	18,79a	20,05a	21,96a	18,56a	20,56a	23,26a
Carioca	19,74a	15,95b	18,79b	18,36a	19,02a	22,66a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente no intervalo de 95% de confiança pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. CV= 7,46 %

A análise de regressão (Figura 19), mostra que a variedade Carioca teve sempre menores teores de proteína total em relação à Rio Tibagi e à IAC-Una, e revela uma leve tendência de elevação dos teores de proteína total, com o aumento da concentração da solução nutritiva. Como os valores de proteína total variam muito pouco nas 3 concentrações menores da solução nutritiva, pode-se supor que o melhoramento do feijoeiro com vistas a reduzir os teores de fitatos nos grãos, inclusive com menores teores de P-total, pode ser alcançado, sem grandes prejuízos e muito significativos prejuízos para os teores de proteína, em discordância com os resultados obtidos por Raboy et al. (1984 e 1991), em trabalhos com cereais.

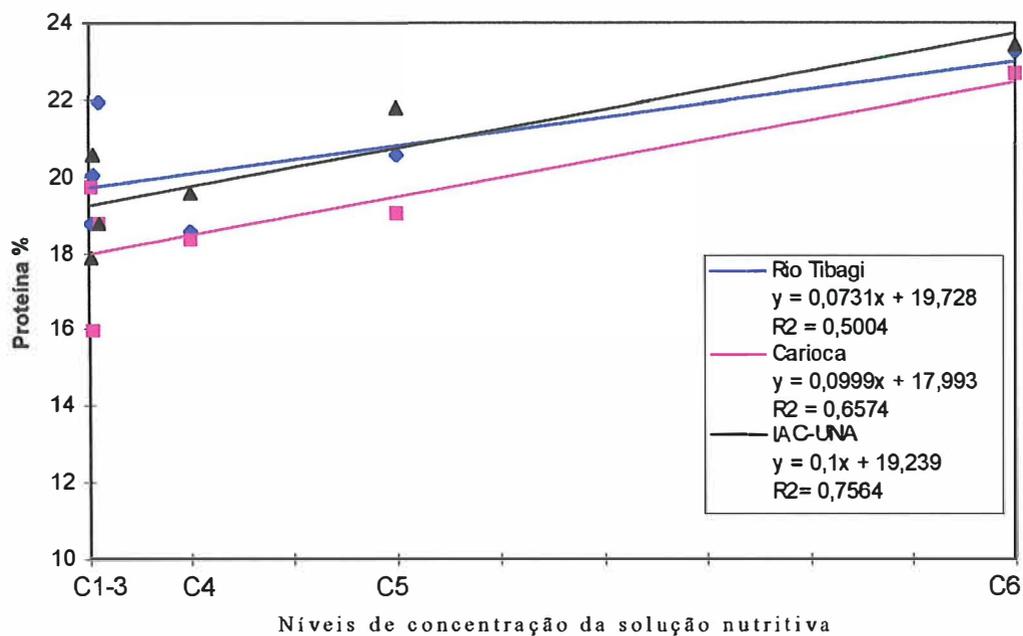


Figura 19 - Proteína total (%) nos grãos de feijão de plantas cultivadas em areia, em função das concentrações da solução nutritiva.

5 CONCLUSÕES

Com base nas condições de condução do experimento, e nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As variedades apresentaram comportamento diferenciado quanto a absorção de P e Zn nas diferentes concentrações de solução nutritiva estudadas;

- Dentre as variedades, a Rio Tibagi foi a menos eficiente em transformar P absorvido em produção de grãos;

- A concentração de solução nutritiva correspondente a 30 mg L^{-1} de P, onde se situam os pontos calculados de máxima produção e de teores de P nos grãos, também é aquela que proporcionou os maiores teores de fitatos e os os menores teores de Zn nos grãos;

- Os altos teores de P e fitatos verificados, tanto na variedade com menor como na com maior produção, sugerem que o melhoramento do feijoeiro para redução dos teores de fitatos nos grãos pode ser alcançado sem prejuízos na produtividade;

- O teor de proteína total apresentou, para todas as variedades, tendência de aumentar linearmente com o aumento da concentração da solução nutritiva;

- Os pequenos aumentos verificados para os teores de proteína total, em função do aumento da concentração da solução nutritiva, sugerem que o melhoramento de feijão para tolerância a baixas disponibilidades de P não trarão grandes prejuízos aos teores de proteína total do grão;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L.D.; LEITÃO FILHO, H.F.; MIYASAKA, S.
Características do feijão Carioca, um novo cultivar.
Bragantia, v.30, XXXIII-XXXVIII, 1971.

AMARAL, F.A.L. Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e potássio de 104 variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracica, 1975. 111p. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BRUNE, M.; ROSSANDER-HULTÉN, L.; HALLBERG, L.;
GLEERUP, A ; SANDBERG, A S. Iron absorption from bread in humans: Inhibiting effects of cereal fiber, phytate and inositol phosphates with different numbers of phosphates groups.
Journal of Nutrition, v.122, n.2, p.442-449, Feb., 1992.

CAMPBELL, M.; DUNN, R.; DITTERLINE, R.; PICKETT, S. &
RABOY, V. Phytic acid represents 10 to 15% of total phosphorus in alfafa root and crown. **Journal of Plant Nutrition**, v.14, n.9, p.925-937, Sept., 1991.

- CHERYAN, M. Phytic acid interactions in food systems. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.13, n.4, p.297-336, Dec., 1980.
- COSGROVE, D.J. The chemistry and biochemistry of inositol polyphosphates. **Revue of Pure Applied Chemistry**, v.16, n.2 p.209-221, Feb., 1966.
- DURIGAN, J.F.; SGARBIERI, V.C.; BULISANI, E.A .Protein value of dry beans cultivars: Factors interfering with biological utilization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.35, n.5, p.694-698, Sept./Oct., 1987.
- ERDMAN Jr., J.W. Oilseed phytates: Nutritional implications. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.56, n.8, 736-741, Aug., 1979
- ERDMAN Jr., J.W. Bioavailability of trace minerals from cereals and legumes. **Cereal Chemistry**, v.58, n.1, p.21-26, Jan/Feb., 1981.
- FERREL, R.E. Distribution of bean and wheat inositol phosphate esters during autolysis and germination. **Journal of Food Science**, v.43, n.2, p.563-565, Mar-Apr., 1978.
- GUSTAFSSON, E.L.; SANDBERG, A.S. Phytate reduction in brown beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, v.60, n.1, p.49-152, Jan./Feb., 1995.

- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H. & BLANCO, G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, v.26, n.30, p.381-391, Set., 1971.
- HAN, O ., FAILLA, M.L.; HILL, A .D.; MORRIS, E.R.; SMITH, J.C. Inositol phosphates inhibit uptake and transport of iron and zinc by a human intestinal cell line. **Journal of Nutrition**, v.124, n.2, p. 580-587, Feb., 1994.
- HOAGLAND, O R.; ARNON, O I. **The water-culture method for growing plants without soil**. California, Agricultural Experimental Station, 1950.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **IAC-UNA e IAC-Maravilha: cultivares de feijoeiro**. Campinas, s.d., 1v.
- ISAAC, R.A.; & JOHNSON, W.C. Collaborative study of wet and dry ashing techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of American Oil Association of Chemists**, v.58, n.3, p.436-440, May, 1975.
- JAFFÉ, W.G. Protein digestibility and trypsin inhibitor activity of legume seeds. **Proceedings of Society of Experimental Biological Medicine**, n.75, v.1, p.219-220, 1950.

- KOEHLER, H.H.; CHANG, C.H.; SCHEIER, G.; BURKE, D.W. Nutrient composition, protein quality, and sensory properties of thirty-six cultivars of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, v.52,n.5, p.1335-1340, Sept./Oct., 1987.
- LATTA, M.; ESKIN M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. V.28, n.6, 1313-1315, june, 1980.
- LEHRFELD, J. HPLC Separation and quantification of phytic acid and some inositol phosphates in foods : Problems and solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, n.12, p.2726-2731, Dec., 1994.
- LIM, P.E.; TATE, M.E. The phytases. I. Lysolecithin-activated phytase from wheat bran. **Biochimica and Biophysica Acta**, v.250, n.E-36, p.155-164, 1971.
- LOLAS, G. & MARKAKIS, P. Phytic acid and other phosphorus compounds of beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, n.1, p.13-19, Jan./Feb., 1975.
- LONERAGAN, J.F.; GROVE, T.S.; ROBSON; A D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, n.4, p.966-972, July/Aug., 1979.

- LONERAGAN, J.F.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; ADUAYI, E.A; TENGAH, A; LAZAR, V.A; AND CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, n. , p.345-352, 1982.
- LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants In: ROBSON, A. D. **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993, p.119-134.
- LONGNECKER, N.E.; ROBSON, A .D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A .D. **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993, p.79-92.
- LÖNNERDAL, B.; SANDBERG, AS.; SANDSTRÖM, B.; KUNZ,C. Inhibitory effects of phytic acid and other inositol phosphates on zinc and calcium absorption in suckling rats. **Journal of Nutrition**, v.119, n.1, p.211-214, Jan., 1989.
- LO, S.G.; SETTLE, S.L.; STEINKE, F.H.; HOPKINS, D.T. Effect of phytate:zinc molar ratio and isolated soybean protein on zinc bioavailability. **Journal of Nutrition**, v.111, n.10, p.2223-2235, Oct., 1981.
- LYNCH, J.; LÄUCHLI, A. & EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. **Crop Science**, v.31, n.1, p.380-387, Mars/April, 1991.

MA, Y.; BLISS, F. A. Seed proteins of common beans. **Crop Science**, v.18, n.2, p.431-437, Mars/April, 1978.

MAGA, J.A. Phytate: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.30, n.1, p.1-9, Jan./Feb., 1982.

MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: I Simpósio Brasileiro de Feijão. Campinas. 1971. **Anais**. Campinas, IAC, 1972. p.209-242.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A . **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba.1989. p.201.

MARTÍN-CABREJAS, M.A; ESTEBAN, R.M.; PEREZ, P.; MAINA, G.; WALDRON, K.W. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.8, p.3223-3227, Aug., 1997.

McCANCE, R.A.; WIDDOWSON, E.M. Phytin in human nutrition. **Biochemical Journal**, v.29, n.11, p.2694-2699, Nov., 1935.

- McCARTHY, M.A.; MURPHY, E.W.; RITCHEY, S.J.; WASHBURN, P.C. Mineral content of legumes as related to nutrition labeling. **Food Technology**, v.31, n.2, p.86-90, Feb., 1977.
- McKENZIE, D.B. & SOPER, R.J. Zinc Regulation in blackbeans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.14, n.8, p.709-725, Aug., 1983.
- MEINERS, C.R.; DERISE, N.L.; LAU, H.C.; RITCHEY, S.J.; MURPHY, E.W. The content of nine mineral elements in raw and cooked mature dry legumes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.24, n.6, p.1126-1130, June, 1976.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 593p.
- MORAGHAN, J.T. Accumulation of zinc, phosphorus and magnesium by navy bean seed. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.7, p.1111-1125, June, 1994.
- MORAGHAN, J.T.; GRAFTON, K. Accumulation of calcium in beans cultivars differing in seed size. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.74, n.2, p.251-256, June, 1997.

- MORRIS, E.R.; ELLIS, R. Effect of dietary phytate/zinc molar ratio on growth and bone zinc response of rats fed semipurified diets. **Journal of Nutrition**, v.110, n.5, p.1037-1045, May, 1980.
- MORRIS, E.R.; ELLIS, R. Usefulness of the dietary phytic acid/zinc molar ratio as an index of zinc bioavailability to rats and humans. **Biological Trace Elements Research**, v.19, n.1, p.107-117, 1989.
- MORRIS, E.; HILL, D.A . Inositol phosphate content of selected dry beans, peas, and lentils, raw and cooked. **Journal of Nutrition**, v.8, n.1, p.3-11, 1996.
- MURPHY, L.S.; ELLIS, R.; ADRIANO, D.C. Phosphorus-micronutrient interaction effects on crop production. **Journal of Plant Nutrition**, v.3,n.1-4, p.593-613, Jan., 1981.
- OLSEN, S.R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America Inc., 1972. p.243-264.
- OSBORN, T.C. Genetic control of bean seed protein. **Critical Review in Plant Science**, v.7, n.1, p.93-98, July, 1988.
- PECK, N.H.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; MacDONALD, G.E. Nutritional quality of vegetable crops as affected by phosphorus and zinc fertilizers. **Agronomy Journal**, v.72, n.3, p.528-534, May/June, 1980.

- RABOY, V. The biochemistry and genetics of phytic acid synthesis in higher plants. . In: **Inositol metabolism in plants**. MORRE, E.J.; BOSS, W.S. & LOEWUS, F.A. p.56-76, 1990.
- RABOY, V. & DICKINSON, D.B. Effect of phosphorus and zinc nutrition on soybean seed phytic acid and zinc. **Plant Physiology**, v.75, n.4, p.1094-1098, Aug., 1984.
- RABOY, V.; DICKINSON, D.B.; BELOW, F.E. Variation of phytic acid, zinc, calcium, magnesium, and protein among lines of *Glycine max* and *G. soja*. **Crop Science**, v.24, n.3, p.431-434, May/June, 1984.
- RABOY, V.; NOAMAN, M.H.; TAYLOR, G.A., AND PICKETT, S.G. Grain phytic acid and protein are highly correlated in winter wheat. **Crop Science**, v.31, n.3, p.631-635, May/June, 1991.
- RABOY, V.; HUDSON, S.J.; DICKINSON, D.B.. Reduced phytic acid content does not have an adverse effect on germination of soybean seeds. **Plant Physiology**, v.79, n.1, p.323-325, Sept., 1985.
- REYES-MORENO, C.; PAREDES-LOPES, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans - A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.33, n.3, p.227-286, May/June, 1993.

- ROSOLEM, C.A . Nutrição e adubação do feijoeiro sob pivô central. In: V Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, Goiânia, 1996. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA, 1997, p.265-268.
- ROMERO, J.; RYAN, D.S. Suscetibility of the major protein storage of the beans, *Phaseolus vulgaris* L., to *in vitro* enzymatic hydrolisis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.26, p.784-789, 1978.
- RUANO, A; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, Ch. Zinc toxicity-induced variation of mineral element composition in hydroponically grown bush bean plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, n.4, 373-384, Jan., 1987.
- SAFAYA, N. M. Phosphorus-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, n.5, p.719-722, Sept./Oct., 1976.
- SANDBERG, A S.; CARLSSON, N.G.; SVANBERG, U. Effects of inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates on *in vitro* estimation of iron availability. **Journal of Food Science**, v.54, n.1, 159-161, Jan., 1989.
- SANDSTRÖM, B.; ALMGREM, A; KIVISTÖ, B.; CEDERBLAD, Ä. Zinc absorpction in humans from meals based on rye, barley, oatmeal, triticale and whole wheat. **Journal of Nutrition**, v.117, n.11, p.1898-1902, Nov., 1987a.

SANDSTRÖM, B.; KIVISTÖ, B.; CEDERBLAD, Å. Absorption of zinc from soya protein meals in humans. **Journal of Nutrition**, v.117, n.2, p.321-327, Feb., 1987b.

SGARBIERI, V.C. Composition and nutritive value of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **World Review of Nutritional Dietetics**, v.60, n.2, p.132-198, July, 1989.

SGARBIERI, V. C.; ANTUNES, P. L. & ALMEIDA, L. D. Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science**, v.44, n.5, p.1306-1311, Sept./Oct., 1979.

SGARBIERI, V.C.; GARRUTI, R.S. A review of some factors affecting the availability and the nutritional and technological quality of common beans, a dietary staple in Brazil. **Canadian Institute of Food Technology Journal**, v.19, n.5, p.202-209, May, 1986.

SIMONS, P.C.M.; VERSTEEGH, H.A.J.; JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A.; SLUMP, P.; BOS, K.D.; WOLTERS, M.G.E.; BEUDEKER, R.F. & VERSCHOOR, G.J. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. **British Journal of Nutrition**, v.64, n.2, p.525- 540, Sept., 1990.

- SINGH, J.P.; KARAMANOS, R.E. & STEWART J.W.B. The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, v.68, n.2, p.345-358, May, 1988.
- SOARES, A.G. Consumo e qualidade nutritiva. In: V Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, Goiânia, 1996. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA, 1997, p.73-79.
- STEVENINCK, R.F.M. VAN; BABARE, A.; FERNANDO, D.R. & VAN STEVENINCK, M.E. The binding of zinc in root cells of crop plants by phytic acid. **Plant and Soil**. v.155/156, Special Issue, p.525-528, Oct., 1994.
- TEZOTO, S.S.; SGARBIERI, V.C.. Protein nutritive value of a new cultivar of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, n.4, p.1152-1156, April, 1990.
- THOMPSON, L.U. Nutritional and physiological effects of phytic acid. In: GRAF, E.; **Phytic Acid Chemistry and Applications**. Minneapolis: Pilatus Press, 1989, p.411-428.
- THUNG, M. Phosphorus: A limiting nutrient in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production in Latin America and field screening for efficiency and response. In: **Genetics aspects of plant mineral nutrition**. EL BASSAM, N. et al. The Netherlands. p.501-521, 1990.