# EFEITO DA MATÉRIA ORGÂNICA NA SOLUBILIZAÇÃO MICROBIANA DA APATITA DE ARAXÁ E DA ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA VESÍCULO-ARBUSCULAR NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA (*Glycine max* (L.) MERRIL)

MARLI TEIXEIRA DE ALMEIDA MINHONI

ORIENTADORA: PROF.ª DR.ª ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA
Estado de São Paulo-Brasil
Dezembro - 1989

Aos meus pais *Antonio* (in memoriam)
e *Maria*, ao meu marido *José Roberto*
e às minhas filhas *Renata* e *Déborah*

DEDICO

# AGRADECIMENTOS

- À Profa. Dra. Elke J.B.N. Cardoso, pela orientação, estímulo e amizade;

- À CAPES, pela bolsa de estudos;

- À FAPESP, pelo financiamento da pesquisa;

- Ao colega, Prof. Dr. Augusto F. da Eira, do Departamento de Defesa Fitossanitária, FCA/UNESP, Botucatu, pela colaboração e amizade constantes;

- Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Padovan, do Departamento de Bioestatística, IB/UNESP, Botucatu, pela orientação nas análises estatísticas;

- Ao Centro de Informática na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, pelo processamento dos dados para análise estatística;

- Aos funcionários do Departamento de Defesa Fitossanitária, FCA/UNESP, Botucatu, Sr. Joaquim da Silva e Sra. Maria de Fátima A. Silva, pelo inestimável auxílio nas análises químicas e biológicas e aos Srs. José Martins Dias e Antonio Luiz Martins, pelo auxílio na experimentação em casa de vegetação;

- Ao funcionário do Departamento de Ciências do Solo, FCA/UNESP, Botucatu, Sr. Benedito Heliodoro, pela análise de nutrientes das plantas;

- Aos Srs. Adalberto Francisco de Souza e Roberto Carvalho Prado, pelos trabalhos de desenho;

- À Sra. Rita de Cássia Colombara Gasparini, pelo trabalho de datilografia;

- Aos colegas, docentes e funcionários do Departamento de Defesa Fitossanitária, FCA/UNESP, Botucatu, pelo apoio e amizade;

- À minha família, pelo apoio e incentivo constantes;

- Ao saudoso colega José Renato de Godoy, sempre presente em nossas lembranças, pela colaboração na redação do Summary;

- A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuiram para a realização deste trabalho.

# ÍNDICE

Página

RESUMO ..... ix

SUMMARY ..... xi

1. INTRODUÇÃO ..... 01

2. REVISÃO DE LITERATURA ..... 03

2.1. O fósforo na planta ..... 03

2.2. O fósforo no solo ..... 03

2.2.1. Frações orgânica e inorgânica ..... 03

2.2.2. Transformações do fósforo no solo .. 04

2.3. Fontes de fósforo ..... 06

2.3.1. Fosfatos solúveis ..... 06

2.3.2. Fosfatos parcialmente acidulados ... 08

2.3.3. Fosfatos naturais puros ..... 09

2.4. Solubilização microbiana de fosfatos de rocha ..... 10

2.4.1. Microrganismos envolvidos ..... 10

2.4.2. Efeitos de fontes de carbono e energia ..... 12

2.5. Efeitos das micorrizas vesículo-arbusculares no crescimento vegetal ..... 14

2.6. Interação entre fungos MVA, bactérias fixadoras de $N_2$ e microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha ..... 27

3. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 31

3.1. Experimentos em percoladores ..... 31

3.1.1. Materiais ..... 32

3.1.1.1. Solo ..... 32

Página

3.1.1.2. Fontes de carbono..... 33
3.1.1.3. Complementação nitrogenada.. 33
3.1.1.4. Fosfato natural ..... 33
3.1.1.5. Percoladores ..... 34
3.1.2. Métodos ..... 34
3.1.2.1. Preparo dos percoladores com solo ..... 34
3.1.2.2. Funcionamento dos percoladores. 37
3.1.3. Parâmetros avaliados ..... 37
3.1.3.1. Fósforo solúvel ..... 37
3.1.3.2. pH da solução percolada .... 38
3.1.3.3. Carbono desprendido do solo. 38
3.2. Experimentos em vasos ..... 39
3.2.1. Materiais ..... 42
3.2.2. Métodos ..... 42
3.2.2.1. Preparo dos vasos ..... 42
3.2.2.2. Produção de inóculo de *Bradyrhizobium japonicum* ..... 44
3.2.2.3. Produção de inóculo do fungo micorrízico vesículo-arbuscular *Glomus macrocarpum* ..... 45
3.2.2.4. Adubação ..... 46
3.2.2.5. Plantio e cultivo da soja .. 47
3.2.3. Parâmetros avaliados ..... 48
3.2.3.1. Produção de massa vegetal aérea e radicular ..... 48
3.2.3.2. Nodulação ..... 49
3.2.3.3. Volume radicular ..... 49
3.2.3.4. Colonização radicular micorrízica ..... 49
3.2.3.5. Esporulação do fungo micorrízico no solo ..... 50
3.2.3.6. Absorção de nutrientes pela soja..... 51

Página

3.3. Análise estatística ..... 52

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 53

4.1. Experimento nº 1: Efeito de quatro tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha ..... 53

4.1.1. Fósforo solúvel ..... 53

4.1.2. pH ..... 56

4.1.3. Carbono desprendido do solo ..... 60

4.2. Experimento nº 2: Efeito de dois tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha ..... 63

4.2.1. Fósforo solúvel ..... 64

4.2.2. pH ..... 64

4.2.3. Carbono desprendido do solo ..... 69

4.3. Experimento nº 3: Efeito de três tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana - de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja ..... 72

4.3.1. Produção média de matéria seca da parte aérea e de grãos ..... 72

4.3.2. Produção média de matéria fresca radicular ..... 78

4.3.3. Relação entre a matéria seca da parte aérea e a matéria fresca radicular . 78

4.3.4. Taxa de colonização radicular e esporulação do fungo MVA *Glomus macrocarpum* ..... 82

4.3.5. Teores médios e quantidades totais - acumuladas de macronutrientes e micronutrientes ..... 87

Página

4.4. Experimento nº 4: Efeito da matéria orgânica, submetida a diferentes períodos de degradação, na solubilização microbiana de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja. 98

4.4.1. Produção média de matéria seca da parte aérea e de matéria fresca radicular 98

4.4.2. Relação entre a matéria seca da parte aérea e a matéria fresca radicular ... 102

4.4.3. Volume radicular ..... 103

4.4.4. Nodulação radicular ..... 103

4.4.5. Taxa de colonização micorrízica e esporulação do fungo *Glomus macrocarpum*... 109

4.4.6. Teores médios e quantidades totais acumuladas de macronutrientes e micronutrientes 111

5. CONCLUSÕES ..... 121

6. LITERATURA CITADA ..... 122

RESUMO

Estudaram-se os efeitos de materiais orgânicos distintos no processo microbiano heterotrófico de solubilização de fosfato de rocha.

Para tanto, foram conduzidos dois experimentos "in vitro" e dois experimentos em casa de vegetação, nos quais incubaram-se amostras de um Latossolo Vermelho-amarelo com uma fonte de matéria orgânica e um fosfato de rocha.

Na experimentação "in vitro", o solo adicionado de bagaço-de-cana, palha de soja, palha de milho, vinhaça ou glicose e uma dose de apatita de Araxá foi incubado em percoladores de PVC.

Durante a incubação, determinou-se periodicamente o fósforo solúvel e o índice pH da solução percoladora, assim como o $CO_2$ desprendido da parcela.

A glicose foi a fonte de carbono qu mais promoveu o processo microbiano de solubilização da apatita de Araxá. As demais fontes apresentaram contribuições baixas e semelhantes entre si. A complementação nitrogenada aumentou a eficiência da palha de milho e do bagaço-de-cana no processo. Maiores teores de fósforo solúvel no meio geralmente

coincidiram com baixos valores do índice pH.

Em condições de casa de vegetação, plantas de soja cv. Foscarin 31 associadas ao *Bradyrhizobium japonicum* e ao fungo micorrízico vesículo-arbuscular *Glomus macrocarpum* foram fertilizadas com fosfato de rocha com ou sem matéria orgânica e com doses crescentes de fosfato solúvel.

As fontes de matéria orgânica utilizadas foram bagaço-de-cana, vinhaça e palha de soja; as doses de fosfato solúvel foram 10, 30, 50 e 70 ppm P/vaso.

A matéria orgânica não exerceu efeitos positivos significativos no crescimento vegetal e absorção de nutrientes. Os efeitos positivos de micorrização foram observados nos tratamentos com fosfato de rocha e fosfato solúvel, nas dosagens mais baixas.

SUMMARY

The effects of different organic materials on the heterotrophic microbial rock phosphate solubilization was studied.

Two "in vitro" experiments and two greenhouse experiments were carried out, using samples of a red-yellow latossol mixed with different types of organic matter and rock phosphate.

In the "in vitro" experiments samples of soil ammended with sugar cane bagasse, soya husk, corn husk, vinasse or glucose at the level of 3.000 ppm P as Araxá apatite, were incubated in PVC percolatores.

During incubation, the soluble phosphate and the pH values of the percolation solution, as well as $CO_2$ evolution, were periodically determined.

Glucose was the carbon source which most increased the microbial solubilization of Araxá apatite. The other organic materials had a lower effect. Nitrogen complementation increased the efficiency of the corn husk and sugar cane bagasse. Higher levels of soluble phosphate in the system, generally were coincident.

In the greenhouse experiments, soybean cv. Foscarin 31 plants associated with *Bradyrhizobium japonicum*

and the vesicular-arbuscular fungus *Glomus macrocarpum* were fertilized with rock phosphate with or without organic matter and increasing levels of soluble phosphate.

The organic matter sources used were sugar cane bagasse, vinasse and soya husk, the soluble phosphate levels were 10, 30, 50 and 70 ppm P.

Organic matter did not increase growth and nutrient absorption of the plants. Positive effects of mycorrhiza were observed in tratments with rock phosphate and soluble phosphate, at the lower levels.

## 1. INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento essencial para as plantas, fazendo parte da molécula de ATP e de muitos outros compostos orgânicos.

Embora o teor de fósforo total nos solos brasileiros seja superior às quantidades exigidas pelas culturas, o elemento constitui-se num dos maiores fatores limitantes da fertilidade dos solos tropicais.

Tais solos caracterizam-se por elevada capacidade de retenção do fósforo solúvel em compostos de ferro e alumínio, fazendo com que a maior parte desse elemento encontre-se em formas não disponíveis para os vegetais.

Sendo assim, as aplicações de fósforo nesses solos, além de satisfazer as exigências nutricionais das culturas, devem compensar a retrogradação do elemento para formas às vezes mais insolúveis que a própria rocha que lhe deu origem. Com isso, as doses de fosfato solúvel utilizadas na agricultura tropical tornam-se muito superiores às necessidades reais das culturas (EIRA, no prelo).

A problemática do fósforo torna-se mais grave ainda quando se enfoca a indústria de fertilizantes fosfatados solúveis, cuja tecnologia é altamente dependente da importação de enxofre e a matéria prima, além de ser um re-

curso natural não renovável, pode não ser devidamente explorada em termos de produção de fosfato solúvel, havendo portanto, perdas na produção.

Em decorrência desses aspectos, surge uma necessidade imperiosa de se estudar alternativas visando um melhor aproveitamento das reservas de fosfato brasileiras .

Neste contexto, algumas prioridades foram apresentadas no Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira, realizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo, em 1984. Dentre elas destaca-se o aumento da eficiência industrial de processamento das rochas fosfáticas, a reciclagem do fosfogesso e a solubilização biológica de fosfatos de rocha.

A aplicação direta de rochas fosfáticas ao solo, na maioria das vezes, não satisfaz as necessidades nutricionais da cultura, em virtude de sua baixa e lenta solubilização no solo. Porém, quando se estimula o referido processo biológico heterotrófico de solubilização do fosfato natural, essa situação pode ser modificada.

Considerando-se que tal solubilização está intimamente relacionada com os produtos do metabolismo microbiano heterotrófico no solo, um aumento na atividade desses microrganismos consequentemente acarretará um aumento na solubilização.

Deste modo, pretende-se verificar no presente trabalho, o efeito de diversas fontes de carbono no processo biológico heterotrófico de solubilização da apatita de Araxá e também o efeito da associação micorrízica vesículo-arbuscular (*Glomus macrocarpum*) na absorção de nutrientes pela soja.

# 2. REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1. O fósforo na planta

Nos tecidos vegetais, o fósforo encontra-se na forma de ortofosfato inorgânico e também incorporado a moléculas orgânicas como a fitina, fosfolipídeos, ácidos nucleícos, núcleo-proteínas, açúcares fosforilados e coenzimas. Por não sofrer qualquer processo de redução no interior da planta, como ocorre com o nitrogênio e o enxofre, o fósforo encontra-se nos tecidos vegetais na mesma forma com que é absorvido, ou seja, na forma de fosfato $H_2PO_4^-$ (ALEXANDER, 1967).

## 2.2. O fósforo no solo

### 2.2.1. Frações orgânica e inorgânica

O fósforo ocorre no solo em uma ampla variedade de diferentes formas orgânicas e inorgânicas; cerca de 25 a 75% do fósforo total está na forma orgânica. Das formas inorgânicas, grande quantidade ocorre na estrutura de minerais como fosfatos insolúveis de cálcio, ferro e alumínio. Os sais de cálcio predominam em condições de solos neutros ou alcalinos enquanto que os sais de ferro e alumínio em so-

los ácidos (ALEXANDER, 1967; VAN RAIJ, 1983; TATE, 1984 e FASSBENDER, 1984).

Fatores como a temperatura, precipitação pluviométrica, acidez do solo, atividade biológica e grau de desenvolvimento do solo tem sido relatados como determinantes da participação relativa das frações orgânica e inorgânica no teor de P total (FASSBENDER, 1984). Os fosfatos orgânicos são predominantes em condições de acúmulo de matéria orgânica (temperatura baixa, precipitação elevada, acidez e pouca atividade biológica).

Com relação ao fósforo total, embora o teor médio para as terras esteja entre 0,005 e 0,2% P (MALAVOLTA, 1985), quantidade muito superior à exigida por qualquer cultura (MALAVOLTA, 1967), e apesar da contínua mineralização dos compostos orgânicos fosforados nos solos (FASSBENDER, 1984), o fósforo é um elemento que geralmente limita a produção agrícola (MALAVOLTA , 1967).

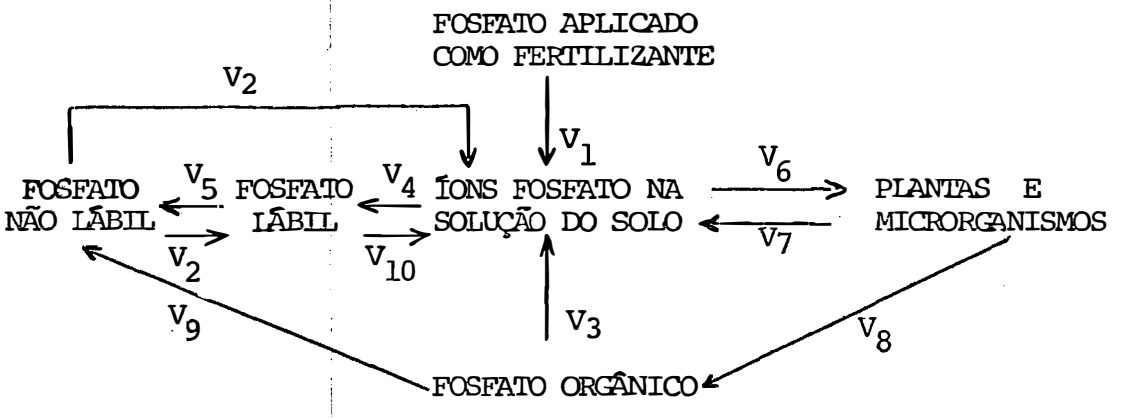
A explicação para tal fato é a baixa solubilidade dos compostos inorgânicos de fósforo, anteriormente citados, o que resulta baixos níveis de fósforo na solução do solo (KUCEY, 1983), cujo teor geralmente é muito inferior a 0,1 ppm (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 1985). A forma solúvel predominante em solos ácidos é o íon $H_2PO_4^-$, aparecendo também o íon $HPO_4^{-2}$ em menor proporção, porém, com o aumento do pH, o segundo íon tende a prevalecer sobre o primeiro.

### 2.2.2. Transformações do fósforo no solo

Em virtude do baixo teor de fósforo solúvel nos solos tropicais, a adubação fosfatada é uma prática constante e o seu nível é sempre superior às reais exigências nu

tricionais das culturas (MALAVOLTA, 1967), em consequência de várias reações que caracterizam o comportamento do fósforo nos solos.

O esquema a seguir, adaptado de FASSBENDER (1984) e VAN RAIJ (1983), apresenta as transformações que os fosfatos podem sofrer num solo:




onde, $V_1$ a $V_9$ representam as velocidades de

$V_1$, dissolução do fertilizante
$V_2$, dissolução dos fosfatos de baixa solubilidade
$V_3$, mineralização do fosfato orgânico
$V_4$, adsorção do $H_2PO_4^-$
$V_5$, precipitação de fosfatos de Ca, Fe e Al
$V_6$, absorção do fosfato pelas plantas e microrganismos
$V_7$, excreção de fosfato pelas plantas
$V_8$, deposição dos restos vegetais
$V_9$, interações entre fosfatos orgânicos e inorgânicos
$V_{10}$, dessorção do $H_2PO_4^-$

O fosfato lábil é representado pelo P adsorvido (ligado a sítios de troca dos colóides minerais e orgânicos do solo). O fosfato não lábil é representado pelo P precipitado em compostos insolúveis (comumente com Ca, Fe e Al) ou adsorvido em sítios de troca de elevada energia, praticamente não trocáveis, e assim, de aproveitamento incerto pelos vegetais (GOEDERT & SOUZA, 1984).

Através desse esquema, percebe-se facilmente

que a concentração de íons fosfato na solução do solo está na dependência da dissolução dos fosfatos aplicado e lábil, e também, da mineralização direta dos fosfatos orgânicos.

Porém, devido à baixa solubilidade dos fosfatos inorgânicos não lábeis e à forte tendência de adsorção pelo solo, a maior parte desses íons fosfato da solução do solo passa para a fase sólida, ficando retida como fósforo lábil e não lábil (VAN RAIJ, 1983; BAREA & AZCÓN AGUILAR, 1983).

Esta é a razão por que se recomendam doses de fertilizantes fosfatados muito acima das reais necessidades nutricionais da cultura.

Mas, note-se ainda no esquema que, a sequência de reações não é unidirecional, ou seja, o fosfato lábil pode retornar a fosfato solúvel. E isto ocorre para manter um equilíbrio das reações, quando então o fosfato da solução diminui em virtude da absorção radicular, principalmente (VAN RAIJ, 1983). Porém, esse retorno pode ficar bloqueado ou ter a sua intensidade diminuída em função das elevadas doses de fosfato solúvel adicionadas, o que desloca o equilíbrio da reação no sentido fósforo solúvel → fósforo lábil → → fósforo não lábil (EIRA, no prelo).

## 2.3. Fontes de fósforo

### 2.3.1. Fosfatos solúveis

Os fosfatos naturais ou rochas fosfáticas são a matéria prima para a produção dos fertilizantes fosfatados, os quais são diferenciados em dois grupos de acordo com o processo industrial envolvido, por via térmica ou por acidulação das referidas rochas fosfatadas. No primeiro grupo estão os termofosfatos e no segundo grupo, o ácido fosfórico, os superfosfatos, os fosfatos de amônio, os nitrofosfatos e

os polifosfatos (FASSBENDER, 1984).

No Brasil, o processo industrial mais frequente é o da acidulação das rochas, com a seguinte sequência de reações: rocha fosfática → fosfato natural concentrado → fosfatos solúveis (GOEDERT & SOUZA, 1984).

Dentre os fosfatos solúveis, os superfosfatos (simples, 16-20% $P_2O_5$ e triplo, 46-50% $P_2O_5$) são os de maior produção e consumo mundial. O superfosfato simples é produzido por acidulação da rocha com ácido sulfúrico, resultando numa mistura de fosfato monocálcico e gesso, com restos de apatita, fosfatos de Fe e Ca, de acordo com a composição da rocha. Na produção do superfosfato triplo, utiliza-se ácido fosfórico como agente acidulante, resultando o fosfato monocálcico (FASSBENDER, 1984).

O processo industrial possui fatores que podem limitar a produção desses fertilizantes fosfatados solúveis. A matéria prima é um recurso natural não renovável (GOEDERT & SOUZA, 1986) e o enxofre utilizado é quase que totalmente importado.

Segundo Carvalho (1977), citado por BARBOSA Fº (1984), as reservas geológicas de rochas fosfáticas no Brasil são estimadas em aproximadamente 2,5 bilhões de toneladas, com um teor médio de 12-13% de $P_2O_5$, correspondendo a 240 milhões de toneladas de $P_2O_5$ total.

Em decorrência dos fatores inerentes ao processo industrial e também das reações envolvidas na dinâmica do fósforo no solo, os pesquisadores têm buscado alternativas para um melhor aproveitamento dos recursos fosfatados.

Dentre essas alternativas, GOEDERT & SOUZA (1984) incluem desde práticas para um melhor manejo do adubo fosfatado solúvel tais como a calagem prévia à aplicação do fertilizante e a determinação da melhor dose de adubação,

utilização de plantas mais eficientes na absorção e aproveitamento do fósforo até a participação de fungos micorrízicos.

Ainda como alternativas, a literatura traz resultados de inúmeras pesquisas sobre a aplicação de fosfatos naturais puros, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos na agricultura.

### 2.3.2. Fosfatos parcialmente acidulados

A acidulação parcial é um processo que emprega menores quantidades de ácido que a requerida na produção dos superfosfatos, originando um produto com características intermediárias entre a matéria prima e os superfosfatos (FERNANDES & KAMINSKI, 1987).

Segundo esses mesmos autores, as informações disponíveis no Brasil sobre os efeitos desses fosfatos na agricultura são escassos, especialmente em relação à fração não acidulada.

Neste contexto, GOEDERT & SOUZA (1986), avaliando a eficiência agronômica de seis fosfatos naturais brasileiros (Patos-de-Minas, Olinda, Anitápolis, Araxá, Catalão e Tapira) com quatro níveis de acidulação parcial em ácido sulfúrico (ácido: rocha, 50, 150, 250 e 600:1000 p/p) e um nível em ácido nítrico (150:1000 p/p), encontraram os seguintes resultados: baixa solubilidade em ácido cítrico para as seis concentrados fosfáticos sem tratamento; aumento gradativo da solubilidade dos concentrados em ácido cítrico, água e citrato neutro de amônio, em função do aumento da acidulação parcial com ácido sulfúrico e aumento do índice de eficiência agronômica dos seis concentrados em função do aumento da acidulação em ácido sulfúrico, tanto no primeiro quanto no segundo ano de cultivo de milho, em casa de vegetação.

Os autores comentam que tais resultados são indicativos de que a solubilidade está estreitamen

te ligada à proporção da rocha que reagiu com o ácido.

Com relação ao índice de eficiência agronômica (IEA), convém esclarecer que ele expressa a eficiência agronômica do produto aplicado ao solo e pode ser calculado pela equação abaixo, segundo VAN RAIJ (1986).

$$IEA(\%) = \frac{\text{PRODUÇÃO COM O FOSFATO TESTADO} - \text{PRODUÇÃO SEM FÓSFORO}}{\text{PRODUÇÃO COM SUPERFOSFATO} - \text{PRODUÇÃO SEM FÓSFORO}} \times 100$$

FERNANDES & KAMINSKI (1987), trabalhando com fosfatos parcialmente acidulados, testaram hipóteses apresentadas por outros autores de que a fração não acidulada teria sua dissolução favorecida por uma possível interação com a fração solúvel. Porém, os resultados obtidos indicaram que somente a fração acidulada do fosfato de Araxá parcialmente acidulado (seis níveis, em ácido sulfúrico) contribuiu com o fornecimento de fósforo para a sucessão sorgo-soja-aveia.

### 2.3.3. Fosfatos naturais puros

A utilização de fosfatos de rocha na agricultura tornou-se uma alternativa economicamente importante, especialmente para países pobres cujos solos possuem baixos teores de fosfato, considerando-se que por unidade de fósforo, o preço do fosfato de rocha é cerca de um terço do preço do superfosfato simples (NYE & KIRK, 1987). Segundo estes autores, as raízes das plantas podem aumentar a dissolução do fosfato de rocha pelo abaixamento da concentração do fósforo na solução do solo ( absorção radicular) e em alguns casos, pelo abaixamento do pH do solo.

Deste modo, os fosfatos naturais puros também podem ser utilizados diretamente como fertilizante e sua eficiência dependerá de sua solubilidade e velocidade de dissolução nos solos (FASSBENDER, 1984). A solubilidade, para

muitas rochas fosfáticas, é exponencialmente aumentada ao diminuir-se o pH do solo e a velocidade de dissolução é maior quanto menor a granulometria do concentrado.

A partir dessas características, pode-se esperar bons efeitos de rochas fosfáticas finamente moídas e aplicadas como fertilizante em solos ácidos, especialmente para culturas perenes.

Neste contexto, GOEDERT (1983) considera que os solos da região dos cerrados possuem características potenciais para a solubilização de fosfatos naturais apatíticos, considerando-se que possuem reação ácida.

O autor, avaliando a eficiência agronômica de fosfatos insolúveis aplicados ao campo, durante seis anos, em relação aos fosfatos solúveis (supersimples e supertriplo), obteve os seguintes índices de eficiência: Patos de Minas 84 a 89%; Araxá 82% e Catalão 69%.

Porém, GOEDERT & LOBATO (1984), avaliando a eficiência de onze fontes de fósforo em solo de cerrado, concluíram que a utilização dos fosfatos naturais brasileiros - como única fonte de fósforo é inviável para culturas anuais, desde que a necessidade de fósforo para a produção de uma unidade de grão é muito elevada.

Por outro lado, pastagens e culturas de crescimento lento podem ser eficientemente fertilizadas com fosfatos de rocha, em virtude de um fornecimento moderado, porém, contínuo, de fósforo solubilizado (PALMER & GILKES, 1983).

## 2.4. Solubilização microbiana de fosfatos de rocha

### 2.4.1. Microrganismos envolvidos

A solubilização microbiana de fosfatos de rocha é reconhecida há muitos anos e pode ser manejada com o

intuito de melhorar o aproveitamento dos fosfatos naturais - aplicados ao solo.

Já em 1948, Gerretsen, citado por BARBER - (1968), mostrou que a absorção de fosfatos por plantas cultivadas areia esterilizada suplementada com fosfatos insolúveis era aumentada quando se adicionava 1% em peso de solo não esterilizado. Os microrganismos isolados a partir deste solo e cultivados em meio de ágar nutriente eram capazes de dissolver fosfato de cálcio.

Na verdade, são muitos os microrganismos do solo capazes de solubilizar fosfatos insolúveis e o processo envolve ácidos orgânicos e/ou inorgânicos excretados durante o metabolismo celular. Tais ácidos podem dissolver o fosfato ou então, quelar os íons cálcio e assim, liberar o fósforo - na solução do solo (WAKSMAN, 1963; ALEXANDER, 1967; BAREA & AZCÓN-AGUILAR, 1983; THOMAS *et alii*, 1985 e KUBÁT *et alii* , 1985).

Na solubilização microbiana devida à produção de ácidos orgânicos durante o metabolismo celular, destaca-se o ácido glucônico e alguns de seus cetoácidos derivados - especialmente do ácido α-cetoglucônico (ORTUÑO *et alii*, 1978a). Dentre os ácidos inorgânicos incluem-se o nítrico, nitroso e sulfúrico (WAKSMAN, 1963).

A solubilização microbiana pode resultar também, da assimilação desses fosfatos pelos microrganismos, seguida da liberação de produtos fosforados facilmente utilizáveis pelas plantas. Nesta linha, ORTUÑO *et alii* (1978b), verificaram elevado poder de imobilização de fósforo natural e posterior liberação de fósforo solúvel pelo fungo *Aspergillus niger* em solos alcalinos e alcalinos salinos.

Microrganismos dos gêneros *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium* e outros são similarmente ativos na solubilização de fosfatos de cálcio. Eles crescem em meio de cultura contendo

fosfato tricálcico, apatita ou outro material semelhante e insolúvel (ALEXANDER, 1967).

Com relação à frequência dos gêneros, *Aspergillus* e *Penicillium* foram os mais comumentes isolados e os de maior poder de solubilização de fosfatos dicálcico tricálcico e de alumínio, em condições de laboratório (RAMOS *et alii*, 1968).

Em solos com plantação de côco, o gênero *Aspergillus* foi o de maior distribuição e o de melhor atividade solubilizadora (62%) em comparação com os isolados de *Penicillium* (49%) (THOMAS *et alii*, 1985).

### 2.4.2. Efeitos de fontes de carbono e energia

Considerando-se que a solubilização microbiana de fosfatos insolúveis relaciona-se com produtos do metabolismo microbiano, um aumento neste último certamente resultará num aumento do processo de solubilização.

Com relação aos microrganismos hererotróficos solubilizadores, o metabolismo produtor de ácidos orgânicos pode ser aumentado quando se fornecem fontes de carbono e energia.

A importância de tais fontes foi verificada - já em 1958 por SPERBER, quando do isolamento de microrganismos solubilizadores a partir das regiões rizosférica e não rizosférica de plantas de trevo subterrâneo e trigo, dentre outras. - As populações foram mais abundantes nas regiões rizosféricas e os gêneros mais comumente isolados foram *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium* e *Achromobacter*. Ademais, muitos dos isolados quando desenvolvidos "in vitro", perdiam rapidamente a capacidade solubilizadora e essa perda era mais precoce para os isolados das regiões não rizosféricas. O autor associou tais resultados aos teores relativos de compostos orgânicos nas regiões rizosférica e não rizosférica.

Enfatizando a importância de fontes de carbono e energia para a população microbiana, BEHERA & WAGNER - (1974), ao adicionarem glicose ao solo, verificaram um rápido desprendimento de $CO_2$ acompanhado de um aumento das populações fúngica e bacteriana em geral.

Em 1977, CARVALHO *et alii*, estudaram a influência de diferentes fontes de carbono na solubilização de - apatita de Araxá. Sacarose , linhito e resíduo de café aumentaram o nível de fósforo na solução do solo, como resultado da ativação dos microrganismos solubilizadores.

TOMAR *et alii* (1983) investigaram, sob condições de laboratório e de casa de vegetação, a solubilização de fosfato de rocha durante a decomposição de esterco bovino, e a disponibilidade de fósforo para plantas de trigo. Na presença - da matéria orgânica, o fosfato foi solubilizado em onze semanas e após, começou a tornar-se insolúvel.

A adição de fosfato de rocha Mussoorie (Índia) em resíduos orgânicos sob compostagem resultou na solubilização do fósforo. BANGAR *et alii* (1985) atribuíram o fato à formação de substâncias húmicas, tais como o humato - de sódio, cuja ação solubilizadora é parcialmente atribuída ao poder quelante dos grupos ácidos. O resíduo em questão - era uma mistura de massa vegetal (capim e folhas), esterco - bovino, solo e composto, na proporção 7,5:1:1:0,5 ( p/p ) ao qual foram adicionadas várias doses do fosfato de rocha (10, 15, 20, 25, 30 e 35%).

O teor de matéria orgânica nos solos pode então, ser um dos fatores condicionadores da população microbiana solubilizadora. Neste aspecto, THOMAS *et alii* (1985) justificaram que a baixa população de fungos solubilizadores isolada a partir de solos arenosos em relação a solos lateríticos, aluviais e argilosos pode ser devida ao baixo teor de matéria orgânica nos solos arenosos.

Ademais, microrganismos ativos na solubiliza-

ção "in vitro" podem tornar-se inativos quando transportados para condições de campo. THOMAS *et alii* (1985) justificam que uma das principais razões para este tipo de variação é devida a fatores ecológicos que afetam o crescimento e multiplicação desses microrganismos no solo. Solos com baixo teor de matéria orgânica podem não prover ambientes favoráveis para a multiplicação do inóculo solubilizador; a maioria dos solos são bem tamponizados, não ocorrendo grandes variações de pH e da capacidade do solo em fixar o fósforo solubilizado. Estes são os fatores mais limitantes do efeito da inoculação com solubilizadores.

Ainda com relação à solubilização microbiana de fosfatos de rocha, KUNDU & GAUR (1984) avaliaram o efeito da inoculação com *Azotobacter chroococcum* e dois microrganismos solubilizadores de fosfato, na produção e absorção de nutrientes pelo arroz, sob condições de casa de vegetação. A inoculação das plântulas de arroz com microrganismos fixador do $N_2$ e/ou solubilizador de fosfato aumentou apreciavelmente a produção e absorção de nutrientes, com ou sem adição de superfosfato (50 Kg $P_2O_5$/ha), fosfato de rocha (100 kg $P_2O_5$/ha) e uréia (20, 40 e 80 Kg N/ha), em comparação com o tratamento controle (sem inóculo e sem fertilizantes).

Esses aumentos devido à inoculação, podem envolver não somente a fixação de $N_2$ e solubilização do fosfato mas também, outros fatores tais como a liberação de substâncias promotoras do crescimento, controle de fitopatógenos e proliferação de organismos benéficos na rizosfera (Barea - *et alii*, 1976 , citados por KUNDU & GAUR, 1984).

## 2.5. Efeitos das micorrízas vesículo-arbusculares no crescimento vegetal

Todos os sistemas radiculares existentes na

natureza estão associados à populações microbianas de vida livre e/ou simbiótica que afetam a nutrição da planta (TINKER, 1984).

Bactérias e fungos, presentes na região rizosférica exercem uma série de atividades de grande importância ao crescimento vegetal, incluindo por exemplo, a degradação de matéria orgânica, fixação de nitrogênio, secreção de substâncias estimuladoras do crescimento vegetal e controle de fitopatógenos. Na maioria dos casos, porém, estas atividades dependem de um fornecimento adequado de substratos orgânicos pelas raízes (Newman, 1979 , citado por BAREA & AZCÓN-AGUILAR, 1983).

Barber (1976), citado por TINKER (1984), analisando os efeitos desses microrganismos sobre as plantas superiores, relaciona alguns possíveis mecanismos pelos quais esses microrganismos afetam a absorção de fósforo pelas plantas. Os mecanismos diretos relacionam-se com as propriedades de absorção radicular e alterações na morfologia radicular. Os indiretos, alterando o substrato, relacionam-se com alterações nas concentrações de fósforo solúvel e competição direta pelo fósforo.

Neste contexto, os fungos micorrízicos vesículo-arbusculares podem ser incluídos dentro da população microbiana que possui mecanismos diretos de alteração da absorção de fósforo pelas plantas.

Os fungos que formam micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) estão entre os fungos comuns do solo e provavelmente colonizam mais tecidos vegetais que qualquer outro grupo de fungos (Barea *et alii*, 1975, citados por HAYMAN, 1982).

Esses fungos podem colonizar a maioria das plantas vasculares, na maioria dos habitats. Assim, são geralmente abundantes em campos, savanas, florestas, semidesertos e dunas de areia, sendo então encontrados em solos tropicais, temperados e árticos (HAYMAN, 1982).

Tais associações aparecem em muitas espécies vegetais, ocorrendo na maioria das angiospermas e algumas gimnospermas, pteridófitas e briófitas. Culturas economicamente importantes tais como leguminosas, milho, trigo, cevada, arroz, frutíferas, algodão, fumo, oliveira, citrus, café, côco e árvores tropicais também formam associações micorrízicas entre suas raízes e certos fungos do solo, as quais aumentam a absorção de nutrientes, especialmente o fósforo - (YOST & FOX, 1979; BOWEN & SMITH, 1981; Hayman, 1982, citado por BAREA & AZCÓN-AGUILAR, 1983; ABBOT & ROBSON, 1984; HAYMAN, 1984; HOWELER *et alii*, 1987; BAREA *et alii*, 1983).

A literatura apresenta inúmeras pesquisas sobre os efeitos positivos das micorrizas vesículo-arbusculares na absorção de nutrientes e crescimento vegetal.

KUCEY & JANSEN (1987), verificaram que a colonização micorrízica (cultura mista de fungos MVA não identificados e propagada em raízes de morango) aumentou a produção de matéria seca de plantas de feijão e trigo, e a absorção de P, Zn, Cu e Fe pelo feijão e P e Zn pelo trigo. Porém, os autores concluíram que o aumento na absorção total de um nutriente particular, em função da inoculação com fungos MVA, não é necessariamente um indicativo de uma absorção direta do nutriente pelo inóculo de MVA, ou seja, além da absorção aumentada de elementos nutrientes, as micorrizas favorecem o crescimento vegetal, tanto que plantas de soja cultivadas em solo fumigado apresentaram aumentos de 34 a 40% no crescimento e produção, em virtude da inoculação com esporos do fungo MVA. As plantas micorrizadas acumularam - maiores teores de P, N, Ca, Cu e Mn que as plantas não micorrizadas (ROSS & HARPER, 1970).

A inoculação de dois cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. com o fungo micorrízico *Glomus mosseae*

promoveu aumentos na matéria seca da parte aérea e na produção de nódulos, em experimentos conduzidos a nível de campo, em solo arenoso. Para o cultivar VITA-4, as plantas inoculadas apresentaram aumentos nos teores de N e P totais na raiz e na produção de grãos (ISLAM & AYANABA, 1981).

O crescimento de *Asparagus officinalis*, medido através da matéria fresca radicular e matéria seca da parte aérea, brotamento e altura da parte aérea, aumentou significativamente em consequência da inoculação com o fungo MVA *Glomus versiforme* (HUSSEY *et alii*, 1984).

KUO & HUANG (1982) inocularam solo esterilizado com cinco fungos MVA e verificaram os efeitos no crescimento de soja. A inoculação com *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* e *Acaulospora scrobiculata* promoveu aumentos no peso de matéria seca e na produção de sementes. Não foram observados aumentos significativos devido à inoculação com *Scutelospora pellucida*. Os fungos *Glomus fasciculatum* e *Glomus mosseae* tiveram efeitos semelhantes no crescimento da soja e superiores em relação aos demais fungos.

O efeito de fungos MVA na nutrição e absorção de fósforo por plantas de soja também foi verificado por SIQUEIRA & PAULA (1986). Para tanto, os autores cultivaram soja em solo fumigado, (sem MVA), em solo fumigado inoculado com *Glomus macrocarpum* e em solo natural (com os fungos MVA nativos, *Acaulospora scrobiculata*, *A. morrowae* e *A. mellea*), complementado com doses variadas de superfosfato triplo (0, 15, 30, 60, 120 e 240 ppm $P_2O_5$). Os maiores teores de fósforo foram registrados nas plantas colonizadas pelo *G. macrocarpum*, em todas as doses de fósforo adicionado, havendo pouca diferença neste parâmetro entre as plantas sem MVA e as plantas com fungos nativos.

SILVEIRA & CARDOSO (1987) avaliaram a eficiência de quatro fungos MVA sobre o crescimento de três cultivares de feijão (carioca, goiano-precoce e negro-argel), em

três solos esterilizados. De modo geral, *Glomus leptotichum* foi mais eficiente para os cultivares e nos três solos testados, promovendo maiores produções de massa vegetal, grãos e teor de fósforo. *G. macrocarpum* e *Gigaspora margarita* tiveram eficiência intermediária, enquanto que *Scutelosporaheterogama* mostrou-se menos eficiente.

Com relação aos efeitos do fungo MVA no crescimento de leguminosas forrageiras, em experimento com solo esterilizado e em condições de casa de vegetação, *G. fasciculatum* foi superior a *G. mosseae* no aumento da produção de matéria seca de siratro e centrosema e nos aumentos da atividade da nitrogenase e absorção de N e P em siratro. Para estas mesmas plantas, a colonização micorrízica também foi maior com *G. fasciculatum*. Para galáxia, os efeitos da inoculação com tais fungos foram pouco pronunciados, tanto que a colonização e a dependência micorrízicas foram baixas (PAULINO *et alii*, 1986).

CARDOSO (1986), verificou a eficiência de *G. fasciculatum*, *G. macrocarpum*, *G. margarita* e *S. heterogama* em plantas de soja cultivadas em três tipos de solos esterilizados ou não, em condições de casa de vegetação. No Latossolo Roxo da série Luiz de Queiróz, esterilizado, *G. fasciculatum*, *G. macrocarpum* e *S. heterogama* promoveram aumentos na produção de massa vegetal, nodulação e conteúdo total da maioria dos elementos minerais. Porém, para este mesmo solo, em condições naturais, os resultados foram semelhantes aos parâmetros analisados com ou sem inoculação dos fungos MVA, o que indica, segundo a autora, que tal solo provavelmente possua uma população de fungos MVA nativos eficientes. Nos solos Sertãozinho e Ribeirão Claro, esterilizados ou não, os maiores benefícios da inoculação micorrízica foram evidenciados com *G. macrocarpum* e *S. heterogama*.

Nessa associação simbiótica, o fungo utiliza carboidratos produzidos pela planta enquanto que esta é bene

ficiada pela absorção aumentada de fósforo e outros nutrientes. Tal absorção dá-se nas hifas externas do fungo, as quais podem se extender a mais de 8 cm das raízes (Mosse, 1981 e Rhodes & Gerdemann, 1975, citados por HOWELER *et alii*, 1987), resultando numa superfície de absorção mais extensa e melhor distribuída (COOPER, 1984).

Embora os exsudatos radiculares, especialmente os açúcares, sejam considerados um fator importante que afeta o desenvolvimento micorrízico, AZCÓN & OCAMPO (1984) não observaram qualquer relação entre o grau de colonização por *G. mosseae* e o conteúdo total de açúcares nos exudatos radiculares de alfafa, sorgo e girassol. Ademais, plantas de trigo não micorrizadas exsudaram mais açúcares por grama de raíz que as plantas micorrizadas.

Sendo assim, os autores consideram que, apesar da importância do fator exsudato radicular na formação de MVA, ele por si só não é decisivo na iniciação da colonização micorrízica.

Para a nutrição aumentada do fósforo, outro fator pode também estar envolvido e relaciona-se com a cinética de absorção do elemento, a qual pode ser descrita em termos dos parâmetros de Michaelis-Menten, Vmax e Km (COOPER, 1984).

CRESS *et alii* (1979), estudando a cinética de absorção de fósforo por raízes de tomate micorrizadas (*G. fasciculatum*) e não micorrizadas, chegaram a resultados indicativos da existência de dois sistemas na cinética de absorção do elemento.

Os autores observaram que as velocidades de absorção do fósforo pela micorriza foram cerca de duas vezes maiores que aquelas das raízes controle e que as curvas de absorção apresentavam duas fases lineares, para ambos os tipos de raízes. Na fase de baixa concentração de fósforo (1 a 20 μM $KH_2PO_4$), os valores de Vmax para ambos os tipos de raí

zes foram iguais a 0,10 μ mol P/grama de matéria fresca/h , enquanto que os valores de Km foram de 1,6 e 3,9 μM $KH_2PO_4$ - para raízes micorrizadas e não micorrizadas, respectivamente. Já na fase de maior concentração de fósforo (30 a 100 M $KH_2PO_4$), os valores de Vmax para as raízes micorrizadas e não - micorrizadas foram 0,32 e 0,25 μ mol P/grama peso de matéria fresca/h e os valores de Km foram 34 e 42 μM $KH_2PO_4$, respectivamente.

Com estes resultados, os autores concluíram - que na fase de menor concentração de fósforo, um fator que contribuiu para a absorção aumentada de fósforo, foi uma maior afinidade aparente dos sítios de absorção pelo $H_2PO_4$ (menor Km). Ademais, neste trabalho, os autores não detectaram diferenças significativas nos pesos de matéria seca por unidade de comprimento de raízes micorrizadas e não micorrizadas, de tal modo que diferenças físicas não foram importantes para o efeito micorrízico.

Ainda com relação à absorção de fósforo, SILVEIRA *et alii* (1987) acompanharam a cinética de absorção de $^{32}P$ por raízes de plantas de feijoeiro micorrizadas ou não micorrizadas. Em condição de menor concentração de fósforo - (10 ppm), a presença de *Glomus leptotichum* causou maior Vmax de absorção em relação à *Scutelospora heterogama* e testemunha, enquanto que em condição de maior concentração de fósforo (31 ppm), ambos os fungos resultaram em Vmax menor e Km maior em relação à testemunha.

FAQUIN (1988) estudou o efeito da micorrização pelo fungo *G. macrocarpum* e do estado nutricional nos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo em soja. As taxas de colonização radicular foram de 53, 58 e 64% respectivamente para três níveis crescentes de nutrição (1/5, 2/5 e 3/5 da solução nº 2 de Hoagland e Arnon). Para o menor nível de nutrição, plantas micorrizadas apresentaram valores de Vmax e Km, 33 e 28%, respectivamente, maiores que as não micorri-

zadas. Com o aumento da nutrição houve uma tendência de redução dos valores absolutos destes parâmetros e nas diferenças entre plantas com e sem micorriza.

E assim, analisando os dados encontrados por estes autores, poder-se-ía talvez relacioná-los com o fato do efeito positivo dos fungos micorrízicos vesículo-arbusculares na absorção de fósforo ser verificado principalmente em condições de solos pobres em fósforo disponível (CRESS *et alii*, 1979; YOST & FOX, 1979 e GRAHAM *et alii*, 1981). Por exemplo, solos com elevada capacidade de adsorção de fósforo, onde a concentração de fosfato na solução e a difusão até as raízes vegetais sejam extremamente baixas (ABBOTT & ROBSON , 1984).

Em solos com teores adequados de fósforo disponível às plantas, o estabelecimento da associação micorrízica fica diminuído ou bloqueado, como podemos verificar através dos resultados de algumas pesquisas que serão sumarizadas a seguir.

KRISHNA & DART (1984), estudando o efeito de doses de fosfato solúvel (0, 5, 10, 20, 40 e 60 kg/ha) na associação micorrízica *Gigaspora calospora* - painço, cultivado em solo esterilizado, encontraram diminuição na intensidade de colonização radicular, em função do aumento da dose de P disponível.

KRISHNA & BAGYARAJ (1982) verificaram o efeito do fungo MVA *G. fasciculatum* e várias doses de fósforo solúvel (0, 50, 100 e 200% da dose recomendada, como $KH_2PO_4$) , sobre *Abelmoscus esculentus*. A colonização e produção de esporos pelo fungo foram reduzidas com o aumento da dose de fósforo e o peso de matéria seca das raízes da parte aérea e total foram significativamente maiores para as plantas micorrizadas, em qualquer dose de fósforo solúvel adicionado.

Em 1987, HICKS & LOYNACHAN observaram que a adição de 112 kg P/ha (superfosfato triplo) causou uma redu-

ção de 80% na colonização radicular de soja por *G. mosseae*. O número médio de vesículas de MVA nas parcelas não fertilizadas foi de 25,4 por quatro centímetros de raiz e apenas 5,2 para as parcelas fertilizadas. Entretanto, existem inúmeras evidências de que a colonização radicular é regulada mais pelo conteúdo de fósforo nos tecidos vegetais que pelo nível de fósforo no solo (COOPER, 1984).

Uma das demonstrações da inibição da colonização radicular em função do aumento do teor de fósforo nos tecidos vegetais foi apresentada por Sanders (1975), citado por GRAHAM *et alii* (1981). Nos seus estudos, a aplicação de fósforo via foliar inibiu a colonização de MVA em cebola.

O mecanismo pelo qual o fósforo inibe a formação micorrízica VA foi estudado em plantas de sorgo, por GRAHAM *et alii* (1981), em condições de solo pobre em fósforo complementado com doses crescentes de fósforo solúvel (0, 28, 56 e 228 µg P/g solo). Os autores encontraram que a exsudação radicular de aminoácidos e açúcares redutores foi maior para as plantas cultivadas em condições de solo deficiente em fósforo em comparação com plantas cultivadas em solo tratado com fósforo. Para estas mesmas plantas, a colonização radicular por *G. fasciculatum* foi de 88% e menos de 25%, respectivamente; estas porcentagens de colonização foram correlacionadas com os exsudatos radiculares no momento da inoculação.

Os mesmos autores propuseram que, sob condições de baixa nutrição em P, um aumento na permeabilidade das membranas radiculares promove perdas de metabólitos a níveis suficientes para sustentar a germinação e o crescimento do fungo durante as fases de pré e pós colonização. Como consequência do estabelecimento da colonização radicular, a nutrição em fósforo passa a ser melhorada e reduzem-se assim, as perdas de metabólitos.

Porém, segundo COOPER (1984), o mecanismo pelo qual o teor de fósforo nos tecidos do vegetal regula a co

lonização micorrízica não é claro. Neste processo podem estar envolvidas enzimas fosfatadas específicas cujas atividades diminuem em condições de elevados níveis de fósforo.

ABBOTT *et alii* (1984) estudaram os efeitos do superfosfato (0, 17, 33, 50, 83 4 150 µ P/g terra) e de *G. fasciculatum* no crescimento de trevo subterrâneo e no comprimento das hifas formadas no solo. Para os vasos inoculados, o superfosfato aumentou o crescimento vegetal com um máximo na dose de 33 µg P/g terra, enquanto que para os vasos não - inoculados, o máximo crescimento ocorreu com a dose de 150 µg P/g terra. As porcentagens do comprimento radicular colonizado e contendo vesículas foram maiores nas plantas inoculadas e, para ambas as plantas, tais porcentagens atingiram um máximo na dose de de 17 µg P/g terra, a partir da qual decresceram significativamente.

FERNANDES *et alii* (1987) também verificaram - os efeitos de doses crescentes de fósforo solúvel (0, 60, 120, 180, 240 e 300 ppm) no estabelecimento e eficiência da simbiose endomicorrízica (*G. macrocarpum*) em milho e soja, cultivados em solo esterilizado e sob condições de casa de vegetação. O efeito da adição de fósforo sobre a colonização micorrízica em milho foi negativa e linear enquanto que para a soja, os autores obtiveram um máximo de colonização na dose de 60 ppm P seguido de uma diminuição em função do aumento das doses de P. A dependência micorrízica para ambas as espécies vegetais foi máxima aos 60 ppm P, sendo maior para a soja do que para o milho.

A inibição dos efeitos de fungo MVA (*G. margarita*) sobre o crescimento do cafeeiro, em consequência de doses crescentes de fósforo solúvel (0, 200, 400, 800, 1600, 3200 e 48000 ppm $P_2O_5$, como superfosfato triplo), também foi verificada por COLOZZI-FILHO & SIQUEIRA (1986). Tanto a adiçao de fósforo quanto a inoculação com o fungo MVA resultaram em aumentos na produção de massa vegetal aérea e radicu-

lar. O fósforo promoveu aumentos na colonização radicular - até a dose de 800 ppm $P_2O_5$, e após, teve um efeito inibitório sobre este parâmetro.

Entretanto, a inibição da colonização radicular pela MVA em função de teores crescentes de P pode ser anulada, conforme observado por JOHNSON (1984). A inoculação de *Citrus aurantian* L. com o fungo *Glomus intraradices* resultou numa inibição da colonização radicular em função de doses crescentes de fósforo após nove semanas de incubação, porém, após vinte e seis semanas, as porcentagens de colonização foram semelhantes, independentemente do nível de fósforo aplicado como fertilizante (0; 6,25; 25 e 100 mg P).

O autor discute que *G. intraradices* é um fungo MVA encontrado em solos da Flórida com elevados teores de P e que tem uma esporulação típica, ou seja, dá-se no interior das células corticais radiculares. Ademais, a esporulação aumentada nas células corticais em condições de elevada nutrição fosfórica representa um mecanismo de reprodução e manutenção de altos níveis de colonização.

Com relação ao fósforo absorvido pelas plantas micorrizadas, os pesquisadores relatam que a absorção - dá-se provavelmente somente a partir do fósforo solúvel existente no solo e que tais plantas são incapazes de utilizar - outras fontes de P não disponíveis às raízes não colonizadas (COOPER, 1984).

Entretanto, embora a literatura apresente inúmeros resultados que levam à conclusão de que plantas micorrizadas e não micorrizadas obtêm fósforo a partir de uma mesma fonte no solo, estudos recentes têm sugerido que tal conclusão não é necessariamente correta porque, formas de fósforo no solo com disponibilidade diferentes às plantas micorrizadas e não micorrizadas são uniformemente marcadas pela adição de $P^{32}$ (Bolan *et alii*, 1983, citado por BOLAN *et alii* , 1987).

Ademais, como os teores de P solúvel nos solos são baixos (ao redor de 1 a 5% do P total), foi sugerido que as MVA pudessem ser capazes de solubilizar fontes de fósforo não disponíveis às plantas não micorrizadas ( COOPER , 1984).

BOLAN *et alii* (1987) conduziram um experimento na tentativa de esclarecer as dúvidas com relação ao fósforo absorvido pelas plantas micorrizadas. Mediram a colonização micorrízica por *G. fasciculatum* em plantas de trêvo subterrâneo e centeio, usando três fontes de fósforo com solubilidades diferentes. Para ambas as plantas, os maiores benefícios da inoculação micorrízica foram obtidos com a fonte menos solúvel de fósforo. As fontes utilizadas foram (em ordem decrescente de solubilidade): fosfato de potássio dihidrogenado, fosfato de ferro coloidal e fosfato de ferro cristalino (estrengita).

Segundo os autores, estes resultados sugerem que as plantas micorrizadas são capazes de explorar o solo de modo mais completo e de se estabelecerem usando fósforo a partir de fosfatos de ferro pouco solúveis.

Ademais, ainda segundo os autores, é possível que as plantas micorrizadas aumentem a velocidade de absorção a partir dessas fontes pouco solúveis pelo aumento do gradiente de difusão, por íntimo contato com a fonte, pela obtenção de uma baixa concentração de fosfato na superfície ou pelo fato das hifas micorrízicas serem capazes de modificar quimicamente a disponibilidade dos fosfatos de ferro, através da produção de compostos orgânicos como o citrato , cuja produção ainda não foi evidenciada.

Ainda neste contexto e segundo BAREA *et alii* (1983), há evidências de que as plantas micorrízicas exploram melhor as rochas fosfatadas porque suas hifas fazem um contato mais íntimo com o fosfato que as raízes da planta; quando os íons solúveis forem quimicamente (ou biologicamen-

te) dissociados, a MVA absorve e transloca para a raíz.

A produção de matéria seca de *Stylosanthes guianensis* e *Desmodium intortum*, em resposta à adição de fosfato de Patos, foi aumentada com a inoculação de *G. fasciculatum* (CABALA-ROSAND & WILD, 1982). O efeito foi parcialmente relacionado à extensão do desenvolvimento do sistema radicular. As hifas micorrízicas reduzem a distância requerida para o transporte do fosfato a partir das partículas da rocha até as superfícies de absorção radicular, o efeito sendo maior quanto mais separadas forem as raízes.

IKRAM *et alii* (1987), avaliaram os efeitos da inoculação de dois fungos MVA e a fertilização com fosfato de rocha em *Calopogonium caeruleum*, em cinco solos ácidos deficientes em fósforo. A adição de fosfato de rocha por si só teve pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento vegetal. Porém, a inoculação com *G. fasciculatum* e *G. macrocarpum* promoveu aumentos significativos na matéria seca da parte aérea, na maioria dos solos testados, esterilizados ou não, e geralmente, esses aumentos foram maiores quanto maior a dose de fosfato de rocha adicionado (0, 28, 57, 85 e 113 Kg P/ha , Christmas Island rock phosphate - CIRP).

Os efeitos de *G. mosseae* e *G. fasciculatum* na fixação de $N_2$, crescimento e absorção de N e P em plantas de *Centrosema pubescens*, *Galactia striata* e *Macroptilium atropurpureum* (siratro), foram estudados por PAULINO *et alli* (1986), em solo tratado com fosfatos solúvel e de rocha, em condições de casa de vegetação. O fosfato de rocha associado a MVA promoveu efeitos positivos nos parâmetros analisados e equivalentes aos do fosfato solúvel para siratro, também associado a MVA. Porém, para centrosema e galactia, com qualquer um dos fungos MVA, os efeitos do fosfato de rocha foram inferiores aos do fosfato solúvel.

## 2.6. Interação entre fungos MVA, bactérias fixadoras de $N_2$ e microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha

Embora muitos microrganismos do solo sejam capazes de liberar o fosfato de rochas fosfáticas "in vitro", a efetividade do processo no solo é duvidosa, como já foi comentado anteriormente. Segundo BAREA *et alii* (1983), a escassez de fontes de energia nos habitats não rizosféricos e a translocação dos íons até as raízes, associada com a forte tendência da refixação para formas insolúveis, são os fatôres que condicionam a eficiência do processo de solubilização do fosfato de rocha nos solos.

Contudo, em certas situações de solos neutro-alcalinos, a inoculação de fungo MVA e bactéria solubilizadora de fosfato de rocha (BSF) parece aumentar a utilização da rocha fosfática, pelas plantas micorrizadas (Azcón *et alii*, 1976, citados por BAREA *et alii*, 1983).

BAREA *et alii* (1983) apresentam as duas possibilidades que foram sugeridas para explicar a cooperação entre os dois inoculantes microbianos:

1 - A BSF pode afetar o crescimento vegetal através da produção de hormônios vegetais que alterariam a morfologia e fisiologia radicular podendo assim, influenciar a capacidade de absorção de P pelas raízes ou a formação da micorriza.

2 - A BSF pode atuar através da liberação de íons fosfato a partir da rocha, em microhabitats, porém, com necessidade de pré-requisitos. Os íons fosfato hidrolizados pela BSF passariam para a solução do solo, seriam absorvidos pelas hifas do fungo MVA e estariam assim, livres de uma possível refixação por minerais de argila, Fe, Al, Ca, etc.

Este tipo de inoculação dupla e simultânea tem sido ressaltada porque estimula muito mais o crescimento de planta que a inoculação isolada de um dos inóculos, em condições de solos deficientes em fósforo disponível (Barea *et alii*, citados por PICCINI & AZCÓN, 1987).

Sendo assim, a ação combinada de BSF e MVA pode aumentar a capacidade das plantas em utilizar o fosfato natural pouco solúvel, conforme observaram PICCINI & AZCÓN (1987). Os autores verificaram o efeito de uma BSF e três fungos MVA na utilização do fosfato de rocha Bayovar por plantas de alfafa, em casa de vegetação. Na presença do fosfato de rocha, a inoculação com BSF aumentou a matéria seca das plantas em todos os tratamentos, ou seja, com e sem fungo MVA, *G. mosseae*, *G. fasciculatum* ou *Glomus* sp. Porém, na ausência do fosfato de rocha, a inoculação com BSF aumentou o crescimento vegetal somente para as plantas colonizadas por *G. mosseae*.

A inoculação de solo com *G. fasciculatum* e com uma BSF, *Bacillus circulans*, resultou num efeito sinérgico, com aumentos na absorção de fósforo e produção de matéria seca de painço (RAJ *et alii*, 1981).

Em condições de solo calcárico neutro, a inoculação com *G. mosseae* ou *Glomus* sp, promoveu aumentos no crescimento e nutrição da soja (AZCÓN-AGUILAR *et alii*, 1986). Com relação à inoculação com BSF, embora ela não tenha aumentado a utilização do fertilizante ortofosfato de cálcio pelas raízes ou pela micorriza, promoveu um aumento na concentração e conteúdo do N radicular e também, na relação parte aérea: parte radicular.

PAULINO & AZCÓN (1987), verificaram os efeitos das interações entre *G. fasciculatum*, *Bradyrhizobium* sp e dois microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha (fungo e bactéria) sobre o crescimento de *Centrosema pubescens*, em substrato esterilizado (solo + turfa) tratado com

os fosfatos de rocha Bayovar (Peru) ou Khowribga (Marrocos) a 0,2%. A inoculação com o fungo MVA promoveu aumentos na absorção de N, P, K, Ca e Mg, produção de massa vegetal, nodulação e atividade da nitrogenase, porém, esses aumentos - tornaram-se maiores quando se inocularam também microrganismos solubilizadores dos fosfatos de rocha.

Muitos estudos tem demonstrado que a inoculação de leguminosas com fungos MVA pode resultar num aumento da fixação do $N_2$ pelo *Bradyrhizobium*, em função do aumento - da absorção de fósforo.

Neste contexto, PACOVSKY *et alii* (1986), trabalhando com soja inoculada com *G. fasciculatum* e *Bradyrhizobium japonicum*, verificaram interações sinérgicas entre os microssimbiontes, o que sugere que a resposta do hospedeiro à colonização dupla é complexa e dependente de um balanço entre os três membros da simbiose.

A inoculação conjunta de fungo MVA e *Bradyrhizobium* resultou em peso de matéria seca 18% maiores em relação aos das plantas inoculadas apenas com *Bradyrhizobium* e este aumento foi devido à uma interação positiva entre os - dois microssimbiontes. Plantas colonizadas apenas com fungo MVA, não diferiram significativamente das plantas controle - (sem fungo MVA e sem *Bradyrhizobium*), em termos de matéria - seca e também, não apresentaram aumentos significativos na área foliar, porém, este parâmetro teve um aumento de 18% - com a dupla colonização.

A literatura apresenta também, pesquisas sobre os efeitos da simbiose múltipla de fungos MVA, bactérias fixadoras de $N_2$ e microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha sobre o crescimento vegetal.

Neste contexto, MANJUNATH *et alii* (1981), estudaram os efeitos da inoculação com *G. fasciculatum*, *Beijerinckia mobilis* e *Aspergillus niger*, separadamente ou em combinações, no crescimento e conteúdos de N e P em cebola, cul

tivada em condições de casa de vegetação, em solo arenoso - não esterilizado e com pH 5,6. A esporulação do fungo MVA e o peso de matéria seca das partes aérea e radicular da cebola aumentaram significativamente com o inóculo misto de *B. mobilis* e *G. fasciculatum*, porém, os aumentos foram maiores ainda com inóculo triplo, ou seja, adicionando-se também o *A. niger*. Para a matéria fresca dos bulbos, todos os inóculos, separadamente ou em conjunto, promoveram aumentos significativos nos parâmetros analisados. Os efeitos da inoculação tripla foram atribuídos às atividades dos microrganismos envolvidos, ou seja, fixação de $N_2$, maior absorção de fósforo e produção de substâncias promotoras do crescimento vegetal.

# 3. MATERIAIS E MÉTODOS

## 3.1. Experimentos em percoladores

Foram conduzidos dois experimentos em percoladores, em condições de laboratório, para se verificar o efeito de cinco tipos de matéria orgânica, complementadas ou não com nitrogênio, sobre o processo microbiano heterotrófico de solubilização de um fosfato de rocha aplicado a um solo. O delineamento dos experimentos foi inteiramente casualizados.

- *Experimento nº 1*: Efeito de quatro tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha

Neste experimento estudou-se o efeito de palha de soja, palha de milho, bagaço-de-cana e vinhaça sobre a solubilização de apatita de Araxá. O experimento constou de nove tratamentos com cinco repetições por tratamento, ou seja: controle (sem adição de matéria orgânica e fosfato de rocha); fosfato de rocha (FR); fosfato de rocha e soja (FR + S) e fosfato de rocha e milho (FR+M; FR+M+N); fosfato de rocha e bagaço de cana (FR+BC; FR+BC+N) e fosfato de rocha e vinhaça (FR+V; FR+V+N), complementados ou não com nitrogênio.

- *Experimento nº 2*: Efeito de dois tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha

Neste experimento estudou-se o efeito de vinhaça e glicose sobre a solubilização de apatita de Araxá. O experimento constou de seis tratamentos com quatro repetições por tratamento, ou seja: fosfato de rocha, glicose e nitrogênio (FR+G+N); glicose e nitrogênio (G+N); fosfato de rocha e vinhaça (FR+V); fosfato de rocha, vinhaça e nitrogênio (FR + V+N); vinhaça (V) e vinhaça e nitrogênio (V+N).

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados nestes experimentos de laboratório.

### 3.1.1. Materiais

Utilizou-se nestes experimentos, amostra de um solo, um fosfato de rocha, cinco fontes de carbono, uma complementação nitrogenada e percoladores de PVC. As características destes materiais são apresentadas a seguir.

#### 3.1.1.1. Solo

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Amarelo - fase cerrado tropical (CATI-IAC, 1986 e CAMARGO *et alii*, 1987), coletado na região de Rubião Júnior, distrito de Botucatu (SP), nos primeiros 20 cm da superfície do solo. A amostra foi seca ao ar e utilizou-se a fração peneirada a 2,00 mm. As características físicas e químicas desse solo são apresentadas na Tabela 1. Na análise química, adotou-se a metodologia descrita em RAIJ & QUAGGIO (1983).

TABELA 1. Características físicas e químicas da amostra de solo utilizada.

| Composição granulométrica | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Areia Total | Silte | Argila Total | pH $H_2O$ | C via seca | N Total | $PO_4^{-3}$ | $Al^{+++}$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $K^{+}$ |
| % | | | | % | | meq/100 g | | | | |
| 76 | 4 | 20 | 5,1 | 1,49 | 0,043 | 0,026 | 0,94 | 1,62 | 0,50 | 0,11 |

3.1.1.2. Fontes de Carbono

As fontes de carbono utilizadas nestes experimentos foram: palhas de soja e de milho, bagaço de cana, vinhaça e glicose. As palhas e o bagaço foram moídos em moínho de aço inoxidável; utilizou-se a fração peneirada a 2 mm.

Os teores de carbono total (via seca) e de nitrogênio total dessas fontes eram: 38% C e 2,51% N (palha de soja), 37% C e 0,48% N (palha de milho), 35% C e 0,20% N (bagaço de cana), 0,33% C e 0,0092% N (vinhaça, pH 3,22) e glicose (40% C).

3.1.1.3. Complementação nitrogenada

Como complementação nitrogenaka utilizou-se sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$.

3.1.1.4. Fosfato natural

A fonte de fosfato natural utilizada foi apatita de Araxá finamente moída, contendo 31% de $P_2O_5$, na dose de 3.000 ppm P, ou seja, 0,3325 g de apatita por parcela.

#### 3.1.1.5. Percoladores

Os percoladores (Figura 1) constituiram-se em tubos de PVC (Ø = 5 cm e h = 30 cm) com as conexões totalmente seladas, não havendo vazamentos da solução percoladora ou trocas gasosas (EIRA, 1973).

### 3.1.2. Métodos

As amostras de solo, adicionadas ou não com uma das cinco fontes de carbono, o fosfato natural e a complementação nitrogenada, foram incubadas a 25°C, em condições de laboratório, em percoladores de PVC.

#### 3.1.2.1. Preparo dos percoladores com solo

Inicialmente, colocaram-se 25 g de areia de quartzo seca (previamente tratada com ácido clorídrico e lavada com água corrente e água destilada) sobre o disco de PVC do percolador. A seguir, adicionou-se a mistura previamente homogeneizada de 15 g de terra, 30 g de areia de quartzo, 0,3325 g de apatita de Araxá, a complementação nitrogenada e uma das fontes de carbono, exceto a vinhaça.

A quantidade de carbono a ser aplicada foi determinada de tal modo a trazer o sistema para um teor de carbono total igual a 3,5%. Sendo assim, considerando-se que 15 g do solo possuem 0,22 g de carbono e que são necessárias - 0,30 g de carbono adicional para se obter 3,5% de carbono total no sistema, foram adicionados 0,79 g de palha de soja , 0,81 g de palha de milho, 0,85 g de bagaço, 91,36 ml de vinhaça e 0,7538 g de glicose.

No primeiro experimento, o sulfato de amônio, como complementação nitrogenada, foi adicionado em apenas - 50% das parcelas com adição de palha de milho, bagaço de ca-

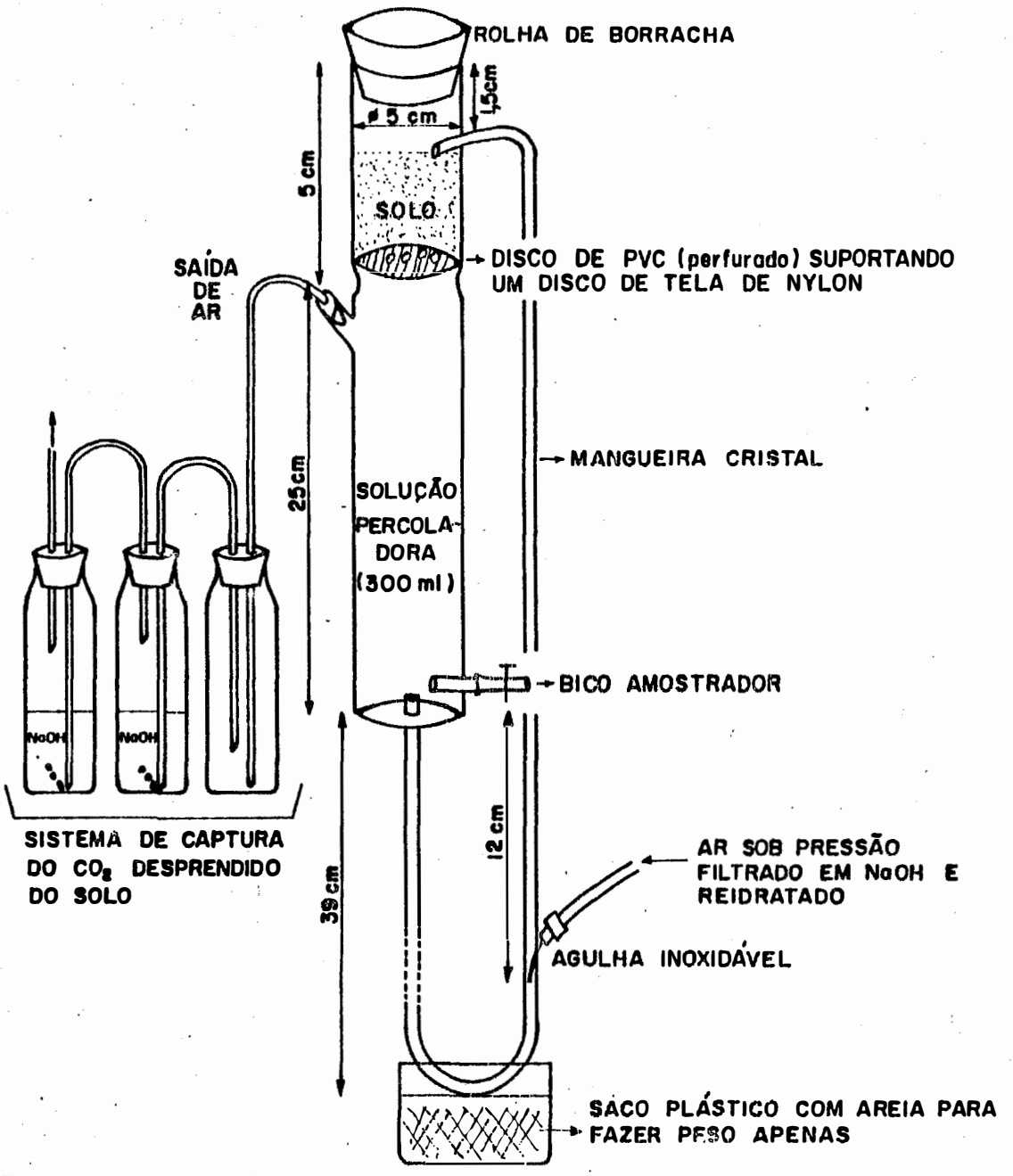



FIGURA 1. Percolador utilizado no estudo da solubilização microbiana de fosfato de rocha.

na e vinhaça. A dose de sulfato adicionada ao solo foi suficiente para se obter uma relação C:N do sistema equivalente àquela obtida quando da aplicação de soja, ou seja, 20:1. Para tanto, foi adicionado 0,760 g, 0,0864 g e 0,0548 g de sulfato de amônio em 50% das parcelas dos tratamentos com palha de milho, bagaço de cana e vinhaça, respectivamente. Como tratamento controle, foram preparados percoladores com 15 g de solo apenas e percoladores com 15 g de solo e 0,3325 g de apatita.

No segundo experimento, a complementação nitrogenada foi aplicada em todas as parcelas com adição de glicose e em 50% das parcelas com adição de vinhaça. A dose utilizada foi a suficiente para se obter uma relação C:N do sistema igual a 20:1, como no primeiro experimento. Sendo assim, adicionou-se 0,0548 g e 0,0944 g de sulfato de amônio em 50% das parcelas com adição de vinhaça e em todas as parcelas com adição de glicose, respectivamente. Como tratamentos controle, foram preparados percoladores sem adição de apatita, ou seja, percoladores com solo, glicose e sulfato de amônio, percoladores com solo, vinhaça e sulfato de amônio e percoladores com solo e vinhaça apenas.

Após a adição da mistura de solo, apatita, areia de quartzo e matéria orgânica (exceto a vinhaça), adicionaram-se 300 ml de água destilada em cada percolador. Porém, para os tratamentos com vinhaça, foram adicionados 91,36 ml de vinhaça e o restante em água destilada até completar 300 ml de líquido adicionado. Esse volume corresponde à solução percoladora do sistema.

Os percoladores assim preparados foram tampados com uma rolha de borracha e a conexão percolador-rolha, vedada com cola de silicone.

#### 3.1.2.2. Funcionamento dos percoladores

Após o preparo dos percoladores, iniciou-se a incubação das amostras de solo sob percolação, durante um período de 45 dias. Para tanto injetou-se continuamente ar sob pressão em cada um dos percoladores fazendo-se uso de um compressor de ar (pressão de trabalho de 0,25 libras/pol$^2$). A pressão utilizada foi a necessária para se formar uma coluna seccionada de água na tubulação acima do ponto de injeção , promovendo com isso, um gotejamento da solução edáfica sobre o solo. O ar sob pressão, antes de ter acesso aos percoladores, era borbulhado numa série de dois Kitassatos contendo - solução concentrada de hidróxido de sódio, para retirar o $CO_2$ do mesmo e depois, era reidratado . O NaOH era renovado semanalmente com base no indicador fenolftaleina presente na solução.

### 3.1.3. Parâmetros avaliados

#### 3.1.3.1. Fósforo solúvel

Dosou-se o fósforo solúvel do percolado do solo no início da incubação do solo e aos 7, 14, 21, 29 e 45 - dias e aos 1, 2, 3, 4, 7, 8, 15 e 24 dias de incubação, respectivamente para o primeiro e segundo experimentos.

Para tanto, coletaram-se amostras de 9,3 ml da solução edáfica, a partir do bico amostrador da base do percolador e colocou-se uma alíquota de 2 ml num balão volumétrico de 50 ml. Adicionou-se cerca de 25 ml de água destilada e a seguir, 1 gota de solução alcoólica de fenolftaléina a 1%. Neutralizou-se com solução aquosa 1:1 de hidróxido de amônio, quando então a mistura adquiriu coloração avermelhada e agitou-se. Adicionou-se 5 ml de solução sulfo bismuto molíbdica e agitou-se. A seguir, adicionou-se 1 ml de so-

lução aquosa de ácido ascórbico a 3%. Completou-se o volume a 50 ml e agitou-se. Deixou-se em repouso durante 15 minutos e a seguir, procedeu-se a leitura da absorbância no espectrofôtometro.

Os dados de absorbância encontrados foram aplicados na equação de regressão linear previamente elaborada. Esta equação foi determinada utilizando-se diluições de uma solução padrão de ácido fosfórico e fazendo-se leituras no referido espectrofôtometro. A equação obtida foi:

$$Y = 0,6128 + 87,4247x \qquad r = 0,999$$

onde:

Y = µg P/2 ml da amostra

x = absorbância

Após as amostragens da solução percolada do solo, completava-se o volume da mesma, injetando-se água destilada no orifício de saída de gases dos percoladores.

### 3.1.3.2. pH da solução percolada

O pH da solução percolada foi medido nas mesmas amostras retiradas para a determinação do fósforo solúvel. A leitura foi feita em potenciômetro PROCYON pHN-4.

### 3.1.3.3. Carbono desprendido do solo

Apenas três parcelas de cada tratamento dos dois experimentos foram submetidas à análise periódica do $CO_2$ desprendido do solo.

Para tanto, através de mangueira fina de plástico tipo cristal, conectou-se a saída de ar do percolador numa série de 3 frascos. O 1º deles era vazio e os dois outros consecutivos continham 25 ml de NaOH 0,25 N para reter o $CO_2$ liberado do solo.

Para esta análise foram instalados também, em cada um dos experimentos, três percoladores contendo apenas 300 ml de água destilada; tais parcelas constituíram-se nos brancos para a soda.

Inicialmente, retirou-se os frascos com NaOH, lavou-se rapidamente as tubulações com água destilada e tampou-se os frascos com tampa plástica. Imediatamente após, colocou-se dois novos frascos contendo 25 ml de NaOH 0,25 N cada um.

Na determinação do carbono, precipitava-se o carbonato de sódio formado nos frascos com NaOH com solução aquosa saturada de cloreto de bário. A seguir, titulava-se os dois volumes de soda com HCl 0,25 N, separadamente, utilizando-se 3 gotas de fenolftaleína 1% como indicador do ponto de viragem rosa-leitoso para branco-leitoso. Calculou-se o carbono desprendido do solo, utilizando-se a equação:

$$mgC = |Vb - Va| \cdot 6 \cdot N_{HCl}$$

onde:

mgC = quantidade de carbono desprendido do solo

Vb = volume de HCl, em ml, gasto na titulação do branco

Va = volume de HCl, em ml, gasto na titulação de amostras

$N_{HCl}$ = normalidade do ácido clorídrico

Dosou-se o carbono desprendido do solo aos 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 14, 16, 18, 22, 25 e 28 dias e aos 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 15, 19, 29, 33, 38 e 43 dias de incubação, respectivamente para o primeiro e segundo experimentos.

### 3.2. Experimentos em vasos

No presente trabalho foram conduzidos também dois experimentos em vasos, para se verificar o efeito de

três fontes de carbono sobre o processo microbiano de solubilização de fosfato de rocha, utilizando-se plantas de soja - micorrizadas ou não, como parâmetro indicador do processo. O delineamento dos experimentos foi inteiramente casualizado.

- *Experimento nº 3:* Efeito de três tipos de - matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção - de nutrientes pela soja.

Neste experimento, plantas de soja cv. Foscarin 31, inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e associadas ou não com fungo micorrízico vesículo-arbuscular, foram cultivadas em amostras de um solo pré-incubadas por um período de 96 dias, em função da adição de um fosfato de rocha e com ou sem adição de bagaço-de-cana, palha de soja ou vinhaça. O experimento constou de nove tratamentos, quatro repetições - por tratamento, com e sem inoculação micorrízica e duas épocas de amostragens (no florescimento e no final do ciclo). - Os tratamentos foram os seguintes: controle (sem fosfato e matéria orgânica), fosfato de rocha (FR), fosfato de rocha e vinhaça (FR+V), fosfato de rocha e bagaço-de-cana (FR+BC) , fosfato de rocha e palha de soja (FR+S) e fosfato solúvel em quatro dosagens, a 10, 30, 50 e 70 ppm P ($ST_1$, $ST_2$, $ST_3$ e $ST_4$). Para os quatro últimos tratamentos, a adição de fosfato solúvel ocorreu na véspera do plantio da soja.

- *Experimento nº 4:* Efeito da matéria orgânica, submetida a diferentes períodos de degradação, na solubilização microbiana de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja.

Neste experimento, plantas de soja cv. Foscarin 31, inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e associados ou não com fungo micorrízico vesículo-arbuscular, foram cultivadas em amostras de um solo pré-incubadas por dois períodos distintos, 116 e 78 dias, em função da adição de um fosfato de rocha com ou sem bagaço-de-cana e da adição de fosfato de rocha com bagaço-de-cana, respectivamente. O experimento constou de seis tratamentos, seis repetições por tratamento, com e sem inoculação micorrízica e uma época de amostragem (no florescimento).

Os tratamentos foram os seguintes: controle (sem fosfato, matéria orgânica e fungo MVA), fosfato de rocha (FR), fosfato de rocha, bagaço de cana e nitrogênio pré-incubados por 116 dias (FR + BC + $Nt_1$), fosfato de rocha, bagaço de cana e nitrogênio pré-incubados por 78 dias (FR + BC + $Nt_2$) e fosfato solúvel a 30 e 70 ppm P ($ST_1$ e $ST_4$). Para os dois últimos tratamentos, a adição de fosfato solúvel ocorreu no dia do plantio.

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados nestes experimentos realizados em casa de vegetação.

### 3.2.1. Materiais

O solo, o fosfato de rocha e os materiais orgânicos utilizados nos experimentos em vasos, foram os mesmos da experimentação em laboratório. Empregaram-se plantas de soja variedade Foscarin 31, cujas sementes foram cedidas pelo Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal, FCA/UNESP, Botucatu. Os microssimbiontes utilizados foram *Bradyrhizobium japonicum* e *Glomus macrocarpum*.

### 3.2.2. Métodos

#### 3.2.2.1. Preparo dos vasos

Os vasos foram preparados individualmente e eram compostos por uma mistura de 2,25 kg de amostra do mesmo solo utilizado nos experimentos em percoladores e 0,75 kg de areia de rio lavada.

Inicialmente, misturou-se uniformemente 2,07 g de calcáreo (46,3% CaO + 8,3% MgO) com a terra de cada vaso e incubou-se por um período de 51 dias e 40 dias, respectivamente para o terceiro e o quarto experimento. Durante este período, a umidade das amostras foi mantida em cerca de 60% da capacidade de retenção de água (capacidade previamente determinada através de saturação de amostra por ascenção capilar em cadinhos de Gooch).

Após a incubação, os vasos foram submetidos a um tratamento com calor úmido, temperatura de 80-90$^{o}$C por 6 horas, durante 3 dias consecutivos. O aquecimento deu-se sob o vapor fluente de uma caldeira.

A seguir, procedeu-se a secagem da terra dos vasos, através do uso de um desumidificador de ambiente tipo ARSEC modelo 200 M3. A secagem das parcelas constituiu-se num pré-requisito para uma perfeita homogeneização do mate-

rial orgânico e rocha fosfática a serem adicionados.

No terceiro experimento, as fontes de matéria orgânica, adicionadas ao solo aos 98 dias antes do plantio, foram bagaço de cana, palha de soja e vinhaça. As quantidades aplicadas ao solo foram determinadas de tal modo a trazer os sistemas para um teor de carbono total igual a 1,8% e, como consequência, as relações C:N equivaleram-se a 40:1, 29:1 e 35:1, em função da adição das respectivas fontes de carbono. Para tanto, adicionou-se 17,76 g de palha de soja por vaso, 2056 ml de vinhaça por vaso e 19,13 g de bagaço por vaso. A adição de vinhaça foi parcelada, de tal modo a não superar o nível de umidade pré-fixado em 60% da capacidade de retenção de água. Os vasos com adição de bagaço receberam também 1,2547 g de sulfato de amônio, justamente para se conseguir uma relação C:N mais próxima à dos demais tratamentos, ou seja, 32:1. Preparou-se também vasos com adição de fosfato de rocha apenas, aos 98 dias antes do plantio da soja.

No quarto experimento, utilizou-se apenas bagaço de cana como fonte de carbono, o qual foi adicionado nas terras dos vasos em duas épocas antes do plantio, defasadas de 43 dias entre si. Ou seja, metade das parcelas receberam bagaço de cana aos 116 dias e a outra metade, aos 78 dias antes do plantio. A quantidade adicionada foi igual à do terceiro experimento, ou seja, 19,13 g de bagaço-de-cana. Complementou-se também com nitrogênio, a base de 1,2547 g de sulfato de amônio, para se obter a relação C:N igual a 32:1. Preparou-se também, aos 116 dias antes do plantio, vasos com adição de fosfato de rocha apenas.

Juntamente com a adição da matéria orgânica, adicionou-se também apatita de Araxá na dosagem de 5,82g por vaso, em ambos os experimentos, o que correspondeu a 263 ppm P.

Após tal procedimento, adicionou-se 50 ml de

extrato de solo em todos os vasos dos experimentos, inclusive naqueles que não foram adicionados de matéria orgânica e/ou fosfato de rocha. Para o preparo do extrato de solo, procedeu-se da seguinte maneira: misturou-se e decantou-se 2 kg de terra natural em cerca de 10 litros de água destilada. - Centrifugou-se o sobrenadante a 2000 rpm/5 min. Filtrou-se o sobrenadante em peneira Granutest de malha 0,074 mm e filtrou-se a vácuo em papel de filtro (papel cromatográfico Whatman, espessura 0,16 mm).

A adição de extrato de solo visou a reposição da população microbiana ao solo, exceto fungos micorrízicos, para promoverem a decomposição do material orgânico adicionado.

Assim preparados, os vasos foram incubados à temperatura ambiente, em recinto sob ventilação, tendo a umidade sido corrigida semanalmente, para 60% da capacidade de retenção de água.

#### 3.2.2.2. Produção de inóculo de *Bradyrhizobium japonicum*

Culturas puras das cepas Semia 587 e Semia - 5019 fornecidas pela Seção de Microbiologia do CENA/USP - Piracicaba, conservadas em meio YMA (Yeast-Manitol-Agar) modificado por NORRIS (1964), foram semeadas separadamente em erlenmeyers contendo o mesmo meio de cultura, porém, líquido - (YMB, Yeast-Manitol-Broth).

A composição do meio de cultura YMA, é a seguinte:

| | |
|---|---|
| Manitol ..... | 10 g |
| Extrato de levedura ..... | 0,5 g |
| Solução aquosa de: | |
| - $K_2HPO_4$ (80 g/ℓ) ..... | 8,2 ml |
| - $MgSO_4 . 7H_2O$ (10 g/ℓ) ..... | 10 ml |

- $CaCl_2$ (40 g/ℓ) ..... 1 ml
- $FeCl_3 . 6H_2O$ (4 g/ℓ) ..... 1 ml
- azul de bromotimol ..... 0,01 g
- ágar ..... 18 g

Água destilada ..... 1000 ml

Incubou-se em estufa a 30°C por um período de sete dias. Para promover uma melhor aeração, os frascos foram agitados manualmente diariamente.

3.2.2.3. Produção de inóculo do fungo micorrízico vesículo arbuscular *Glomus macrocarpum*

A produção de inóculo de *Glomus macrocarpum* - deu-se a partir de uma amostra de inóculo do referido fungo contendo esporos, hifas e raízes de milho colonizadas, veiculados em cerca de 300 g de terra. A amostra foi fornecida pelo Laboratório de Microbiologia do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, Piracicaba.

Para tanto, preparou-se vasos contendo uma mistura de terra (1,5 kg) e areia de rio lavada (0,5 kg) e autoclavou-se a 110°C por um período de 2 horas.

Elevou-se o pH para 6,5 com a adição de 1,38g de calcáreo (46,3% CaO + 8,3% MgO) e incubou-se por 15 dias; a umidade foi mantida a 60% da capacidade de retenção de água.

Após o período de reação do calcáreo, os vasos foram novamente autoclavados e a seguir, adicionados com os seguintes macronutrientes, em solução: 423 mg de sulfato de amônio (parcelado em 3 aplicações) por vaso, 139,3 mg de superfosfato simples por vaso e 230,5 mg KCl por vaso. Solução de micronutrientes de Hoagland & Arnon, descrita em SARRUGE (1975), porém, sem o manganês, foi adicionada a cada 10 dias, à base de 100 ml por vaso.

A seguir, inoculou-se os vasos com o fungo micorrízico adicionando-se 50 ml da amostra de inóculo (com 4620 esporos de *G. macrocarpum*) e semeou-se 5 sementes de milho. Após a germinação, deixou-se uma planta por vaso.

Transcorrido o ciclo da planta, desprezou-se a parte aérea e coletou-se o conteúdo dos vasos. As raízes foram cortadas em segmentos de cerca de 1 cm e misturados com a terra. Secou-se à sombra e conservou-se todo o inóculo obtido, em sala sob ar condicionado e temperatura de cerca de 20°C.

Foram preparados também vasos com plantio de milho cujo inóculo foi extrato de terra isento de fungos micorrízicos. O inóculo obtido a partir destes vasos correspondeu ao inóculo testemunha para os vasos com plantio de soja sem inoculação com o fungo micorrízico vesículo-arbuscular.

3.2.2.4. Adubação

A adubação foi feita na véspera e no dia do plantio da soja, respectivamente para o terceiro e quatro experimento.

Para tanto, colocou-se o conteúdo de cada vaso em saco plástico comum. Adicionou-se os macronutrientes, homogeneizou-se e retornou-se o conteúdo para os respectivos vasos.

Os macronutrientes adicionados foram potássio (120 ppm K-$K_2SO_4$/vaso), enxofre (49,23 ppm S-$K_2SO_4$/vaso) e fósforo (0, 10, 30, 50 e 70 ppm P-Superfosfato triplo/vaso). A adição de potássio e enxofre foi feita em todas as parcelas dos dois experimentos, porém, a adição de fósforo nos cinco níveis estabelecidos e em dois níveis (30 e 70 ppm P), foi feita respectivamente para os tratamentos do terceiro e quarto experimento cujas parcelas não receberam fosfato de rocha e/ou fonte de carbono.

Adicionaram-se também, apenas para todas as parcelas do quarto experimento, 20 ppm N- $(NH_4)_2SO_4$ .

Solução diluída (1:1000) de micronutrientes - de Hoagland & Arnon, descrita por SARRUGE (1975), porém, sem o manganês, foi adicionada nos vasos, imediatamente após o plantio e depois, em intervalos de 10 dias, à base de 100ml/ vaso, em ambos os experimentos.

3.2.2.5. Plantio e cultivo da soja

Grãos de soja, variedade Foscarin 31, foram - desinfectados em solução aquosa a 20% de hipoclorito de sódio de uso doméstico, durante 15 minutos. A seguir, deixou-se em água corrente durante 30 minutos. Imergiu-se em água durante 3 horas e a seguir, lavou-se rapidamente em água corrente. Após essa desinfecção superficial, as sementes destinadas ao terceiro experimento apenas, foram colocadas em papel Germitest tipo CEL 065 e incubadas a 28-30$^{o}$C por 36 horas.

A inoculação dos dois microssimbiontes foi feita no solo, durante o plantio da soja. Para tanto, afastou-se a camada superficial central de terra de cada vaso para as bordas. Colocou-se 20 ml/vaso do inóculo do fungo MVA (cerca de 600 e 150 esporos para o terceiro e quarto experimento, respectivamente). Recobriu-se com um pouco da terra - afastada e colocaram-se quatro e dez sementes de soja por vaso, pré-germinadas e não, respectivamente para o terceiro e quarto experimento. A seguir, adicionaram-se a cada vaso 20 ml de inóculo misto de *B. japonicum* (Semia 587 e Semia 5019). Tal inoculação foi feita pipetando-se a solução ao redor das sementes. Por fim, recobriu-se as sementes com terra e após - quatro dias do plantio, inoculou-se novamente com 20 ml de inóculo misto de *B. japonicum* sobre a terra dos vasos.

A inoculação com *B. japonicum* foi fei-

ta para todos os vasos, mas a inoculação com *Glomus macrocarpum* foi feita em 50% das parcelas de todos os tratamentos - dos dois experimentos. Os vasos sem adição do fungo micorrízico foram inoculados com 20 ml do inóculo testemunha obtido no cultivo de milho, autoclavado a 120°C durante 30 minutos.

Após o aparecimento do primeiro par de folhas, procedeu-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

### 3.2.3. Parâmetros avaliados

Após o plantio e inoculação dos microssimbiontes, os vasos foram incubados em casa de vegetação, a temperatura média de 30°C e umidade de cerca de 60% da capacidade de retenção de água.

O terceiro experimento foi amostrado no florescimento (aos 44 dias do plantio) e no final do ciclo vegetal (aos 111 dias do plantio), enquanto que o quarto experimento foi amostrado apenas no florescimento vegetal (aos 98 dias do plantio).

A seguir serão apresentados os parâmetros que foram avaliados nas amostragens procedidas em tais experimentos.

#### 3.2.3.1. Produção de massa vegetal aérea e radicular

Determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea e de grãos, bem como a produção de matéria fresca radicular.

Para a determinação da produção de matéria seca vegetal, a parte aérea obtida no florescimento e os grãos obtidos no final do ciclo vegetal do terceiro experimento, assim como a parte aérea do quarto experimento, foram secos a 65°C em estufa com circulação forçada de ar.

As raízes, de ambas as amostragens do terceiro experimento, assim como as do quarto experimento, foram lavadas em água corrente e secas ao ar sobre um papel absorvente. Determinou-se o peso úmido e depois, conservou-se em solução de FAA (13 ml formaldeido 40% + 5 ml ácido acético glacial + 200 ml etanol 50%) para posterior análise da colonização micorrízica.

3.2.3.2. Nodulação

Avaliou-se a nodulação das plantas do quarto experimento, determinando-se o número e o peso da matéria seca. Para a determinação do peso da matéria seca nodular, os nódulos foram destacados das raízes, colocados em sacos de papel e secos em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar.

3.2.3.3. Volume radicular

As raízes das plantas de soja do quarto experimento, após a retirada dos nódulos, foram submetidas à leitura do volume radicular, utilizando-se o aparelho simplificado de medição volumétrica de partes vegetais e volumes irregulares, segundo EIRA & SOUZA (1987).

3.2.3.4. Colonização radicular micorrízica

As raízes conservadas no FAA, para ambos os experimentos, foram submetidas à avaliação da colonização pelo fungo micorrízico.

Inicialmente, as raízes foram clareadas e coloridas, segundo o método descrito por PHILLIPS & HAYMAN (1970). Para tanto, retiraram-se as raízes do líquido conservante e lavou-se em água corrente. Clarearam-se as raízes em

solução aquosa de KOH 10%, em banho maria a 90°C, durante 2-3 minutos. Lavou-se em água corrente. Imergiu-se em solução aquosa de HCl a 1% durante 2-3 minutos. Coloriram-se as raízes em solução de lactoglicerol com 0,05% de "trypan - blue", em banho maria a 90°C, durante 3-4 minutos. A seguir, preservaram-se as raízes em solução de lactoglicerol incolor durante 24 horas. Renovou-se a solução de lactoglicerol incolor e preservou-se para a posterior avaliação, em estereomicroscópio da colonização radicular.

Para essa avaliação, retirou-se uma amostra da periferia do sistema radicular e secou-se sobre papel absorvente. A seguir, cortaram-se fragmentos de cerca de 1 cm e distribuiu-se homogeneamente sobre uma placa de Petri com o fundo quadriculado, de acordo com o método descrito por GIOVANNETTI & MOSSE (1980). A presença ou ausência de fungo micorrízico foi registrada apenas nos pontos radiculares que seccionavam os riscos da placa. Determinou-se a porcentagem da colonização radicular de acordo com a equação:

$$\text{Taxa de colonização micorrízica} = \frac{C.100}{C+NC}$$

onde:

C = número de pontos radiculares de intersecção colorizados.

NC= número de pontos radiculares de intersecção não colorizados

### 3.2.3.5. Esporulação do fungo micorrízico no solo

A esporulação do fungo MVA no solo foi avaliada em ambos os experimentos, sendo que no terceiro experimento, a determinação foi feita no florescimento e no final do ciclo vegetal.

Para tanto, utilizou-se a técnica de peneiragem úmida, de acordo com o método descrito por GERDEMANN & NICOLSON (1963), Inicialmente, homogeneizou-se o conteúdo de cada vaso e amostrou-se um volume de 50 ml de terra. A seguir, adicionaram-se cerca de 1000 ml de água, homogeneizou-se, decantou-se e filtrou-se o sobrenadante através de uma série de peneiras Granutest de malhas de 0,590, 0,250, 0,074 e 0,044 mm. Procedeu-se por mais quatro vezes a supensão dos esporos em água, decantação da terra e filtração. A seguir, lavaram-se as peneiras com água corrente e coletou-se, num béquer, o material retido nas duas peneiras de malha mais fina. Adicionaram-se cerca de 30 ml de solução aquosa de sacarose comercial 50%, agitou-se e decantou-se. Filtrou-se na peneira de malha 0,044 mm e os esporos retidos foram coletados num béquer. A contagem dos mesmos foi feita em estereomicroscópio, utilizando-se placa nematológica com anéis concêntricos.

3.2.3.6. Absorção de nutriente pela soja

As massas vegetais aéreas, obtidas no florescimento e final de ciclo, respectivamente do terceiro e quarto experimento, assim como os grãos obtidos no final do ciclo vegetal do terceiro experimento, após secagem e pesagem, foram moídas em moinho de aço inoxidável, peneiradas em malha de 2mm e submetidas à análise de macronutrientes e de micronutrientes.

Nas determinações do nitrogênio, enxofre e boro, adotou-se os métodos micro-kjeldahl direto, turbidimetria e colorimetria associada ao azometin-H, respectivamente, todos descritos em BATAGLIA *et alii* (1983).

O fósforo foi determinado através do método colorimétrico descrito em LOTT *et alii* (1956).

Os demais nutrientes, potássio, cálcio, magnê

sio, cobre, ferro, manganês e zinco foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, conforme metodologia descrita em PERKIN-ELMER CORP. (1966).

### 3.3. Análise estatística

A análise estatística utilizada para comparação dos resultados obtidos nos experimentos foi a Análise de Variância complementada com o Teste de Tukey, considerando-se o nível de 5% de significância e o delineamento para experimentos inteiramente casualizados.

Para se efetuar a análise estatística, necessitou-se de algumas transformações matemáticas nos dados observados. Assim, resultados de contagem e µg, porcentagem e ppm, foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$, arc sen $\sqrt{P/100}$ e $\ell n\ x$, respectivamente (SNEDECOR & COCHRAN, 1972).

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos experimentos desenvolvidos "in vitro" e em casa de vegetação.

## 4.1. Experimento nº 1: Efeito de quatro tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha.

### 4.1.1. Fósforo solúvel

A quantificação do fósforo solúvel no percolado do solo permitiu avaliar o efeito das fontes de carbono no processo microbiano heterotrófico de solubilização do fosfato de rocha.

A Tabela 2 apresenta as quantidades obtidas de fósforo solúvel em função das várias fontes de carbono e das várias relações C:N, para cada período de incubação.

Nos tratamentos sem adição de matéria orgânica as quantidades de fósforo solúvel foram baixas durante todo o período de incubação. Para o tratamento controle, ou seja, sem adição de apatita, o fósforo solúvel foi detectado apenas no final do período de incubação e para o tratamento com adição apenas de apatita (FR), o fósforo solúvel foi de-

TABELA 2. Teores médios de fósforo solúvel (µg P/g de terra) obtidos em percolados de amostras de solo incubadas na presença de uma dose de fosfato natural, quatro tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (cinco repetições).

| Tratamento[1] | C:N do sistema | Incubação (dias) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 7 | 14 | 21 | 29 | 45 |
| | | µg P/g de terra | | | | | |
| Controle | 23:1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,80a | 4,20a |
| FR | 23:1 | 6,82a[2] | 4,58a | 0 | 6,19ab | 7,04ab | 0 |
| FR + BC | 64:1 | 8,40a | 3,73a | 5,58a | 0 | 6,17ab | 5,07a |
| FR + M | 50:1 | 2,10a | 5,76a | 0 | 0 | 8,30ab | 2,10a |
| FR + V | 35:1 | 64,70b | 28,81a | 24,61b | 4,36ab | 21,64bc | 13,33a |
| FR + S | 20:1 | 12,42a | 5,42a | 0 | 1,90a | 2,16a | 2,10a |
| FR+BC+N | 20:1 | 0 | 27,96a | 19,69a | 7,77ab | 25,79c | 0 |
| FR+M+N | 20:1 | 0 | 21,69a | 12,96a | 21,42b | 30,48c | 14,69a |
| FR+V+N | 20:1 | 64,70b | 36,10a | 9,19a | 2,70a | 4,33ab | 0 |
| CV% | | 32,68 | 57,47 | 42,56 | 71,49 | 49,52 | 73,64 |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato de rocha); FR (fosfato de rocha); FR+BC (FR+bagaço-de-cana); FR+M (FR+milho); FR+V (FR+vinhaça); FR+S (FR+soja); FR+BC+N (FR+BC+nitrogênio); FR+M+N (FR+M+nitrogênio) e FR+V+N (FR+V+nitrogênio).

(2) Para cada período de incubação, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%, utilizando-se os dados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

tectado durante quase todo o período de incubação.

Esses baixos teores de P solúvel obtidos nestes tratamentos eram esperados, uma vez que tanto o solo quanto o fosfato de rocha utilizados no experimento eram pobres em P solúvel. A aplicação do fosfato de rocha por si só ao solo promoveu pouca liberação de fósforo solúvel no sistema.

O efeito da adição de quatro fontes distintas de matéria orgânica não complementadas com N, sobre o fósforo solúvel foi variável. A adição de bagaço de cana, palha de soja e palha de milho resultaram em baixas leituras para o P solúvel, o que sugere que tais materiais possam ter tido uma contribuição moderada com o processo microbiano de solubilização do fosfato de rocha, tanto que não houve diferenças significativas entre estes tratamentos e os tratamentos sem matéria orgânica, dentro de cada período de incubação analisado.

Porém, não se deve excluir a possibilidade da ocorrência de processos de imobilização microbiana e fixação em minerais de argila, do fósforo que tenha sido solubilizado (WAKSMAN, 1963; ALEXANDER, 1967 e FASSBENDER, 1984), o que diminuiria o seu teor na solução do percolado do solo.

Por outro lado, a adição de vinhaça promoveu aumentos, muitas vezes significativos, no fósforo solúvel, o qual apresentou dois valores máximos, um deles no início da incubação e outro aos 29 dias de incubação. Porém, neste caso, tal efeito positivo foi provavelmente devido ao índice pH característico da vinhaça utilizada, cuja acidez promoveu a solubilização do fosfato aplicado.

Fixando-se a relação C:N dos tratamentos em 20:1 pela adição de nitrogênio (N) nos tratamentos com vinhaça, milho e bagaço, as leituras para fósforo solúvel foram variadas. As adições de milho e bagaço não promoveram aumentos significativos no P solúvel na maioria dos períodos analisados, em relação aos mesmos tratamentos, porém, sem complementação nitrogenada, e aos tratamentos controle. Com bagaço, as leituras para P solúvel apresentaram dois valores -

máximos, um aos 7 e outro aos 29 dias de incubação. Com milho, obteve-se dois máximos também, um aos 7 dias e outro aos 29 dias de incubação. Aos 29 dias de incubação, bagaço e milho complementados com nitrogênio, promoveram aumentos significativos no fósforo solúvel. Com relação à adição de vinhaça e complementando-se o sistema com nitrogênio, a leitura para P solúvel iniciou-se com o mesmo valor máximo inicial obtido no tratamento sem adição de nitrogênio, porém, foi seguido de uma queda gradativa até atingir valor nulo aos 45 dias de incubação.

Com os resultados apresentados Tabela 2 pode-se dizer que neste experimento, a adição de milho ou bagaço de cana complementada com nitrogênio, estimulou o processo microbiano de solubilização do fosfato de rocha. Para o caso da vinhaça, o baixo índice pH é que provavelmente tenha promovido a solubilização do fosfato adicionado e tal efeito foi mais acentuado no tratamento com relação C:N igual a 35:1 em comparação com o tratamento com relação C:N igual a 20:1.

Devido à grande variabilidade dos resultados obtidos, fica difícil fazer uma generalização com respeito ao efeito de cada tratamento individualmente. Provavelmente, para uma melhor compreensão desta variabilidade seriam necessários estudos detalhados sobre os processos da dinâmica biológica do fósforo no solo, quais sejam a solubilização, imobilização e mineralização, durante a decomposição dessas diversas fontes de matéria orgânica.

Acrescente-se a isso, a dificuldade metodológica em se obter uma homogeneização dos diferentes percoladores, especialmente com relação à circulação da solução edáfica.

### 4.1.2. pH

A Tabela 3 apresenta os dados relativos ao índice pH da solução percolada, durante o período de incubação.

TABELA 3. Índices pH da solução percolada de amostras de solo tratadas com fosfato natural, quatro tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (cinco repetições).

| Tratamento[1] | Incubação (dias) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 7 | 14 | 21 | 29 | 45 |
| Controle | 5,54a[2] | 5,43ab | 5,92a | 5,25ab | 5,16a | 4,60abc |
| FR | 5,36abc | 5,28ab | 5,18abc | 5,61a | 5,68a | 5,60a |
| FR + BC | 5,35abc | 5,83a | 5,46ab | 5,44a | 5,46a | 5,04a |
| FR + M | 5,76a | 5,05b | 5,30abc | 5,34a | 5,16a | 5,54a |
| FR + V | 3,44e | 3,58d | 3,66d | 4,06c | 4,48a | 4,58abc |
| FR + S | 5,07bcd | 5,49ab | 5,67a | 5,58a | 5,54a | 5,28a |
| FR + BC + N | 4,88cd | 4,16cd | 3,93d | 4,05c | 3,65b | 3,64c |
| FR + M + N | 4,64d | 4,29c | 4,39cd | 3,96c | 3,68b | 3,90bc |
| FR + V + N | 3,47e | 4,05cd | 4,60bcd | 4,62bc | 4,78a | 5,02ab |
| CV% | 6,35 | 6,48 | 9,63 | 6,96 | 9,98 | 11,35 |

(1) Tratamentos: Controle (sem adição de fosfato de rocha); FR (fosfato de rocha); FR+BC (FR+bagaço-de-cana); FR+M (FR+milho); FR+V (FR+vinhaça); FR+S (FR+soja); FR+BC+N (FR+BC+nitrogênio); FR+M+N (FR+M+nitrogênio) e FR+V+N (FR+V+nitrogênio).

(2) Para cada período de incubação, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Nos tratamentos controle, fosfato de rocha - (FR) e fosfato de rocha com bagaço de cana (FR + BC), milho (FR+M) e soja (FR+S), o índice pH apresentou-se com valores médios entre 5,32 e 5,45. E de modo geral, não houve diferenças significativas entre estes tratamentos, para cada período de leitura em particular.

Nos tratamentos de fosfato de rocha com vinhaça (FR+V), bagaço de cana e nitrogênio (FR+BC+N), milho e nitrogênio (FR+M+N) e vinhaça e nitrogênio (FR+V+N), o índice pH apresentou-se com valores médios mais baixos, variando de 3,97 a 4,42. E de modo geral, houve uma igualdade significativa entre os índices pH obtidos nestes tratamentos e uma diferença significativa entre estes e os demais tratamentos, - para cada período de incubação analisado.

A Figura 2 apresenta os dados relativos ao índice pH e ao fósforo solúvel para cada tratamento, durante o período de incubação.

O aumento do P solúvel em decorrência da solubilização microbiana de fosfatos de rocha é muitas vezes relacionado a um abaixamento do pH no sistema (ORTUÑO *et alii*, 1978 ab; EIRA & CARVALHO, 1970 e 1971; TARDIEUX-ROCHE, 1966 e SPERBER, 1958). No presente experimento tal relação ocorreu em alguns tratamentos.

Nos tratamentos sem adição de matéria orgânica, os baixos níveis de P solúvel no sistema foram acompanhados de índices pH que variavam de 4,60 a 5,92.

Nos tratamentos com adição de bagaço e milho sem complementação nitrogenada e também no tratamento com - adição de soja, os baixos níveis de P solúvel no sistema também foram acompanhados de índices pH elevados, variando de 5,04 a 5,83. Ainda nestes tratamentos, pode-se verificar que a maioria dos máximos encontrados para o P solúvel coincidem com abaixamentos no pH do sistema.

Nos tratamentos com adição de bagaço e milho

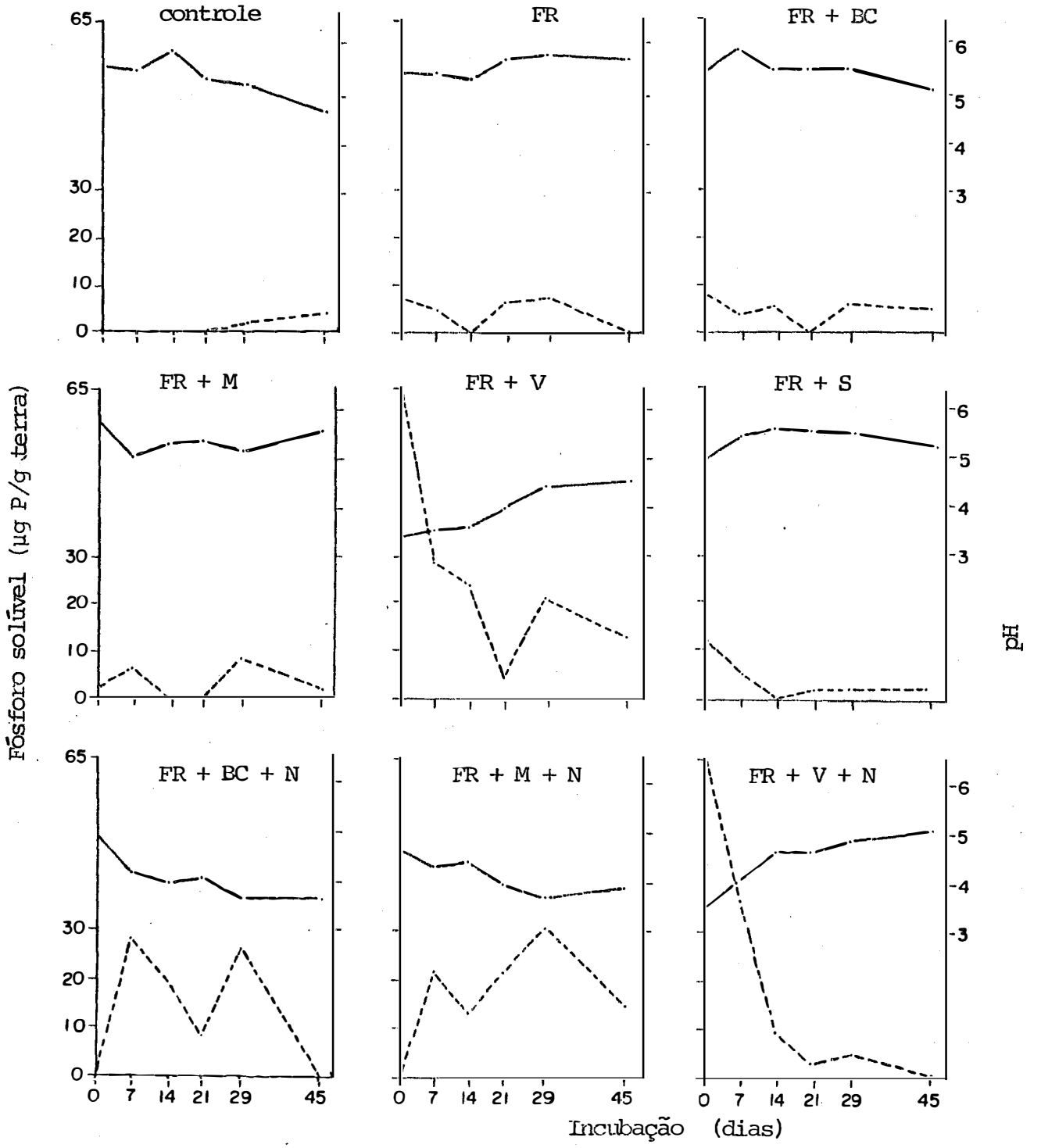



FIGURA 2. Índice pH (—), e teor de fósforo solúvel (---) de percolados de amostras de terra tratadas com fosfato de rocha, quatro tipos - de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (cinco repetições).

complementados com nitrogênio, a relação foi bem evidente. - Os aumentos no P solúvel foram acompanhados de quedas nos valores do índice pH o qual variou de 3,64 a 4,88 e 3,68 a 4,64 para bagaço e milho, respectivamente.

Nos tratamentos com vinhaça, com ou sem complementação nitrogenada, a relação também foi bem evidente, embora a solubilização tenha sido provavelmente uma consequência direta da acidez da vinhaça. Os máximos iniciais de 64,70 µg P/g terra coincidiram com baixos valores de pH iguais a 3,47 e 3,44 para os tratamentos com e sem adição de nitrogênio, respectivamente. E a seguir, as quedas gradativas registradas para o P solúvel, em ambos os tratamentos, foram acompanhadas da elevação do pH do sistema o qual atingiu valores de 5,02 e 4,58 nos tratamentos com e sem adição de nitrogênio, respectivamente, aos 45 dias de incubação.

A elevação do pH do solo em função da aplicação de vinhaça é conhecida desde as décadas de cinquenta e sessenta, com os trabalhos de ALMEIDA (1952), CAMARGO (1954) e CALDAS (1960). Tal variação do pH pode ser decorrente da utilização dos compostos orgânicos, causa da acidez da vinhaça, por uma população microbiana que sobrevêem à aplicação do resíduo ao solo.

### 4.1.3. Carbono desprendido do solo

A Figura 3 apresenta os dados relativos à taxa diária média de carbono desprendido do sistema, para cada tratamento, durante o período de incubação.

Quando um material orgânico é adicionado ao solo, os microrganismos ali presentes promovem, através de reações de oxidação, a decomposição deste material. Através destas reações, os microrganismos - obtém carbono e energia para suas funções celulares. Nestas reações, parte do carbono do material adicionado é perdido na forma de gás carbono (WINSOR & POLLARD, 1956; COCHRANE, 1958 e ALEXANDER, 1967).

Nos tratamentos controle, ou seja, sem adição de matéria orgânica, houve desprendimento de $CO_2$ do sistema, porém, ele foi inferior aos obtidos para os tratamentos adicionados de matéria orgânica.

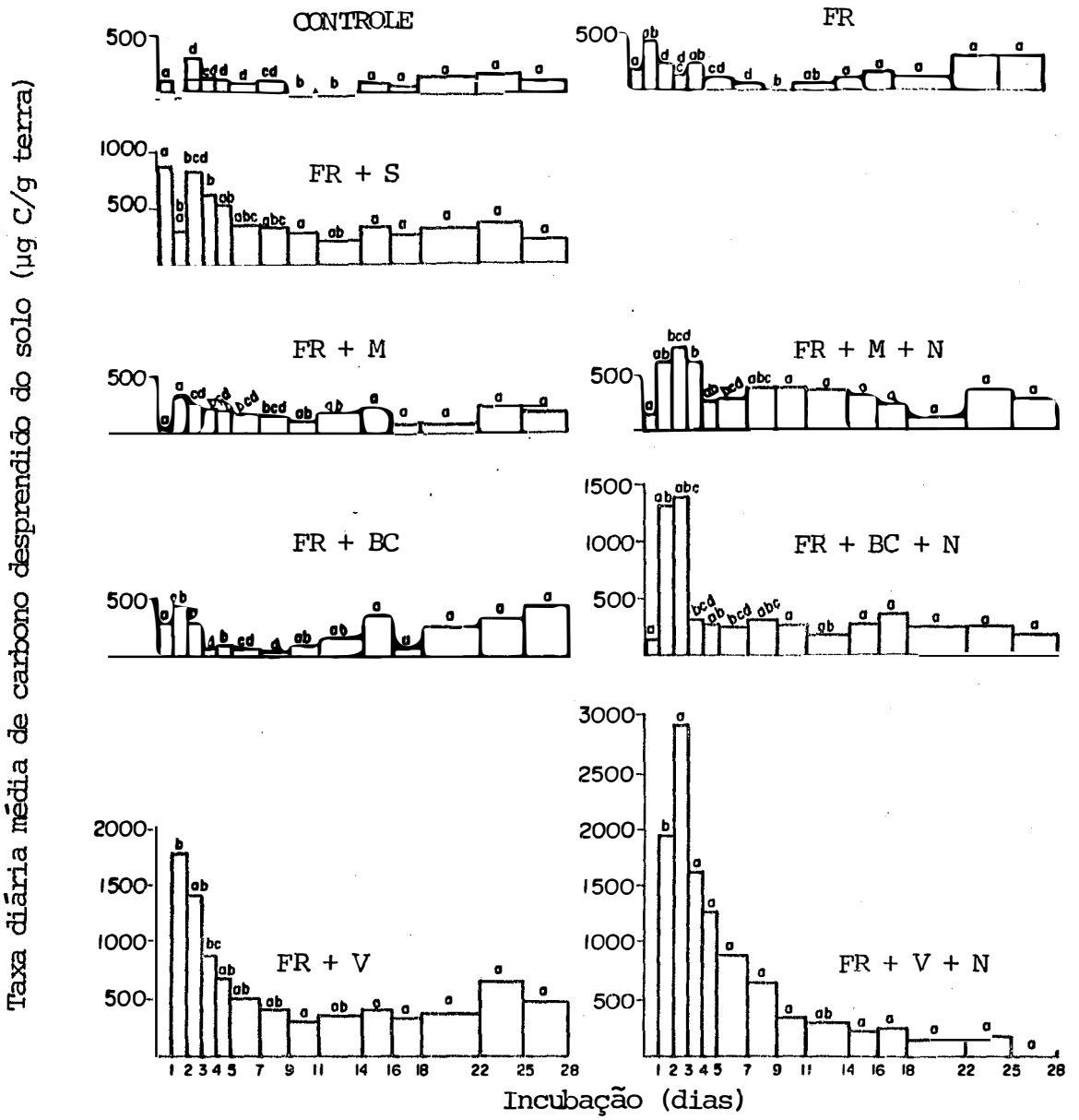



FIGURA 3. Taxa diária média de carbono desprendido do solo (µg C/g terra), obtida na incubação do solo em percoladores, na presença de uma dose de fosfato de rocha, quatro tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (três repetições). Para cada período de incubação, barras com letras iguais não diferem entre si, de acordo com o teste Tukey a 5%.

Tal desprendimento de $CO_2$ na ausência de uma fonte externa de carbono , ainda que baixo pode ser explicado através do estímulo que a adição de água causa no metabolismo dos microrganismos presentes no sistema.

A adição de uma fonte de carbono promoveu aumentos no desprendimento de $CO_2$ do sistema o qual apresentou-se com fases iniciais de maior velocidade, seguidas de fases de estabilização como veremos a seguir.

A liberação de $CO_2$ do solo é muitas vezes utilizada para se estimar a população microbiana (ALEXANDER, 1967 e JENKINSON & POWLSON, 1976), muito embora a evolução de $CO_2$ nem sempre se correlaciona com o número de microrganismos ou com a intensidade dos processos bioquímicos do solo (IMSHENETSKII & MURZAKOV, 1979).

No tratamento com adição de soja (C:N, 20:1), o $CO_2$ desprendido atingiu um pico inicial após um dia de incubação, seguido de uma queda gradativa e uma tendência à estabilização aos vinte e oito dias de incubação.

No tratamento com adição de vinhaça, porém, sem complementação nitrogenada (C:N, 35:1), o $CO_2$ desprendido atingiu um pico inicial após dois dias de incubação, seguido de uma queda gradativa e uma tendência à estabilização aos vinte e oito dias de incubação. A adição de nitrogênio, abaixando a relação C:N do sistema para 20:1, resultou num pico inicial maior após três dias de incubação, porém, foi seguido de uma queda brusca, tendendo a equilibrar-se num nível mais inferior que o obtido para o tratamento sem nitrogênio aos vinte e cinco dias de incubação.

No tratamento com adição de milho, porém, sem complementação nitrogenada (C:N, 50:1), o desprendimento de $CO_2$ foi baixo durante todo o período de incubação. A maior taxa foi obtida no segundo dia de incubação e foi seguida de uma queda e estabilização. A complementação nitrogenada (C:N, 20:1) promoveu aumentos no $CO_2$ desprendido, o qual atingiu um pico no terceiro dia de incubação, seguido de uma queda e tendência à estabilização, no final de incubação.

No tratamento com adição de bagaço, porém, sem complementação nitrogenada (C:N, 64:1), a taxa diária média de liberação de $CO_2$ apresentou-se com um pico inicial no segundo dia de incubação, seguido de

uma queda e tendência à estabilização aos nove dias de incubação. Após - esse período, houve um aumento gradativo no desprendimento de $CO_2$ aos 28 dias de incubação. A complementação nitrogenada acelerou o processo de tal modo que o pico inicial de maior desprendimento de $CO_2$, obtido no 3º dia de incubação, foi três vezes maior que o anterior; após, houve uma - queda brusca e uma fase de estabilização.

Palhas de milho e bagaço de cana são materiais não prontamente decomponíveis em função dos elevados teores de fibras, ou seja , lignina e celulose (ALEXANDER, 1967), o que resulta em baixa liberação de $CO_2$, como aconteceu no presente experimento.

Outro fator fundamental na decomposição de materiais - carbonáceos é a relação C/N, de tal modo que materiais com relação alta - ou baixa, decompõem-se mais lentamente ou mais rapidamente, respectivamente (PARR, 1975 e ALEXANDER, 1967).

Neste contexto, o tratamento com adição de soja, cuja - relação C/N é mais estreita, apresentou-se com uma liberação de $CO_2$ intermediária entre os dados dos tratamentos com bagaço e milho complementados com nitrogênio.

Embora a composição química da vinhaça seja variável e dependente principalmente da composição do mosto submetido à destilação , do método de fermentação adotado, da raça da levedura utilizada e outros (ALMEIDA, 1952; BITTENCOURT *et alii*, 1978 e ORLANDO Fº, *et alii*, 1980) , ela é rica em compostos orgânicos (GLORIA, 1980)), muitos dos quais oriundos da lise das células de levedura e de pronta decomposição, o que resulta numa demanda bioquímica de oxigênio de cerca de 15-20 g $O_2$ por litro (VAZ *et alii*, 1980). Assim, no presente experimento, justifica-se a elevada liberação de $CO_2$ dos percoladores, nos primeiros dias, tanto na ausência como na presença de nitrogênio. Porém, a complementação nitrogenada - foi altamente estimulante para o metabolismo microbiano e para a liberação de $CO_2$ do sistema.

### 4.2. Experimento nº 2: Efeito de dois tipos de matéria orgânica sobre a solubilização de fosfato de rocha.

Neste experimento foram comparados os efeitos de uma -

fonte de carbono prontamente decomponível, a glicose, com os da vinhaça, no processo biológico de solubilização do fosfato da rocha.

### 4.2.1. Fósforo solúvel

O Tabela 4 apresenta os dados relativos ao fósforo solúvel no percolado, durante o período de incubação.

Nos tratamentos com adição de vinhaça com ou sem complementação nitrogenada, porém, sem o fosfato de rocha, o fósforo solúvel presente no meio permaneceu em nível baixo durante todo o período de incubação. Estes dados indicam que a vinhaça por si só, com ou sem complementação nitrogenada, pouco contribuiu para o fósforo solúvel do meio.

Porém, na presença do fosfato de rocha, a vinhaça com ou sem nitrogênio, promoveu aumentos significativos no teor de fósforo - solúvel no meio.

A glicose complementada com nitrogênio, pouco contribuiu também para o fósforo solúvel, o qual permaneceu em nível baixo, durante todo o período de incubação.

Por outro lado, a glicose complementada com nitrogênio e na presença do fosfato de rocha, promoveu aumentos significativos no - fósforo solúvel, o qual atingiu um valor máximo aos quatro dias de incubação, seguido de um decréscimo gradativo.

A ausência de leitura para o fósforo solúvel no meio, em diversos tratamentos do experimento, pode ser decorrente de uma ativa imobilização microbiana, que se seguiu após a fase inicial de solubilização.

### 4.2.2. pH

A Tabela 5 apresenta os valores do índice pH para cada tratamento, em função do período de incubação.

Nos tratamentos com vinhaça e para cada período de incubação, não se verificaramdiferenças significativas entre os valores registrados para o índice pH. Nestes trata-

TABELA 4. Teores médios de fósforo solúvel (µg P/g de terra) obtidos em percolados de amostras de solo incubadas na presença de uma dose de fosfato natural, dois tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (quatro repetições).

| Tratamento[1] | Incubação (dias) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 15 | 24 |
| | µg P/g terra | | | | | | | | |
| FR + G + N | 0 | 4,66a | 66,02b | 200,82b | 204,49b | 101,77b | 99,10c | 53,86c | 17,76a |
| G + N | 0 | 16,94ab | 2,46a | 0 | 0 | 0 | 5,16a | 0 | 3,95a |
| FR + V | 66,23b[2] | 65,87b | 50,64b | 37,67a | 32,56a | 11,82a | 27,32b | 34,75bc | 24,00a |
| FR + V + N | 61,42b | 51,89ab | 44,50b | 23,20a | 12,64a | 9,05a | 22,42ab | 22,42abc | 6,74a |
| V | 14,00a | 5,93a | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,11a | 5,59a |
| V + N | 23,61a | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,94a | 7,02ab | 16,27a |

(1) Tratamentos: FR+G+N (fosfato de rocha+glicose+nitrogênio); G+N(glicose+nitrogênio); FR+N(fosfato de rocha+vinhaça); FR+V+N(FR+V+nitrogênio); V(vinhaça) e V+N(vinhaça+nitrogênio).

(2) Para cada período de incubação, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5%, utilizando-se os dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

TABELA 5. Índices pH da solução percolada de amostras de solo tratadas com fosfato natural, dois tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (quatro repetições).

| Tratamento[1] | Incubação (dias) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 15 | 24 |
| FR+G+N | 4,52a[2] | 4,59a | 3,29ab | 2,95a | 3,30a | 4,70a | 4,74a | 4,13a | 4,62a |
| G + N | 4,48a | 4,28ab | 3,42a | 3,18a | 2,80b | 2,89c | 2,88b | 2,46c | 3,04c |
| FR + V | 3,21b | 3,55bc | 3,05c | 3,30a | 3,34a | 3,52b | 3,30b | 3,04bc | 3,65bc |
| FR+V+N | 3,24b | 3,74bc | 3,04c | 3,20a | 3,38a | 3,48bc | 3,45b | 3,65ab | 4,85a |
| V | 3,28b | 3,44c | 3,10bc | 3,19a | 3,22a | 3,34b | 3,30b | 3,08bc | 3,65bc |
| V + N | 3,14b | 3,45c | 3,01c | 3,25a | 3,08ab | 3,40bc | 3,22b | 3,15bc | 4,10ab |
| CV% | 3,79 | 9,44 | 3,11 | 5,50 | 4,59 | 7,53 | 10,73 | 12,21 | 8,91 |

(1) Tratamentos: FR+G+N (fosfato de rocha+glicose+nitrogênio; G+N (glicose+nitrogênio); FR+N (fosfato de rocha+vinhaça); FR+V+N (FR+N+nitrogênio); V (vinhaça) e V+N (vinhaça + nitrogênio).

(2) Para cada período de incubação, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5%.

mentos o índice pH situou-se entre 3,01 e 4,85 durante todo o período de incubação.

Nos tratamentos com glicose, o índice pH apresentou-se com valores decrescentes até o terceiro dia de incubação, ou seja, de 4,52 a 2,95 e de 4,48 a 3,18 nos tratamentos com e sem fosfato de rocha, respectivamente. E, durante esta fase inicial e para cada período de incubação, as médias registradas não diferiram significativamente entre si em função da presença ou ausência do fosfato de rocha.

A partir do quarto dia de incubação, no tratamento com glicose sem o fosfato de rocha, o índice pH continuou decrescendo, atingindo um valor médio de 2,81 nesta segunda fase de incubação.

Porém, na presença do fosfato de rocha, a situação inverteu-se, ou seja, o índice pH aumentou gradativamente, de 3,30 até 4,62.

Durante esta segunda fase e para cada período de incubação, as médias registradas para o índice pH foram significativamente diferentes a nível de 5% pelo teste de Tukey, em função da presença ou ausência do fosfato de rocha.

A Figura 4 apresenta os dados relativos ao pH e ao fósforo solúvel para cada tratamento, durante o período de incubação.

Nos tratamentos com vinhaça sem fosfato de rocha, apesar dos baixos valores registrados para o índice pH, o fósforo solúvel apresentou-se com valores baixos situados entre 0 e 23,61 µg P/g de terra.

Porém, na presença do fosfato de rocha, as leituras de fósforo solúvel apresentavam-se com valores maiores, variando de 6,74 a 66,23 µg P/g de terra.

Nestes tratamentos com vinhaça, especialmente naqueles com adição de fosfato de rocha, e de modo geral, os maiores níveis de fósforo solúvel no meio coincidiram com os menores índices pH registrados e vice-versa, durante o perío

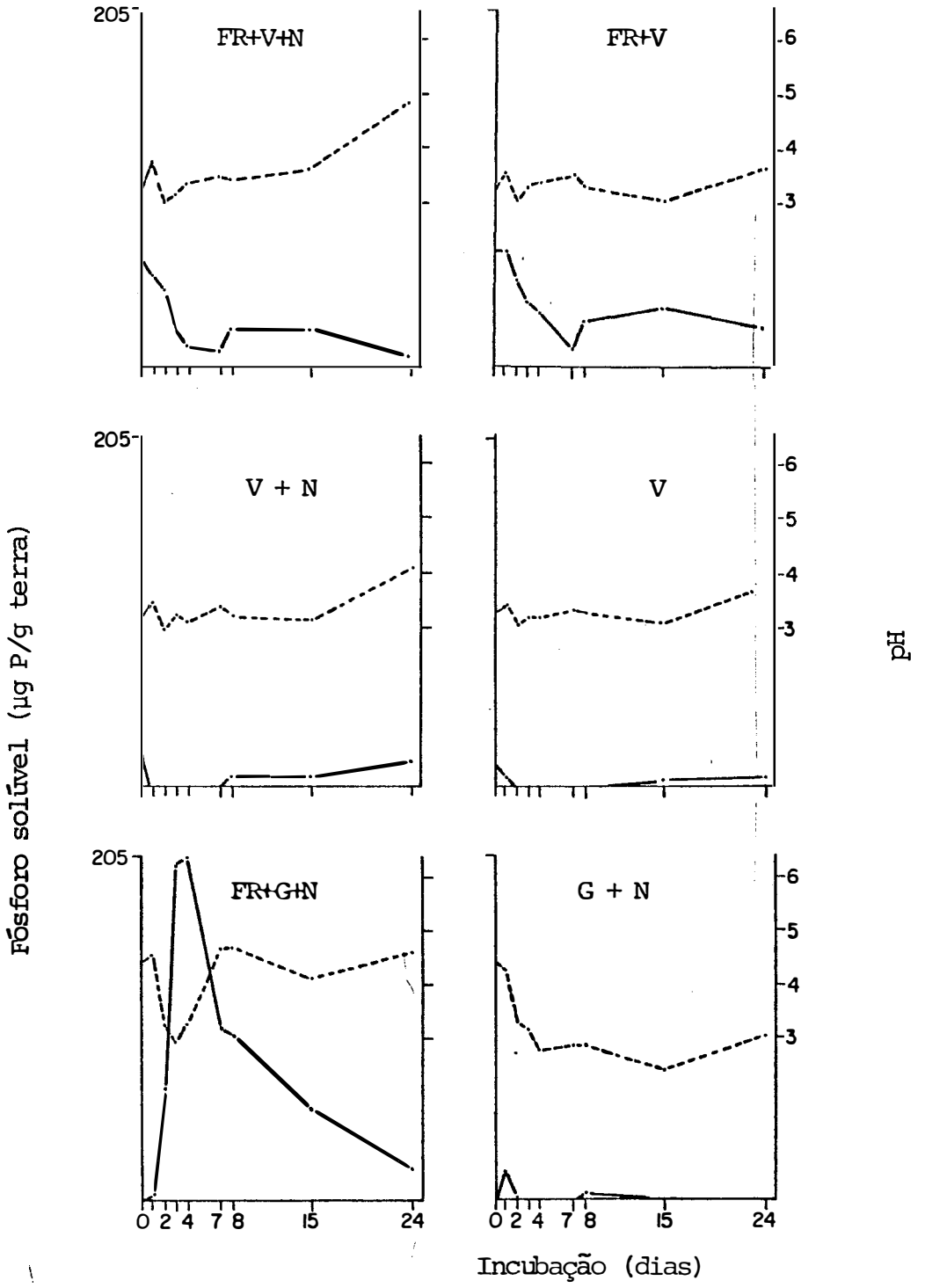



FIGURA 4. Índice pH (---), e teor de fósforo (——) de percolados de amostras de terra tratadas com fosfato de rocha, dois tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio (quatro repetições).

do de incubação.

A glicose complementada com nitrogênio, porém, na ausência do fosfato de rocha, promoveu uma queda gradativa no índice pH do meio, provavelmente em função da produção de ácidos orgânicos oriundos do metabolismo microbiano. O índice pH, inicialmente igual a 4,48 decresceu para 3,04 ao final da incubação e mesmo assim, o fósforo solúvel permaneceu baixo em função da não adição do fosfato de rocha neste tratamento.

A relação inversa entre o P solúvel no meio e o índice pH foi nítida no tratamento com adição de glicose - complementada com nitrogênio e na presença do fosfato de rocha. Neste tratamento, o índice pH decresceu de 4,52 a 2,95 durante os três primeiros dias de incubação, coincidindo com a fase de maior concentração de P solúvel no meio. No período seguinte a incubação, o índice pH elevou-se até 4,62 e este aumento pode ser explicado pela provável diminuição nos teores de ácidos orgânicos que tenham sido consumidos no processo de solubilização do fosfato de rocha. Nesta segunda fase do período - de incubação, o P solúvel no meio comportou-se inversamente ao índice pH, decrescendo até um teor de 17,76 µg P/g de terra. Tal queda nos valores de fósforo solúvel pode ser devida à fixação do fosfato e/ou à sua imobilização microbiana.

### 4.2.3. Carbono desprendido do solo

A Figura 5 apresenta os dados relativos à taxa diária média de desprendimento de $CO_2$ do sistema, para cada tratamento e em função do período de incubação.

No tratamento com adição de vinhaça apenas, a maior liberação de $CO_2$ ocorreu aos três dias de incubação. - Após esse pico, a taxa caiu gradativamente e estabilizou-se no final da incubação.

A complementação nitrogenada à adição de vi-

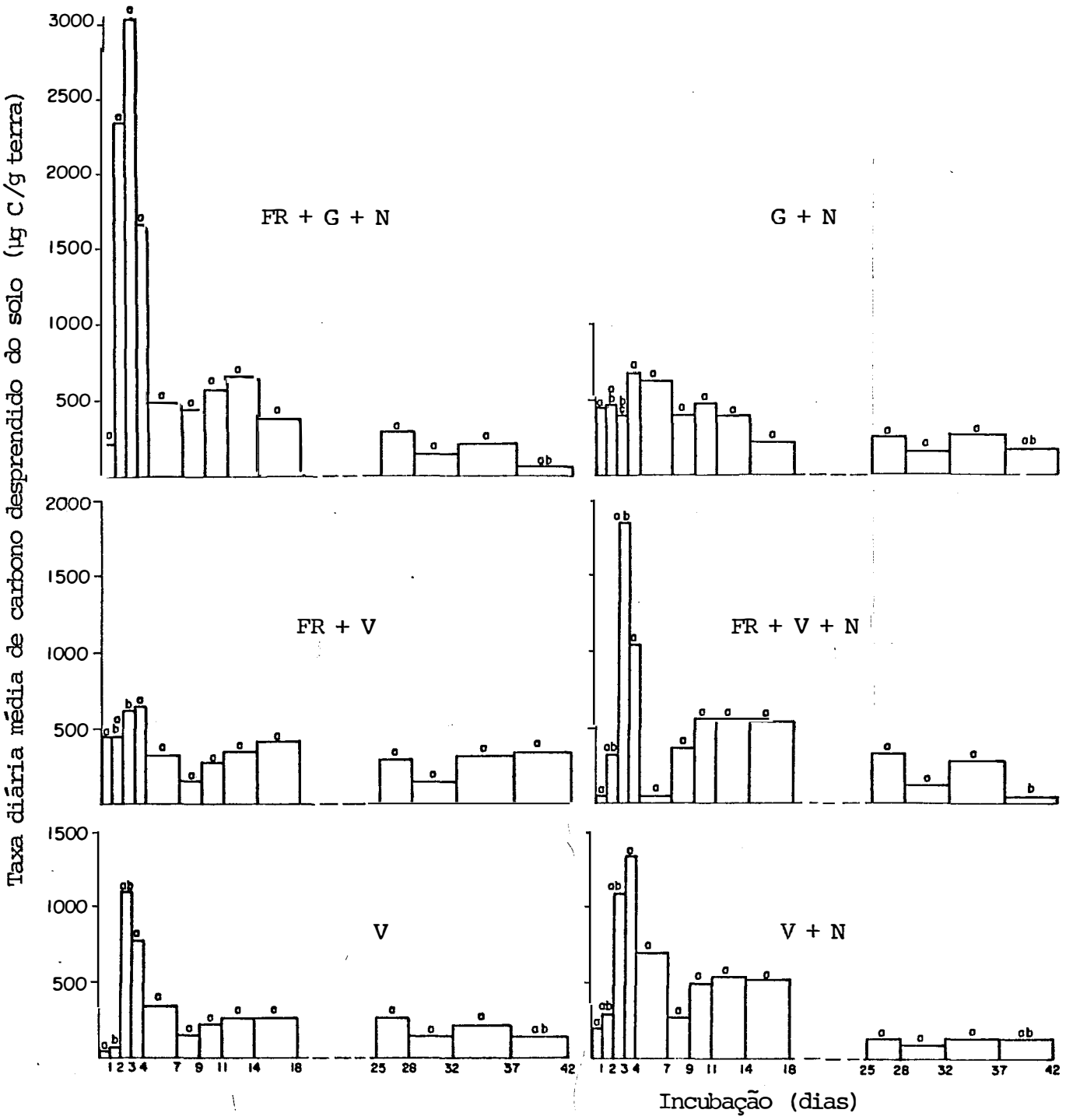



FIGURA 5. Taxa diária média de carbono desprendido do solo (µg C/g terra), obtida na incubação do solo em percoladores, na presença de uma dose de fosfato de rocha, dois tipos de matéria orgânica e uma fonte de nitrogênio ( três repetições). Para cada período de incubação, barras com letras iguais não diferem entre si, de acordo com o teste - Tukey a 5%.

nhaça, acelerou o metabolismo microbiano em termos de taxa - diária média de liberação de $CO_2$ de tal modo que no quarto - dia de incubação obteve-se um pico maior que o anterior. Após, seguiu-se uma queda gradativa e uma estabilização.

A presença do fosfato de rocha em conjunto - com a vinhaça, porém, sem complementação nitrogenada, resultou em menores taxas iniciais de desprendimento de $CO_2$ do - sistema. Ou seja, o pico máximo obtido aos quatro dias de incubação foi inferior aos anteriores. Seguiu-se uma queda gradativa e uma tendência à estabilização no final da incubação.

Por outro lado, a adição de nitrogênio no sistema com fosfato de rocha e vinhaça, promoveu aumento na liberação de $CO_2$ cuja taxa diária média apresentou um pico no terceiro dia de incubação. Novamente seguiu-se uma queda gradativa e uma estabilização no final da incubação.

A adição de glicose complementada com nitrogênio, mas sem o fosfato de rocha, promoveu baixas taxas diária médias de liberação de $CO_2$ do solo. O pico máximo ocorreu aos quatro dias de incubação e foi seguido de uma queda gradativa e uma tendência a estabilização no final da incubação.

Porém, a presença do fosfato de rocha aumentou acentuadamente o desprendimento de carbono do sistema adicionado de glicose e nitrogênio. O pico máximo, obtido aos três dias de incubação, também foi seguido de uma queda gradativa e uma estabilização no final da incubação.

A baixa liberação de carbono no tratamento - com glicose complementada com nitrogênio, pode refletir um - sistema deficiente em fósforo. Porém, quando na presença de fósforo, ainda que na forma de rocha fosfática, o metabolismo microbiano é altamente ativado (ALEXANDER, 1967).

## 4.3. Experimento nº 3: Efeito de três tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja.

O experimento foi amostrado em duas épocas. A primeira ocorreu durante o florescimento da soja, aos 44 dias após o plantio; a segunda ocorreu no final do ciclo vegetal, aos 111 dias após o plantio.

### 4.3.1. Produção média de matéria seca da parte aérea e de grãos

A Tabela 6 apresenta as produções médias de matéria seca da parte aérea das plantas de soja durante o florescimento e Tabela 7 apresenta os dados de matéria seca dos grãos de plantas de soja, aos 111 dias após o plantio.

O fungo micorrízico não exerceu efeitos positivos significativos sobre a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de soja em florescimento e nem de grãos porém, houve uma tendência de maiores valores destes parâmetros nàs plantas micorrizadas, em relação às não micorrizadas, na maioria dos tratamentos experimentados.

Estes resultados podem ter sido causados por fatores ecológicos e fisiológicos, aos quais a relação simbiótica micorrízica é sensível (SAIF, 1981). Dentre os ecológicos, incluem-se o pH, teor de nutrientes disponíveis, estrutura, temperatura e umidade do solo, bem como a quantidade de luz recebida pelas plantas (HAYMAN, 1974, SIEVERDING , 1981 e SIQUEIRA, 1986).

Assim, falhas no desenvolvimento e efetividade das associações micorrízicas VA podem estar relacionadas a estes fatores.

TABELA 6. Produção média de matéria seca da parte aérea de plantas de soja de cv. Foscarin 31, em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | Matéria seca da parte aérea (g/vaso) micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | 2,14AB (2)<br>a | 1,90AB<br>a |
| FR | 2,60BC<br>a | 1,97AB<br>a |
| FR + V | 1,83A<br>a | 1,83AB<br>a |
| FR + BC | 2,13AB<br>a | 2,25ABC<br>a |
| FR + S | 2,25AB<br>a | 1,84AB<br>a |
| $ST_1$ | 2,31AB<br>a | 1,75A<br>a |
| $ST_2$ | 2,31AB<br>a | 2,46BC<br>a |
| $ST_3$ | 2,72BC<br>a | 2,89C<br>a |
| $ST_4$ | 3,12C<br>a | 3,63D<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiusculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 7. Produção média de matéria seca de grãos de plantas de soja cv. Foscarin 31, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | Matéria seca de grãos (g/vaso) micorrização com | sem |
|---|---|---|
| Controle | 1,15A (2) a | 0,35A a |
| FR | 2,00CD a | 1,63CD a |
| FR + V | 1,36AB a | 0,49A a |
| FR + BC | 1,77ABC a | 1,25BC a |
| FR + S | 1,69ABC a | 0,89AB a |
| $ST_1$ | 1,86BC a | 0,90ABC a |
| $ST_2$ | 1,77ABC a | 1,69CD a |
| $ST_3$ | 2,14CD a | 1,98D a |
| $ST_4$ | 2,58D a | 2,06D a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Com relação à quantidade de luz recebida através da planta, de modo geral, aumentos na luminosidade promovem aumentos no crescimento de plantas micorrizadas tanto - que o crescimento de cebola (matéria seca da parte aérea) - foi maior com o aumento da luminosidade de 13.000 lux para 25.000 lux (HAYMAN, 1974).

A umidade do solo influencia o desenvolvimento da micorriza, a qual, por sua vez, afeta o crescimento e aproveitamento de água do solo sob diferentes condições de umedecimento (SIEVERDING, 1981).

SAIF (1981) estudando os efeitos de níveis de oxigenação no solo (0, 4, 8, 12, 16 e 21% $O_2$) na associação micorrízica *Glomus macrocarpum* - *Eupatorium odoratum* L. (angiosperma), verificou aumentos na altura das plantas e nas - matérias secas radicular e áerea com o aumento da aeração de 0 a 12-16% de $O_2$. Porém, maiores concentrações de $O_2$ acarretaram diminuição destes parâmetros.

No presente experimento, especialmente nos - primeiros quinze dias após o plantio, a umidade das parcelas pareceu excessiva, talvez em função de falhas na irrigação manual o que coincidiu com períodos de precipitações prolongadas e baixas temperaturas. Ademais, observou-se queda - na luminosidade da casa de vegetação, em virtude das condições naturais do ambiente e à polimerização do material de - cobertura da casa. Com isso as parcelas permaneceram periodicamente com umidade excessiva, baixas temperaturas e baixa - incidência luminosa.

Portanto, é provável que estes três fatores - isolados ou em conjunto tenham contribuído para que os efeitos da inoculação micorrízica, embora favoráveis, não tenham sido significativos no crescimento vegetal, em termos de produção de massa áerea e matéria seca de grãos.

Os dados de crescimento vegetal obtidos apresentam grande variabilidade, provavelmente por não ter sido

possível o controle das diversas variáveis ambientais já mencionadas. Esta talvez seja também a razão principal de não se ter obtido diferenças significativas entre as plantas micorrizadas e não micorrizadas.

Entretanto, pode-se observar uma nítida tendência dos tratamentos controle, fosfato de rocha com ou sem matéria orgânica e as doses mais baixas de fosfato solúvel, apresentarem resposta positiva à presença de micorriza. Somente nos níveis mais elevados de fosfato solúvel é que se nota a inversão desta tendência, provavelmente em função dos efeitos inibitórios que elevados teores de P solúvel exercem sobre a micorrização (KRISHNA & DART, 1984; HICKS & LOYNACHAN, 1987 e GRAHAM *et alii*, 1981).

Na fase de florescimento, o fosfato adicionado ao solo não promoveu aumentos significativos no crescimento das plantas de soja, em termos de matéria seca da parte aérea. Por outro lado, na fase final do ciclo vegetal, o fosfato de rocha promoveu aumentos significativos na produção de grãos em plantas de soja com ou sem micorrização. Esse aumento foi mais acentuado nas plantas não micorrizadas, de tal modo que o crescimento de tais plantas foi mais afetado que o das micorrizadas em função do fosfato adicionado ao solo.

Para as plantas não micorrizadas, a matéria seca de grãos teve um aumento de 366% em função da adição de fosfato de rocha, 151% em função da adição de fosfato de rocha mais matéria orgânica e 374% em função da adição de fosfato solúvel.

O incremento devido apenas ao fosfato de rocha foi maior que aqueles obtidos com fosfato de rocha mais matéria orgânica, portanto, para o presente experimento, tais fontes de matéria orgânica não favoreceram o crescimento vegetal. Isto não implica dizer que não houve solubilização do fosfato de rocha, pois o fosfato que tenha sido solubilizado pode ter sido acompanhado de processos intensos de imobilização microbiana e fixação em minerais de argila (WAKSMAN, 1963; ALEXANDER, 1967 e FASSBENDER, 1984), conforme já discutido nos experimentos com percoladores.

Por outro lado, para as plantas micorrizadas, os aumentos foram inferiores, principalmente para os dados da segunda amostragem. Ou seja, a matéria seca da parte - aérea e de grãos tiveram aumentos de 22% e 74% em função da adição de fosfato, 3% e 40%, em função da adição de fosfato de rocha mais matéria orgânica e 22% e 82% em função da adição de fosfato solúvel, respectivamente.

Os aumentos observados na matéria seca da parte aérea, em função da adição de fosfato de rocha com ou sem matéria orgânica não foram significativos.

O fosfato de rocha associado ou não à matéria orgânica, não promoveu aumentos significativos na matéria seca da parte aérea de plantas de soja em florescimento, independentemente da micorrização.

Porém, o mesmo não aconteceu com a produção - de grãos, a qual foi significaticamente maior devido à adição de fosfato de rocha, independente da micorrização. A presença de fontes de matéria orgânica anulou tal efeito positivo significativo.

Com relação ao fosfato solúvel, o aumento da dose resultou numa tendência de maiores valores para os parâmetros em questão, tanto para plantas micorrizadas como para as não micorrizadas.

O fato de plantas de soja micorrizadas apresentarem um crescimento maior, tanto em termos de matéria seca da parte aérea quanto em termos de matéria seca de grãos, reflete uma maior habilidade de aproveitamento do fosfato solúvel do solo, considerando-se que o micélio fúngico extraradicular extende-se para além da zona de depleção de nutrientes (TINKER, 1984), estabelece íntimo contato com os grânulos de fosfato insolúvel GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI (1986) e possue sítios de absorção de fosfato altamente ativos (CRESS *et alii*, 1979).

### 4.3.2. Produção média de matéria fresca radicular

A produção média de massa fresca radicular de plantas de soja em florescimento e no final do ciclo, estão apresentadas nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Em qualquer um dos dois períodos de amostragem, não se verificou efeitos positivos significativos da presença do fungo MVA na produção de matéria fresca radicular das plantas de soja, para todos os tratamentos experimentados.

O excesso de água, luminosidade e temperatura baixas também podem ter inibido o efeito positivo do fungo MVA sobre o enraizamento das plantas de soja.

A adição de fósforo, seja insolúvel com ou sem complementação de matéria orgânica seja solúvel, na maioria das vezes, também não promoveu aumentos significativos no parâmetro em questão, tanto para plantas micorrizadas como para as não micorrizadas.

A presença da matéria orgânica junto ao fosfato de rocha não promoveu aumentos significativos na matéria fresca radicular de plantas de soja, nos dois períodos de amostragem.

Contudo, observa-se uma tendência dos tratamentos controle, fosfato de rocha com ou sem matéria orgânica e as doses mais baixas de fosfato solúvel, apresentarem resposta positiva à presença da micorriza. Nos níveis mais elevados de fósforo solúvel nota-se uma situação inversa, onde deve ter ocorrido inibição da micorrização (ABBOT *et alii*, 1984).

### 4.3.3. Relação entre a matéria seca da parte aérea e a matéria fresca radicular

A Tabela 10 apresenta os dados médios da relação MSPA/MFR das plantas de soja amostradas durante o flores

TABELA 8. Produção média de matéria fresca radicular de plantas de soja - cv. Foscarin em florescimento, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos - de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | Matéria fresca radicular (g/vaso) micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | 0,75AB (2)<br>a | 0,66A<br>a |
| FR | 0,72AB<br>a | 0,86ABC<br>a |
| FR + V | 0,51A<br>a | 0,45A<br>a |
| FR + BC | 0,53A<br>a | 0,68AB<br>a |
| FR + S | 0,75AB<br>a | 0,93ABC<br>a |
| $ST_1$ | 1,15BC<br>a | 0,74ABC<br>a |
| $ST_2$ | 1,34C<br>a | 0,96ABC<br>a |
| $ST_3$ | 0,85ABC<br>a | 1,21BC<br>a |
| $ST_4$ | 0,77AB<br>a | 1,26C<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P ).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 9. Produção média de matéria fresca radicular de plantas de soja - Foscarin 31, no final do ciclo, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos - de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos[1] | Matéria fresca radicular (g/vaso) micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | 1,04ABC[2] a | 0,62AB a |
| FR | 2,35BCD a | 1,45ABC a |
| FR + V | 0,51A a | 0,12A a |
| FR + BC | 1,24ABC a | 1,14ABC a |
| FR + S | 0,79A a | 0,67AB a |
| $ST_1$ | 1,30ABC a | 1,68BC a |
| $ST_2$ | 2,48CD a | 2,37C a |
| $ST_3$ | 3,34D a | 4,96D a |
| $ST_4$ | 1,00AB a | 3,92D a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 10. Relação MSPA/MFR de plantas de soja cv. Foscarin 31, em florescimento, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica - (quatro repetições).

| Tratamentos[1] | MSPA/MFR micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | 2,93AB[2] a | 3,07AB a |
| FR | 3,71BC a | 2,37A a |
| FR + V | 3,67BC a | 3,99B a |
| FR + BC | 4,02BC a | 3,49AB a |
| FR + S | 3,30ABC a | 2,34A a |
| $ST_1$ | 3,21ABC a | 2,51A a |
| $ST_2$ | 2,05A a | 2,86AB a |
| $ST_3$ | 3,28ABC a | 2,46A a |
| $ST_4$ | 4,40C a | 3,14AB a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

cimento.

A micorrização não exerceu efeitos positivos significativos sobre a relação entre os pesos de MSPA e MFR, em qualquer um dos tratamentos experimentados. Porém, verifica-se uma tendência de maiores valores para as plantas micorrizadas, especialmente nos tratamentos com fosfato de rocha, fosfato de rocha mais bagaço de cana ou palha de soja e nos tratamentos com fosfato solúvel doses 1 e 3.

A adição de fosfato solúvel ou insolúvel e com ou sem adição de matéria orgânica, também não promoveu aumentos significativos na relação MSPA/MFR, em plantas não micorrizadas.

Por outro lado, as plantas micorrizadas apresentaram tendência em possuir maior relação MSPA/MFR, na maioria dos tratamentos, ou seja, na presença de fosfato solúvel ou insolúvel. O fosfato solúvel na dose 4 exerceu efeito positivo significativo sobre tal parâmetro.

Os resultados obtidos são opostos aqueles comumente relatados na literatura, em que tanto o fósforo quanto a micorriza em geral, promovem maior crescimento relativo da parte aérea em detrimento do crescimento radicular (HAYMAN & MOSSE, 1971, em cebola; NEMEC, 1978 em citrus e ASIMI *et alii*, 1980, em soja).

CARDOSO (1985) verificou aumentos na relação MSPA/MFR em plantas de soja associadas ao *G. fasciculatum* e *G. margarita*.

### 4.3.4. Taxa de colonização radicular e esporulação do fungo MVA *Glomus macrocarpum*

As Tabelas 11 e 12 apresentam os dados relativos à associação micorrízica vesículo-arbuscular, durante o florescimento e no final do ciclo, respectivamente.

Embora não se tenha efetuado análises estatís

TABELA 11. Taxa de colonização radicular e esporulação do fungo *Glomus macrocarpum*, durante o florescimento da soja cv. Foscarin 31, cultivada na presença de doses crescentes de fosfato solúvel ou com uma dose de fosfato de rocha associado ou não a material orgânico.

| Tratamentos[1] | Taxa de colonização radicular (%) | Esporulação do fungo nº esporos/100 ml terra |
|---|---|---|
| Controle | 28,50A[2] | 61,00A |
| FR | 40,88A | 70,00A |
| FR + V | 34,70A | 18,50A |
| FR + BC | 30,48A | 24,50A |
| FR + S | 30,80A | 53,50A |
| $ST_1$ | 39,18A | 74,50A |
| $ST_2$ | 20,62A | 40,50A |
| $ST_3$ | 14,15A | 15,00A |
| $ST_4$ | 21,85A | 51,50A |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR(fosfato de rocha); FR+V(fosfato de rocha+vinhaça); FR+BC(fosfato de rocha+bagaço de cana); FR+S(fosfato de rocha+palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada um dos dois parâmetros analisados em função dos tratamentos, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

TABELA 12. Taxa de colonização radicular e esporulação do fungo *Glomus macrocarpum*, no final do ciclo das plantas de soja cv. Foscarin 31, cultivada na presença de doses crescentes de fosfato solúvel ou com uma dose de fosfato de rocha associado ou não a material orgânico.

| Tratamentos (1) | Taxa de Colonização radicular (%) | Esporulação nº esporos/100 ml terra |
|---|---|---|
| Controle | 42,98A (2) | 412,00A |
| FR | 49,62A | 597,50A |
| FR + V | 49,12A | 1229,00A |
| FR + BC | 42,72A | 274,00A |
| FR + S | 34,70A | 371,50A |
| $ST_1$ | 37,92A | 437,00A |
| $ST_2$ | 49,42A | 713,00A |
| $ST_3$ | 42,42A | 655,50A |
| $ST_4$ | 34,00A | 170,00A |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica) ; FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada um dos dois parâmetros analisados em função dos tratamentos, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

ticas para se comparar os dados relativos à associação micorrízica obtidos nos dois períodos de amostragem, observa-se uma tendência das taxas de colonização radicular e a esporulação do fungo MVA serem maiores no final do ciclo vegetal.

Durante o florescimento a taxa de colonização micorrízica e a esporulação apresentaram-se com valores médios equivalentes a 29% e 45 esporos/100 ml de terra. No final do ciclo, os valores médios passaram para 42% e 540 esporos/100 ml de terra, respectivamente.

Comparando-se estes dados com os obtidos por OLIVEIRA (1987) na associação soja-*G. macrocarpum*, ou seja, 42% de raíz colonizada e 2680 esporos/100 ml de terra, verifica-se que a esporulação do fungo no solo para o presente experimento foi bem inferior.

Este resultado pode ter ocorrido em função de elevados teores de umidade, baixa oxigenação do solo e baixa luminosidade, anteriormente mencionados.

Na associação *G. macrocarpum*-sorgo, o aumento da umidade do solo, promoveu diminuição na colonização radicular, em termos de porcentagem de raíz colonizada e estruturas fúngicas corticais, na presença de fosfatos solúvel ou insolúvel (SIEVERDING, 1981).

Considerando que o principal meio através do qual o fungo MVA beneficia o crescimento vegetal é o aumento de volume de solo explorado, a eficiência do processo está na dependência da formação de um micélio extenso, com hifas internas e externas, no solo e na rizofera (DIEM *et alii*, 1986).

Neste contexto ainda, e segundo KOUGH & GIANINAZZI-PEARSON (1986), existem muitos casos em que elevados níveis de colonização radicular pela MVA não promovem aumentos significantes no crescimento vegetal. Tais fatos podem ser explicados, segundo os mesmos autores, pela escasses ou ausência de micélio extrarradicular ou então pe-

la baixa quantidade de tecido arbuscular presente, sítio de troca de nutrientes entre os simbiontes.

A baixa luminosidade também promove diminuição na colonização micorrízica, porém, este efeito negativo afeta muito mais o crescimento vegetal que a colonização micorrízica (HAYMAN, 1974).

Com relação à adição de fosfato, para qualquer um dos dois parâmetros em análise e seja no período de florescimento ou no final do ciclo, não se verificou efeitos positivos da adição de fósforo solúvel ou insolúvel e com ou sem presença de uma fonte de matéria orgânica.

No final do ciclo vegetal, o efeito de fontes crescentes de fosfato solúvel sobre os parâmetros da micorrízica VA foi evidente. Ou seja, com o aumento da dose de fosfato solúvel de 10 a 30 ppm P tanto a taxa de colonização quanto a esporulação tenderam a aumentar, porém, a partir dessa dose, tais parâmetros tenderam a diminuir gradativamente.

THOMSON *et alii* (1986) verificaram efeitos semelhantes do aumento do fosfato solúvel na associação trêvo subterrâneo e fungos MVA *Gigaspora calospora* e *Glomus fasciculatum*. A teores baixos e elevados de fósforo solúvel, a baixa colonização observada foi associada à redução no crescimento fúngico no interior e exterior da raíz, respectivamente.

Esses efeitos negativos no crescimento dos fungos, segundo os autores, estão relacionados com reduções nas concentrações de carboidratos solúveis nos extratos e exsudatos radiculares.

Doses crescentes de fosfato solúvel (>200 ppm $P_2O_5$) também inibiram os efeitos positivos da micorrização no crescimento vegetal de cafeeiro (mudas) associado a *G. margarita* (COLOZZI-FILHO & SIQUEIRA, 1986).

Inúmeras pesquisas relatam que esta relação -

inversa entre níveis elevados de fosfato solúvel no solo, o que condiciona níveis elevados de fósforo nas células radiculares, e a micorrização, está baseada na fisiologia radicular.

Por exemplo, RATNAYAKE *et alii* (1978) observaram que o aumento nos níveis de fósforo tornavam as membranas celulares radiculares menos permeáveis, diminuindo assim, a exsudação radicular promotora da colonização micorrízica. - Tal relação foi verificada por SAME *et alii* (1983) em plantas de trêvo micorrizadas; o aumento do nível de fósforo no solo resultou em decréscimos na concentração de carboidratos solúveis e na colonização radicular.

### 4.3.5. Teores médios e quantidades totais acumuladas de macro e micronutrientes

As Tabelas 13 e 14, apresentam os teores de macronutrientes na parte aérea das plantas de soja em florescimento e nos grãos, respetivamente.

Os teores de micronutrientes estão apresentados nas Tabelas 15 e 16, para a parte aérea vegetal e grãos, respectivamente.

Os efeitos positivos significativos da presença do fungo MVA sobre os teores de macronutrientes em plantas de soja foram verificados em alguns tratamentos para o nitrogênio, potássio e magnésio (Tabela 13).

Esses efeitos foram mais acentuados para o macronutriente fósforo. Ou seja, plantas de soja micorrizadas submetidas à maioria dos tratamentos, exibiram um maior teor médio de fósforo em relação às plantas não micorrizadas.

ROSS & HARPER (1970) encontraram que plantas de soja crescidas em solo fumigado e inoculado com fungo MVA acumularam maiores teores de N, P, Ca, Cu e Mg nas suas folhas em relação às não micorrizadas.

QUADRO 13. Teores médios (%) e quantidades totais acumuladas (mg) de macronutrientes N P K Ca Mg S, na matéria seca da parte aérea de plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos[1] | N(%)[2] micorrização | | N total (mg) micorrização | | P(%) micorrização | | P total (mg) micorrização | | K(%) micorrização | | K total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 3,56A a | 3,72BC a | 7,48B a | 7,04AB a | 0,11A b | 0,07A a | 0,228A a | 0,138A a | 1,30A a | 1,07A a | 2,78A a | 2,04A a |
| FR | 3,97A a | 3,27ABC b | 10,30C a | 6,24AB a | 0,20D b | 0,08A a | 0,510DE a | 0,168A b | 1,55AB a | 1,18AB a | 4,02ABC a | 2,36A a |
| FR + V | 3,17A a | 3,36ABC a | 5,60A a | 5,98A a | 0,19AB a | 0,11B a | 0,214A a | 0,208AB a | 2,37C a | 2,99D b | 4,21BCD a | 5,22E a |
| FR + BC | 3,67A a | 3,43BC a | 7,77B a | 7,70AB a | 0,16BC b | 0,12B a | 0,346BC a | 0,281B a | 1,63B a | 1,75C a | 3,54AB a | 3,95CD a |
| FR + S | 3,22A a | 3,22ABC a | 7,30AB a | 5,98A a | 0,15CD b | 0,09A a | 0,391BC a | 0,159A b | 1,67B a | 1,39BC a | 3,77AB a | 2,55AB a |
| $ST_1$ | 3,58A a | 4,02C a | 8,23B a | 6,94AB a | 0,13ABC b | 0,08A a | 0,306AB a | 0,139A a | 1,25A a | 1,08A a | 2,86A a | 1,89A a |
| $ST_2$ | 3,63A a | 3,25ABC a | 8,37B a | 7,88B a | 0,16BC b | 0,12B a | 0,366BC a | 0,286B a | 1,29A a | 1,52BC a | 2,96A a | 3,76BC a |
| $ST_3$ | 3,12A a | 2,80AB a | 8,38B a | 8,04BC a | 0,16BC a | 0,14C a | 0,425CD a | 0,412C a | 1,54AB a | 1,77C a | 5,15CD a | 5,15DE a |
| ST4 | 3,39A a | 2,72A b | 10,54C a | 9,76C a | 0,19D b | 0,13BC a | 0,603E a | 0,480C a | 1,68B a | 1,47BC a | 5,39D a | 5,39E a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo à 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey à 5%.

QUADRO 13. Continução ...

| Tratamento[1] | Ca (%)[2] micorrização | | Ca total (mg) micorrização | | Mg (%) micorrização | | Mg total (mg) micorrização | | S (%) micorrização | | S total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 0,77DE a | 0,70AB a | 1,656B a | 1,308AB a | 0,36AB a | 0,36ABC a | 0,760BC a | 0,676BC a | 0,14A a | 0,15AB a | 0,304A a | 0,278AB a |
| FR | 0,92E a | 0,90CD a | 2,374C a | 1,679BC a | 0,38BC a | 0,36ABC a | 1,000E a | 0,676BC a | 0,15A a | 0,10A a | 0,399AB a | 0,193A a |
| FR + V | 0,44A a | 0,53A a | 0,794A a | 1,048A a | 0,32A a | 0,38BC b | 0,572B a | 0,666BC a | 0,32C a | 0,30C a | 0,575BC a | 0,514CD a |
| FR + BC | 0,76D a | 0,79BC a | 1,616B a | 1,762BCD a | 0,38BC a | 0,35AB a | 0,799CDE a | 0,777BCD a | 0,47D a | 0,47D a | 1,009D a | 1,055E a |
| FR + S | 1,14F a | 0,98D a | 2,577C a | 1,826CD a | 0,42C a | 0,40C a | 0,961E a | 0,742BC a | 0,14A a | 0,10A a | 0,326A a | 0,192A a |
| $ST_1$ | 0,63BC a | 0,62A a | 1,442B a | 1,085A a | 0,34AB a | 0,36ABC a | 0,770BCD a | 0,614B a | 0,20AB a | 0,19B a | 0,468ABC a | 0,318AB a |
| $ST_2$ | 0,72CD a | 0,69AB a | 1,653B a | 1,716BC a | 0,38BC a | 0,35AB a | 0,881CDE a | 0,857CD a | 0,19AB a | 0,20B a | 0,438ABC a | 0,479BC a |
| $ST_3$ | 0,59B a | 0,77BC a | 1,581B a | 2,219D a | 0,34AB a | 0,33AB a | 0,914CDE a | 0,960D a | 0,24BC a | 0,19B a | 0,653C a | 0,548D a |
| $ST_4$ | 0,77DE a | 0,75B a | 2,346C a | 2,748E a | 0,38BC a | 0,32A a | 0,117A a | 0,118A a | 0,19AB a | 0,16AB a | 0,601BC a | 0,578D a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 14. Teores médios (%) e quantidades totais acumuladas dos macronutrientes N P K Ca Mg S nos grãos de soja cv. Foscarin 31, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | N (%) (2) micorrização | | N total (mg) micorrização | | P (%) micorrização | | P total (mg) micorrização | | K (%) micorrização | | K total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 6,67C a | 7,15D a | 7,63A a | 2,60A a | 0,28A a | 0,24A a | 0,32A b | 0,08A a | 1,28A a | 1,32ABCD a | 1,46A a | 0,46A a |
| FR | 5,93AB a | 6,83CD a | 11,81BC a | 11,04D a | 0,45C b | 0,26AB a | 0,90CDE b | 0,44BC a | 1,35AB a | 1,22A a | 2,70BC a | 2,01DE a |
| FR + V | 5,87AB a | 6,75CD a | 8,04A a | 3,36AB a | 0,41BC b | 0,27AB a | 0,57AB a | 0,13A a | 1,46C a | 1,44E a | 1,97AB a | 0,71AB a |
| FR + BC | 6,13ABC a | 6,48BC a | 10,86ABC a | 7,88CD a | 0,40BC a | 0,33BC a | 0,71BCD a | 0,45BCD a | 1,33AB a | 1,35BCDE a | 2,35BC a | 1,71CD a |
| FR + S | 6,49BC a | 6,94CD a | 10,70AB a | 6,20ABC a | 0,37ABC a | 0,29ABC a | 0,68BCD a | 0,25AB a | 1,34AB a | 1,30ABCD a | 2,28ABC a | 1,14ABC a |
| $ST_1$ | 6,46BC a | 7,17CD a | 12,04BC a | 6,36BC a | 0,34AB a | 0,25AB a | 0,64BC a | 0,22AB a | 1,29A a | 1,24AB a | 2,40BC a | 1,12ABC a |
| $ST_2$ | 6,22ABC a | 6,55C a | 10,98ABC a | 10,92D a | 0,45C b | 0,28ABC a | 0,77BCD a | 0,47BCD a | 1,32AB a | 1,28ABC a | 2,31ABC a | 2,16DE a |
| $ST_3$ | 5,77A a | 5,82AB a | 12,07BC a | 11,36D a | 0,45C a | 0,36C a | 0,94DE a | 0,73CD a | 1,36ABC a | 1,37CDE a | 2,92CD a | 2,71E a |
| $ST_4$ | 5,59A a | 5,59A a | 14,44C a | 11,49D a | 0,42BC a | 0,32ABC a | 1,10E a | 0,66D a | 1,41BC a | 1,38DE a | 3,64D a | 2,85E a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Tabela 14. Continuação.

| Tratamentos[1] | CA (%) (2) micorrização | | Ca total (mg) micorrização | | Mg (%) micorrização | | Mg total(mg) micorrização | | S (%) micorrização | | S total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 0,14AB a | 0,12A a | 0,16A a | 0,04A a | 0,24AB a | 0,22A a | 0,28A a | 0,08A a | 0,28CD a | 0,34F a | 0,32A a | 0,12A a |
| FR | 0,18C a | 0,15A a | 0,35BCD a | 0,26DE a | 0,26B a | 0,24AB a | 0,52CDE a | 0,39CD a | 0,28CD a | 0,26BCD a | 0,56B a | 0,42CD a |
| FR + V | 0,13A a | 0,14A a | 0,17A a | 0,07A a | 0,25AB a | 0,22A a | 0,34AB a | 0,11A a | 0,27BCD a | 0,23ABC a | 0,36A a | 0,12A a |
| FR + BC | 0,18C a | 0,15A a | 0,31BC a | 0,19BCD a | 0,25AB a | 0,23AB a | 0,44ABCD a | 0,30BC a | 0,30D a | 0,29DEF a | 0,52B a | 0,37BCD a |
| FR + S | 0,14AB a | 0,15A a | 0,24AB a | 0,14ABC a | 0,23A a | 0,24AB a | 0,40ABC a | 0,21AB a | 0,29D a | 0,27CDE a | 0,48AB a | 0,24AB a |
| $ST_1$ | 0,16ABC a | 0,14A a | 0,31BC a | 0,12AB a | 0,25AB a | 0,22A a | 0,46BCD a | 0,20AB a | 0,24ABC a | 0,30EF a | 0,45AB a | 0,27ABC a |
| $ST_2$ | 0,18C a | 0,15A a | 0,31BC a | 0,25CDE a | 0,26B a | 0,25B a | 0,46BCD a | 0,43CD a | 0,24ABC a | 0,20A a | 0,41AB a | 0,34BCD a |
| $ST_3$ | 0,18C a | 0,16A a | 0,38CD a | 0,31E a | 0,27B a | 0,25B a | 0,53DE a | 0,49D a | 0,23AB a | 0,23AB a | 0,48AB a | 0,45D a |
| $ST_4$ | 0,17BC a | 0,15A a | 0,44D a | 0,30DE a | 0,26B a | 0,25B a | 0,68E a | 0,51D a | 0,22A a | 0,24ABC a | 0,57B a | 0,49D a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça; FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 15. Teores médios (ppm) e quantidades totais acumuladas (µg) de micronutrientes Fe Zn Cu Mn B, na parte aérea de plantas de soja *cv.* Foscarin 31 em florescimento, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | Fe (ppm) (2) micorrização | | Fe total (µg) micorrização | | Zn (ppm) micorrização | | Zn total (µg) micorrização | | Cu (ppm) micorrização | | Cu total (µg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 100,75AB a | 92,00A a | 193,20A a | 220,72AB a | 32,33BCD a | 36,25A a | 63,26A a | 68,41AB a | 6,75AB a | 4,00A b | 12,07A a | 8,48A a |
| FR | 105,00AB a | 130,67B a | 260,08ABC a | 173,72AB a | 38,25D a | 35,00B a | 98,88BC a | 66,28AB a | 6,75AB a | 7,33E a | 17,55BC a | 7,89A b |
| FR + V | 120,75B a | 106,25AB a | 192,61A a | 208,36AB a | 39,75E a | 47,67B a | 70,85A a | 33,87ABC a | 7,25B a | 6,50DE a | 12,20A a | 13,05BC a |
| FR + BC | 96,75AB a | 88,00A a | 262,54ABC a | 238,95BCD a | 51,00D a | 48,75A a | 109,13C a | 109,30DE a | 6,50AB a | 4,25A a | 15,52ABC a | 14,64BC a |
| FR + S | 91,00A a | 117,00B a | 218,82AB a | 161,25A a | 39,50BC a | 36,00A a | 89,36ABC a | 65,38AB a | 5,67A a | 4,50AB a | 14,77AB a | 7,78A b |
| $ST_1$ | 94,00A a | 93,75A a | 215,30AB a | 163,26A a | 34,25BCD a | 36,75A a | 79,37AB a | 63,26A a | 6,25AB a | 6,75CDE a | 14,46AB a | 11,06AB a |
| $ST_2$ | 102,25AB a | 90,25A a | 234,21AB a | 222,14ABC a | 38,50CD a | 35,50A a | 87,88ABC a | 67,39BCD a | 6,25AB a | 5,50BCD a | 14,27AB a | 13,34BC a |
| $ST_3$ | 102,50AB a | 99,00AB a | 284,21BC a | 286,86CD a | 31,50AB a | 33,00A a | 84,50ABC a | 95,41CDE a | 5,50A a | 5,00ABC a | 14,79AB a | 14,47BC a |
| $ST_4$ | 110,00AB a | 89,25A a | 344,41C a | 326,04D a | 34,50A a | 31,50A a | 105,48C a | 113,30E a | 6,25AB a | 4,75AB a | 19,64C a | 17,16C a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (Fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 15. Continuação.

| Tratamentos (1) | Mn (ppm) (2) micorrização | | Mn total (µg) micorrização | | B (ppm) micorrização | | B total (µg) micorrizaçao | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 91,67BC<br>a | 65,50BCD<br>a | 202,55AB<br>a | 124,44A<br>a | 35,25CD<br>a | 35,75D<br>a | 72,84ABC<br>a | 67,00A<br>a |
| FR | 119,25D<br>a | 168,50D<br>a | 309,36B<br>a | 332,52BC<br>a | 42,00D<br>a | 50,50CD<br>a | 102,46C<br>a | 105,91AB<br>a |
| FR + V | 209,50CD<br>a | 251,67CD<br>a | 382,40CDE<br>a | 446,58CD<br>a | 54,75CD<br>a | 46,67BCD<br>a | 101,16BC<br>a | 89,40AB<br>a |
| FR + BC | 164,50D<br>a | 181,25CD<br>a | 348,74BCDE<br>a | 401,56CD<br>a | 42,50AB<br>a | 38,25BC<br>a | 92,02ABC<br>a | 86,20AB<br>a |
| FR + S | 217,25AB<br>a | 187,25A<br>a | 484,30E<br>a | 347,56BCD<br>a | 30,00BC<br>a | 34,75BC<br>a | 68,68AB<br>a | 63,62A<br>a |
| $ST_1$ | 61,50A<br>a | 79,00A<br>a | 142,66A<br>a | 141,39A<br>a | 44,50CD<br>a | 41,50CD<br>a | 102,37BC<br>a | 71,26A<br>a |
| $ST_2$ | 100,25B<br>a | 108,75AB<br>a | 225,81ABC<br>a | 266,56AB<br>a | 39,00BC<br>a | 46,00CD<br>a | 89,22ABC<br>a | 110,56B<br>a |
| $ST_3$ | 92,25AB<br>a | 118,00AB<br>a | 241,36ABCD<br>a | 348,98BCD<br>a | 23,50A<br>a | 30,00AB<br>a | 63,81A<br>a | 88,68AB<br>a |
| $ST_4$ | 118,50BC<br>a | 140,75ABC<br>a | 363,51DE<br>a | 523,06D<br>a | 23,50A<br>a | 24,00A<br>a | 73,59ABC<br>a | 87,69AB<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 16. Teores médios (ppm) e quantidades totais acumuladas (µg) dos micronutrientes Fe Zn Cu Mn nos grãos de soja cv. Foscarin 31 , na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fostato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamentos (1) | Fe (ppm) * (2) micorrização | | Fe total (µg) micorrização | | Zn (ppm) micorrização | | Zn total (µg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 76,00A a | 82,00A a | 84,69A a | 28,57A a | 46,00AB a | 56,50C a | 50,84A a | 19,60A a |
| FR | 93,50AB a | 91,00A a | 188,69BC a | 147,54B a | 52,00AB a | 45,25AB a | 104,91C a | 59,67CD a |
| FR + V | 88,50AB a | 81,50A a | 116,92AB a | 40,56AB a | 46,25AB a | 48,50ABC a | 63,34AB b | 23,94AB a |
| FR + BC | 76,25A a | 84,00A a | 134,88AB a | 103,66B a | 44,25A a | 46,00AB a | 77,84ABC a | 56,50CD a |
| FR + S | 101,25B a | 81,75A a | 171,67BC a | 72,95AB a | 51,50B a | 52,25ABC a | 84,33BC a | 49,68C a |
| $ST_1$ | 92,50AB a | 85,50A a | 172,34BC a | 75,27B a | 45,50AB a | 48,00ABC a | 85,02C a | 42,09BC a |
| $ST_2$ | 107,25B a | 82,25A a | 195,94BC a | 137,13B a | 48,00AB a | 48,00AB a | 83,74BC a | 77,14D a |
| $ST_3$ | 119,75B a | 76,50A a | 268,46C a | 148,96B a | 49,00AB a | 43,75AB a | 103,94C a | 35,40D a |
| $ST_4$ | 90,75AB a | 76,50A a | 234,97C a | 158,45B a | 43,50A a | 42,25A a | 112,98C a | 87,14D a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (Fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 16. Continuação.

| Tratamentos (1) | Cu (ppm) (2) micorrização | | Cu total (µg) micorrização | | Mn (ppm) micorrização | | Mn total (µg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| Controle | 20,75A a | 8,50ABC a | 13,84A a | 3,38A a | 36,50A a | 29,50A a | 41,40A a | 10,36A a |
| FR | 13,25B a | 8,50ABC a | 43,38C a | 13,96AB a | 56,25BCD a | 54,50BC a | 114,52B a | 91,36DE a |
| FR + V | 10,25AB a | 14,25ABC a | 18,22AB a | 4,14A a | 74,25D a | 57,50BC a | 102,31B b | 28,70AB a |
| FR + BC | 15,00AB a | 18,75BC a | 18,32AB a | 17,06B a | 76,50D a | 68,75C a | 135,29B a | 87,94CDE a |
| FR + S | 9,50AB a | 9,50C a | 25,14ABC a | 22,04B a | 47,25ABC a | 49,00BC a | 84,61AB a | 43,38BC a |
| $ST_1$ | 12,75AB a | 8,25ABC a | 23,79ABC a | 7,46AB a | 41,25AB a | 49,75BC a | 77,23AB a | 44,17BCD a |
| $ST_2$ | 13,25AB a | 14,00ABC a | 23,05ABC a | 19,21B a | 63,00CD a | 45,75B a | 106,67B a | 80,79CDE a |
| $ST_3$ | 11,25AB a | 6,75A a | 23,45ABC a | 13,25AB a | 57,50BCD a | 61,25BC a | 127,66B a | 120,14E a |
| $ST_4$ | 11,50AB a | 7,00AB a | 30,81BC a | 14,58B a | 42,50AB a | 51,50BC a | 112,08B a | 105,96E a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato e/ou matéria orgânica); FR (fosfato de rocha); FR+V (fosfato de rocha + vinhaça); FR+BC (fosfato de rocha + bagaço de cana); FR+S (fosfato de rocha + palha de soja); $ST_{1-4}$ (superfosfato triplo a 10, 30, 50 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

A adição de fosfato de rocha ao solo, promoveu aumentos significativos nas quantidades totais acumuladas de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, porém, apenas para as plantas micorrizadas.

Com relação à adição de uma fonte de carbono em conjunto com o fosfato de rocha, não ocorreram aumentos - significativos nos teores totais da maioria dos macronutrientes obtidos para as plantas micorrizadas em relação aos dados obtidos para as plantas micorrizadas fertilizadas com o fosfato de rocha apenas. Ao contrário, a adição de vinhaça , bagaço-de-cana ou palha de soja, promoveram quedas significativas nos teores totais de nitrogênio, fósforo, potássio , cálcio, magnésio e enxofre.

Em termos percentuais, os grãos de plantas de soja micorrizadas ou não, submetidas a qualquer um dos tratamentos experimentados, apresentaram maiores teores médios de nitrogênio e fósforo, principalmente (Tabela 14).

Efeitos positivos significativos oriundos da presença de fungo MVA sobre os teores totais de macronutrientes nos grãos foram observados com relação ao fósforo, nos tratamentos controle e com fosfato de rocha sem matéria orgânica. Nos demais tratamentos, grãos de plantas micorrizadas também apresentaram maiores teores totais de fósforo em relação às não micorrizadas, porém, de modo não significativo.

Ainda que de um modo não significativo, plantas de soja micorrizadas também apresentaram maiores teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em seus grãos, em relação às plantas não micorrizadas.

Plantas de soja micorrizadas (YOUNG *et alii* , 1986), apresentaram uma produção cerca de 7-45% a mais que as plantas não micorrizadas, além de maiores concentrações - de fósforo nos grãos.

O fosfato solúvel adicionado ao solo com ou sem inoculação micorrízica, promoveu aumentos significativos

nos teores totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio , magnésio e enxofre, nos grãos de plantas de soja.

A presença de uma fonte de matéria orgânica - no fosfato de rocha não promoveu aumentos significativos nos teores totais dos macronutrientes dos grãos de soja micorrizada ou não e, muitas vezes, acarretou uma diminuição nos - teores desses elementos.

CARDOSO (1985) também verificou maiores teores totais de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de plantas de soja em associação micorrízica e na presença de fosfato - de rocha.

De modo geral, não se verificou efeitos positivos significativos oriundos da presença do fungo MVA sobre os teores totais de micronutrientes nas plantas de soja, tanto na matéria seca da parte aérea em florescimento quanto na matéria seca dos grãos produzidos. Para todos os micronutrientes e em qualquer uma das duas matérias secas analisadas , os resultados foram, na maioria das vezes maiores para amostras oriundas de plantas micorrizadas (Tabelas 15 e 16).

O fosfato de rocha como fonte de fósforo para as plantas micorrizadas, promoveu aumentos significativos - nos teores totais de zinco e cobre e de ferro, zinco e cobre nas matérias secas aérea e de grãos, respectivamente, em relação às plantas micorrizadas sem adição de qualquer fonte - de fósforo.

Com relação à participação de uma fonte de matéria orgânica em associação com o fosfato de rocha, de modo geral, não se verificou positivos significativos sobre os teores totais de micronutrientes nos dois materiais submetidos à análise química nutricional.

No presente experimento, os teores de manganês tendem a ser menores nas plantas micorrizadas em vários tratamentos experimentados. Já CARDOSO (1985), encontrou uma diminuição significativa nos teores de manganês e aumentos -

significativos nos teores de cobre e zinco, em plantas de soja micorrizadas.

## 4.4. Experimento nº 4: Efeito da matéria orgânica submetida a diferentes períodos de degradação, na solubilização microbiana de fosfato de rocha e da associação micorrízica vesículo-arbuscular na absorção de nutrientes pela soja.

### 4.4.1. Produção média de matéria seca da parte aérea e matéria fresca radicular de plantas de soja

O fosfato de rocha associado ou não à matéria orgânica aparentemente promoveu aumentos na matéria seca da parte aérea (Tabela 17) e matéria fresca radicular (Tabela 18) das plantas micorrizadas ou não, ainda que os dados do tratamento controle não tenham participado da análise estatística.

Com relação ao efeito do fosfato de rocha no crescimento de plantas não micorrizadas, PAULINO & AZCÓN (1987), também verificaram efeitos positivos na associação *Centrosema pubescens* - *Glomus macrocarpum* devido à adição do fosfato de rocha Khoworibga (Marrocos).

Ainda, a presença do fungo micorrízico aumentou significativamente os dados de matéria seca da parte aérea, nos tratamentos com fosfato de rocha e com fosfato de rocha e bagaço de cana (compostados por 116 dias antes do plantio da soja).

Essas respostas positivas obtidas no crescimento de plantas micorrizadas na presença de fosfato de rocha são sem dúvida, devido à uma absorção mais eficiente dos íons fosfatos quimicamente dissociados e que passam a ser drenados mais rapidamente para a solução do solo, na medida em que a micorriza causa uma rápida depleção de fósforo des-

TABELA 17. Produção média de matéria seca da parte aérea de plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com duas doses de fosfato solúvel e uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamento[1] | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | | 3,12 |
| FR | 11,60AB[2]<br>a | 7,05A<br>b |
| FR + BC + $Nt_1$ | 11,51A<br>a | 7,67A<br>b |
| FR + BC + $Nt_2$ | 10,89A<br>a | 9,24A<br>a |
| $ST_1$ | 11,47A<br>a | 8,38A<br>a |
| $ST_4$ | 13,74B<br>a | 11,69B<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR- fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 18. Produção média de matéria fresca radicular de plantas de soja de cv. Foscarin 31, em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural, incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamentos[1] | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | | 2,85 |
| FR | 7,36A[2]<br>a | 4,52A<br>a |
| FR + BC + $Nt_1$ | 5,99A<br>a | 4,68A<br>a |
| FR + BC + $Nt_2$ | 8,02A<br>a | 5,32A<br>a |
| $ST_1$ | 7,75A<br>a | 8,48B<br>a |
| $ST_4$ | 10,88B<br>a | 9,63B<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

sa solução. Tal efeito pode tornar-se acentuado em solos pobres e de pH baixo (GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1986).

O bagaço de cana, adicionado ao solo como uma fonte de carbono e energia para os microrganismos solubilizadores do fosfato de rocha, não promoveu aumentos significativos na matéria seca da parte aérea das plantas de soja em comparação com os resultados obtidos no tratamento com o fosfato de rocha apenas, independentemente da micorrização (Tabela 17).

Ademais, os dados obtidos nestes tratamentos foram significativamente semelhantes ao dado médio obtido no tratamento com fosfato solúvel a 30 ppm P , independentemente da micorrização.

O fato do bagaço de cana não ter promovido aumentos no crescimento vegetal pode refletir um não favorecimento do processo microbiológico de solubilização do fosfato de rocha.

Neste contexto, vários fatores podem estar envolvidos. Dentre eles incluem-se a solubilização da rocha, a fonte de carbono, a população solubilizadora existente no meio e características do solo.

Segundo LEE & BAGYARAJ (1986) a atividade, assim como a sobrevivência dos microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha no solo, depende de um fornecimento adequado de material orgânico, porém, de pronta assimilação.

Bactérias solubilizadoras de fosfato de rocha inoculadas em solo com cultivo de tomate micorrizado, tiveram sua população diminuída gradativamente provavelmente em função de efeitos bacteriostáticos e deficiência de compostos carbonáceos prontamente assimiláveis (LEE & BAGYARAJ , 1986).

O bagaço-de-cana, resíduo do processamento da cana para produção de álcool e/ou açúcar, é rico em materiais fibrosos cuja disponibilidade de C não é imediata. Ademais, com

relação aos microrganismos do solo com capacidade de solubilizar o fosfato de rocha aplicado, a sua população poderia ter sido naturalmente baixa no solo em questão ou ter sido diminuída durante a fase de decomposição do bagaço-de-cana.

Com o aumento da população heterotrófica saprofítica na fase de decomposição do material orgânico (ALEXANDER, 1967; CERRI *et alii*, 1982 e WAKSMAN, 1963), surgem relações microbianas de antagonismo (BRUEHL, 1967), tais como a competição nutritiva e efeitos bactericidas e/ou bacteriostáticos, as quais poderiam ter afetado negativamente a população destes microrganismos.

Contudo, a importancia da matéria orgânica no estabelecimento do processo microbiano heterotrófico de solubilização de fosfatos de rocha é persistente, tanto que LOPES *et alii* (1985) recomendam tal procedimento.

Por outro lado, os aumentos na matéria seca da parte aérea foram signigicativos no tratamento com fosfato solúvel a 70 ppm P , independentemente da micorrização.

Com relação à produção de matéria fresca radicular (Tabela 18),o bagaço de cana não promoveu também, aumentos significativos em relação ao tratamento com o fosfato de rocha apenas, independentemente da micorrização das plantas de soja.

Para as plantas não micorrizadas, os efeitos significativos sobre o parâmetro analisado foram observados nos tratamentos com fosfato solúvel a 30 e 70 ppm P/vaso.

Por outro lado, para as plantas micorrizadas, o efeito foi significativo apenas no tratamento com 70 ppm P como superfosfato triplo.

### 4.4.2. Relação entre a matéria seca da parte aérea e a matéria fresca radicular

Com relação aos dados obtidos para a relação

entre a matéria seca da parte aérea e a matéria fresca radicular (MSPA/MFR), não se observou diferença significativa em função da inoculação com fungo MVA, em qualquer um dos tratamentos experimentados (Tabela 19).

Para as plantas micorrizadas, nenhum dos valores médios encontrados para a relação diferiu significativamente entre si, independentemente do fosfato adicionado ao solo e da presença ou ausência de bagaço de cana.

Para as plantas não micorrizadas, também não se verificaram efeitos positivos significativos da adição de bagaço de cana sobre a relação MSPA/MFR, em comparação com o resultado médio encontrado para o tratamento com fosfato de rocha apenas.

### 4.4.3. Volume radicular de plantas de soja

Com relação ao volume radicular (Tabela 20), não se verificaram efeitos positivos significativos da micorrização sobre este parâmetro em todos os tratamentos do experimento.

Ademais, para as plantas micorrizadas, os volumes radiculares obtidos também não diferiram significativamente, independentemente do tratamento utilizado.

Porém, na ausência de micorrização, o volume radicular médio foi significativamente maior para as plantas de soja nos tratamentos com fosfato solúvel.

### 4.4.4. Nodulação das plantas de soja

O fosfato de rocha com ou sem matéria orgânica promoveu aumentos na nodulação, em termos de matéria seca e número de nódulos por vaso, (Tabelas 21 e 22), tanto em plantas micorrizadas como não micorrizadas, ainda que os dados do tratamento controle não tenham participado da análise

TABELA 19. Relação MSPA/MFR, de plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com duas doses de fosfato solúvel e uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamento(1) | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | - | 1,10 |
| FR | 1,58A(2)<br>a | 1,60AB<br>a |
| FR + BC + $Nt_1$ | 1,92A<br>a | 1,64AB<br>a |
| FR + BC + $Nt_2$ | 1,36A<br>a | 1,74B<br>a |
| $ST_1$ | 1,48A<br>a | 1,00A<br>a |
| $ST_4$ | 1,26A<br>a | 1,21AB<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 20. Volume radicular ($cm^3$/vaso) de plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com duas doses de fosfato solúvel e uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamentos(1) | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | | 1,95 |
| FR | 8,62A(2)<br>a | 5,38A<br>a |
| FR + BC + $Nt_1$ | 10,77A<br>a | 5,95A<br>a |
| FR + BC + $Nt_2$ | 11,25A<br>a | 6,57AB<br>a |
| $ST_1$ | 9,17A<br>a | 10,01B<br>a |
| $ST_4$ | 11,92A<br>a | 11,20B<br>a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 21. Produção de matéria seca de nódulos radiculares - em plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com duas doses de fosfato solúvel e - uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamentos[1] | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | - | 1,58 |
| FR | 335,17A[2]<br>a | 91,98A<br>b |
| FR + BC + $Nt_1$ | 326,68A<br>a | 140,68A<br>b |
| FR + BC + $Nt_2$ | 306,80A<br>a | 120,80A<br>b |
| $ST_1$ | 327,87A<br>a | 104,93A<br>b |
| $ST_4$ | 545,37B<br>a | 345,35B<br>b |

(1) Tratamentos: Controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + Nt2 - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

TABELA 22. Número de nódulos radiculares de plantas de soja cv. Foscarin 31 em florescimento, na presença e ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com duas doses de fosfato solúvel e uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamentos[1] | Micorrização | |
|---|---|---|
| | com | sem |
| Controle | - | 2,17 |
| FR | 218,33A[2] a | 100,33A b |
| FR + BC + $Nt_1$ | 180,50A a | 117,00A a |
| FR + BC + $Nt_2$ | 197,17A a | 116,83A a |
| $ST_1$ | 199,17A a | 112,00A a |
| $ST_4$ | 239,50A a | 243,83B a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC + $Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR + BC + $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $ST_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna, médias seguidas por letras maíusculas iguais, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. E para cada linha, médias indicadas com letras minúsculas iguais, também não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukeu a 5%.

estatística.

O bagaço de cana adicionado ao solo juntamente com o fosfato de rocha, por sua vez, não promoveu aumentos significativos na matéria seca dos nódulos radiculares - em comparação com os dados obtidos no tratamento com fosfato de rocha apenas, tanto para as plantas micorrizadas como para as não micorrizadas.

Nas plantas não micorrizadas, o peso da matéria seca nodular aumentou 5722%, 8175% e 14.149% em função da adição de fosfato de rocha, fosfato de rocha mais bagaço de cana e fosfato solúvel, respectivamente.

De acordo com a análise estatística efetuada, apenas o tratamento com fosfato solúvel na dose de 70 ppm P é que resultou em aumentos significativos na matéria seca dos nódulos, independentemente da micorrização das plantas.

E com relação à micorrização, as plantas micorrizadas apresentaram quantidades de matéria seca de nódulos radiculares significativamente maiores, em comparação - com as plantas não micorrizadas, em todos os tratamentos do experimento. A presença do fungo micorrízico nas plantas , promoveu aumentos de 58 a 264% na matéria seca dos nódulos - radiculares.

ASIMI *et alii* (1980) também verificaram efeitos positivos da micorrização sobre a nodulação. Plantas de soja noduladas e cultivadas em solo esterilizado, apresentaram aumentos no crescimento e produção, maior absorção de - fósforo, maiores relações parte aérea: parte radicular e melhor nodulação, em função da inoculação com o fungo MVA *G. mosseae*.

Quanto ao número médio de nódulos radiculares nas plantas de soja, não micorrizadas, verificou-se um aumento significativo no tratamento com fosfato solúvel na dose - de 70 ppm P.

Não se verificaram também efeitos positivos - significativos da adição de bagaço de cana no número de nódulos radiculares, tanto para as plantas micorrizadas como para as não micorrizadas.

Os efeitos positivos da micorrização sobre a nodulação de plantas de soja e outras leguminosas tem sido frequentemente relatados. Estes efeitos estão baseados na absorção aumentada de nutrientes, principalmente o fósforo (BAREA & AZCÓN-AGUILAR, 1983 e CARDOSO, 1985).

Ademais, o fato das leguminosas tropicais apresentarem pelos radiculares curtos ou escassos, provavelmente tornam-as mais dependentes da micorrização para absorver os nutrientes do solo, em comparação com plantas de pelos radiculares bem desenvolvidos, como as gramíneas (BAYLIS, 1975).

Assim, a absorção aumentada de fósforo e outros nutrientes nas plantas micorrizadas promove aumentos na nodulação e fixação do $N_2$ (BERGERSEN, 1971; DEMETRIO *et alii*, 1972), processos metabólicos dependentes de adenoxina trifosfato (CARDOSO & GALLI, 1975).

Na associação soja-*G. fasciculatum* e/ou *G. margarita*, fertilizada com rocha fosfática, CARDOSO (1985) também verificou efeitos positivos do fosfato de rocha e da micorrização sobre a nodulação das plantas.

#### 4.4.5. Taxa de colonização micorrízica e esporulação do fungo *Glomus macrocarpum*

Com relação aos parâmetros do microssimbionte *Glomus macrocarpum*, taxa de colonização radicular e número de esporos por 100 ml de terra (Tabela 23), não se verificaram aumentos significativos em função da presença do bagaço de cana ou da adição de fosfato solúvel, em comparação com os dados obtidos no tratamento com fosfato de rocha apenas.

TABELA 23. Taxa de colonização e esporulação micorrízica do fungo *Glomus macrocarpum* em plantas de soja cv. - Foscarin 31 em florescimento, com duas doses de - fosfato solúvel e uma dose de fosfato de rocha incubado ou não com bagaço de cana por dois períodos distintos (média de seis repetições).

| Tratamento(1) | Taxa de Colonização (%) | Esporulação nº esporos/100 ml terra) |
|---|---|---|
| FR | 14,58A(2) | 444,67A |
| FR + BC + $Nt_1$ | 25,32A | 231,67A |
| FR + BC + $Nt_2$ | 18,72A | 445,33A |
| $ST_1$ | 20,57A | 554,33A |
| $ST_4$ | 13,80A | 340,67A |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR + BC+$Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soaj; FR+BC+$Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $St_1$ e $ST_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada um dos dois parâmetros analisados em função - dos tratamentos, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de - significância.

Porém, nota-se facilmente que o aumento da dose do fosfato solúvel exerceu um efeito negativo nos parâmetros em questão, cujos valores foram diminuídos.

A literatura traz inúmeras pesquisas que relatam os efeitos inibitórios de elevados teores de P disponível no solo sobre o estabelecimento e funcionamento das micorrizas vesículo-arbusculares, porém, a magnitude desses efeitos pode variar grandemente com a planta, o fungo e solo utilizados (GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1986).

A complementação de solo com dose elevada de fosfato solúvel (0,5 g $KH_2PO_4$/kg terra), anulou os efeitos positivos sobre a nodulação de plantas de soja e causou uma diminuição da colonização radicular pelo fungo *G. mosseae* (ASIMI *et alii*, 1980).

COLOZZI-FILHO & SIQUEIRA (1986), estudando o efeito de doses crescentes de fosfato solúvel (0, 200, 400, 800, 1600, 3200 e 4800 ppm $P_2O_5$) no crescimento, nutrição e colonização radicular da associação cafeeiro (mudas) - *Gigaspora margarita*, verificaram efeitos positivos na dosagem de 200 ppm de $P_2O_5$ e acima desta, os efeitos tornaram-se negativos.

Convém ressaltar que para os vasos não inoculados com o fungo MVA, não se encontraram estruturas fúngicas no sistema radicular das plantas de soja e esporos do fungo no volume de terra amostrados.

#### 4.4.6. Teores médios e quantidades totais acumuladas de macro e micronutrientes

Com relação aos teores porcentuais dos macronutrientes nitrogênio e potássio, não se verificaram aumentos significativos em função da micorrização, em todos os tratamentos do experimento (Tabela 24).

Porém, com relação aos teores totais desses -

QUADRO 24. Teores médios (%) e quantidades totais acumuladas dos macronutrientes N P K Ca Mg S em plantas de soja cv. Foscarin 31, em florescimento, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamento (1) | N% (2) micorrização | | N total (mg) micorrização | | P% micorrização | | P total (mg) micorrização | | K% micorrização | | K total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| FR | 1,19A a | 1,52A a | 13,77A a | 10,05A a | 0,048A a | 0,042A b | 0,558A a | 0,291A b | 1,028B a | 1,170AB a | 11,835A a | 6,597A b |
| $FR+BC+Nt_1$ | 1,37A a | 1,50A a | 15,70AB a | 11,46AB b | 0,057AB a | 0,042A b | 0,660A a | 0,327A b | 0,960A a | 1,025A a | 11,078A a | 7,914A b |
| $FR+BC+Nt_2$ | 1,48A a | 1,56A a | 14,93AB a | 14,09BC a | 0,061AB a | 0,046B b | 0,668A a | 0,428A b | 1,010A a | 0,962AB a | 10,859A a | 8,744A a |
| $ST_1$ | 1,24A a | 1,33A a | 14,09A a | 10,90A a | 0,060AB a | 0,046B b | 0,677A a | 0,385A b | 1,122AB a | 1,070B a | 12,760AB a | 8,920A b |
| $ST_4$ | 1,28A a | 1,31A a | 17,60B a | 15,25C a | 0,062B a | 0,055C b | 0,842B a | 0,639B b | 1,042A a | 1,00AB a | 14,261B a | 11,652B a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; $FR+BC+Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; $FR+BC+Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $St_1$ e $St_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 24. Continuação.

| Tratamento (1) | Ca% micorrização (2) | | Ca total (mg) micorrização | | Mg% micorrização | | Mg total (mg) micorrização | | S% micorrização | | S total (mg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| FR | 0,78B a | 0,94C b | 9,03A a | 6,37A b | 0,28A a | 0,38B b | 3,27AB a | 2,53A a | 0,082A a | 0,081A a | 0,930A a | 0,550A a |
| FR+BC+$Nt_1$ | 0,79AB a | 0,87C a | 9,05A a | 6,69AB a | 0,30A a | 0,35A a | 3,40AB a | 2,69AB a | 0,270B a | 0,136C b | 3,136C a | 1,034A b |
| FR+BC+$Nt_2$ | 0,76B a | 0,91BC b | 8,12A a | 8,57BC a | 0,28A a | 0,36A b | 2,92A a | 3,34BC a | 0,187AB a | 0,109B a | 2,043B a | 1,016A a |
| $ST_1$ | 0,67A a | 0,80AB b | 7,71A a | 6,78AB a | 0,30A a | 0,36A a | 3,48AB a | 3,06ABC a | 0,209AB a | 0,119BC b | 2,354BC a | 1,003A b |
| $ST_4$ | 0,64A a | 0,78A b | 8,85A a | 9,13C a | 0,28A a | 0,31A a | 3,77B a | 3,62C a | 0,201AB a | 0,120BC a | 2,738BC a | 1,387A b |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR+BC+$Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR+BC+ $Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $St_1$ $St_2$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em % ou mg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

mesmos nutrientes, a micorrização exerceu aumentos significativos em alguns tratamentos. Para o nitrogênio, tal aumento ocorreu no tratamento com fosfato de rocha e bagaço de cana pré-incubados por um período de 116 dias antes do plantio. - Para o potássio, os aumentos ocorreram nos tratamentos com - fosfato de rocha apenas, fosfato de rocha e bagaço de cana - com 78 dias de pré-incubação e no tratamento com fosfato solúvel a 30 ppm P.

Para o nutriente fósforo, os resultados médios apresentados em porcentagem, foram significativamente maiores nas plantas micorrizadas, na maioria dos tratamentos, exceto to com fosfato de rocha apenas e com fosfato solúvel a 70 ppm P. Porém, quando se apresenta os dados em teor total, o efeito significativo da micorrização aparece em todos os tratamentos.

Não se verificou aumentos significativos da adição de bagaço de cana sobre os dados desses elementos, tanto nos teores médios quanto na quantidade total acumulada , em comparação com os dados obtidos no tratamento com fosfato de rocha apenas.

Com relação aos macronutrientes cálcio e magnésio, seja em teores médios ou totais, não se verificou aumentos significativos em função da micorrização, na maioria das vezes.

Porém, para o enxofre, a micorrização apresentou efeito positivo significativo no teor total desse nutriente, no tratamento com fosfato de rocha e bagaço de cana - (116 dias de incubação) e nos tratamentos com fosfato solúvel a 30 e 70 ppm P.

Por outro lado, e em alguns casos, a adição - de bagaço de cana ao fosfato de rocha, exerceu aumentos significativos em relação aos dados obtidos quando da utilização do fosfato de rocha apenas, para o cálcio, magnésio e enxofre. No caso do cálcio e magnésio, os aumentos foram obti-

dos nas suas massas totais (mg), no tratamento com fosfato - de rocha e bagaço de cana (78 dias de incubação) em plantas não micorrizadas. Para o caso do enxofre, seja em porcentagem ou teor total, em mg, do nutriente, os aumentos significativos ocorreram em plantas micorrizadas, nos dois tratamentos com fosfato de rocha adicionados de bagaço de cana.

Com relação aos micronutrientes analisados - (Tabela 25), não se verificou efeito positivo significativo da micorrização sobre os teores médios e totais dos elementos ferro, zinco e manganês.

A micorrização exerceu efeito positivo significativo apenas nos teores totais do elemento cobre, especialmente nos tratamentos com fosfato de rocha apenas, com fosfato de rocha e bagaço de cana (116 dias de incubação) e com fosfato solúvel a 30 ppm P.

Ademais, a presença de bagaço de cana ao fosfato de rocha de modo geral não promoveu aumentos significativos nos teores desses elementos quando comparados com os teores obtidos no tratamento com o fosfato de rocha apenas.

Os dados do presente experimento são semelhantes aqueles encontrados por CARDOSO (1985) em plantas de soja micorrizadas e na presença de rocha fosfática. A autora - encontrou maiores teores de nitrogênio, fósforo, potássio, - cálcio, magnésio, enxofre, ferro e zinco, na matéria seca radicular, porém, um decréscimo significativo nos teores de manganês.

A adição de fósforo ao solo, seja como fosfato de rocha com ou sem bagaço de cana ou seja como fosfato - solúvel, promoveu um maior desenvolvimento das plantas de soja, ainda que os dados obtidos no tratamento controle não tenham sido analisados estatisticamente, em função dos pré-requisitos que a análise em si exigia, ou seja, a presença da inoculação com o fungo MVA também para este tratamento controle.

QUADRO 25. Teores médios (ppm) e quantidades totais acumuladas (µg) dos micronutrientes Fe, Zn, Cu e Mn na parte aérea das plantas de soja cv. Foscarin 31, em florescimento, na presença ou ausência do fungo MVA *Glomus macrocarpum*, com doses crescentes de fosfato solúvel e uma dose de fosfato natural associado ou não com três tipos de matéria orgânica (quatro repetições).

| Tratamento (1) | Fe (ppm) (2) micorrização | | Fe total (µg) micorrização | | Zn (ppm) micorrização | | Zn total (µg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| FR | 232,83A a | 297,83A a | 2722,67AB a | 1900,83A a | 21,50B a | 27,50BC a | 249,69AB a | 180,82A a |
| FR+BC+$Nt_1$ | 303,83A a | 331,67A a | 3444,83B a | 2505,67AB a | 25,00B a | 29,67BC a | 286,36B a | 228,55A a |
| FR+BC+$Nt_2$ | 258,83A a | 356,67A a | 2485,67A a | 3293,17BCD a | 23,67B a | 32,17C b | 236,79AB a | 292,63B a |
| $ST_1$ | 277,17A a | 327,00A a | 3138,67AB a | 2722,33BC a | 21,33B a | 24,17AB a | 241,46AB a | 202,92A a |
| $ST_4$ | 222,83A a | 323,50A a | 3045,67AB a | 3761,67D a | 15,67A a | 19,17A a | 214,25A a | 223,30A a |

(1) Tratamentos; controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungo micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR+BC+$Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados - ao solo 116 dias antes do plantio da soja; FR+BC+$Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $St_1$ e $St_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e, na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

QUADRO 25. Continuação.

| Tratamentos (1) | Cu (ppm) (2) micorrização | | Cu total (µg) micorrização | | Mn (ppm) micorrização | | Mn total (µg) micorrização | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | com | sem | com | sem | com | sem | com | sem |
| FR | 3,33BC a | 3,50B a | 39,00AB a | 23,84A a | 133,50B a | 185,50B a | 1565,20B a | 1223,19A a |
| FR+BC+$Nt_1$ | 3,83C a | 3,50B a | 44,35B a | 28,57A a | 141,00B a | 200,17B a | 1616,81B a | 1531,08A a |
| FR+BC+$Nt_2$ | 2,83AB a | 3,00AB a | 29,38A a | 27,72A a | 158,00B a | 265,67C b | 1746,10B a | 2354,71B a |
| $ST_1$ | 3,33BC a | 2,83AB a | 37,74AB a | 23,38A b | 85,17A a | 130,83A a | 980,36A a | 1098,84A a |
| $ST_4$ | 2,17A a | 2,50A a | 29,65A a | 29,57A a | 73,83A a | 113,50A a | 1008,29A a | 1309,46A a |

(1) Tratamentos: controle (sem adição de fosfato, matéria orgânica e fungp micorrízico); FR - fosfato de rocha; FR+BC+$Nt_1$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo - 116 dias antes do plantio da soja; FR+BC+$Nt_2$ - fosfato de rocha + bagaço de cana + sulfato de amônio adicionados ao solo 78 dias antes do plantio da soja; $St_1$ e $St_4$ - supertriplo (30 e 70 ppm P).

(2) Para cada coluna de dados, médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si e , na horizontal, para cada nutriente e tipo de dado (expresso em ppm ou µg), médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Ainda com relação ao crescimento das plantas de soja, convém enfatizar que o fosfato de rocha por si só ou então em conjunto com o bagaço de cana, também promoveu aumentos nos parâmetros analisados, evidenciando que o fosfato de rocha possa ter passado por um processo bioquímico de solubilização, liberando assim o fosfato solúvel para as plantas.

Segundo HUGHES & GILKES (1986), para que o fosfato de rocha possa ser efetivo, ele deverá sofrer uma dissolução depois de aplicado ao solo, o que depende de características inerentes ao fosfato de rocha e propriedades do próprio solo. A solubilidade para muitas rochas fosfatadas aumenta com a queda do índice pH do solo e a velocidade de sua dissolução aumenta quando se diminui a granulometria do concentrado (FASSBENDER, 1984).

Ademais, os aumentos nestes parâmetros de avaliação do crescimento vegetal, foram significativamente maiores nas plantas de soja com associação micorrízica.

Os efeitos positivos da associação micorrízica sobre o crescimento de plantas de soja foi verificado por CARDOSO (1985) e CARDOSO (1986), dentre outros autores e sobre o feijão, por SILVEIRA e CARDOSO (1987a e b).

Esses aumentos no crescimento vegetal são oriundos da absorção aumentada de nutrientes, especialmente o fósforo (YOST & FOX, 1979; ABBOT & KOBSON, 1984 e BAREA *et alii*, 1983).

Analisando os resultados obtidos para os teores de macronutrientes (Tabela 24), as plantas micorrizadas apresentaram teores de fósforo total significativamente maiores que as plantas não micorrizadas, seja na presença de fosfato de rocha com ou sem bagaço de cana como na presença de

fosfato solúvel.

Com relação aos outros macronutrientes, houve um maior acúmulo de N, K, Ca, Mg e S, mas, não foi de modo homogêneo, ou seja, apenas para alguns tratamentos. Esses dados são coincidentes com os resultados obtidos por ROSS & HARPER (1970), os quais também observaram maior acúmulo de alguns macronutrientes em plantas de soja micorrizadas em relação às não micorrizadas.

No presente experimento e com relação ao efeito da micorrização sobre os teores vegetais de micronutrientes (Tabela 25), houve um maior acúmulo de cobre apenas, em tratamentos com fosfato de rocha e com fosfato solúvel.

Esse maior acúmulo de micronutrientes foi verificado por KUCEY & JANSEN (1987). Plantas de feijão e trigo micorrizadas, apresentaram maiores teores de Zn - Cu - Fe e Zn, respectivamente, em comparação com plantas não micorrizadas.

ROSS & HARPER (1970) verificaram maiores teores de Cu e Mn em plantas de soja micorrizadas, em relação às não micorrizadas.

Com relação à fixação simbiótica do $N_2$ atmosférico, cujos dados dos parâmetros analisados são apresentados nas Tabelas 21 e 22, a micorrização favoreceu de modo significativo a produção de nódulos radiculares (mg de matéria seca/vaso), em todos os tratamentos.

Efeitos positivos da micorrização sobre a fixação simbiótica do $N_2$ atmosférico, já foram verificados por CARDOSO (1986) em plantas de soja, PAULINO *et alii* (1986) em leguminosas forrageiras e PAULINO & AZCÓN (1987) em *Centrosema pubescens*.

Analisando agora os resultados obtidos quando da utilização de fosfato de rocha com ou sem adição do bagaço de cana, verifica-se que para a maioria dos parâmetros analisados, os resultados obtidos nestes tratamentos não di-

feriram significativamente entre si e entre os resultados obtidos quando da utilização de fosfato solúvel, principalmente a 30 ppm P.

O bagaço de cana, aplicado ao solo com o intuito de se ativar a produção microbiana heterotrófica solubilizadora de fosfatos de rocha, apresentou pouco ou nenhum efeito positivo.

Uma possível explicação para tal fato seria - que a fonte utilizada não tenha sido prontamente consumida pelos microrganismos ou que o metabolismo microbiano predominante não tenha sido o da produção significativa de ácidos - orgânicos (WAKSMAN, 1963; ORTUÑO *et alii*, 1978a; KUBÁT *et alii*, 1985).

Ainda, se tivesse havido um metabolismo favorecedor com uma consequente solubilização, o fósforo solúvel poderia ter sido fixado em óxidos de Fe e Al (FASSBENDER , 1984 e BAREA & AZCÓN AGUILAR, 1983).

O fato dos resultados obtidos no tratamento - com fosfato de rocha apenas não diferirem dos resultados com fosfato solúvel a 30 ppm P/vaso para a maioria dos parâmetros analisados, já é uma indicação existência de um mecanismo de solubilização do fosfato de rocha aplicado.

# 5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos nos experimentos, podemos concluir que:

Em condições de laboratório:

- a vinhaça promoveu a solubilização do fosfato de rocha;

- a glicose foi a fonte de carbono que mais ativou o processo microbiano de solubilização do fosfato de rocha.

Em condições de casa de vegetação:

- o fosfato de rocha promoveu aumentos na produção de grãos e acúmulo de macro e micronutrientes por plantas de soja;

- o efeito das fontes de matéria orgânica utilizadas para a solubilização microbiana de fosfato de rocha foi pequeno, quando medido em função do crescimento vegetal e absorção de fósforo por plantas de soja;

- a micorriza teve um efeito favorável no desenvolvimento vegetal, nodulação e absorção de nutrientes por plantas de soja fertilizadas com fosfato de rocha ou doses baixas de fosfato solúvel.

## 6. LITERATURA CITADA

ABBOTT, L.K. & A.D. ROBSON, 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In: POWELL, C.L. & D.J. BAGYARAJ - (eds.). VA mycorrhizae. Boca Raton, CRC Press, p. 113-130.

ABBOTT, L.K.; A.D. ROBSON & G. DE BOER, 1984. The efeect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizae fungus, *Glomus fasciculatum*. New Phytol., Oxford, 97:437-446.

ALEXANDER, M., 1967. Introduction to soil microbiology. 4ª ed. New York, John Wiley, 472p.

ALMEIDA, J.R., 1952. O problema da vinhaça em São Paulo. - Piracicaba, Instituto Zimotécnico, 24p. (Boletim 3).

ASIMI,S; V. GIANINAZZI-PEARSON & S. GIANINAZZI, 1980. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* in soybeans. Can. J. Bot., Otawa, 58:2200-2205.

AZCÓN-AGUILAR , C.; V. GIANINAZZI-PEARSON; J.C. FARDEAU & S.

GIANINAZZI, 1986. Effect of vesicular-arbuscular micorrhizae fungi and phosphate-solubilizing bacteria on growth and nutrition of soybean in a neutral - calcareous soil amended with $^{32}P$-$^{45}Ca$-tricalcium phosphate. Plant and Soil, Hague, 96(1):3-15.

AZCÓN, R. & J.A. OCAMPO, 1984. Effect of root exudation on VA mycorrhizae infection at early stages of plant growth. Plant an Soil, Hague, 82(1):133-138.

BANGAR, K.C.; K.S. YADAV & M.M. MISHRA, 1985. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. Plant and Soil, Hague, 85(2):259-266.

BARBER, D.A., 1968. Microrganisms and the inorganic nutrition of higher plants. Ann. Rev. Pl. Phys., Palo Alto, 19:71-88.

BARBOSA FILHO, M.P., 1984. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrado. POTAFOS, Informações Agronômicas, Piracicaba, 28:1-4.

BAREA, J.M. & AZCÓN-AGUILAR., 1983. Mycorrhizae and their significance in nodulatin nitrogen-fixing plants. In: BRADY, N.C. (ed.). Advances in Agronomy, New York, Academic Press, p.1-54.

BAREA, J.M.; R. AZCÓN & C. AZCÓN-AGUILAR , 1983. Interactions between phosphate solubilizing bacteria and VA mycorrhiza to improve plant utilization of rock phosphate in non acidic soil. In: 3rd International Congress on Phosphorus Compounds, Brussels, p.127-144.

BATAGLIA, O.C.; A.M.C. FURLANI, J.P.F. TEIXEIRA & J.R. GALLO, 1983. Métodos de análise química de plantas. Bol. Inst.

Agron. Campinas, Campinas, nº 78.

BAYLIS, G.T.S., 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In: SANDERS, F.E. ; B. MOSSE & P.B. TINKER (eds.). Endomycorrhizas, London , Academic Press, p.373-389.

BEHERA, B. & G.H. WAGNER, 1974. Microbial growth rate in glucose-amended soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison , 38(4):591-594.

BERGERSEN, F.J., 1971. Biochemistry of symbiotic nitrogen fixation in legumes. Ann. Rev. Plant. Physiol., Stanford, 21:121-140.

BITTENCOURT, V.C.; L.J.B. CASTRO; A.A.M. FIGUEIREDO; A.C.S. PAIXÃO & D.M. POLLI, 1978. Composição da vinhaça. Brasil Açucareiro, São Paulo, (4):217-228.

BOLAN, N.S.; A.D. ROBSON & N.J. BARROW, 1987. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphates of plants. Plant and Soil, Hague, 99(2-3): 401-410.

BOWEN. G.D. & S.E. SMITH, 1981. The effects of mycorrhizas on nitrogen uptake by plants. Ecol. Bull., Estocolmo, 33: 237-247.

BRUEHL, G.W., 1987. Soilborne plant pathogens. New York , Macmillan Publishing Company, 368p.

CABALA-ROSAND, P. & A. WILD, 1982. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. II. Effects of mycorrhizal inoculation and nitrogen source. Plant and Soil, Hague, 65(3):363-373.

CALDAS, H.E., 1960. Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria. Boletim Técnico do Instituo Agronômico do Nordeste, 10:41-77.

CAMARGO, M.N.; E. KLAMT & J.H. KAUFFMAN, 1987. Classificação de solos usada em levantamentos pedalógicos no Brasil. Bol. Inf. SBCS, Campinas, 12(1):11-33.

CAMARGO,R., 1954. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. Análise Quantitativa. Piracicaba, Inst. Zimotécnico, 51p. (Boletim 9).

CARDOSO, E.J.B.N. & F. GALLI, 1975. Fixação do nitrogênio. In: AQUARONE, E.; W. BORZANI & U.A. LIMA (eds.). Biotecnologia - Tópicos de microbiologia industrial. São Paulo, Edgard Blücher, p.14-16.

CARDOSO, E.J.B.N., 1984. Efeito de micorriza vesículo-arbuscular e de fosfato de rocha nas culturas de soja e do feijão. ESALQ/USP, Piracicaba, SP. 220p. (Tese de Livre Docência).

CARDOSO, E.J.B.N., 1985. Efeito de micorriza vesículo-arbuscular e fosfato de rocha na simbiose soja-Rhizobium. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 9:125-130.

CARDOSO, E.J.B.N., 1986. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em soja, com *Rhizobium japonicum* e fosfato de rocha, em função do tipo de solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10(1):17-23.

CARVALHO, P.C.T.; J.M. SALGADO & E.P. SANTANA, 1977. Biotransformação de Apatita de Araxá em solo suplementado com diferentes fontes de carbono. O Solo, Piracicaba,(1):30-34.

CATI-IAC, 1986. Classificação dos solos do Estado de São Paulo (correspondência predominante entre a classificação antiga e a atual). Centro de Tecnologia em Recursos Naturais (CATI) e Seção de Pedologia (IAC), Campinas.

CERRI, C.C.; B. VOLKOFF & B. de P. EDUARDO, 1982. Decomposição de matéria orgânica marcada com $^{14}C$ e formação de biomassa microbiana em solo ácido do município de Piracicaba, SP, Brasil. In: CERRI, C.C.; D. ATHIÉ & D. SODRZEIESKI (eds.). Anais Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo, Piracicaba, p.137-140.

COCHRANE, V.W., 1958. Physiology of fungi. New York, John Wiley, 524p.

COLOZZI-FILHO, A. & J.O. SIQUEIRA, 1986. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10(3):199-205.

COOPER, K.M., 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. In: POWELL, C.L. & D.J. BAGYARAJ (eds.). Va Mycorrhizae. Boca Raton, CRC Press, p. 155-186.

CRESS, W.A.; G.O. THRONEBERRY & D.L. LINDSEY, 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. Plant Physiol., Lancaster, 64(3):484-487.

DEMETRIO, J.L.; R. ELLIS JR. & G.M. PAULSEN, 1972. Nodulation and nitrogen fixation by two soybean varieties as affected by phosphorus and zinc nutrition. Agron. J., Madison, 64:566-568.

DIEM, H.G.; M. GUEYE & Y. DOMMERGUES, 1986. The development

of extraradical hyphae in relation to the response of cowpea to VA mycorrhizal infection. In: GIANINAZZI-PEARSON , V. & S. GIANINAZZI (eds.). Proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae, INRA, Paris, 1986.

EIRA, A.F., 1973. A solubilização microbiana de fosfatos de rocha. 3º Relatório Final, CPRT/FCA/UNESP, Botucatu, 57p.

EIRA, A.F. Solubilização microbiana de fosfatos de rocha. In: CARDOSO, E.J.B. N.; S.M. TSAI & M.C.P. NEBES (eds.). Microbiologia do Solo. (no prelo).

EIRA, A.F. & N.L. SOUZA, 1987. Aparelho simplificado para medição volumétrica de partes vegetais e objetos irregulares. Summa Phytopathologica, Piracicaba, 13(1-2):142-147.

EIRA, A.F. & P.C.T. CARVALHO, 1970. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e sua influência nas variações do pH. Revista da Agricultura, Piracicaba , 45(1):15-21.

EIRA, A.F. & P.C.T. CARVALHO, 1971. A fonte de carbono como fator de solubilização de fosfatos naturais pela microflora do solo. III Congresso Brasileiro de Microbiologia. Sociedade Brasileira de Microbiologia, 25-29 de julho, Belo Horizonte.

FAQUIN, V. 1988. Cinética da absorção de fosfato, nutrição mineral, crescimento e produção de soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular (MVA). Piracicaba, ESALQ/USP, 136p. (Tese de Doutorado).

FASSBENDER, H.W., 1984. Química de suelos. 4ª ed., San José, Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 398p.

FERNANDES, A.B.; J.O. SIQUEIRA; M.A.L. MENEZES & G.A.A. GUEDES, 1987. Efeito diferenciado do fósforo sobre o estabelecimento e efetividade da simbiose endomicorrízica em milho e soja. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11(2):101-108.

FERNANDES, S.B.V. & J. KAMINSKY, 1987. Efeito de níveis de acidulação do fosfato-de-Araxá no suprimento de fósforo à sucessão sorgo-soja-aveia, em dois solos. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 11(2):157-160.

GERDEMAN, J.W. & T.H. NICOLSON, 1963. Spores of micorrhizal *Endogones* species extracted from soil by wet sieving and decating. Trans. Br. Mycol. Soc., London, 46:235-244.

GIANINAZZI-PEARSON, V. & S. GIANINAZZI, 1986. The physiology of improved phosphate nutrition in micorrhizal plants. In: GIANINIZZI-PEARSON, V. & S. GIANINAZZI (eds.). Proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae. INRA, Paris, 1986.

GIOVANNETTI, M. & B. MOSSE, 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol., Oxford, 84:489-500.

GLORIA, N.A., 1980. Uso de resíduos de destilação na agricultura. In: Fermentações industriais & transformações microbianas no solo. Informações técnico-científicas da Sociedade Brasileira de Microbiologia. São Paulo, p.79-84.

GOEDERT, W.J., 1983. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 18 (5):499-506.

GOEDERT, W.J. & D.M.G. SOUZA, 1984. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINHOZA, W. e A.J. OLIVEIRA (eds.). Anais do Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira, Brasília, EMBRAPA, p.255-289.

GOEDERT, W.J. & D.M.G. SOUZA, 1986. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 10(1).75-80.

GOEDERT, W.J. & E. LOBATO, 1984. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 8:97-102.

GRAHAM, J.H.; R.T. LEONARD & J.A. MENGUE, 1981. Membrane mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. Plant Physiol., Lancaster, 68(3):548-552.

HAYMAN, D.S., 1974. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. VI. Effect of light and temperature. New Phytol., Oxford, 73(1):71-80.

HAYMAN, D.S., 1982. Influence of soil and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathology, St. Paul, Mn, 72(8):1119-1125.

HAYMAN, D.S., 1984. Methods for evaluation and manipulating vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: GRAINGER, J.M. & J. M. LYNCH (eds.). Microbiological methods for environmental biotechnology, New York, Academic Press, p.95-117.

HAYMAN, D.S. & B. MOSSE, 1971. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Growth of *Endogone* inoculated plants in phosphate deficient soils. New Phytol. Oxford, 70:19-27.

HICKS, P.M. & T.E. LOYNACHAN, 1987. Phosphorus fertilization reduces vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and changes nodule occupancy of field-grown soybean. Agron.J., Madison, 79(5):841-844.

HOWELER, R.H.; E. SIEVERDING & S. SAIF, 1987. Pratical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. Plant and Soil, Hague, 100(1-3):249-283.

HUSSEY, R.B.; R.L. PETERSON & H. TIESSEN, 1984. Interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and asparagus. Plant and Soil, Hague, 79(3):403-416.

HUGHES, J.C. & R.J. GILKES, 1986. The effect of soil properties and level of fertilizer application on the dissolution of Sechura Rock Phosphate in some soils from Brazil, Colombia, Australia and Nigeria. Aust. J. Soil Res., Melbourne, 24:219-227.

IKRAM, A.; A.W. MAHMUD & D. NAPI, 1987. Effects of P-fertilization and inoculation by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nodulation of *Calopogonium caeruleum* . Plant and Soil, Hague, 104(2):195-207.

IMSHENETSKII, A.A. & B.G. MURZAKOV, 1979. Determination of carbon dioxide evolved from soil of differing moisture. Microbiology (Engl. Transl. Mikrobiologiya), Moscow, 46(6): 885-889.

ISLAM, R. & A. AYANABA, 1981. Effect of seed inoculation and pre-infecting cowpea (*Vignia unguiculata*) with *Glomus mosseae* on growth and seed yield of the plants under field conditions. Plant and Soil, Hague, 61(3):341-350,

JENKINSON, D.S. & D.S. POWLSON, 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem., Oxford, 8: 209-213.

JOHNSON, C.R., 1984. Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil, Hague, 80:35-42.

KOUGH, J.L. & V. GIANINAZZI-PEARSON, 1986. Physiological aspects of VA mycorrhizal hyphae in root tissue and soil. In: GIANINAZZI-PEARSON, V. & S. GIANINAZZI (eds.). Proceedings of the 1st European Symposium on mycorrhizae , INRA, Paris.

KRISHNA, K.R. & F.J. BAGYARAJ, 1982. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza and soluble phosphate on *Abelmoscus esculentus* (L.) Moench. Plant and Soil, Hague, 64(2):209-213.

KRISHNA, K.R. & P.J. DART, 1984. Effect of mycorrhizal inoculation and soluble phosphorus fertilizer on growth and phosphorus uptake of pearl millet. Plant and Soil, Hague, 81:247-256.

KUBÁT, J.; B. NOVÁK; J. PIRKL & V. MACHÁCEK, 1985. Rock phosphate solubilization in cattle slurry. Zbl. Mikrobiol, 140:449-454.

KUCEY, R.M.N., 1983. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. Can. J. Soil Sci., Otawa, 63:671-678.

KUCEY, R.M.N. & H.H. JANZEN, 1987. Effects of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micronutrient uptake of wheat and field beans under greenhouse conditions. Plant and Soil, Hague, 104(1):71-78.

KUNDU, B.S. & A.C. GAUR, 1984. Rice response to inoculation with $N_2$-fixing and P-solubilizing microrganisms. Plant and Soil, Hague, 79(2):227-234.

KUO, C.G. & R.S. HUANG, 1982. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth and yield of rice-stubble cultured soybeans. Plant and Soil, Hague, 64(3):325-330.

LEE, A. & D.J. BAGYARAJ, 1986. Effect of soil inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and either phosphate rock dissolving bacteria or thiobacilli on dry matter production and uptake of phosphorus by tomato plants. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington , 29:525-531.

LOPES, E.S.; R. DIAS & S. dos S. FREITAS, 1985. Influência dos microrganismos na nutrição e cultivo nos trópicos. In: CABALA-ROSAND, P. (ed.). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. CEPLAC-SBCS , Ilhéus, p.77-101.

LOTT, W.L.; J.P. NERY; J.R. GALLO & J.J. MEDCALF, 1956. A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro. Bol.Inst. Agron. Campinas, Campinas, nº 79.

MALAVOLTA, E., 1967. Manual de química agrícola - adubos e adubação. 2ª ed., São Paulo, Ceres, 606p.

MALAVOLTA, E., 1985. Adubos e adubação fosfatada. Piracicaba, Fertilizantes Mitsui S/A, 61p.

MANJUNATH, A.; R. MOHAN & D.J. BAGYARAJ, 1981. Interaction between *Beijerinchia mobilis*, *Aspergillus niger* and *Glomus fasciculatum* and their effects on growth of onion. New Phytol., Oxford, 85:723-727.

NEMEC, S., 1978. Response of six citrus root stocks to three species of *Glomus*, a mycorrhizal fungus. Proc. Fla. State Hort. Soc., Winter Haven, 91:10-14.

NORRIS, D.O., 1964. Techniques used in work with *Rhizobium*. In: Some concepts and methods in subtropical pasture research. The staff of the Cunningham Laboratory, C.S.I.R.O., Brisbane, Austrália, Bull. 47.

NYE, P.H. & G.J.D. KIRK, 1987. The mechanism of rock phosphate solubilization in the rhizosphere. Plant and Soil, Hague, 100(1-3):127-134.

OLIVEIRA, M.H.A., 1987. Efeito de fosfatos de rocha nas interações da soja e do feijão com *Rhizobium* spp e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. Piracicaba, ESALQ/USP, 112p. (Dissertação de Mestrado).

ORLANDO, Fº; I.C. SOUZA & E. ZAMBELLO JR., 1980. Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: Economicidade do sistema caminhões-tanque. Boletim Técnico Planalsucar, Piracicaba, 2(5):5-35.

ORTUÑO, A.; A. HERNANSAÉZ; J. NOGUEIRA; V. MORALES & T. ARMERO, 1978a. Accion solubilizadora del fosforo por *Aspergillus niger* e *Pseudomonas fluorescens*. Microbiologia Española, Madrid, 30-31:113-120.

ORTUÑO, A.; J. NOGUEIRA; A. HERNANSAÉZ & T. ARMERO, 1978b. Metabolismo fosfórico de *Aspergillus niger* em suelos calizos y salinos. Microbiologia Española, Madrid, 30-31:101-112.

PACOVSKI, R.S.; G. FULLER; A.E. STAFFORD & E.A. PAUL, 1986. Nutrient and growth interactions in soybeans colonized with *Glomus fasciculatum* and *Rhizobium japonicum*. Plant and Soil, Hague, 92(1):37-45.

PALMER, B. & R.J. GILKES, 1983. The fertilizer effectiveness of calcined Christmas Island C-grade aluminium-iron phosphate rock and super phosphate during the early stages of plant growth. Fertilizer Research, Dordrecht, 4(1):31-43.

PARR, J.F., 1975. Chemical and biological considerations for land application of agricultural land municipal wastes. In: FAO, Organic Materials as Fertilizers, Roma, p-227-251. (soils Bulletin, nº 27).

PAULINO, V.T.; D.F. PICCINI & J.M. BAREA, 1986. Influência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e fosfatos em leguminosas forrageiras tropicais. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10(2):103-108.

PAULINO, V.T. & R. AZCÓN, 1987. Respostas de *Centrosema pubescens* Benth à inoculação de micorriza vesículo-arbuscular e microrganismos solubilizadores de fosfato em meio com fosfatos de rocha. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11(3):263-267.

PERKIM-ELMER CORP, 1966. Analitical methods for absorption spectrophotometry. Connecticut, Perkin-Elmer Corp.

PHILLIPS, J.M. & D.S. HAYMAN, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc., London, 55(1):158-161.

PICCINI, D. & R. AZCÓN, 1987. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the utilization of Bayovar rock phosphate by alfafa plants using a sand-vermiculite medium. Plant and Soil , Hague, 101(1):45-50.

RAIJ, B. van & J.A. QUAGGIO, 1983. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 31p. (Boletim técnico nº 81).

RAJ, J.; D.J. BAGYARAJ & A. MANJUNATH, 1981. Influence of soil inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza and a phosphate-dissolving bacterium on plant growth and $^{32}P$-utake. Soil Biol. Biochem., Oxford, 13:105-108.

RAMOS, A.; V. CALLAO & P.C.T. CARVALHO, 1968. La soulubilizacion de fosfatos por hongos del suelo. Microbiologia Española, Madrid, 21:23-37.

RATNAYAKE, M.; R.R. LEONARD & J.A. MENGE, 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. New Phytol., Oxford , 81:543-552.

ROSS, J.P. & J.A. HARPER, 1970. Effect of *Endogone* mycorrhiza on soybean yields. Phytopathology, St. Paul, Mn, 60

(11):1552-1556.

SAIF, S.R., 1981. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Effect of soil oxygen on the growth and mineral uptake of *Eupatorium odoratum* L. inoculated with *Glomus macrocarpus*. New Phytol., Oxford, 88:649-659.

SAME, B.I.; A.D. ROBSON & L.K. ABBOTT, 1983. Phosphorus , soluble carbohydrates and endomycorrhizal infection. Soil Biol. Biochem., Oxford, 15(5):593-597.

SARRUGE, J.R., 1975. Soluções nutritivas. Summa Phytopathologica, Piracicaba, 1(3):231-233.

SIEVERDING, E., 1981. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. I. Effect on plant growth, water utilization and development of mycorrhiza. J. Agronomy & Crop Science, New Delhi, 150:400-411.

SILVEIRA, A.P.D. & E.J.B.N. CARDOSO , 1987a. Influência do tipo de solo e do fungo micorrízico vesículo-arbuscular no desenvolvimento de três cultivares de feijão. R.bras.Ci. Solo, Campinas, 11(1):37-43

SILVEIRA, A.P.D. & E.J.B.N. CARDOSO, 1987b. Efeito do fósforo e da micorriza vesículo-arbuscular na simbiose Rhizobium-feijoeiro. R. bras. Ci. Solo, 11-31-36.

SILVEIRA, A.P.D.; E.J.B.N. CARDOSO & V. FACHIN, 1987. Influência da micorriza VA no desenvolvimento do feijoeiro e nos parâmetros cinéticos de absorção radicular de fósforo-In: Reunião Brasileira sobre Micorriza, II, São Paulo, Programas e Resumos, Secretarias do Meio Ambiente e da Agri-

cultura e USP, p. 44.

SIQUEIRA, J.O., 1986. Micorrizas: forma e função. In: I Reunião Brasileira sobre micorrizas, Lavras, Anais, p.5-32.

SIQUEIRA, J.O. & M.A. PAULA, 1986. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares na nutrição e aproveitamento de fósforo pela soja em solo sob cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10(2):97-102.

SNEDECOR, G.W.E. & W.C. COCHRAN, 1972. Statistical Methods. The Iwoa State Univ. Press, 6ª ed., 5ª reimpressão, 325p.

SPERBER, J.I., 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 9(6):778-787.

TARDIEUX-ROCHE, A., 1966. Contribuition a l'étude des interations entre phosphatus et microflore du sol. Ann. Agron., Paris, 17(4):403-471.

TATE, K.R., 1984. The biological transformation of P in soil. Plant and Soil, Hague, 76(1-3):245-256.

THOMAS, G.V.; M.V. SHANTARAM & N. SARASWATHY, 1985. Occurence and activity of phosphate-solubilizing fungi from coconut plantation soil. Plant and Soil, Hague, 87(3):357-364.

THOMSON, B.D., A.D. ROBSON & L.K. ABBOTT, 1986. Effect of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. New Phytologist., Oxford, 103:751-765.

TINKER, P.B., 1984. The role of microrganisms in mediating and faciliting the uptake of plant nutrients from soil. Plant and Soil, Hague, 76(1-3):77-91.

TOMAR, N.K.; S.S. KHANNA & A.P. GUPTA, 1983. Evaluation of mussoorrie rock phosphate for wheat. Indian J. Agric. Sci., New Delhi, 53(5):330-336.

VAN RAIJ, B., 1983. Avaliação da fertilidade do solo. 2ª ed., Piracicaba, Institutos da Potassa (EUA-Suiça), 142p.

VAN RAIJ, B., 1986. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 10(3).235-239.

VAZ, C.A.; E. LOBATO; G. PEREIRA & J. PEREIRA, 1980. Reciclagem orgânica na Agricultura Brasileira. Brasília, Informativo SNAP, Informe Especial nº 1, 37p.

YOST, R.S. & R.L. FOX, 1970. Contribution of mycorrhizae to P nutrition of crops growing on a oxisol. Agron. J., Madison, 71:903-908.

YOUNG, C.C.; T.C. JUANG & H.Y. GUO, 1986. The effect of inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean yield and mineral phosphorus utilization in subtropical-tropical soils. Plant and Soil, Hague, 95:245-253.

WAKSMAN, S.A., 1963. Soil Microbiology. 4ª ed., New York, John Wiley, 356p.

WINSOR, G.W. & A.G. POLLARD, 1956. Carbon-nitrogen relationship in soil. I. The immobilization of nitrogen in the presence of carbon compounds. J.Sci.Food Agric., London, 7:134-141.