

**ESCOLA AGROTÉCNICA FEDERAL DE MUZAMBINHO**  
Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura

---

**JOEDSON CORRÊA SOARES**

**TEORES DE FERRO, MANGANÊS E COBRE NO  
CAFEEIRO RECEPADO EM FUNÇÃO DE  
DIFERENTES DOSES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

---

**Muzambinho**  
**2008**

**JOEDSON CORRÊA SOARES**

**TEORES DE FERRO, MANGANÊS E COBRE NO  
CAFEEIRO RECEPADO EM FUNÇÃO DE  
DIFERENTES DOSES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Trabalho de conclusão do Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Cafeicultura da Eafmuz como requisito  
parcial à obtenção do grau de Tecnólogo  
em Cafeicultura

Orientador: Dr. Marcelo Bregagnoli

**Muzambinho**

**2008**

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Marcelo Bregagnoli

---

Luiz Augusto Gratieri

---

Roseli dos Reis Goulart

Muzambinho, 9 de dezembro de 2008.

## **DEDICATÓRIA**

A todos, que de alguma forma, tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, ser supremo e absoluto, a quem entrego meu caminho todos os dias da minha vida.

Aos meus pais, José Custodio e Hosana, e ao meu irmão Jose Sergio pelos ensinamentos e pelo apoio que eles têm me proporcionado durante este percurso.

À minha namorada Elenice, que sempre esteve a meu lado dando-me forças para lutar sempre com muita confiança, amor e carinho.

Aos amigos que me incentivaram e me apoiaram.

Ao meu orientador Dr.Marcelo Bregagnoli, pelas oportunidades, ensinamentos, atenção e por ser, além de professor, um grande amigo.

Aos professores do curso de cafeicultura, pelo seu empenho, e pelos conhecimentos que adquiri.

Ao professor José Mauro, pelo auxílio nas análises estatísticas prestadas ao nosso grupo de pesquisa.

SOARES, Joedson Corrêa. **Teores de ferro, manganês e cobre no cafeeiro recepado em função de diferentes doses de  $P_2O_5$** . 2008. 53f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

## RESUMO

A nutrição das plantas é algo relevante dentro do sistema agrícola, pois existem diversos parâmetros para serem seguidos, isto gera inúmeras dúvidas acerca do fornecimento de nutrientes às plantas. O trabalho teve o objetivo de quantificar a influência de doses crescentes de  $P_2O_5$  sobre o teor foliar e no solo dos micronutrientes (Fe, Cu e Mn). O experimento foi realizado na Fazenda Grama, município de Guaxupé-MG, utilizando a variedade Mundo Novo IAC 379-19 com 44 anos, recepado, espaçamento 4 X 1,5, plantio em cova (2 plantas por cova), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos (T1 = 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> – testemunha; T2 = 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (200 g cova<sup>-1</sup>) - fonte termosfosfato; T3 = 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (400 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termosfosfato; T4 = 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (800 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termosfosfato; T5 = 400 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (1600 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termosfosfato; T6 = 800 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (3200 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termosfosfato; T7 = 1600 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (6400 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termosfosfato; T8 = 300 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (1333 g cova<sup>-1</sup>) – fonte superfosfato simples) com quatro repetições. As análises dos teores foliares foram realizadas nos dias 03-03-2008 e 13-10-2008. As análises de solo de 0-10 cm e 10-20 cm foram realizadas no dia 16-11-2008. Com base nos resultados deste trabalho foi possível avaliar que, altas doses de P diminuem o teor foliar de Fe e que as doses crescentes de P não afetaram o teor foliar de Cu.

**Palavra - chave:** Adubação fosfatada, micronutrientes, absorção

SOARES, Joedson Correa. **Levels of iron, manganese and copper in coffee reception for different doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**. 2008. 53f. Completion of the work of the Technology Education Course in coffee (Graduation) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

## ABSTRACT

The plant nutrition is important within the agricultural system, because there are several parameters to be followed, this creates many questions about the supply of nutrients to the plants. The study aimed to quantify the effect of increasing doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on the content of leaf and soil micronutrients (Fe, Cu and Mn). The experiment was conducted at Fazenda Grama, city of Guaxupé-MG, using a variety Mundo Novo IAC 379-19 with 44 years, Recep, spacing 4 X 1.5, in planting hole (2 plants per hole), the experimental design was a randomized block with eight treatments (T1 = 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> -witness, T2 = 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (200 g pit<sup>-1</sup>) - termosfosfato source, T3 = 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (400 g pit<sup>-1</sup>) - termosfosfato source, T4 = 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (800 g pit<sup>-1</sup>) - source termosfosfato; T5 = 400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (1600 g pit<sup>-1</sup>) - source termosfosfato; T6 = 800 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (3200 g pit<sup>-1</sup>) - source termosfosfato; T7 = 1600 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (6400 g pit<sup>-1</sup>) - source termosfosfato; T8 = 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (1333 g-hole 1) - source single superphosphate) with four replications. The analysis of foliar levels were carried out on 03-03-2008 and 13-10-2008. The analysis of soil of 0-10 cm and 10-20 cm were held on 16-11-2008. Based on the results of this study is possible to note that high doses of P reduced the leaf content of Fe and that the doses increased from P did not affect the content of copper leaf.

**Keyword:** phosphate fertilizers, micronutrients, absorption.

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
2.1. <i>Nutrição mineral do cafeeiro.....</i>	11
2.2. <b>FÓSFORO .....</b>	11
2.2.1. Formas no solo, transformações, ciclos .....	12
2.2.2. Formas, assimilação e papéis funcionais.....	13
2.2.3. Participação do P na formação da colheita.....	15
2.2.4. Adubação Fosfatada.....	16
2.2.5. Fontes.....	17
2.2.6. Aplicações e respostas.....	17
2.2.6.1. No Solo .....	17
2.2.6.2. Culturas temporárias.....	18
2.2.6.2.1. Perenes.....	18
2.2.6.3. Foliar .....	19
2.2.6.4. Respostas .....	19
2.2.7. Eutroficação.....	20
2.2.8. Relação do P com a qualidade dos produtos agrícolas.....	20
2.3. <b>FERRO.....</b>	21
2.3.1. Formas no solo.....	21
2.3.2. Formas, assimilação e papéis funcionais.....	21
2.3.3. Na Planta.....	22
2.3.4. Funções.....	23
2.3.5. Relação do Fe com a qualidade dos produtos agrícolas.....	23
2.3.6. Adubação.....	24
2.3.7. Doses e modo de aplicação.....	24
2.4. <b>COBRE .....</b>	24
2.4.1. No solo.....	24
2.4.1.1. Formas e transformações.....	25
2.4.2. Na Planta.....	26
2.4.3. Funções.....	27
2.4.4. Exigências.....	27
2.4.5. Formação da colheita.....	27
2.4.6. Relação com doenças.....	28
2.4.7. Aplicação.....	28
2.5. <b>MANGANÊS.....</b>	28
2.5.1. No Solo.....	28
2.5.1.1. Origem.....	28
2.5.2. Formas, transformações e teores.....	29
2.5.3. Na Planta.....	30
2.5.4. Funções e formação da colheita.....	31
2.5.5. Exigências, deficiência e toxidez.....	33
2.5.6. Adubação.....	34
2.5.6.1. Critérios para doses.....	34
2.5.6.2. Produtos.....	34
2.5.6.3. Aplicação.....	34
2.5.7. Respostas.....	35
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
3.1. <i>Local do experimento.....</i>	36
3.2. <i>Variedade.....</i>	36
3.3. <i>Delineamento experimental.....</i>	37

3.4.	<i>Práticas culturais</i> .....	37
3.5.	<i>Avaliações</i> .....	39
3.5.1.	Análise do teor foliar dos elementos .....	39
3.5.2.	Análise de nutrientes no solo .....	40
3.5.3.	Análise estatística.....	40
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## INTRODUÇÃO

Em solos altamente intemperizados, a baixa fertilidade natural requer a adubação corretiva para a maioria dos cultivos comerciais. Nessas condições, os solos podem funcionar muito mais como dreno do que propriamente como fonte de micronutrientes para as plantas. Assim, em adição à fertilização regular são necessárias práticas de manejo que beneficiam o aporte constante de compostos orgânicos que aumentam a estabilidade das formas mais solúveis de nutrientes na solução do solo especialmente os catiônicos. Compostos orgânicos de baixo peso molecular provenientes de resíduos de plantas e da atividade de outros organismos, podem complexar micronutrientes catiônicos Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Cobalto (Co) do solo e favorecer o seu fluxo difusivo (FD) para a superfície das raízes. O ferro é necessário para a síntese da clorofila, é ativador de várias enzimas como, por exemplo, as do ciclo do ácido cítrico. O cobre participa da síntese de lignina, inibe a produção de etileno e tem papel fungistático. O manganês participa da fotólise da água, respiração e controle hormonal

O fósforo(P) atua na fotossíntese, respiração e transferência de energia, divisão celular, crescimento das células e em vários outros processos da planta. Além de promover a formação e crescimento prematuro das raízes, o fósforo melhora a qualidade de muitas frutas e verduras, sendo vital para a formação de sementes e maturação de frutos.

O trabalho teve o objetivo de quantificar a influência de doses crescentes de  $P_2O_5$  sobre o teor foliar e no solo de micronutrientes catiônicos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Nutrição mineral do cafeeiro**

O estudo sobre a nutrição do cafeeiro não é fácil, pois trata-se de uma cultura perene e sua produção econômica ocorre após quatro anos pós-plantio. Outra razão é que, para se obter uma resposta concreta, o experimento tem de ser avaliado por vários anos consecutivos.

Embora outras instituições de pesquisa tais como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), as universidades e outras trabalhassem com a pesquisa relacionada à cafeicultura, até março de 1989 o Instituto Brasileiro do Café (IBC) era a instituição onde a pesquisa cafeeira era concentrada. Com a sua extinção naquele ano, a cafeicultura ficou sem uma instituição ou órgão de pesquisa exclusivo que desse continuidade às pesquisas iniciadas pelo IBC.

Assim sendo, as informações mais completas a respeito da nutrição do cafeeiro são mais direcionadas aos plantios mais espaçados, visto que o início do cultivo adensado, praticamente, coincide com a época da extinção do IBC.

A cafeicultura no Brasil ocupa em torno de 2,5 milhões de hectares, por isso não existe um parâmetro único de recomendação de adubação, pois há lavouras formadas tanto em regiões de solos classificados como latossólicos, quanto nos podzólicos, eutróficos ou distróficos, isto é, são encontradas lavouras em solos férteis e em solos pobres, uns mais e outros menos sujeitos à erosão (MALAVOLTA, 1993).

Dessa forma, ao recomendar uma adubação para o cafeeiro, deve-se ter em mente a interpretação dos resultados da análise de solo.

### **2.2. FÓSFORO**

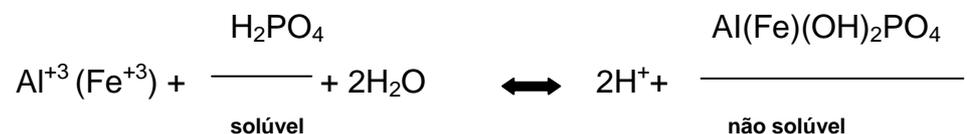
Entre os macronutrientes, o fósforo (P) é, talvez, o elemento sobre o qual mais se escuta e se escreve, havendo, porém, muitas perguntas sem respostas a respeito dele. Os motivos para tantos escritos e indagações são vários: a importância para a vida da planta, do animal e do homem que come planta transformada; a frequência com que limita a produção, particularmente nos trópicos (SANCHEZ & SALINAS, 1981); o fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível.

### 2.2.1. Formas no solo, transformações, ciclos

As quantidades totais de P nos solos brasileiros, na profundidade de 0-20 cm, variam entre 0,005 e 0,2%, o que corresponde a 110 – 4400 kg ha<sup>-1</sup>. Nos solos ácidos em que se faz a calagem, elevando o pH e introduzindo mais Ca no meio, ocorre também a formação de P-Ca e talvez, de P – apatita (MALAVOLTA,1981).

Disponível pode ser definido como aproveitável facilmente pela planta dentro do ciclo de vida ou do ano agrícola. Considera-se, comumente disponível, a soma das frações solúvel e fracamente absorvida, também chamada “lábil”.

Os fosfatos precipitados recentes, de média disponibilidade, têm a sua formação devida à reação:



Com o tempo esses fosfatos, de alumínio (Al) ou ferro(Fe) “envelhecem” e se tornam menos disponíveis quando abandonados a si mesmos. Por outro lado, a neutralização da acidez, com a conseqüente elevação do pH na calagem, por exemplo, ajuda a deslocar o equilíbrio para a esquerda tornando, de novo, o fósforo disponível.

Uma tentativa para representar o equilíbrio entre as formas de P nos solos do Brasil e, ao mesmo tempo, quantificá-los. Aplica-se, no caso, os conceitos de intensidade (I) e quantidade (Q) e capacidade (C). O pH parece ser a variável com maior influência no aproveitamento pelas plantas (ALBUQUERQUE ,1986). O P do solo se origina no mineral apatita, e o intemperismo leva-o à solução do solo e as plantas o extraem e depois servem ou não para alimentar microorganismos e animais que devolvem parte ao solo. A erosão quebra o ciclo roubando P e outros elementos do sistema solo-planta. A atmosfera não tem participação do ciclo, como faz no caso do N. É que o P se encontra, normalmente, no seu estado mais oxidado (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), valência + 5. O íon fosfatado é muito estável, quimicamente, sem passar por transformações como acontece com o NO<sub>3</sub>. que também tem valência + 5. Esta estabilidade do íon fosfatado, pouco abundante no solo, explica em parte porque, em baixa concentração na biosfera, seja capaz de sustentar a vida nos reinos vegetal e animal.(MALAVOLTA,1981).

O P entra em contato com a raiz por difusão quase exclusiva, é absorvido

num processo morro acima, dependendo da faixa de concentração externa, segue o padrão duplo. O mesmo acontece, de modo geral, para a absorção foliar.

Em condições usuais de pH do solo ou do substrato, abaixo de 7,0 ou pouco acima o  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$  é o íon que predomina. Entretanto, o pH aumentando, ainda dentro da faixa biológica, há pouco  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$  devido à segunda dissociação do  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e, mesmo assim há absorção (BIELESKI ; FERGUSON, 1983).

Segundo Malavolta (2006) o P inorgânico,  $\text{P}_i$ , absorvido e acumulado pelas células corticais da raiz é transferido radicalmente até o xilema ao longo do simplasma e eventualmente alcança a parte aérea, onde entretanto não fica parado: - o P, juntamente com o N, é o elemento mais redistribuído. Assim o  $\text{P}_i$  fornecido às folhas ou quando a mesma envelhece, é redistribuído na proporção de até 60% do total presente, via floema, para outras partes da planta, particularmente regiões de crescimento e frutos em desenvolvimento.

A fácil redistribuição do P tem várias consequências:

A – em condições de carência os sintomas vão aparecer em primeiro lugar em órgãos mais velhos dos quais os elementos migram para os mais novos:

B – parte da exigência para o crescimento e produção são satisfeitas pela mobilização das reservas de P.

### 2.2.2. Formas, assimilação e papéis funcionais

Através de um grupo hidroxila a uma cadeia carbônica (C-O-P) todo o P da planta e do solo está presente como fosfato: - esterres simples, ou ligado a um outro radical fosfato por pirofosfato presente nos nucleotídeos di ou trifosfatados e em polifosfatos.

O principal papel do P na planta ( e nos demais seres vivos) é o de armazenar e transferir energia. ARNON (1953) mostrou, de modo muito didático, como é o hábito de armazenar energia nas ligações fosfóricas – glicólise, fosforilação oxidativa, fosforilação fotossintética – e como é utilizada. Esse trabalho tem quase meio século e continua atual.

BIELESKI & FERGUSON (1983) classificam os compostos de P da célula vegetal em cinco grupos:

**A - Fosfato inorgânico:** solúvel em água. Considerado o mais importante dos compostos , mas o que aparece em proporção mais variável em relação ao total – de 1 micromol  $\text{g}^{-1}$  de peso da matéria fresca e 15% do P total em tecido deficiente

em fósforo a mais de 40  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e 70% do total em plantas da toxidez do elemento.

**B - Ésteres simples:** Extraídos por solventes aquosos. Cerca de 50 foram identificados. “Juntos representam a maquinária metabólica da célula”. Quase 70% do P na fração dos esteres estão contidos em 9 compostos: glicose-6-P frutose-6-P e manose-6-P (20%, 6% e 4%); ATP e ADP (10% e 3%); UTP (trifosfato de uridina), UDP (difosfato de uridina) e UDPG (difosfato de uridina e glicose), 4%, 5% e 9%; 3-PGA (ácido 3 fosfoglicérico, 8%). Nas sementes e tubérculos, entretanto, predomina o fosfato de inositol como principal ester, com função de armazenamento em lugar de metabólica. Entre os esteres simples, além dos indicados, há trioses, pentoses, heptosefosfatos, polioisfosfatos, fosfoenol, piruvato, fosfogliconato. Além dos nucleotídeos de adenina e de uridina, duas coenzimas que funcionam em reações de transferência de elétrons ou hidrogênio, nucleotídeo de difosfopiridina (DPN, coenzima D e nucleotídeo de trifosfopiridina (TPN, coenzima II), possuem, como indica o nome, 2 e 3 radicais fosfatados. O fosfato de riboflavina (FMN), sinônimo de vitamina B2, é amplamente distribuído nos reinos animal e vegetal. É parte, grupo prostético das flavoproteínas, enzimas que desempenham papéis importantes em reações de óxido-redução.

**C - Fosfolipídeos:** Solúveis nos solventes das gorduras como clorofórmio ou éter. Um fosfolipídeo pode ser encarado como um lipídeo no qual um dos 3 radicais graxos (acilos), ligados ao glicerol foi substituído por um de ácido fosfórico. O glicerol é o centro da molécula. Os principais fosfolipídeos são fosfatidil colina, fosfatidil etanolamina, fosfatidil glicerol, fosfatidil inositol (ácido fítico) e fosfatidil serina. Fosfolipídeos estão presentes nas membranas celulares.

Os cloroplastos têm um sistema de membranas altamente desenvolvido (tilacoide) e representam 40% do total de fosfolipídeos das células fotossintéticas.

**D - Ácido desoxiribonucleico (DNA).** Tanto o DNA como o RNA (ácido ribonucleico) ficam no tecido depois da extração com os solventes simples já mencionados; O DNA é uma macro molécula com peso molecular maior que  $10^6$ , responsável por carregar a informação genética da célula.

**E - Ácido ribonucleico (RNA):** Tem estrutura semelhante às do DNA,

macro molécula (p.mol. 23.000-  $1,3 \times 10^6$ ). O P forma uma ponte entre as unidades de ribonucleosídeo (= ribose + base nitrogenada). No RNA transferidor, t.RNA, o fosfato terminal tem a função de fornecimento de energia como carregador e ativador de aminoácidos. O RNA está envolvido na translação da informação genética (via mRNA, RNA mensageiro) e na síntese de proteína.

Quando se fornece à planta P marcado com o seu isótopo radioativo,  $^{32}\text{P}$ , os compostos que mais cedo, e rapidamente mostram a incorporação são ATP e o UTP, o que sugere serem esses dois nucleotídeos a principal porta de entrada (=assimilação) do elemento em compostos orgânicos. O P faria parte inicialmente da ATP que está em equilíbrio com UTP. Quinases de difosfato de nucleosídeo se encarregam da transferência da primeira para a segunda (MALAVOLTA,2006)

### **2.2.3. Participação do P na formação da colheita**

Os papéis do P em todo o processo de formação da colheita se baseiam nas suas funções:

- A. componente dos lipídeos do plasmalema e do tonoplasto, passagem obrigatória dos nutrientes no processo de absorção, tanto na raiz quanto na folha;
- B. armazenamento de energia na fotossíntese e respiração;
- C. utilização da energia para reações de síntese de proteínas, fixação biológica de nitrogênio (FBN) e outras;
- D. transferência dos caracteres genotípicos da planta com suas manifestações externas (fenótipo) que dependem do ambiente.

Segundo Malavolta (2006) os aspectos principais da participação do P no processo de formação da colheita são os seguintes:

- A – acelera a formação das raízes e é essencial para o seu funcionamento como apoio mecânico e órgão de absorção da água e de íons;
- B – aumenta o perfilhamento das gramíneas (junto com o N)cereais ou forrageiras;
- C – maior pegamento da florada e, por isso, mais frutificação;
- D – regulador de maturação;
- E – mais viabilidade das sementes;
- F – maior teor de carboidratos (açúcar de cana, amido na beterraba e na mandioca, fibra de algodão), óleo, gordura e proteínas;
- G – essencial para a FBN;

H – quando deficiente causa menor vegetação e produção e também senescência precoce.

#### 2.2.4. Adubação Fosfatada

A equação geral de adubação com o P tem fator f, definindo perdas maiores que 1, mais alto do que de outros nutrientes. Isso acontece devido à “fixação” do fósforo que se deve em maior grau aos óxidos e hidróxidos de Al e Fe abundantes nos solos ácidos, e, em menor proporção ao cálcio(Ca). A retrogradação é, em geral, reservada para a insolubilização do P solúvel dos adubos, que passa a fazer parte da fase lábil e depois da solução do solo onde se mistura com o P nativo a fixação tem então lugar, não havendo distinção entre as origens do elemento.

Devido ao equilíbrio existente entre as formas de fósforo no solo a fixação não é perda permanente, já que todas as reações são reversíveis. (RAIJ ,1978) A presença da planta faz o deslocamento equilibrado para a direita de modo que se tem:

**P orgânico ou P mineral fixado  $\rightleftharpoons$  P lábil  $\rightleftharpoons$  P solução  $\rightleftharpoons$  P planta**

A seqüência se aplica tanto no P nativo quanto ao P do adubo.

As doses de P a ser usada na adubação deve ser administrada após extração feita em laboratório, onde se estima conjuntamente, embora em proporção variável, o P (lábil) e o P (solução) , isto é:

$$P(\text{adubo}) = [P(\text{exigência}) - P(\text{fornecimento})] \times f$$

Além do método discutido por (RAIJ, 1978) deve-se citar a diagnose foliar, extrator universal, em que a própria planta funciona para retirar do solo os elementos em forma disponível e levá-los para análise.

Existem métodos que não estão na rotina dos laboratórios devido ao tempo necessário e ao alto custo. São baseados na diluição do isótopo de P. P<sup>32</sup>. Da solução extratora pelo P<sup>31</sup>, não radioativo, da solução e da fase lábil. Trata-se da determinação dos valores “L” ou “A” em que se usam plantas e o valor “E” em que apenas se troca o isótopo radioativo pelo elemento disponível no solo.

As soluções extratoras, além de retirar formas diferentes de P no solo, podem extrair quantidades variáveis da mesma forma, umas mais, outras menos. Por esse motivo, a interpretação dos resultados, isto é, a sua classificação em baixo, médio e alto ou coisa parecida, pode ser variável; o que não significa que uma seja melhor que a outra, embora isso possa ocorrer. Todas as soluções e processos de

extração precisam simular no tubo de ensaio o que a raiz faz no solo. A solução ou processo serve na prática da adubação fosfatada. Colheita Relativa (CR) quer dizer colheita obtida sem adição de adubo fosfatado dividida pela colheita obtida com a adubação fosfatada vezes 100; quanto menos P disponível o solo possui, menor colheita relativa e quanto maior o teor de P. Maior a CR (MALAVOLTA, 2006).

Os teores de P variam em função do teor de argila, devido ao fato que o resultado obtido com Mehlich 1 depende do fator capacidade que o solo tem de fornecer fósforo para a planta. Ao que parece, a extração pela resina não é influenciada pelo teor de argila. (RIBEIRO et. al. 1999)

Para que se possa fazer recomendações com base na análise da terra, depois de se ter um extrator que discrimine os vários níveis de fertilidade do solo quanto ao P – e o enunciado se aplicar a qualquer outro elemento, macro ou micronutriente, tem-se que conduzir, no campo, o número necessário de ensaios de adubação, usando vários de  $P_2O_5$ , em condições diversas de solo e clima, cultura (espécies e às vezes variedades), durante um número suficiente de anos. (MALAVOLTA, 1981),

### **2.2.5. Fontes**

A matéria prima para a produção de adubos fosfatados é um mineral chamado genericamente de apatita, que pode ter origem ígnea, metamórfica ou sedimentar. No último caso tem-se fosfato natural “mole”, às vezes denominado “reativo” ou “fosforita”. Os fosfatos que têm as duas primeiras origens recebem o nome de apatita. As apatitas têm a fórmula mais comum de  $Ca_{10}(PO_4)_6 F_2$  (fluorapatita) O F – pode ser parcialmente substituído por  $Cl^-$ ,  $OH^-$  e  $CO$ . O  $Ca^{+2}$  por sua vez, pode ser substituído, em parte, por  $Mn^{+2}$ ;  $Sr^{+2}$ . $Ba^{+2}$ . $Mg^{+2}$  e terras raras. Vários ânions oximetálicos podem substituir o  $PO_4^{-3}$ , mas em proporções muito pequenas. As fosforitas mostram o maior desvio de composição da fluorapatita devido à extensão das substituições (LEHR, 1980).

Para simplificar, pode se designar o fosfato natural, independentemente da origem, como Ca, P representando o processo de obtenção dos fosfatos solúveis (MALAVOLTA, 1981).

### **2.2.6. Aplicações e respostas**

#### **2.2.6.1. No Solo**

O nível de P disponível for muito baixo, pode ser feito um investimento através da solução corretiva. Nesta são usadas doses elevadas de  $P_2O_5$  destinadas a aumentar os compartimentos deste nutriente e criar uma alta relação Q/1. O adubo fosfatado, geralmente parte fosfato natural reativo, parte superfosfato simples ou termofosfato magnésiano é aplicado a lanço e incorporado com arações e gradagem, se a topografia ou os recursos não permitirem que se faça essa “caderneta de poupança” torna-se necessária adubação com doses mais pesadas nas covas ou nos sulcos de plantio (LOBATO, 1982).

### **2.2.6.2. Culturas temporárias**

A adubação fosfatada, como parte do N e K é feita na cova ou no sulco de plantio. Aplicações de  $P_2O_5$  em cobertura, não são realizadas, com a possível exceção de hortaliças, como o tomateiro e culturas semi-perenes como a cana-de-açúcar.

No caso da cana-de-açúcar a associação entre P a lanço antes do plantio e no sulco, na forma de termofosfato, foi mais econômica, dando aumentos de produção de 27,3 e 35 t ha<sup>-1</sup>. Por hectare, respectivamente na cana-planta e na soqueira. Nos últimos anos têm aparecido dados sugerindo que o  $P_2O_5$ , aplicado em pré-plantio ou plantio não é suficiente para nutrir a cana-planta e mais 3-5 soqueiras. (MORELLI et. al. 1991). Assim é que, em solos pobres em P, Raij et. al. (1996) recomenda aplicar 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> em solos onde o P (resina) seja menos que 15 mg dm<sup>-3</sup>.

#### **2.2.6.2.1. Perenes**

No plantio das culturas perenes- cafeeiro, citrus, eucaliptus, frutíferas arbóreas, pastagens, pinus, pupunha – é recomendado aplicar doses altas de  $P_2O_5$ , na cova ou sulco de plantio, doses essas destinadas a elevar o P disponível a 200 – 400 mg dm<sup>-3</sup>. Usa-se termofosfato ou SPS (em maior proporção) misturado com fosfato natural reativo. No caso de pastagens semeadas a lanço o adubo fosfatado também o é, sendo incorporado sempre que possível (MALAVOLTA, 1980).

As adubações de formação, produção, manutenção e reforma em qualquer caso somente se pode pensar em incorporação do adubo se for feita subsolagem para quebrar compactação. A aplicação do P, juntamente com o N e K e ,eventualmente micronutrientes, é feita na superfície do solo ou na pastagem

rebaixada. Em culturas que não as de forrageiras, o adubo é colocado onde se concentram as raízes absorventes, em baixo da saia para aí criar condições favoráveis às raízes. Nas condições depois do plantio ou da sementeira como não é possível a incorporação do adubo, recomenda-se usar apenas fosfatos solúveis. É que a entrada em disponibilidade dos fosfatos naturais exige a mistura com o solo cuja acidez vai solubilizá-los aos poucos (MALAVOLTA, 1980).

A aplicação do SPS marcado com  $32P$  em faixa superficial ao redor do pé-de-café foi mais eficiente que a aplicação em sulco de 15 cm de profundidade circular ou semicircular (MALAVOLTA; NEPTUNE 1977). A aplicação foliar evitando-se a fixação, foi ainda mais eficiente. Observe-se que no segundo ensaio o SPS atravessou a camada de "mulch", MALAVOLTA (1994) relata que o mesmo acontece quando se aplica adubo fosfatado solúvel na palhada da cana-planta cortada crua.

#### **2.2.6.3. Foliar**

O P aplicado na folha é absorvido pelos vegetais, a exemplo do cafeeiro, nas condições de campo, mas não é o modo usual de aplicá-lo. O mesmo se diga no caso das culturas em geral simplesmente por uma questão quântica.

Segundo Malavolta (1980); pode-se aplicar o adubo fosfatado na folha em algumas situações como por exemplo:

A - para corrigir rapidamente uma deficiência, desde que o ciclo de vida da cultura permita fazê-lo, isto é se houver tempo hábil:

B - em mudas no viveiro antes do transplante da cultura perene, como é o caso do cafeeiro e de outros;

#### **2.2.6.4. Respostas**

Há toda uma gama de adubos fosfatados em que a diferença principal está na solubilidade em água. Entretanto, solubilidade em água não é sinônimo de disponibilidade. É que devido às transformações pelas quais o P passa no solo, a planta não absorve o P presente no adubo aplicado, mas na forma resultante de tais transformações. Qualquer que seja o adubo aplicado a raiz somente irá absorvê-lo depois que ele gerar  $H_2PO_4$  - para a solução do solo, a velocidade com que isso ocorre depende do adubo, do solo, da cultura, do clima e do modo de aplicação (OLIVEIRA et. al., 1982).

Adubos fosfatados que têm alta proporção do seu  $P_2O_5$ , total, 75% mais ou

menos, solúvel em água,  $\text{CiNH}_4$  ou  $\text{Hci}$  2%, praticamente se equivalem no campo, a calagem, neutralizando o excesso de Al e evitando a formação dos fosfatos correspondentes, bem como os de Fe, diminui a fixação e aumenta a disponibilidade, com o que sobe a produção de milho. A calagem é, portanto, um modo de economizar adubo fosfatado (MALAVOLTA, 1980)

### **2.2.7. Eutroficação**

O destino de P aplicado como adubo – uma proporção relativamente pequena, 0 – 10% do total é lixiviado e levado pela enxurrada.

A condução do P (do solo e do adubo) para os ambientes lacustrinos pode se dar de diversas maneiras ou caminhos: percolação para o lençol freático, o que é maior quando há adubo orgânico presente; enxurrada ou movimento superficial; a maior contribuição, entretanto, deve ser a da erosão que leva sedimentos contendo o elemento, embora somente parte dele esteja em forma disponível para as algas e outros organismos (TAYLOR ; KILMER ,1980).

Entretanto, áreas muito povoadas, como na Holanda, a principal fonte de P para rios, lagos e lagoas são as águas residuais produzidas pela população: excrementos da população – 49%; água residual da indústria 21%; agricultura 18%; origem natural – 12% (KOLLENBRANDER, 1982).

A concentração crítica inicial das águas para o estabelecimento dos efeitos da eutroficação em lagos pode ser tão baixa quanto valores entre 0,02 – 0,035 mg  $\text{L}^{-1}$  de P (NOVAIS; SMYTH,1999).

### **2.2.8. Relação do P com a qualidade dos produtos agrícolas**

CAFÉ: A deficiência de P diminui a qualidade da bebida (MALAVOLTA 1981)

CANA-DE-AÇÚCAR:  $\text{P}_2\text{O}_5$  favorece a produção total, mas o incremento nos teores de P no solo pouco influencia na % sacarose da cana (MALAVOLTA , VOLANTE NETTO ,1991).

CITRUS: frutos da planta deficiente – albedo mais grosso, coluna central destacada, Menos suco e relação sólido-solúveis/acidez, menor tamanho, acidez e vitamina C (MALAVOLTA; VOLANTE NETTO, 1991)

## 2.3. FERRO

O Fe é considerado um elemento ubíquo devido à frequência com que aparece no planeta Terra – das rochas aos seres vivos. É o quarto elemento mais abundante nas rochas da litosfera. Forma compostos estáveis com S, O e Si. Ocorre nos meteoritos e no magma interior (KRAUSKOPF, 1972),

### 2.3.1. Formas no solo

Os minerais mais comuns de Fe no solo, encontram-se nas mais diversas formas e compartimentos:

Tabela 1- Tipos de minerais de Fe.

Geral	Nome e fórmula
Óxidos	Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), goethita ( $\text{FeOOH}$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
Sulfetos	Pirita ( $\text{FeS}_2$ ), pirrolita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ )
Carbonato	Siderita ( $\text{FeCO}_3$ )
Sulfatos	Jarosita [ $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_4$ ] <sub>4</sub>
Silicatos de alta temperatura	Olivina ( $\text{Mg Fe}_2\text{SiO}_4$ )
Silicatos hidratados de baixa temperatura	Chamosita, glauconita

Fonte: (Krauskopf, 1972),

### 2.3.2. Formas, assimilação e papéis funcionais

Fases sólida e lábil – óxidos e hidróxidos. No último o elemento aparece absorvido.

O Fe no solo apresenta-se em duas valências, o  $\text{Fe}^{+2}$  (ferroso) solúvel e  $\text{Fe}^{+3}$  (férico). A absorção é ativa, obedece à cinética de Michaelis – Menten, com uma ou duas isotermas (MOORE, 1972).

Solução do solo: em condições aeróbicas, isto é, o  $\text{O}_2$  presente aparecem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  coloidal e complexos com ligantes orgânicos. Quando há muita matéria orgânica presente, surge Fe na solução como complexos e a fase lábil mostra  $\text{Fe}^{+2}$ . Em condições anaeróbicas (várzeas, arroz inundado) dá-se a redução do  $\text{Fe}^{+3}$  na seqüência termodinâmica. O Fe forma complexos com compostos orgânicos que ocorrem tanto na fase sólida (lábil) e em solução do solo como ácidos orgânicos (cítrico, málico, oxálico e fenóis) formando complexos solúveis que são liberados na matéria orgânica em de composição, aumentando assim a mobilidade e a

disponibilidade do elemento (FAGERIA, et. al. 2002).

Em condições anaeróbicas, o  $Fe^{+3}$  passa a  $Fe^{+2}$  ocorrendo toxidez para a cultura, como é o caso do arroz inundado, particularmente em solos mais pesados. O teor total de Fe no solo é em consequência do conteúdo no material de origem. Dado o alto teor de Fe total, a deficiência do elemento é consequência geralmente da atuação dos fatores que afetam a sua disponibilidade. Além do potencial de redox, que favorece a conversão do  $Fe^{+3}$  em  $Fe^{+2}$ , o pH afeta a disponibilidade, medida pela concentração ou atividade na solução do solo mais do que a de outro micronutriente qualquer. De fato, a elevação de uma unidade de pH causa as seguintes variações .

Ferro	-	1000 vezes
Manganês	-	100 vezes
Zinco	-	100 vezes
Cobre	-	100 vezes
Molibdênio	-	100 vezes

(LINDSAY. 1972),

### 2.3.3. Na Planta

As plantas podem usar três estratégias para absorver Fe:

A- acidificação do meio por liberação de  $H^+$  ou exsudação de ácidos orgânicos que causa a dissolução de compostos de  $Fe^{+3}$ ; com absorção direta ou depois de quelatização, com ou sem redução a  $Fe^{+2}$ ; e a redução na superfície externa do plasmadema com elétrons doados pelos citocromos ou flavinas. O quelato, ao que parece, se dissocia antes de modo que somente o Fe é absorvido;

B - dicotiledôneas e monotiledôneas não gramíneas:



Onde L = quelado

C - Gramíneas



Onde FS = fitosideríforo

(BROWN & JOLLEY, 1988.)

Quando se fornece Fe (ou outro cátion) via solo, o elemento é menos sujeito às reações de fixação ou precipitação, pois a carga residual do quelado é negativa.

Por essa razão, é menor a fixação do metal pela argila e pelos sesquióxidos também carregados negativamente (WALLACE, 1971).

Em solos cultivados com inundação (arroz) ou sujeitos ao encharcamento, seja pela água da chuva, irrigação (má drenagem) ou pelo lençol freático muito alto, dá-se o consumo de  $O_2$  por microrganismos o que causa queda no potencial de redox para menos de 200 mV e redução de  $Fe^{+3}$  para  $Fe^{+2}$ . A concentração de Fe chega a 50 e até 1680  $mg L^{-1}$  é tóxico (BARBOSA FILHO, 1991).

Devido à baixa redistribuição os sintomas de carência aparecem em primeiro lugar nas folhas e órgãos mais novos (TIFFIN, 1957).

O excesso de Fe causa menor absorção de P, K, Ca, Mg e Mn. Há diversidade genética na tolerância à oxidez. Em solos calcários, ocorre a clorose calcária, isto é, a clássica deficiência de Fe. A absorção do Fe é influenciada por K, Ca e Mg que, dependendo da concentração, podem provocar sinergismo ou inibição. Cu, Mn e Zn e outros metais pesados podem induzir a deficiência por inibição competitiva (MENGEL, 1994).

#### **2.3.4. Funções**

Segundo Mengel (1994), as funções são:

Respiração – enzimas do ciclo do ácido cítrico são ativadas pelo Fe, os citocromos que fazem o fluxo de elétrons nas oxidações terminais nos mitocôndrios possuem Fe.

Fotossíntese – necessário para a síntese da clorofila; os cloroplastos tem 75% do Fe das células das folhas; além disso participa do transporte eletrônico nos processos de redução via citocromos e ferredoxina.

Participação da assimilação e da FBN.

#### **2.3.5. Relação do Fe com a qualidade dos produtos agrícolas**

Alguns exemplos mostram a consequência da falta de Fé em: café, grãos de âmbar (amber beans) e citrus, que ocasionam o menor tamanho do fruto (MOURÃO FILHO, 1994) a couve-flor pode apresentar o crescimento retardado e o tomate apresenta frutos descoloridos (SASAKI; SENO, 1994).

Práticas culturais, variedades e adubação são utilizadas para aumentar o teor de Fe e outros micronutrientes, como o Cu e Zn, na parte comestível das culturas tendo em vista a alimentação humana ( WELCH ,1995). Por outro lado, já

foi produzido arroz transgênico mais rico em ferro (MIFFIN, 2000).

### 2.3.6. Adubação

As doses de Fe utilizadas são baseadas nas análises de solo ou folhas. A análise de flores também está sendo usada, embora em escala reduzida (ABADIA et. al. 2000)

### 2.3.7. Doses e modo de aplicação

No Brasil, muito raramente se emprega o Fe , as recomendações oficiais muitas vezes o Fe é omitido.

Algumas situações em que isso é feito:

A - abacaxi – pulverizações foliares de sulfato ferroso ou quelato;

B - cafeeiro cacaueiro - aplicações foliares dos mesmos produtos no viveiro;

C - geral - fritas contendo Fe podem fazer parte de formulações empregadas para fornecer macronutrientes;

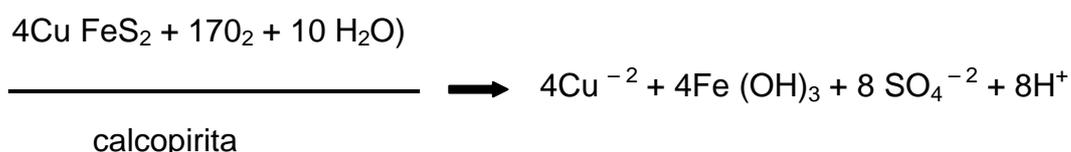
D- leguminosas – produtos contendo Co, Mo e Fe são usados no tratamento das sementes.

## 2.4. COBRE

O Cobre (Cu) ocorre na natureza como sulfetos, sulfatos, e sais diversos. Em condições redutoras, pode aparecer na forma metálica (BAKER, 1993).

### 2.4.1. No solo

O Cu deixa o reino da Geologia e passa ao da Edafologia através do intemperismo assim exemplificado:



Outras adições de Cu são:

A - adubos minerais e orgânicos ( principalmente o lodo de esgoto);

B - defensivos (sulfatado, oxiclreto, calda bordalesa, outros);

C - deposição atmosférica ( poeiras e chuva, emissão fumaça industrial).

Em pomares de citrus na Flórida, EUA, videiras da França e bananeiras da América Central, há registros de que os resíduos de defensivos contendo cobre se acumularam até níveis tóxicos para as plantas. A deposição atmosférica na Inglaterra chega a  $100-480 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (BAKER, 1993).

#### **2.4.1.1. Formas e transformações**

Existem seis reservatórios ou compartimentos de Cu no solo – (1) íons e complexos minerais e orgânicos solúveis na solução do solo. (2) trocável; (3) complexos orgânicos estáveis no húmus; (4) adsorvido a óxidos e hidróxidos de Al, Fé e Mn; (5) adsorvido ao complexo coloidal de argila e húmus; (6) rede cristalina dos minerais de cobre do solo. A repartição segue a ordem:

#### **Orgânico > óxidos de Fe e Mn > minerais de argila**

A solução do solo contém o Cu prontamente disponível. Nos solos ácidos aparecem  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$  e nos alcalinos  $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ . A disponibilidade está relacionada com o potencial de Cu, (p-Cu), semelhante ao pH, das diversas espécies iônicas. A concentração é muito baixa, (0,01 – 0,06  $\mu\text{M}$ ), devido à absorção aos colóides minerais e orgânicos (BAKER, 1993)

O Cu apresenta absorção específica e fixação muito enérgica (alta estabilidade) no que resulta em pouco movimento no solo. A maior parte está presa à matéria orgânica, o que pode induzir a sua deficiência, que também é comum em solos arenosos. A toxidez pode ser corrigida, dependendo do grau, mediante elevação do pH pela calagem ou adição de matéria orgânica (ANDRADE, 1973).

Considera-se disponível, além do contido na solução do solo, o “lábil” que é medido por diluição isotópica, removido por agentes quelantes (EDTA, DTPA), extraído por resina trocadora de íons ou soluções ácidas diluídas. Corresponde ao Cu da solução do solo e o adsorvido, os teores total e solúvel, variando com o tipo de solo relacionando-se com o material de origem. Há uma tendência para acumulação na camada superficial devido ao efeito combinado da matéria orgânica; da adição de adubos e defensivos e de resíduos industriais depositados pelo vento e chuva (MARINHO, 1988).

### 2.4.2. Na Planta

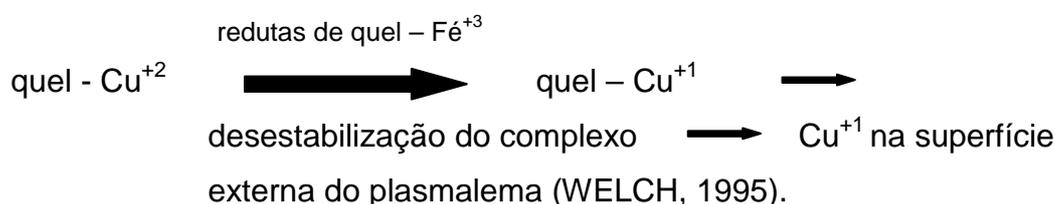
O contato com a raiz dá-se predominantemente por fluxo de massa. Entre os agentes quelantes presentes da solução do solo estarão; ácido cítrico, tartárico, málico, oxálico, metalóforos, ácidos hidroxâmicos, fenóis, polímeros do ácido 2-cetoglicônico, ácido mugineico (STEVENSON, 1991).

A absorção possível pode ocorrer como:

A -  $\text{Cu}^{+2}$  e  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$

B - quelado – entrada do mesmo ou somente  $\text{Cu}^{+2}$

C - em condições de deficiência de Cu ou de Fe ou de Fé (somente entre essas) dá-se:



O processo de absorção é metabolicamente ativo, reduzido por inibidores respiratórios. É inibido competitivamente por  $\text{Zn}^{+2}$  e reduzido também por  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{NH}_4^+$  (MARINHO; ALBUQUERQUE, 1978)

A absorção do Cu, assim como outros elementos, é aumentada por micorrizas vesiculares-arbusculares. As hifas aumentam a superfície absorvente ou ectoenzimas do fungo mobilizam nutrientes na rizosfera (MARSCHNER; DELL, 1994).

A absorção foliar dá-se por mecanismo(s) aparentemente semelhante(s) aos da absorção radicular. A correção da deficiência pode ser feita por aplicações foliares, no cafeeiro, em que a aplicação de oxicloreto, um defensivo para controle da ferrugem quase dobrou a produção (CARVALHO, 1980). Chama a atenção o alto teor foliar de Cu que atinge níveis tóxicos (ANDRADE, 1973). Porém, a produção não caiu há duas possíveis explicações: (1) o Cu analisado achava-se na superfície da folha; (2) o elemento permaneceu em grande parte na cutícula não chegando ao citoplasma.

### 2.4.3. Funções

As folhas apresentam 70% do Cu nos cloroplastos como proteínas complexas representadas pela plastocianina. Esta participa do fluxo de elétrons na fase luminosa da fotossíntese, fazendo a ligação entre dois fotossistemas, participando da fase escura da fotossíntese, ativando a carboxilase de ribulose de fosfato, responsável pela entrada de CO<sub>2</sub> em composto orgânico (RICHTER, 1993).

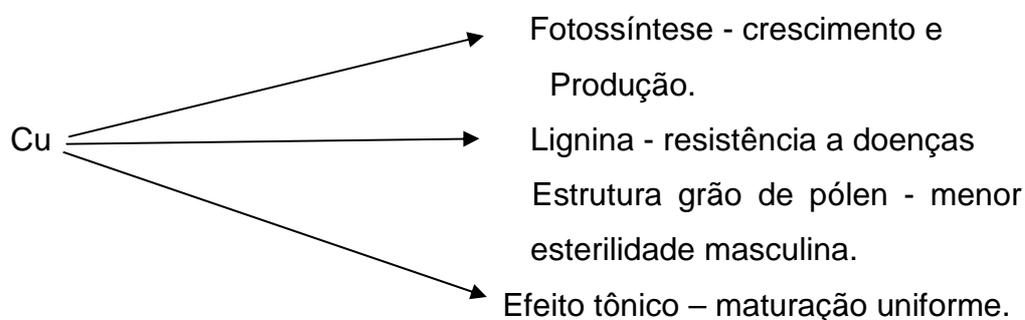
Nos grãos de café cru existe relação direta entre a atividade da polifenoloxidase e a qualidade da bebida (AMORIM; SILVA, 1968).

### 2.4.4. Exigências

De um modo geral, entre os micronutrientes, as necessidades de Cu são menores que de B, Fé e Mn, comparáveis às de Zn e maiores que as de Co e Mo, (GALRÃO; SOUZA, 1985).

### 2.4.5. Formação da colheita

Os papéis principais do Cu no processo de formação da colheita , segundo Pascholati. et.al. (1986) , podem ser assim resumidos:



Sais de Cu aplicados no cafeeiro, para o controle da ferrugem, fazem com que as folhas persistam por mais tempo e haja maturação mais uniforme dos frutos. É o chamado efeito tônico explicado por uma inibição na produção de etileno que, está implicado no processo da senescência (PASCHOLATTI et al. 1986, LIDON et al., 1995).

#### 2.4.6. Relação com doenças

O Cu tem o papel fungistático e sua função na síntese de lignina que dificulta a entrada do patógeno na célula. Todavia quando o Cu é deficiente pode haver menos O<sub>2</sub> ativo, prejudicial ao patógeno, menos proteínas de parede, menor indução de alexinas, desorganização da parede celular e das membranas (oxidação dos lipídeos pelos radicais livres não dissipados) e falta do efeito tônico. O efeito favorável da calda bordalesa pode ser devido a aspectos nutricionais (ZAMBOLIM, 1998).

#### 2.4.7. Aplicação

Vários defensivos cúpricos (óxidos, oxicloretos, Cu – orgânico) podem fornecer o elemento, corrigindo ou evitando a deficiência. O efeito notável do oxiclreto de cobre na produção do cafeeiro, além de controlar a ferrugem deve ter o papel nutricional e o já referido efeito tônico (MARTENS; WESTERMANN, 1991).

Há dois modos de aplicação segundo Marinho (1988):

**A - Solo** – geralmente em formulação com macronutrientes:

lanço – 3,3 a 14,5 kg Cu ha<sup>-1</sup>

localizada – 1 a 4 kg Cu ha<sup>-1</sup>

**B - Folha** – 0,3 a 4,0 kg Cu ha<sup>-1</sup>, associado ou não a outros elementos

Essas doses se referem a produtos minerais (óxidos, sais). Os quelados são usados em doses geralmente menores.

### 2.5. MANGANÊS

A essencialidade do Mn foi demonstrada para fungos (1863), plantas superiores (1923) e para animais em (1931) (MALAVOLTA et. al, 1985).

#### 2.5.1. No Solo

##### 2.5.1.1. Origem

Todo o Mn do solo vem praticamente das rochas que deram origem os silicatos ferromagnesianos (olivina, piroxênio, anfibólio, biotita, clorita, serpentina) ricos em Mn (em geral 2.000 – 3.000 mg kg<sup>-1</sup>). Outros silicatos como a muscovita, feldspato – k, feldspato – Ca, quartzo possuem entre 200 e 1006 mg Kg<sup>-1</sup>. Não silicatos (magnetita, ilmenita, sifeno, cromita) tem 700 – 4.000 mg kg<sup>-1</sup>. As faixas de concentrações nas rochas são segundo GILKES & Mckenzie ,(1988)

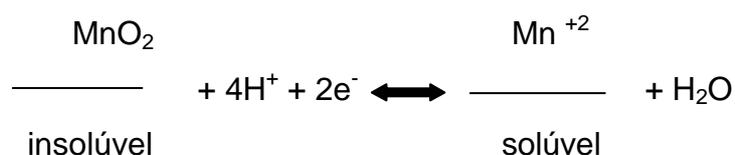
**A - Ígneas**Vulcânicas – 600 – 1500 mg kg<sup>-1</sup>Ultramórficas – 950 – 1200 mg.Kg<sup>-1</sup>Máficas e intrusivas intermediárias – 2.000 – 1.400 mg Kg<sup>-1</sup>Intrusivas graníticas – 400 – 600 mg Kg<sup>-1</sup>**B - Metamórficas**(gneiss, granulita e outras ) – 600 a 1.500 mg Kg<sup>-1</sup>**C - Sedimentar**(arenitos, folhelhos, calcários ) 170 – 550.mg kg<sup>-1</sup>

Na litosfera, de onde o Mn passa ao solo mediante o processo de intemperismo das rochas (e dos minerais que o contém) o teor total é 0,09%, pode existir em estados de oxidação o Mn (II) e Mn (VII). Os estados II, III e IV ocorrem em combinações principalmente com O (pirolusita, MnO<sub>2</sub>), CO<sub>3</sub> (rodocrosita, MnCO<sub>3</sub>) e sílica (rodonita Mn Si O<sub>3</sub>)(GILKES ; MCKENZIE, 1988).

**2.5.2. Formas, transformações e teores**

Nos solos ácidos, como são os brasileiros , há interrelações entre as diferentes formas de Mn: oxidado, orgânico solúvel, orgânico disponível como quelado ou metalóforos ( MALAVOLTA, et. al, 1985).

Segundo Norvell (1988), a disponibilidade de Mn é em função do pH, possivelmente o fator mais importante, condições de óxido-redução, microorganismos e exsudados de raízes, podendo ser representada de modo simplificado pela reação:



**A - pH** : É conhecido o efeito acidificante dos adubos nitrogenados amoniacais e amídicos, que aumentam o Mn no solo podendo chegar a níveis

tóxicos. O fosfato monocálcico dos superfosfatos, (  $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ) acidifica o solo perto do local de aplicação , aumentando a disponibilidade, de Mn ,fazendo com que ele movimente daí pra fora (NORVELL, 1988). Ao contrário, a calagem pode diminuir a disponibilidade seja por reações de precipitação (formação de hidróxidos menos solúveis), seja por promover a auto oxidação.

**B - Potencial de redox:** As condições de privação de  $\text{O}_2$  , causam a redução da valência mais alta,( IV, para II), de acordo com a sequência termodinâmica , com ou sem a intervenção de microrganismos.

**C - Microorganismos.** De acordo com Ghiorse (1988) , a oxidação é influenciada por microrganismos do solo e, em dadas condições pode estar totalmente sob controle biológico “o mesmo, porém, não pode ser dito de redução”. As bactérias oxidantes como as do genero *Arthrobacter* tem um pH ótimo entre 5,7 e 7,5 e, por isso, a velocidade de oxidação em solos muito ácidos pode ser diminuída(NORVELL,1988).

**D - Exsudados das raízes.** A rizosfera apresenta quantidades apreciáveis de C orgânico, no caso dos cereais pode chegar a 14-40% do total do carbono fixado que pode solubilizar óxidos de Mn pelo efeito no pH.

Os teores totais de Mn em solos brasileiros variam de 514 a 200  $\text{mg kg}^{-1}$ . A amplitude da variação é muito grande (CATANI ; GALLO ,1951). Isso talvez explique, porque em solos do cerrado onde somente se conhecia a toxidez de Mn (MALAVOLTA et. al, 1976).

### 2.5.3. Na Planta

O contato do Mn da solução do solo com a raiz , se faz em maior proporção por difusão e interceptação, exceto em solos muito ricos no elemento em que o fluxo de massa tem participação maior. A absorção é diminuída pela presença de cátions bivalentes como  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  e principalmente o Fe inibe competitivamente a absorção do Mn e a recíproca é verdadeira. (MOREIRA, 1999; HEINRICHS, 2002).

O Mn entra na raiz e se coloca em três compartimentos ou reservatórios “pools” : o lábil alimenta a corrente transpiratória sendo ocupado mais rapidamente que o trocável; ambos estão em equilíbrio lento com o não lábil.

O transporte a longa distância se dá via xilema cujo suco o Mn está presente principalmente como  $Mn^{+2}$  em equilíbrio com os compostos orgânicos pouco estáveis. Move-se livremente na corrente transpiratória e, quando o suprimento é adequado, acumula-se nas raízes, caules e folhas sendo classificado usualmente como “imóvel no floema”. Entretanto, move-se para às sementes em desenvolvimento mas, ao que parece, não o fazendo às raízes. Quando as plantas que receberam um alto suprimento de Mn, são privadas do mesmo, o acumulado nas folhas não é mobilizado, embora muito dele possa ser removido por lavagem com água. O Mn contido nas raízes e caule, pode ser redistribuído, mas o seu valor como fornecedor do elemento varia com a espécie. A exemplo, o tremoceiro que acumulou Mn nas raízes e depois deixa de fazê-lo, é capaz de o fornecer às sementes em desenvolvimento num processo dirigido (MUNNS et al., 1963).

O comportamento complexo e variável do Mn, não permite colocá-lo nas categorias de elementos que são móveis, imóveis e intermediários no floema (LONERAGAN, 1988).

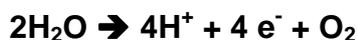
O Mn é o elemento que mais se acumula nas flores do cafeeiro *Coffea arabica*, especialmente nas variedades Mundo Novo e Catuaí. E entre os macros, essa posição é ocupada pelo Mg. De onde vêm ambos – solo, outro órgão – não é conhecido.

#### **2.5.4. Funções e formação da colheita**

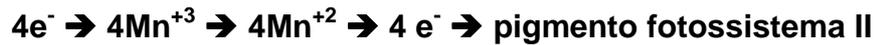
A planta tem proteínas não enzimáticas que contém o elemento, como a manganina e a concanavalina “A”. Deve-se ter presente que Mn e Mg são intersubstituíveis na ativação de muitas dessas enzimas (BURNEL, 1988)

##### **A - Fotossíntese.**

O Mn participa da fotólise da água (reação de Hill) em que os elétrons da  $H_2O$  são transferidos para a clorofila:



Em seguida:



A proteína que catalisa a decomposição da água está localizada na membrana tilacóide. É oxidada pelo fotossistema II, oxidando a água liberando O<sub>2</sub> molecular. A proteína tem 4 átomos de Mn no seu centro ativo. A deficiência de Mn prejudica a estrutura dos cloroplastos. Como esta é essencial para a captura inicial da energia luminosa durante a fotossíntese, a fluorescência da folha tem sido ensaiada como uma possibilidade de monitorar o estado da planta em relação ao Mn (BURNELL, 1988). Várias enzimas da fase escura de fotossíntese são ativadas pelo Mn, tanto em plantas que fixam o C via C<sub>3</sub>, quanto naquelas que o fazem via C<sub>4</sub>. A enzima málica e a carboxiquinase fosfoenolpirúvica parecem ter exigência absoluta por ele (BURNELL, 1988).

### **B - Respiração**

Enzimas que atuam na glicólise e no ciclo do ácido cítrico são ativadas pelo Mn (deshidrogenases, quinases, descarboxilases) embora, como já mencionado, a exigência possa não ser absoluta. (BURNELI, 1988).

### **C - Controle hormonal**

O Mn funciona como cofator na regulação do sistema e oxidação do ácido indolacético (AIA) A nutrição mangânica, por exemplo, afeta o nível de oxidase do AIA no algodoeiro. Plantas com níveis tóxicos de Mn, têm maior atividade de enzima e menor do seu inibidor. Plantas com deficiência apresentam alta atividade da oxidase e nenhuma do inibidor (BURNELI, 1988).

### **D - Metabolismo do N**

A redutase do nitrito e da hidroxilamina são ativadas pelo Mn. A sintetase da glutamina que catalisa a entrada de NH<sub>2</sub> em um composto orgânico, pode ter o Mn<sup>+2</sup>, embora com menor eficiência. A nodulação das leguminosas é afetada pelo nível do AIA, depende do Mn e da oxidase. (BURNELI, 1988).

### **E - Compostos secundários.**

O Mn é cofator importante em reações – chaves envolvidas na biossíntese de metabólitos secundários pouco modificada (BURNELL, 1988).

O Mn, segundo Grahan & Webb (1991) é entre todos os micronutrientes, o mais importante no desenvolvimento da resistência da planta às doenças fúngicas

das raízes e folhas”. Entre elas a ferrugem do cafeeiro, que apresentou menor incidência quando o Mn foliar ficou entre 200 e 300 ppm (CASALE, 2000)<sup>(1)</sup>.

Possíveis mecanismos do efeito favorável do Mn (MALAVOLTA 1998):

**A - lignificação** – ativação da síntese de desoxi-D-arabino heptulosanato – 7-p → via ácido shiquímico → lignina → barreira física à entrada do patógeno; → menos Mn menos fenóis solúveis = menor resistência às doenças; → Mn = cofator da liase de fenilalanina e amônia produção de ácido → cinâmico e de outros fenóis; → cofator de peroxidases polimerização de álcoois lignina fenóis e ligninas = defesas primárias contra infecção por fungos;

**B - inibição de aminopeptidases pelo Mn** – menos aminoácidos livres para o crescimento do fungo;

**C - inibição da metilesterase da pectina pelo Mn** – enzima do fungo bloqueada → manutenção da integridade da parede celular → dificuldade para a entrada do patógeno;

<sup>(1)</sup> -(H. CASALE, 2000, comum, particular).

**D - inibição direta** – exigência de Mn da planta = 100 X maior que a do fungo → toxidez para o patógeno exsudação de redutores ou de substratos para microorganismos → aumento concentração Mn disponível na rizosfera → toxidez para o fungo.

#### 2.5.5. Exigências, deficiência e toxidez

O Mn é o segundo micronutriente mais exigido pelas culturas (depois do Fe) A causa mais comum da deficiência de Mn nas condições brasileiras, se deve a elevação do pH pela calagem excessiva ou pela má distribuição do calcário (MALAVOLTA, 1998).

A clorose internerval das folhas novas é consequência da mobilidade geralmente baixa do Mn; pela diminuição na atividade de dismutase de superóxido, o que deixa os cloroplastos sem proteção contra os radicais livres; o desarranjo nas

membranas tilacóides liberta e ativa a polifenoloxidase que oxida vários produtos os quais causam danos metabólicos, inclusive a destruição da clorofila (CAMPBELL; NABLE, 1988)

A eficiência de absorção do Mn em baixas concentrações no meio e à tolerância à toxidez são características da planta que estão sob controle genético (MALAVOLTA; SANTOS,1996).

### **2.5.6. Adubação**

#### **2.5.6.1. Critérios para doses**

A quantificação nem sempre está disponível nos solos brasileiros, o que dá uma indicação das doses a usar, isto é, quanto menor o teor maior a dose. A análise das folhas pode também dar indicações e às vezes possível corrigir a deficiência no próprio ano agrícola mediante aplicações foliares (EMBRAPA SOJA, 2003).

#### **2.5.6.2. Produtos**

A obtenção de adubos que servem como fonte de Mn é discutida em detalhe por Wallace, (1971), que descreve os vários processos que são usados para incorporá-los diretamente em formulações ou indiretamente como bases geralmente fosfatadas, como é caso do superfosfato simples, que é enriquecido com Mn e depois “diluído” na formulação N -P- K .

Não é necessário que 100% de Mn seja solúvel em água para aplicação via solo. Pode-se aceitar que o produto será eficiente desde que tenha 70% do seu total do elemento solúvel em água, citrato de amônio ou ácido cítrico (EMBRAPA SOJA, 2003).

#### **2.5.6.3. Aplicação**

O Mn pode ser fornecido de diversas maneiras , dependendo das condições de solo, cultura e disponibilidade de recursos financeiros da parte do produtor (NORVELI, 1988). São elas:

**A - a lanço com incorporação** – trata-se do fornecimento do Mn associado ou não a outros macro e micronutrientes , o que exige doses pesadas, sendo por isso uma via cara;

**B - sulco ou cova de plantio** – mais comumente empregado, estando o Mn na formulação usada para fornecer N-P-K ou P-K. As doses usadas são menores, devido ao menor contato com as partículas do solo ocorrendo menos fixação;

**C - foliar** – muito usada para corrigir deficiência em culturas temporárias (soja, milho.) ou perenes (cafeeiro, citrus e pastagens). Culturas com folhas caducas são pulverizadas durante a dormência, esta maneira de fornecer Mn é considerada mais eficiente (aumento na produção por kg de elemento aplicado) que as demais, desde, evidentemente que seja viável fazê-la.

**D - semente** – podem ser tratadas por pós, soluções ou peletizadas, pouco usado.

Convém lembrar que há defensivos contendo Mn, como por maneb, são eficientes no fornecimento do elemento.

Outra alternativa, indireta, é a acidificação do solo que promove a mobilização do Mn.

### 2.5.7. Respostas

O efeito notável no cafeeiro demonstra que a produção aumentou quase 4 vezes frente a aplicação de Mn. O fornecimento foliar foi mais eficiente que a aplicação no solo e que a acidificação devida ao sulfato de amônio, como mostra a tabela 1.

Tabela 1- Resposta do cafeeiro aos tratamentos para corrigir a deficiência de manganês:

Tratamento	Produção relativa %
1) Sulfato de manganês 10 gL <sup>-1</sup> , 2 vezes, na folha	388
2) Sulfato de manganês 10, gL <sup>-1</sup> + sulfato ferroso 20 gL <sup>-1</sup> , idem	357
3) Sulfato de manganês 100 g/planta, solo	314
4) esterco curral 20 L/cova	119
5) sulfato de amônio – 200 g/cova	238
6) testemunha	100

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado no período de setembro de 2007 a outubro de 2008, na Fazenda Grama, município de Guaxupé (MG), cujas coordenadas são: -21° 17' 05" (latitude) e 46° 38' 41" (longitude) e 988 m de altitude. O clima da região na época da do experimento pode ser visto na Tabela 2. O solo é um Latossolo Vermelho Eutrófico (Tabela 3), declividade de 3% e elevado teor de argila (48%).

Tabela 2 - Componentes climáticos de Fazenda Grama - Guaxupé.

2007/08	UR	Evapotranspiração	Precipitação	T°C x	T°C x	T°C x
	%	mm	mm	Máx.	Min.	média
Setembro	49,7	80,7	23,0	29,7	16,1	22,9
Outubro	58,0	89,6	103,8	30,6	18,1	24,3
Novembro	71,2	88,7	157,2	27,6	17,9	22,7
Dezembro	71,3	91,6	151,2	28,6	18,4	23,5
Janeiro	70,2	103,5	265,6	27,1	18,5	22,8
Fevereiro	67,6	94,5	178,4	28,1	18,5	23,3
Março	74,8	109,1	234,9	27,5	17,2	22,3
Abril	73,5	85,2	175,1	26,3	16,7	21,5
Maio	70,5	84,4	30,3	24,0	12,5	18,2
Junho	70,3	78,1	3,6	24,1	13,2	18,6
Julho	58,0	84,5	0,0	24,6	10,6	17,6
Agosto	59,0	86,5	12,2	27,2	14,2	20,7
Setembro	44,6	90,7	76,5	27,0	14,5	20,7

Fonte: Adaptado de COOXUPÉ. Base de dados da estação meteorológica convencional

Tabela 3 - Resultado análise de solo para instalação do experimento

cm	pH	M.O.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
	H <sub>2</sub> O	dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%	mg dm <sup>-3</sup>					
0-10	6,2	3,28	20,1	145	5,4	1,3	0,0	2,5	7,0	9,6	74	6,0	24	46	3,9	0,62	
10-20	6,0	2,87	11,3	123	4,9	1,4	0,0	2,5	6,6	9,1	73	3,7	27	37	4,3	0,50	
20-40	5,6	1,75	5,9	90	3,1	0,9	0,1	2,7	4,2	6,9	61	2,3	34	29	3,5	0,64	

Laboratório de Análise de Solos e Folhas da EAFMuz

#### 3.2. Variedade

A variedade de café utilizada foi o mundo novo IAC 379-19, com 44 anos de plantio, recém-recegado (29/08/2007) (Figura 1 e 2), mantendo-se de 4 a 5 brotos por cova e cada cova na maioria possui plantio duplo (2 plantas). A lavoura está instalada em espaçamento de 4 m entrelinhas e 1,5 m entre as covas.

### 3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, com a aplicação dos tratamentos ocorrendo no dia 13/11/2007. As parcelas experimentais foram constituídas por 6 plantas (Figura 3). Os tratamentos utilizados foram de acordo com a dosagem de  $P_2O_5$  e fonte, sendo:

- T1 = 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> – testemunha
- T2 = 53,3 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (200 g cova<sup>-1</sup>) - fonte termofosfato
- T3 = 106,5 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (400 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termofosfato
- T4 = 213 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (800 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termofosfato
- T5 = 426 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (1600 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termofosfato
- T6 = 852 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (3200 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termofosfato
- T7 = 1704 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (6400 g cova<sup>-1</sup>) – fonte termofosfato
- T8 = 400 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (1333 g cova<sup>-1</sup>) – fonte superfosfato simples

A composição química do termofosfato da empresa Mitsui com nome comercial Yorin Máster 1 S é 16,0%  $P_2O_5$  total, (12,0% solúvel em ácido cítrico); Ca; 6,0% Mg; 6,0% S; 0,1% B; 0,05% Cu; 0,15% Mn; 0,55% Zn e; 9,0% Si. A composição química do superfosfato simples utilizado é 18%  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico; 18% Ca e; 14% S. (Observação:o Yorin Máster possui FeO na composição do seu enchimento.)

### 3.4. Práticas culturais

Procedeu-se a capina das parcelas por meio de enxada na linha e roçada mecanizada na entrelinha. Para controle do bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*), foi feito à aplicação de 2 kg ha<sup>-1</sup> de Thiamethoxam (Actara 250 WG), principal praga do cafeeiro na região. A desbrota ocorreu nos dias 04/01 e 16/09 de 2008 deixando-se somente as hastes principais.



Figura 1 – Lavoura a ser recepada. Guaxupé, MG



Figura 2 – Lavoura recém recepada. Guaxupé, MG



Figura 3 – Visão geral do experimento. Guaxupé, MG

### 3.5. Avaliações

#### 3.5.1. Análise do teor foliar dos elementos

Porcentagem de nutrientes concentrados nos tecidos, utilizando-se folhas representativas da parcela, num total de 25 folhas por tratamento, realizado no dia 13/03 e 13/10/2008.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG) para determinação dos teores dos nutrientes. A lavagem se deu em três etapas: água + detergente; água e; água deionizada. Em seguida foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 48 horas e moídas em moinho tipo Willey com peneira de malha de 1,0 mm.

A digestão das amostras foi nitro-perclórica para todos elementos, exceto N e B via catalítica e via seca, respectivamente (SARRUGE; HAAG, 1974). Os métodos empregados foram: K (espectrometria de chama); P (colorimetria do metavanadato); S (turbidimetria do sulfato de bário); Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica); B (colorimetria da azometina-H) e N (semimicro-Kjeldahl), descritos por Malavolta et al. (1997).

### **3.5.2. Análise de nutrientes no solo**

Foi realizada a coleta das amostras de solo de cada tratamento no dia 16/09/2008, nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm em cada parcela.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG), as quais foram colocadas para secar ao ar, na sombra, e passadas em peneira com malha 2 mm de abertura (TFCA). Os métodos, os quais foram empregados para analisar as amostras foram os seguintes: (EMBRAPA, 1997)

pH: em H<sub>2</sub>O; C orgânico: método Walkley & Black (via úmida com dicromato de K); Ca, Mg, Acidez Trocável: método KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; Acidez Potencial: método SMP; P, K, Zn, Mn, Fe e Cu disponível: método Mehlich (extrato sulfúrico); S disponível: método Hoefl et al. (BaCl<sub>2</sub>); B disponível: método água quente.

### **3.5.3. Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 2000, versão 5,0.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as condições experimentais, foi observado nos tratamentos 4, 5, 6 e 7 um aumento nos teores de Fe na camada de 0 a 10 cm do solo. Embora os mesmos não diferiram estatisticamente entre si. Esses valores justificam-se em função da alta concentração de FeO na composição do termofosfato.

Tabela 4 – Concentrações de Fe, Mn e Cu em duas profundidades aos 300 dias após aplicação (daa) de diferentes doses de  $P_2O_5$  no município Guaxupé -MG, 2008

Tratamentos	Fe		Mn		Cu	
	mg dm <sup>-3</sup>					
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
	cm					
T1 (0 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	51,0 b	50,65 a	12,93 b	10,45 a	4,04 a	2,49 a
T2 (53,3 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	67,0 b	70,15 a	14,65 b	16,68 a	4,81 a	3,51 a
T3 (106,5 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	61,8 b	54,33 a	22,43 b	11,88 a	4,86 a	2,93 a
T4 (213 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	247,5 ab	77,13 a	69,43 a	12,05 a	5,95 a	3,26 a
T5 (426 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	281,2 ab	78,28 a	63,43 a	16,88 a	4,49 a	2,75 a
T6 (852 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	593,2 a	100,1 a	98,50 a	19,55 a	4,88 a	3,35 a
T7 (1704 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	530,2 ab	93,18 a	71,63 a	15,90 a	4,95 a	3,38 a
T8 (400 kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> )	41,8 b	41,50 a	17,40 b	8,45 a	4,63 a	2,88 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan. C.V.% Fe: 126,98 (0-10 cm); C.V.% Mn: 54,91 (0-10 cm); C.V.% Cu: 41,81 (0-10 cm);

As concentrações de Mn aumentaram conforme o aumento das doses aplicadas de termofosfato a 0,15%Mn, para a camada de 0-10 cm de profundidade, (tabela 4).

Os tratamentos 4, 5, 6 e 7 apresentaram maiores concentrações de Mn os, mais não diferiram estatisticamente entre si. A amplitude de variação para o Mn nos solos brasileiros é muito grande (MALAVOLTA et al, 1976) e com excesso de calagem lugares que apresentavam toxidez de Mn hoje mostram deficiência.

Altos teores de Mn reduzem a absorção de Fe e vice-versa (MALAVOLTA, 2006).

Com a aplicação de altas doses de P no solo, as concentrações de, N, Ca, Mg, B e Mo tendem a aumentar, provocando a diminuição dos teores de K, Cu, Fe, Mn e Zn, causando um desequilíbrio nutricional na planta (MALAVOLTA, 2006).

Altas concentrações de Fe podem causar no futuro uma deficiência induzida de Mn.

As concentrações de Cu nas diferentes profundidades não diferiram estatisticamente. Isto pode ter ocorrido porque o Cu está mais envolvido com o teor de matéria orgânica, e esta, por sua vez, fixa o Cu em complexos de alta estabilidade, induzindo sua deficiência (MALAVOLTA, 2006). O mesmo autor avalia que as altas concentrações de P induz à carência de Cu, mas somente quando o quociente Cu/P for menor que o correspondente ao nível crítico. Isto não ocorreu neste trabalho porque todos os níveis estavam acima, (tabela 4) de  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  como recomenda Malavolta (1993). Em função do termofosfato possuir 0.05 % de Cu em sua composição, os tratamentos não apresentaram deficiência do mesmo.

Para as análises de 10-20 cm de profundidade os teores de Fe, Mn e Cu não diferenciaram estatisticamente em todos os tratamentos aplicados. Isto mostra a baixa mobilidade de P no solo.

Aos 120 daa os teores foliares de Fe, Mn e Cu não diferiram estatisticamente entre si, ( tabela 5).

Tabela 5 – Teores foliares de Fe, Mn e Cu em brotos de cafeeiro recepado, em duas épocas de avaliação, sob diferentes doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizando duas fontes de adubo em Guaxupé-Mg 2008 .

Tratamentos	Fe		Mn		Cu	
	mg Kg <sup>-1</sup>					
	120	350	120	350	120	350
	daa					
T1 (0 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	35,87a	114,0a	39,80a	125,5a	6,42a	15,67a
T2 (53,3 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	37,07a	90,22ab	55,43a	90,60ab	6,92a	12,75a
T3 (106,5 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	32,82a	85,17 b	48,68a	91,12ab	4,75a	14,25a
T4 (213 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	30,32a	90,20ab	31,43a	74,45 b	7,20a	12,57a
T5 (426 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	36,05a	86,35 b	45,95a	116,4a	5,00a	12,10a
T6 (852 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) - TF	31,35a	84,95 b	42,38a	94,25ab	7,15a	11,67a
T7(1704 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) -TF	32,85a	93,45ab	39,80a	111,5a	7,40a	11,32a
T8(400 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ )-SFS	32,90a	79,87 b	47,03a	124,0a	4,20a	11,42a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan. **C.V.% Fe: 21,12; Mn: 37,01; Cu: 29,27 (120 daa); Fe: 17,41; Mn: 23,55; Cu: 22,92 (350 daa)**

Todos os teores de Fe estão na faixa de deficiência, que é  $< 50 \text{ mg kg}^{-1}$  Malavolta(1993)

Os teores de Mn aos 120 daa não encontram-se na faixa 100 – 200  $\text{mg kg}^{-1}$ , Malavolta (1993).

Os teores de Cu aos 120 daa encontram-se fora da faixa ideal que é de 8,0-16 mg kg<sup>-1</sup>, segundo Malavolta (1993).

Pode-se avaliar que houve um menor valor aos 120 daa para todos os elementos, isto está diretamente ligado à época em que foi realizada a análise, mês de março, quando a planta encontrava-se em intensa atividade metabólica, ou seja, a demanda por nutrientes foi muito alta, efeito de diluição.

Observou-se que os valores de Fe encontrados no solo não segue a mesma dinâmica na planta, fato que foi confirmando por Malavolta (2006), que altos teores de P pode induzir à deficiência de Fe. No entanto aos 350 daa os tratamentos 2, 4 e 7 também permaneceram dentro dos teores adequados que é de 90-180 mg kg<sup>-1</sup> Malavolta(1993).

Os teores de Cu avaliados aos 120 e 350 daa encontram-se abaixo e dentro da faixa ideal respectivamente , que é de 8-16 mg kg<sup>-1</sup>(MALAVOLTA,1993).

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste trabalho é possível notar que, altas doses de P diminuem o teor foliar de Fe e que as doses crescentes de P não afetaram o teor foliar de Cu.

Para uma análise mais minuciosa, faça um respaldo para um estudo mais aprofundado e duradouro das variáveis.

## REFERÊNCIAS

ABADIA, J.; M TAGLIAVINI; R. GRASA; R. BELKHODIA, A. ABADIA; M.SANZ, E.A.FARIA, C.TSIPOURIDIS & B. MSRANGONI. 2000. . **J. Plant Nutr.** Using the flower Fe concentration for estimating chlorosis status in fruit tree orchards.

ALBUQUERQUE, C. **O fósforo e a vida. III Encontro Nacional de Rocha Fosfática.** Brasília: IBRAFOS, 1986. 463 p.

AMORIM, H.V.; SILVA, D. M. Relação de atividade de polifenoloxidade do grão de Coffea arábica L. com a qualidade da bebida. **Bol. Tec. Científico**, Piracicaba, n.31, 1968.

ANDRADE, V.M.M. 1973. **Influência do Cobre no Crescimento, Morfologia e Anatomia da Folha e na composição Mineral do Cafeeiro.**1993,72 f .Universidade Estadual de São Paulo. Tese (Doutorado). FCA/UNESP. Jaboticabal.

ARNON. D. I. **The phisiology and phosphorus in green plants. im: Soil And Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition.**1953, 492 p.Nova Yorque: Academic Press Inc.

BAKER, D. E. Copper. **Heavy Metals in soils.** London: Blackie & Sons Ltd., 1990, 151–176.

BARBOSA FILHO, M. P.. **Cereais. In: Micronutrientes na Agricultura.** POTAFOS/CNPq. Piracicaba 1991, 734 f .

BIELESKI, R.L.; FERGUSON, J.B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LACHLI, A.; BIELESKI, R.L. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology: inorganic plant nutrition.** Berlin : Springer, 1983. 449f .

BROWN, J. C.; AMBLER, J. E. CHANEY, R. L.; FOY, C. D. 1972. **Diferencial Responses of plant genotypes to micronutrients. Em: Micronutrients in Agriculture.** P. 389-418. Mortvedt, J. J. .; Giordano, P. M.; Lindsay, W.L.Eds. Soil Science Society of America Inc. Madison. 769 p.

BROWN, J.C. & V.D. JOLLEY. Strategy I and Strategy II mechanisms affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. **J. Plant Nutr.**, v. 11, p.1077-1098, 1988.

BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Ed.). **Manganese in soils and plant**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 125-137.

CAMPBELL L. C. ; NABLE R. O. ; Manganèse et physiologie de la croissance. Interactions milieu-manganèse. Métabolisme et manganèse **Physiological functions of manganese in plants**.1988, p. 139-154.

CARVALHO, J.G. **Efeitos de aplicações Foliares de Oxidoreto de Cobre Em Cafeeiro**. Escola Superior de Agricultura de lavras.1980 ,53 p. Tese (Mestrado). ESAL. Lavras.

CATANI, R. A.; J. R. GALLO. A extração do manganês e suas formas De ocorrência em alguns solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 1951.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003**. Londrina: EMBRAPA, 2003. 199p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR R.B. CLARK. Micronutrientes in crop Production. **Adv.Agronomy**, v.77, p.185-268, 2002.

GALRÃO, E.Z. & D.M.G.SOUSA. Resposta do trigo à aplicação de cobre Em um solo orgânico. **R. Brás. Ci. Solo**, v.9, p.149-153, 1985.

GERVY, R. **Les Phosphates et L'Agriculture**. Paris: Dunod, 1970. 298 p.

GHIORSE. W.C. 1988. **The biology of manganese transforming microorganisms In soil**. Em: **Manganese in Soils and Plants**.1988, 344 p. Dordrecht.

GILKES R. J. ; MCKENZIE R. M. ; **Geochemistry and mineralogy of manganese in soils**. 1988, vol. 33, p. 23-35.

Graham, R.D.; Webb, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, **Micronutrients in agriculture**. Madison (EUA). 1991. p. 329-370.

HENRICHES, R. 2002. **Efeito do Magnésio na absorção e distribuição de manganês e zinco em Soja (Glycine max (L) Merrill) Cultivada em Solos de Cerrado**. 2002,105 f. Universidade de São Paulo ,Tese ( Doutorado). CENA-USP.

Piracicaba.

KOLLENBRANDER, G.J. Fertilizers and pollution. Em: Whither Soil Research. Tans. 12<sup>th</sup> Internatl. **Congr. Soil Science**. 1982, p. 248-268 .

KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of micronutrients. Em : Micronutrients In Agriculture. **Soil Sci. Soc. Amer.** Madison. 1972, 666 p.

LEHR, J.R. Phosphate raw materials and fertilizers: Part I – a look ahead. Em: The Role of Phosphorus in Agriculture. **Soil Sci. Soc. Amer.** Madison.1980, p. 81-120.

LIDON, F.C.; BARBEIRO, M. G.; HENRIQUES, F.S. Interactions Between biomass production and ethylene biosynthesis in copper Treated rice. **J. Plant Nutrition**, Nova Iorque, v.16 (6): 1301-1414. 1995.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In :Micronutrient in Agriculture, **Soil Sci. Soc. America**, Inc. Madison, 1972, p. 41-58.

LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos do Centro Oeste. Em: adubação Fosfatada no Brasil**. 1982, 236 p. EMBRAPA. Brasília.

LONERAGAN, J. F.**Distribution and movement of manganese in plants. In: Manganese in Soils and Plants**. 1988, p.113-124.

MALAVOLTA, E. & A M.L. NEPTUNE. **Studies on the placement of Fertilizer phosphorus in tropical crops. Phosphorus in agriculture** . 1977, p . 97.

MALAVOLTA, E. O fósforo na agricultura brasileira. In: **Tecnologia de Fertilizantes Fosfatados**. São Paulo: Instituto De Pesquisas Tecnológicas,1980. 218p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 198. 596p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MALAVOLTA, E.; VOLANTE NETTO., A. A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem**

**e adubação dos citros.** Piracicaba: POTAFOS, 199. 153 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro:** colheitas economias máximas. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda,1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. 1994. **Importância da adubação na qualidade dos produtos Agrícolas - função dos nutrientes na planta.** Em: **Importância da Adubação na qualidade dos Produtos Agrícolas.** 1994,437 f. Ícone Editora. São Paulo.

MALAVOLTA, E. **Adubação mineral e sua relação com doenças das plantas.** Piracicaba: POTAFOS, 1998. 60p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens Nutricionais no Cerrado.** . Piracicaba: POTAFOS, 1985.136p.

MALAVOLTA, E.; SANTOS, J.C.F. **Efficiency of the use of nutrients in acid soils:** management of soil, fertilizer and crop. Piracicaba: CENA USP, 1996. 110 p.

MALAVOLTA, E.; J.R. SARRUGE & L.C. BITTENCOURT.1976. **Toxidez de Alumínio e manganês.** Em: **IV Simpósio sobre o Cerrado.**1976, 405 f.. Ed. Itatiaia e Ed. Da USP. Belo Horizonte, São Paulo.

MARINHO, M.L.; G.A C. ALBUQUERQUE, 1978. **Calibration of extractable Phosphorus in soils for sugarcane in Alagoas, Brazil.** Cgr. Internatl. Sugar Cane Technol . (São Paulo)

MARINHO, M.L. **Respostas das culturas aos micronutrientes ferro, manganês e cobre.**In: **Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira.** 1988. p. 239- 265.

MARSCHENER, H.; DELL, B. Nutrient in mycorryzal symbiosis. **Plant And Soil**, v.159 : 89-102, 1994.

MARTENS, C.D. & D.T WESTERMANN. 1991. **Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies.** **Em** : **Micronutrients in agriculture, 2ª ed.** p. 549-592. J.J. Mortvedt, ed. Soil Sci. Soc. Amer. Imc. Madison, 760 p.

MATIELLO, J.B. & E. VIEIRA. 1993. **Efeito da corência de manganês na produção de cafezais da Chapada Diamantina, BA.** 19º Congr. Bras. Pesq. Cafeeiras (Três Pontas). MAARA-PROCAFÉ.

MENGEL, K. Iron availability tissues: iron chlorosis on calcareous soils. **Plant and Soil**. v.165: 275-283, 1994.

MIFFIN, B.J. Crop biotechnology. Where now? **Plant Physiol**, 2000, p. 17-27,.

MOREIRA, A .1999. **A Influência do Magnésio na Absorção e Transporte do Manganês e do Zinco na Soja**. 1999,138 p.Universidade de São Paulo,Tese (Doutorado). CENA-USP. Piracicaba.

MORELLI. J.L.; E.J. NELLI; J.R. BAPTISTELLA & J.L.I. DEMATTÉ. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 1991. p. 57-61,

MOORE, D.P. 1972. **Mechanisms of micronutrient uptake by plants**. Em:Micronutrient in Agriculture, p. 171-199. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano &W.L. Lindsay, eds. Soil Sci. Soc. America, Inc. Madison. 666 p.

MOURÃO FILHO, F.A.A. 1994. **Importância da adubação na qualidade dos Citros**. Em: Importância da Adubação na Qualidade dos Produtos Agrícolas. p.115-132. M.E. de Sá & Buzzeti, coord. Ícone Editora. São Paulo. 437 p.

Mortvedt, P.M. Giordano & W.L. Lindsay, **Soil Sci Soc. America**, Madison. 1978 .666 p.

MUNNS. D.N.L. JACOBSON & C.M. JOHSON, Uptakeand distribution of Manganese in out plants. **II A Kinetic model. Plant Soil** 1963. p193-204.

NORVELI, W.A. 1988. **Inorganic reaction of manganese in soils**. Em :Manganese in Soils and Plants. p. 37-58. R.D. Graham, R.J. Hannam & N.C. Uren, eds. Kluwer Academic Publ. Dordrecht. 344 p.

NOVAIS, R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em Solo e Plantas em Condições Tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, A.J., S. LOURENÇO W.J. GOEDERT (Ed.). **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. 326p.

PASCOLATI, S.F.; G. HADDAD; M. ALVES; S.R. SILVA; M.F.G. LOSSO & W. B.C.

MORAES. **Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition.** 1986. 492 p.

RAIJ, B.VAN. 1996. H.CANTARELLA, J.A. QUAGGIO & A.M.C.FURLANI (Eds) **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo.** 1996, 285 p. Bol. Tec. 100, 2ª ed. Instituto Agrônômico – Fundação IAC. Campinas.

RAIJ, B. VAN. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a Disponibilidade de fósforo em solos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.2: 1-9, 1978.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.) **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CPSEMG, 359p. 1999.

RICHTER, G. 1993. **Metabolisme dès Vegetaux. Tra. E adap. De G. Raymond.** 1993, 526 p. Presses Polytechniques et. Universitaires Romandes, Lausanne.

SANCHEZ, P.H.; SALINAS, J.G. Low input technology for managing Oxisols and ultisols in tropical America. **Adv. Agronomy**, Madison, 34:279-406, 1981.

SASAKI, J.L.S. & S. SENO. 1994. **Importância da adubação na qualidade de Algumas olerícolas (alho, cebola, couve-flor, pimentão e tomate).** Em: Importância da Adubação na Qualidade dos Produtos Agrícolas. p. 331-344. .E. de Sá & S. Buzzeti, coord. Ícone Editora. São Paulo. 437 p.

SIMS, J.T. & V. JOHSON. 1991. **Micronutrient soil tests.** Em: Micronutrients in Agriculture, 2ª ed., p. 427-476. J.J. Mortvedt, ed. Soil Sci. Amer. Inc. Madison. 760 p.

STEVENSON, F.J. 1991. **Organic mater –micronutrient reactions in soil.** Em: Micronutrients in Agriculture, 2ª ed. P. 145-186. J.J.Mortvedt, ed. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison. 760 p.

TAYLOR, A. W. & V.J. KILMER. 1980. **Agricultural phosphorus in the Environment.** Em: The Role of Phosphorus in Agriculture. P. 545-557. F.E. Khasawneh, E.C. Sample & E.J. Kamprath, eds. Amer. Soc. Agronomy, Crop Sci. Madison. 918 p.

TIFFIN, L.O. 1957. **Translocation of micronutrients in plants.** Em: Micronutrient in Agriculture, p. 199-230. J.J. Montvedt, P.M. Giordano & W.L. Lindsay, eds. Soil Sci. Soc. America, Inc. Madison. 666 p.

WALLACE, A. **Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors**. Los Angeles: UCLA, 1971. 307p.

WELCH, R. M. Nutrient nutrition of plants. Rev. **In Sciences** .1995.p. 49-82.

ZAMBOLIM, L. **Estratégias de manejo integrado de doenças**. Workshop A.Interface Solo-Raiz (Rizosfera) e Relações com a Disponibilidade de Nutrients, a Nutrição e as Doenças das Plantas. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 40p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54p.