

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

---

**JOSIMAR TORRES LUIZ**

**TEORES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO DO  
CAFEEIRO RECEPADO EM DIFERENTES  
DOSES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

---

**Muzambinho**  
**2008**

**JOSIMAR TORRES LUIZ**

**TEORES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO DO  
CAFEEIRO RECEPADO EM DIFERENTES  
DOSES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Cafeicultura, da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, como requisito parcial a obtenção do grau de Tecnólogo em Cafeicultura.

Orientador:  
Dr. Marcelo Bregagnoli.

**Muzambinho  
2008**

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Marcelo Bregagnoli

---

Francisco Vítor de Paula

---

José Mauro Costa Monteiro

Muzambinho, 10 de dezembro de 2008

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Joaquim e Aparecida,  
A meu irmão Jovani,  
Aos meus avós,  
A todos os parentes e amigos,  
pelo incentivo e confiança,  
*In memoriam* do meu irmão Joziel,  
Pelo exemplo de vida e fortalecimento de fé.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela a força e oportunidade de estudar e compreender seus ensinamentos.

Ao professor Dr. Marcelo Bregagnoli pela amizade orientação, as valiosas sugestões e ao grande empenho durante a realização deste trabalho.

Ao professor MSc. Luiz Augusto Gratieri pelas sugestões de grande valia.

Ao professor Dr. José Mauro Costa Monteiro pela ajuda na criação de gráficos e análise estatística e à Clarissa Benassi pela correção da formatação.

À Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho pela concessão do Laboratório de Análise de solos e tecidos para realização das análises do experimento, pelo auxílio durante a realização do experimento e todo o aprendizado proporcionado.

À Fazenda Grama pelo fornecimento da área de instalação do experimento.

Aos colegas de classe pelo incentivo na permanência no curso.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o sucesso do trabalho e para a formação profissional.

*“A Sabedoria é resplandecente e não murcha, mostra-se facilmente aqueles que a amam e se deixam encontrar pelos que a procuram.”*

Sabedoria, cap. 6, ver. 12

LUIZ, Josimar Torres. **Teores de nitrogênio e potássio do cafeeiro recepado em diferentes doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**. 2008. 44f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

## RESUMO

A cafeicultura nacional passa por momentos críticos, dando prioridade a otimização dos recursos através do uso correto de fertilizantes, principalmente dos macronutrientes mais limitantes de produção, nitrogênio, fósforo e potássio. Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de fósforo nos teores foliares de nitrogênio e potássio; e potássio no solo no cafeeiro recepado, cultivar Mundo Novo, linhagem IAC 379-19, com 44 anos, em um Latossolo Vermelho Eutrófico, da Fazenda Grama no município de Guaxupé, Minas Gerais. O experimento foi instalado no dia 13 de novembro de 2007, em lavoura com espaçamento 4,0 x 1,5m, cultivada com duas plantas por cova, seguindo o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Utilizaram-se como fontes de fósforo, o termofosfato nas doses: 0 (zero), 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, e super fosfato simples na dose de 300 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi constituída de uma linha com seis covas, sendo adotadas como covas úteis as quatro centrais. Aos cento e vinte, e trezentos e cinquenta dias após a aplicação foram realizadas coleta de folhas e análise dos teores foliares de nitrogênio e potássio. Aos trezentos dias foi realizada coleta de amostras de solo em diferentes profundidades para análise das concentrações de potássio no solo. Os resultados indicaram que não houve resposta aos teores de potássio do solo em nenhum dos tratamentos, altas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não interferiram na absorção de nitrogênio e influenciaram a planta absorver mais potássio, e a menor dose de termofosfato também proporcionou aumento na absorção de potássio.

**Palavras-chave:** Absorção, adubação, *Coffea arabica*, nutrição mineral.

LUIZ, Josimar Torres. **Levels of nitrogen and potassium in coffee cut down in different doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**. 2008. 44f. Conclusion work of course (Graduation) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

## ABSTRACT

The national coffee plantation passes by critical moments, giving priority at optimizing of the resources through the correct use of fertilizers, mainly the macronutrients more limits of production more nutrients, nitrogen, phosphorus and potassium. This work was conducted with the aim of evaluating the effect of different sources and doses phosphorus in leaves levels of leaf nitrogen and potassium, and potassium in the soil in cut down coffee tree, cultivate Mundo Novo, line IAC 379-19, with 44 years in a Latosoil Red Eutrophic, the Fazenda Grama in the city of Guaxupé, Minas Gerais. The experiment was installed on November 13<sup>th</sup>, 2007, in plantation with widen 4.0 x 1.5 m, with two grown plants per hole, according to the experimental marking out of casually blocks, with four replications. It was used as sources of phosphorus, the thermophosphate at doses: 0 (zero), 50, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, and single super phosphate in the dose of 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Each plot was formed in a line with six holes and is adopted as useful holes the four central plants. At one hundred and twenty, and three hundred and fifty days after the operation were performed collects of leaves and analysis of the levels nitrogen and potassium leaves. At three hundred days it was realized sample colleet soil at different depths to analyze the concentration of potassium in the soil. The results indicated that there was no response to the potassium level of soil in any of the treatments, high doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> did not interfere in the absorption of nitrogen and influenced the plant absorb more potassium; and the lowest dose of thermophosphate also increased the absorption of potassium.

**Key words:** fertilizers, absorption, *Coffea arabica*, mineral nutrition



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
2.1. NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO.....	11
2.2. FÓSFORO.....	12
2.2.1. <i>Formas do Fósforo no Solo</i> .....	12
2.2.1.1. Fósforo na Solução.....	13
2.2.1.2. Fósforo Precipitado.....	13
2.2.1.3. Fósforo Adsorvido.....	13
2.2.1.4. Fósforo Mineralogicamente Estável.....	14
2.2.1.5. Fósforo Orgânico.....	14
2.2.2. <i>Absorção, Transporte e Redistribuição</i> .....	15
2.2.2.1. Fatores que Afetam a Disponibilidade de Fósforo no Solo.....	16
2.2.3. <i>Papéis Bioquímicos e Funcionais</i> .....	17
2.3. FÓSFORO NO CAFEIEIRO.....	17
2.4. NITROGÊNIO.....	18
2.4.1. <i>Formas e Transformações</i> .....	18
2.4.1.1. Mineralização e Imobilização.....	18
2.4.1.2. Nitrificação e Desnitrificação.....	19
2.4.1.3. Fixação e Perdas.....	20
2.4.2. <i>Absorção Transporte e Redistribuição</i> .....	20
2.4.3. <i>Papéis Bioquímicos e Funcionais</i> .....	21
2.5. NITROGÊNIO NA CAFEICULTURA.....	21
2.6. POTÁSSIO.....	22
2.6.1. <i>Formas de Potássio no Solo</i> .....	22
2.6.1.1. Potássio Disponível.....	22
2.6.1.2. Potássio Lentamente Disponível.....	23
2.6.1.3. Potássio não Disponível.....	23
2.6.2. <i>Absorção, Transporte e Redistribuição</i> .....	24
2.6.3. <i>Fatores que Influenciam a Absorção de Potássio</i> .....	24
2.6.3.1. Lixiviação.....	24
2.6.3.2. Quantidades e Tipos de Minerais de Argila.....	24
2.6.3.3. pH do Solo e Calagem.....	25
2.6.3.4. Estrutura do Solo e Conteúdo de Água.....	25
2.6.3.5. Temperatura do Solo.....	26
2.6.4. <i>Papéis Bioquímicos e Funcionais</i> .....	26
2.6.4.1. Importância no Uso da Água.....	26
2.6.4.2. Fotossíntese.....	27
2.6.4.3. Transporte de Açúcares.....	27
2.6.4.4. Transporte de Água e Nutrientes.....	27
2.6.4.5. Ativação de Enzimas.....	28
2.7. POTÁSSIO NA CAFEICULTURA.....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO.....	29
3.2. VARIEDADE.....	30
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	30
3.4. PRÁTICAS CULTURAIS.....	32
3.5. AVALIAÇÕES.....	32
3.5.1. <i>Análise do teor foliar dos elementos</i> .....	32
3.5.2. <i>Análise de nutrientes no solo</i> .....	33
3.5.3. <i>Análise estatística</i> .....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## INTRODUÇÃO

O cultivo em solos férteis, ao longo dos anos, sem a devida reposição de nutrientes, causa esgotamentos substanciais e, mesmo a implantação de lavouras em solos pobres, faz com que a agricultura nacional seja submissa a doses crescentes de fertilizantes minerais e orgânicos.

Os fertilizantes minerais são essenciais para o aumento da produção e/ou para manutenção da cultura durante o ciclo. Os aumentos dos preços de insumos levam a aplicação de tecnologias que proporcionem maior produção equiparado com menores custos e maiores benefícios ao sistema solo-planta.

As pesquisas nas principais regiões cafeeiras têm demonstrado que um dos fatores limitantes de produção é a carência de macronutrientes, apontando a necessidade de informações concretas quanto às exigências nutricionais em diferentes condições de manejo, tipos de solo e estádios fisiológicos da planta.

Em função da freqüente deficiência de Fósforo nos solos brasileiros limitando a produção e, tendo em vista que o aumento de doses tem proporcionado elevada produtividade em outras culturas e, a polêmica atual que envolve altas dosagens de Fósforo, este experimento objetivou avaliar os teores dos elementos móveis, Nitrogênio e Potássio, no cafeeiro em função de doses crescentes de  $P_2O_5$  na forma de termofosfato e a partir dos resultados, verificar as melhores opções de doses para as condições analisadas, comparando com a dose padrão recomendada por Guerra et al. (2008) de 300 Kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> na forma de superfosfato simples.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Nutrição Mineral do Cafeeiro

As plantas são compostas por 70 a 90% de água, sendo o restante matéria seca. Do material seco observa-se que 90%, ou mais, é formado por três elementos: Carbono (C), o Hidrogênio (H) e o Oxigênio (O). Esses elementos são adquiridos do ar e da água e apenas 1% dos nutrientes é fornecido pelo solo. Além dos elementos “não minerais”, as plantas são compostas por mais treze elementos minerais, classificados em dois grupos: macronutrientes e micronutrientes (RAVEN et al., 1996).

Os macronutrientes são divididos em primários, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e; em macronutrientes secundários, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). São elementos minerais absorvidos em maiores quantidades (EPSTEIN, 1975).

O Ca atua no mecanismo de transporte iônico e regula a semipermeabilidade na membrana da célula; tem importante papel na reprodução celular; é importante na formação das raízes e condiciona a estruturação geral da planta. O sintoma de deficiência inicia-se com as folhas novas tornando-se verdes pálidas, das margens para o centro. Essas folhas vão se tornando esbranquiçadas, permanecendo com a nervura central verde e, à medida que vai progredindo a deficiência, começam a aparecer áreas necróticas. Assim, haverá desfolha, morte dos ramos e das extremidades das raízes, tornando o cafeeiro mais sensível ao déficit hídrico. (GUIMARÃES; MENDES, 1997). As principais causas das deficiências são: Pobreza do solo, principalmente dos solos ácidos associados à ação tóxica do alumínio (Al) e do manganês (Mn); falta de calcário no plantio ou manutenção e; excesso de K no solo (ANDRADE, 2001).

O Mg é o elemento central da clorofila, tem importância no metabolismo de carboidratos. Está presente em quase todas as enzimas de fosforilação e auxilia na absorção de vários nutrientes, principalmente P, além de manter a integridade dos ribossomos (MALAVOLTA, 2006). Os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas velhas, com o amarelecimento entre as nervuras secundárias; seguido de clorose pardacenta ou amarronzada, podendo evoluir para as folhas mais novas. Nestas aparecem pontuações amarelas e escuras. Com a evolução dos sintomas, ocorre desfolha em direção as folhas novas e seca dos ramos (GUIMARÃES; MENDES,

1997). As principais causas de deficiências são: pobreza dos solos; falta de calagem; excesso de Ca nos solos e; veranicos intensos em épocas de granação dos frutos (ANDRADE, 2001).

O S é fundamental na integração das proteínas e na constituição de vitaminas e enzimas; participa na formação das raízes e da parte aérea; auxilia na absorção do N e P. estimula a maturação e o desenvolvimento dos frutos e aumenta o rendimento e a qualidade dos grãos de café e; melhora o fluxo de fotoassimilados na planta. O S tem relação direta com o N, ou seja, os tecidos do cafeeiro possuem uma parte de S para 12 a 15 partes de N (ANDRADE, 2001). Os primeiros sintomas da deficiência são o amarelecimento e a diminuição do tamanho das folhas novas, Seguidos de amarelecimento da planta e encurtamento de internódios, ocorrendo queda geral das folhas (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Os principais fatores associados à deficiência no cafeeiro são: pobreza e depauperamento do solo; ao baixo nível de matéria orgânica e a acidez do solo e; uso de adubos sem S em suas formulações (ANDRADE, 2001).

Os micronutrientes, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo), são absorvidos em menores quantidades, porém, essenciais para a planta. No cafeeiro os micronutrientes mais importantes são B, Zn, Cu, Mn e Fe (RAIJ, 1997), Para formação do fruto a exportação obedece a ordem decrescente:  $Fe > Zn > Mn = B > Cu > Mo$ . Já na matéria seca obedece a ordem  $Fe > Mn > B > Cu > Zn$ . As deficiências mais comuns são relacionadas à falta de B, Zn e Cu; O B é facilmente translocado na planta, pois caminha na corrente transpiratória e quando fornecido no solo garante o suprimento. O Zn é pouco móvel na planta, sendo necessário o fornecimento via foliar. O teor de Cu é comumente controlado pela aplicação de fungicidas cúpricos (MALAVOLTA, 1993).

## **2.2. Fósforo**

### **2.2.1. Formas do Fósforo no Solo**

O teor médio de P na litosfera é de  $2,8 \text{ g Kg}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ; contudo muitos solos contêm de  $0,2$  a  $0,8 \text{ g Kg}^{-1}$ . O P encontra-se em compostos que estão distribuídos em rochas, minerais, plantas e animais (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). É encontrado em diversas formas no solo, que pode ser dividida em: P na solução; P precipitado; P adsorvido; P mineralogicamente estável e P orgânico (FURTINI NETO et al., 2001).

### **2.2.1.1. Fósforo na Solução**

O pH do solo controla a disponibilidade para as plantas das formas iônicas do fosfato. O ânion monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  têm sua disponibilidade aumentada em valores de pH abaixo de 7, e o ânion divalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  possui maior disponibilidade em valores de pH acima de 7 (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A solução do solo apresenta o elemento prontamente disponível à planta, que no caso do P é absorvido na forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , logo a manutenção do pH e o fornecimento de P são de vital importância para o crescimento da planta (FURTINI NETO et al., 2001).

Para se quantificar o teor de P nos solos brasileiros adotam-se conceitos de: Intensidade (I), caracterizada pela disponibilidade e requerimento de P pela espécie vegetal; Capacidade (C), com relação à tomponar e ressuprir a solução do solo durante a absorção pela planta; e Quantidade (Q), teor de P na fase sólida capaz de ressuprir a solução do solo (ALBUQUERQUE, 1986).

A remoção do P da solução do solo pode se dá por adsorção, precipitação e, quando removido, o processo é denominado fixação (FURTINI NETO et al., 2001).

### **2.2.1.2. Fósforo Precipitado**

Nos solos tropicais, o Al e o Fe presentes nas argilas são muito estáveis a pH menor que 5,5. Nesse pH, o Al e o Fe são liberados para a solução do solo, reagindo rapidamente com o fosfato, formando compostos insolúveis que precipitam, contribuindo para a lixiviação do P (LOPES, 1998; MALAVOLTA, 2006; DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Em solos alcalinos, o Ca se combina com fosfato e precipita, assim o pH deve ficar na faixa de 5,5 a 6,5, evitando a precipitação do P (MALAVOLTA, 2006). A calagem corrige a toxidez do Al e a deficiência do Ca, levando a um aumento da absorção de P. Mesmo com a calagem influenciando direto na absorção do P, na maioria dos casos, o efeito da fixação é pequeno. Assim, altas doses de P são necessárias em solos tropicais para garantir altas produções, independentemente do pH (LOPES, 1998).

### **2.2.1.3. Fósforo Adsorvido**

O P adsorvido é aquele que sofre reação de adsorção da superfície das argilas por óxidos hidratados de Fe e Al ou carbonato de Ca em solos calcários (FURTINI NETO et al., 2001). Durante a reação de adsorção do fosfato, parte fica na

forma lábil, em equilíbrio com o P da solução e retorna a solução do solo. Trata-se de uma reação covalente, com alta energia (LOPES, 1998).

Solos com acidez elevada, alto teor de argila e predomínio de óxidos de Fe e Al na fração de argila, têm enorme capacidade de fixação. Esses fatores são observados com grande frequência em solos de cerrado, onde há grande fixação de P, principalmente devido ao teor de argila (LOPES, 1984).

Uma prática muito importante é a calagem antes da fosfatagem, a fim de diminuir as cargas positivas disponíveis para absorção de fosfato, reduzindo a fixação do P (FURTINI NETO et al., 2001).

#### **2.2.1.4. Fósforo Mineralologicamente Estável**

O P removido da solução por precipitação ou adsorção, com o tempo, forma ligações estáveis com Al, Fe e Ca. Através de reações lentas o P lábil torna-se não lábil constituindo o P mineralologicamente estável. É o único elemento que “envelhece” no solo, quando passa para não lábil, diminui a disponibilidade do P aplicado ao solo em adubações com o passar do tempo (FURTINI NETO et al., 2001).

O P não-lábil volta para a solução, através de um processo lento, dependente de alterações químicas no solo, como a acidez ou potencial de oxidação-redução. A acidificação do solo implica na passagem de P não-lábil para a solução do solo. Na ausência de ar, o P não-lábil ligado ao Fe pode ser liberado para a solução devido à redução do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$  (NOVAIS, et al., 2007).

O P não-lábil representa a maior parte do P inorgânico do solo e é inerte à planta. Pesquisas indicam que plantas e microrganismos são capazes de absorver P não-lábil e, algumas plantas acidificam excessivamente o meio e conseguem liberar o P não-lábil que é aderido ao Ca (FURTINI NETO et al., 2001).

#### **2.2.1.5. Fósforo Orgânico**

O P de compostos orgânicos (Po) é encontrado na forma de fosfolipídios, ácidos nucleicos e fosfatos de inositol, representando de 15 a 80% do P total. Na forma de fosfolipídios, as concentrações variam em torno de 5% do Po. O P na forma de ácidos nucleicos pode atingir valores de 2,5%. O Po deve ser mineralizado antes de ser absorvido pelas plantas (HAVLIN et al., 1999 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A relação C/P no material orgânico maior que 300 é associada a um predomínio da imobilização do P, sobre a mineralização. A matéria orgânica do solo tem cerca de 0,5% P, podendo considerar que para cada 1% de matéria orgânica no solo, haverá a mineralização de 1 a 4 Kg P ha<sup>-1</sup>, equivalentes a 3 – 10 Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (FURTINI NETO et al., 2001).

O Po difere-se das fórmulas orgânicas de outros nutrientes, devido à ação da enzima fosfatase, com grande importância na mineralização do Po no solo. A fosfatase pode ser produzida por raízes de plantas e microrganismos e excretada para a rizosfera, podendo estar presente livre no solo ou associada à parede celular de raízes, ou pode ser produzida por diversos microrganismos. Esta enzima produz a desfosforilação dos compostos orgânicos fosfatados presentes no solo, liberando fosfato para a solução do solo. Quanto maior a atividade da fosfatase maior será a liberação (FURTINI NETO et al., 2001).

### **2.2.2. Absorção, Transporte e Redistribuição**

A forma do P a ser absorvida depende do pH do solo. O processo de absorção do P é ativo, uma vez que a sua concentração nas células radiculares e na seiva do xilema é 100 a 1000 vezes maior que na solução do solo. Assim, o P deve entrar na célula contra o gradiente de concentração. A presença de Mg no meio favorece a absorção de P por efeito sinérgico (FAQUIN, 2005).

O fosfato absorvido pelas células das plantas é rapidamente envolvido em processos metabólicos. Após a absorção de 80% do P total é incorporado a compostos orgânicos, formando basicamente fosfo-hexases e difosfato de uridina (MENGEL; KIRBY, 1987 apud MALAVOLTA, 2006). O transporte no xilema ocorre principalmente na forma que foi absorvido (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), podendo aparecer na seiva bruta como fosforil colina ou ésteres de carboidrato (FAQUIN, 2005).

A redistribuição é realizada pelo floema (alta mobilidade), que junto com o N, é o elemento mais distribuído na planta. Quando a folha envelhece, 60% do total de P presente é redistribuído para outras partes da planta, principalmente regiões de crescimento e frutos em desenvolvimento (MALAVOLTA, 2006).

Devido aos papéis do P na vida da planta, participando da síntese e degradação amido, gorduras, proteínas e de outros inúmeros processos metabólicos, sua carência se reflete no menor crescimento da planta, sobretudo das partes de reserva como folhas e galhos (LOPES, 1998). Como o P se redistribuí

facilmente na planta, os sintomas de deficiência, inicialmente, ocorrem nas folhas mais velhas. Estas podem mostrar uma cor amarelada, com pouco brilho, cor verde-azulada e; tonalidade arroxeada em culturas como o milho, eucalipto e café (FAQUIN, 2005).

#### **2.2.2.1. Fatores que Afetam a Disponibilidade de Fósforo no Solo**

Em solos argilosos com constituintes como a caulinita, óxidos e hidróxidos de Fe e Al e; os minerais de argila amorfos como a alofana, imogolita e complexos de húmus-Al, fixam mais o P adicionado que outros solos. Períodos longos do P adicionado com o solo resultam em uma maior fixação (LOPES, 1998).

O O<sub>2</sub> é extremamente necessário para a absorção de nutrientes e também essencial para a composição biológica da matéria orgânica do solo, uma importante fonte de P para a planta (KIEHL, 1993).

A compactação do solo reduz a aeração e o espaço poroso da zona radicular, reduzindo a absorção do P, o crescimento das plantas e o volume do solo que as raízes podem penetrar limitando o acesso ao P. O fato de que o P se movimenta à curtas distâncias constitui um problema, com restrição ao desenvolvimento radicular e absorção de nutrientes, causado pela compactação (LOPES, 1998).

Em temperaturas adequadas ao desenvolvimento das plantas a absorção é pouco afetada. Em temperaturas extremas, ocorrem restrições na absorção do P devido à relação com a decomposição da matéria orgânica (KIEHL, 1993).

A aplicação de outros nutrientes pode estimular a absorção de P. O Ca e o Mg em solos ácidos e o S em solos básicos parecem aumentar a disponibilidade de P, como faz o N amoniacal, mas a adubação com o Zn tende a restringi-la (LOPES, 1998).

Furti.ni Neto et al. (2001) atribuem à interferência na absorção do P a quatro fatores: (a) Fator capacidade ou poder tampão do solo – Capacidade da fase sólida em ressuprir a solução do solo, através da solubilização ou dissociação do P lábil, dado pela relação entre os fatores Quantidade e Intensidade; (b) Fator transporte; (c) Fator planta – morfologia e crescimento radicular, além de alterações promovidas pelas plantas na rizosfera; (d) Fator microrganismos – as hifas de fungos e micorrizas minimizam o fator transporte e promovem a síntese de fosfatase, que pode aumentar o poder tampão.



### 2.2.3. Papéis Bioquímicos e Funcionais

O P desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular. O P é importante na transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina (ATP), como componente de muitas proteínas, coenzimas, ácido nucléico e substratos metabólicos. Com o aumento do suprimento de P no solo deficiente, verifica-se que as principais frações de P contidas em órgãos vegetativos das plantas também aumentam (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O P promove a formação e o crescimento prematuro das raízes, melhorando a qualidade dos frutos, principalmente a formação das sementes e está envolvido na transferência de códigos genéticos de uma geração a outra (LOPES, 1998).

### 2.3. Fósforo no Cafeeiro

A exigência do P para a formação do fruto do café é proporcional ao acúmulo de matéria seca. Sua absorção é pequena em relação aos outros macronutrientes. Em altas produções a extração não chega a 10 Kg de P ha<sup>-1</sup> (YAMADA; ABDALLA, 2003).

As recomendações de adubação fosfatada na condução do cafeeiro são aplicadas em função do teor no solo e produção esperada. Essas são regionalizadas e divididas em diversas tabelas e diferentes critérios para diagnose nutricional (RAIJ et al., 1982).

As dosagens máximas indicadas para produções de 80 sacas por hectare é de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> segundo Raij et al. (1997) e Guimarães et al. (1999). Já Andrade (2004) recomenda doses de 160 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para a mesma produção. Matiello (2005) indica dose de 80 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para produções acima de 60 sacas por hectare. Cafeeiros adensados respondem proporcionalmente em produção a doses elevadas de P (BATAGLIA, 2003), confirmado por Guerra et al. (2008) que estudando doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concluíram que a melhor dose em relação à produção foi de 300 Kg ha<sup>-1</sup> e que houve maior crescimento vegetativo.

Barros et al. (2000) relatam a importância do P no plantio do cafeeiro, onde o P não foi aplicado houve diferença significativa na produtividade das plantas.

Garcia e Ferreira (1997), comparando diferentes fontes de P (Super Fosfato Triplo e Fosfato de Araxá) e doses (30 e 60 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.cova<sup>-1</sup>) em um solo com baixo

teor de P, obtiveram um aumento de 2,86% na colheita, no 3º ano da cultura nos tratamentos com doses maiores.

A exigência de P em relação ao N e K é pequena, principalmente na fase adulta da lavoura. Na fase jovem sua exigência é maior, a exemplo dos demais nutrientes sua absorção é maior na época chuvosa e na granação dos frutos. O teor adequado de P foliar para o cafeeiro é de 0,15 a 0,20 g. kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1993).

Quando o teor foliar está abaixo de 0,10g.kg<sup>-1</sup> o cafeeiro começa a apresentar sintomas de deficiência, sendo mais comuns em regiões altas e frias. Inicialmente ocorre a perda de brilho nas folhas, em seguida mudam de cor na seqüência: amarelo brilhante, amarelo róseo, vermelho escuro e marrom arroxeadado, na ponta e na margem das folhas. Em casos mais graves pode ocorrer queda prematura das folhas, que pode ser total (GUIMARÃES; MENDES, 1997). O desequilíbrio de P interfere negativamente na qualidade da bebida (MALAVOLTA, 2006).

## **2.4. Nitrogênio**

### **2.4.1. Formas e Transformações**

A quantidade de N em forma disponível no solo é pequena, muito pouco encontrada nas rochas e nos minerais que formam os solos (LOPES, 1998). Geralmente o N é responsável por 5% da matéria orgânica do solo. Cerca de 98% está na forma orgânica, distribuída entre alfa aminica (24 – 37%), ácidos nucléicos e amino açúcares (3 – 10%) e produtos de condensação ou complexos com lignina (40 – 50%). Na forma mineral está, amônia, nitrito e nitrato correspondendo aos 2% restantes (MALAVOLTA, 2006).

#### **2.4.1.1. Mineralização e Imobilização**

A disponibilização do N orgânico do solo para as plantas passa pelo processo de mineralização, definido como transformação do N da forma orgânica para a inorgânica (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou NH<sub>3</sub>). O processo é realizado por microrganismos heterotróficos do solo que utilizam compostos orgânicos como fonte de energia (CANTARELLA, 2007).

A imobilização do N ocorre em concomitância com a mineralização, mas no sentido inverso. Quando os microrganismos decompõem a matéria orgânica fresca, utilizam parte do N para construir proteínas para o tecido do corpo. O N é convertido

na forma orgânica nos microrganismos, e ao morrerem, grande parte do elemento volta à forma disponível (LOPES 1998).

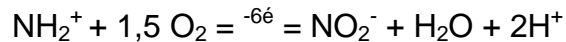
Os processos de mineralização e imobilização representam um subciclo dentro do ciclo do N no solo. A diferença entre os processos define a disponibilidade de N para as plantas (CANTARELLA, 2007).

O fornecimento de materiais com baixa relação C/N favorece a mineralização enquanto materiais de alta interferem na mobilização. Assim a prática de adubação nitrogenada estreita a relação C/N (MALAVOLTA, 2006).

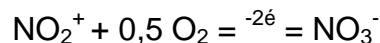
#### 2.4.1.2. Nitrificação e Desnitrificação

Nitrificação é o processo de conversão do nitrogênio amoniacal em nitrogênio nítrico por bactérias nitrificadoras, tendo como vantagem ser prontamente disponível às plantas e organismos. Como desvantagem apresenta fácil lixiviação e liberação de hidrogênio durante a reação de nitrificação, acidificando o solo (LOPES, 1998).

De acordo com Cantarella (2007), reação de nitrificação é dividida em duas etapas: na primeira o  $\text{NH}_4^+$  é convertido em  $\text{NH}_2^+$ .



na segunda etapa o  $\text{NO}_2^-$  é oxidado a  $\text{NO}_3^-$ :



Na desnitrificação o nitrato pode ser transformado em óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ou N elementar ( $\text{N}_2$ ) e perdidos para a atmosfera na forma de gás (LOPES, 1998). Microrganismos heterotróficos efetuam desnitrificação usando o  $\text{NO}_3^-$  como aceitador de N no lugar do  $\text{O}_2$ . A desnitrificação ocorre com maior frequência em solos com menor taxa de  $\text{O}_2$  (MALAVOLTA 2006).

Para redução de perdas por desnitrificação é interessante o uso de alguns produtos que inibem a nitrificação, bloqueando a conversão de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ , desativando as bactérias nitrificadoras por até três meses. O maior benefício em potencial do uso desses inibidores é quando a aplicação é realizada no outono ou no início da primavera em solos arenosos, em solos mal drenados ou com alta intensidade e quantidade de chuvas (LOPES, 1998).

### 2.4.1.3. Fixação e Perdas

A fixação ocorre quando o N atmosférico combina-se com o H e O<sub>2</sub>. Pode ocorrer de diversos modos. Quando biológica, pode ser simbiótica através de bactérias que se fixam N às raízes na forma de nódulos, essas fixam nitrogênio na planta e recebem carboidratos para sua sobrevivência. Se não simbiótica, a fixação é feita por bactérias de vida livre no solo, com estimativa de 20 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (LOPES, 1998).

A fixação natural é fornecida pelo calor gerado por relâmpagos que promove a reação do N com o O<sub>2</sub> do ar, formando eventualmente N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A chuva e a neve adicionam de 5 a 10 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A fixação mais eficiente é a industrial, com fornecimentos de adubos nitrogenados e restos orgânicos diversos nos solos (LOPES, 1998).

As perdas de N ocorrem por diversas vias, dentre elas, lavagem e lixiviação (0 – 30% do N aplicado), volatilização como NH<sub>3</sub> (0 – 40% do N aplicado), desnitrificação (0 – 30% do N aplicado), além perdas por exportação pela colheita e perdas irreversíveis por erosão (MALAVOLTA 2006).

### 2.4.2. Absorção Transporte e Redistribuição

O N pode ser absorvido pela forma gasosa (N<sub>2</sub>), através da fixação biológica; pelo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oriundo da mineralização da matéria orgânica e adubos nitrogenados; diretamente pela Uréia (CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou após o desdobramento pela uréase (NH<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub>); como aminoácidos e; na forma nítrica, a mais predominantemente absorvida nas condições naturais, provenientes de adubos orgânicos ou minerais adicionais (MALAVOLTA, 2006).

O N é transportado pelo xilema e redistribuído principalmente pelo floema sendo os dois processos altamente rápidos. Em uma planta normal, quase todo N se encontra em formas orgânicas representadas principalmente por aminoácidos e proteínas (MALAVOTA, 1982).

Quando absorvido na forma NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato) é reduzido a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrito), por conta da enzima redutase do nitrato. O nitrito é reduzido à amônia pela redutase do nitrito. Reduzido, o N na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entra no metabolismo gerando principalmente aminoácidos. Uma vez formados os aminoácidos protéicos pode ocorrer síntese de proteína. As proteínas e os aminoácidos não são os únicos compostos nitrogenados da planta. Existem também as bases nitrogenadas,

coenzimas, pigmentos e vitaminas. Quando a planta absorve  $\text{NH}_4^+$  é diretamente assimilado nos tecidos das raízes e transportado como aminoácidos (MALAVOLTA 1980).

### **2.4.3. Papéis Bioquímicos e Funcionais**

Sua importância se deve as funções como, constituintes de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de ser integrante de molécula de clorofila. Este nutriente proporciona os maiores aumentos de rendimento da cultura de café (FENILLI, 2006).

## **2.5. Nitrogênio na Cafeicultura**

É altamente exigido pelo cafeeiro e, se adubado adequadamente, promove crescimento rápido com folhas novas e verdes e brilhantes (MALAVOLTA, 1986). Também proporciona aumento da ramificação dos ramos plagiotrópicos, maior área foliar, maior produção de amido e outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Malavolta (1992) define o teor de N foliar em função dos meses: de janeiro e fevereiro ( $2,8 - 3,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ ); de março a abril ( $2,7 - 3,2 \text{ g.Kg}^{-1}$ ); de maio a junho ( $2,8 - 3,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ ); de julho a agosto ( $2,6 - 2,9 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) e; de setembro a dezembro ( $2,8 - 3,2 \text{ g.Kg}^{-1}$ ).

Em cafeeiros adensados como a capacidade fotossintética diminui, há menos florescimento, produção e exigência de nutrientes, evitando o depauperamento por super produções e maior resistência das plantas há mudanças físicas, químicas e biológicas no solo, além de maior acúmulo de matéria orgânica (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Em contrapartida a adubação nitrogenada deve ser diminuída para que não ocorra queda de produção nesse sistema (GALLO, 1999).

Quando o teor de N foliar está abaixo de  $3,5 \text{ g.Kg}^{-1}$  as plantas reduzem à quantidade de cloroplastos, em consequência a falta de clorofila, diminuindo o processo de fotossíntese e causando menor conversão de C,  $\text{O}_2$ , e H em açúcares simples, portanto, menor crescimento da planta (LOPES, 1998).

O excesso de N desequilibra as relações N/P e N/K diminuindo a produção e aumentando a vegetação, prejudicando também a bebida (GUIMARÃES; MENDES, 1997). A relação adequada de N/P está na faixa de 16 – 18, de N/K 1,3 – 1,4 e N/S 16 – 18 (MALAVOLTA, 1993).

Algumas interações entre N e P na nutrição de plantas são comumente encontradas, principalmente na cultura do milho onde existem vários casos mostrando a maior absorção quando o P é empregado junto ao N amoniacal no sulco de semeadura (HANWAY; OLSON, 1980 apud CANTARELLA, 2007). A adição de fertilizante nitrogenado promove o aumento da absorção P mesmo em solos ricos, onde a adubação com P surge pouco efeito (FAQUIN, 2005). Dados de Lopes (1998) mostram que quando falta N ou P para as plantas há redução dos teores de ambos na parte aérea.

Quando deficientes os sintomas iniciam-se em folhas mais velhas, ocorrendo perda de brilho e amarelecimento, principalmente nos períodos de crescimento de crescimento do fruto e seca; frutos menores que caem com facilidade e; morte descendente dos ramos (die-back) quando as folhas apresentam menos de 2,5% de N e menos que 1,5% de K (MALAVOLTA, 1993; GUIMARÃES; MENDES, 1997).

## **2.6. Potássio**

### **2.6.1. Formas de Potássio no Solo**

O K está presente no solo em quatro formas: (a) componente estrutural de minerais primários, como micas e feldspatos potássicos e somente disponíveis quando estes minerais estão decompostos; (b) preso temporariamente entre as camadas de argilas expansíveis, como illita e montmorilonita; (c) K trocável, facilmente extraível por um sal neutro, como acetato de amônia e; (d) pequena quantidade solúvel presente na solução do solo (RITCHEY, 1990).

As formas trocável e da solução do solo, são prontamente disponíveis para as plantas, sendo aquelas normalmente extraídas e medidas pela maioria dos métodos de análise de solo para K “disponível”. Essas formas de K são importantes para as culturas desenvolvidas em solos altamente intemperizados, normalmente pobres em argilas expansivas, contendo quantidades muito limitadas de minerais de K sujeitos a decomposição (POTAFÓS, 1990).

#### **2.6.1.1. Potássio Disponível**

O K atinge as raízes das plantas por transporte em solução e sua concentração, determina o quanto de K pode atingir as raízes em um determinado tempo. Os níveis de K solúvel na solução do solo são apenas indicadores de responsabilidade momentânea. Para a produção bem sucedida da cultura é mais

importante que a concentração seja mantida a um nível satisfatório durante o período de crescimento. Em solos de origem vulcânica, solos aluviais e solos de terrenos elevados dos trópicos têm baixa capacidade de troca de cátions (CTC), limitando sua capacidade em atrair e reter cátions básicos solúveis como o  $K^+$ . A CTC efetiva de muitos solos tropicais e subtropicais pode ser menor do que  $5 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ . Nos solos úmidos, uma CTC efetiva entre 4 e  $8 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$  é necessária para prevenir perdas por lixiviação de nutrientes catiônicos como K (POTAFÓS, 1990).

A maioria dos solos contém  $10 \text{ Kg ha}^{-1}$  ou menos de K na solução, não suprindo o crescimento da planta. Mas à medida que a cultura o remove, parte do K trocável movimenta-se para a solução do solo, sendo substituído por algum outro cátion no colóide do solo. Este movimento continua até que se estabeleça um novo equilíbrio (LOPES, 1998).

#### **2.6.1.2. Potássio Lentamente Disponível**

O K lentamente disponível ou fixado é retido nas posições internas das lâminas de argila e cavidades hexagonais de certos minerais como a Ilita e da matéria orgânica (MALAVOLTA, 2006). Essas argilas contraem e dilatam durante a secagem e umedecimento do solo. Os íons ( $K^+$ ) podem ser retidos entre as camadas, tornando-se não disponíveis ou lentamente disponíveis (LOPES, 1998). Solos com argilas 2:1 são dificilmente encontrados, assim há poucos casos de fixação de K nos solos brasileiros (CATANI, 1995).

#### **2.6.1.3. Potássio não Disponível**

Encontra-se fortemente retido na estrutura dos minerais, liberado à medida que os minerais do solo são intemperizados, ocorrendo tão lentamente que ele não fica disponível às plantas. Em geral, os solos de regiões quentes e úmidas são mais intemperizados, do que regiões frias e áridas, portanto são mais ricos em K do que aqueles que sofreram intemperização mais intensa (LOPES, 1998) como os Latossolos de Centro-Oeste brasileiro.

### **2.6.2. Absorção, Transporte e Redistribuição**

O K na solução do solo encontra-se na forma iônica  $K^+$ , forma esta absorvida e transportada pelas raízes das plantas. Concentrações elevadas de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , e  $NH_4^+$  reduzem a absorção do K por inibição competitiva, embora as baixas concentrações de Ca apresentem um efeito sinérgico (MALAVOLTA, 1980).

O K é caracterizado pela alta mobilidade nas plantas, (célula e tecidos) e é transportado a longa distância via xilema e floema, por não fazer parte permanente de nenhum composto orgânico (FAQUIN, 2005).

### **2.6.3. Fatores que Influenciam a Absorção de Potássio**

#### **2.6.3.1. Lixiviação**

As perdas de K por lixiviação é uma grande preocupação sob condições de chuvas intensas, freqüentes em solos bem drenados dos trópicos úmidos. A lixiviação tende a ser um problema em solos com baixa CTC, principalmente em regiões de cerrado, onde as perdas por lixiviação variam de 37 a 48% do K aplicado (POTAFÓS, 1990).

A lixiviação do K ao longo do perfil de até 1,0 m de profundidade, por três anos, em dois solos adubados com KCl e cultivados com cafeeiros, denominados “terra roxa estruturada” e “arenito de Bauru” no estado de São Paulo, foi observada a redução da lixiviação nos dois solos no 2º e 3º ano, sendo que na terra roxa, onde a CTC é maior, houve menor lixiviação do K da solução do solo (MALAVOLTA, 1976).

A absorção pelas plantas é uma das maneiras de minimizar as perdas por lixiviação. Plantas saudáveis, bem nutridas, com sistemas radiculares vigorosos e extensos ajudarão a conservar o K pela redução de seu movimento fora da zona radicular (POTAFÓS, 1990).

#### **2.6.3.2. Quantidades e Tipos de Minerais de Argila**

Durante o intemperismo, os minerais primários facilmente intemperizáveis, incluindo os silicatos contendo K, pode ser destruída, permanecendo somente a fração argila dos solos constituídos de materiais de baixa fertilidade e carga elétrica variável. Silicatos secundários, como a caulinita e, quantidades variáveis de óxidos livres cristalinos e materiais amorfos, predominam na fração de argila finamente dividida dos solos dos trópicos úmidos (POTAFÓS, 1990).



Solos arenosos e cauliníticos podem apresentar altas concentrações de K na solução do solo, porém, são incapazes de manter essas altas concentrações quando cultivados. Embora solos argilosos tenham uma concentração inicial de K em solução mais baixa, eles podem manter um determinado nível de K por tempo mais longo. A composição da argila influencia a concentração da solução do solo e o K trocável. As argilas do tipo illita, derivadas de micas, têm mais K trocável, com teores de K em solução mais baixos do que as argilas do tipo caulinítico (POTAFÓS, 1990).

### **2.6.3.3. pH do Solo e Calagem**

A prática da calagem para manejo do pH e redução da toxicidade do Al e Mn, afetam a disponibilidade de K no solo. A redução dos níveis tóxicos de Al e Mn são benéficas tanto para minimizar sua ação depressiva na absorção de K pelas plantas, como por proporcionar o desenvolvimento dos sistemas radiculares mais saudáveis, capazes de absorver mais K. A elevação do pH do solo pela calagem aumenta a capacidade efetiva de troca de cátions dos solos, contendo altas quantidades de minerais com cargas superficiais. Maior CTC efetiva aumenta a capacidade dos solos em reter K, removendo-o assim da solução do solo e reduzindo o potencial de perdas por lixiviação (POTAFÓS, 1990).

A toxidez do Al e Mn reduzem a absorção do K devido à diminuição das raízes. Outros elementos nativos e ou adubo aplicado, podem limitar o efeito do K pela lei do mínimo, alto teor de N aumenta a absorção e excesso de Ca diminui (MALAVOLTA, 2006).

A calagem pode resultar na retenção de K em sítios de absorção seletivos, anteriormente ocupados por cátions hidroxilados de Al. Com a disponibilidade do K, em curto prazo, pode ser reduzida, a não ser que sejam aplicados adubos potássicos para compensar sua redução na solução do solo. Em longo prazo o aumento de K resultante da adubação é vantajoso, porque nesta forma é disponível para as culturas e livre de lixiviação (RITCHEY, 1990).

### **2.6.3.4. Estrutura do Solo e Conteúdo de Água**

A água é o meio do qual as plantas absorvem os nutrientes essenciais e veículo de transporte do K e outros nutrientes até as raízes. Em solo seco há menos água contendo K atingindo as plantas para atender as necessidades de transpiração. Além disso, sob condições de baixa umidade, os filmes de água em

torno das partículas de solo são mais finos e descontínuos, resultando em mais caminhos tortuosos para o movimento do K para as raízes. Isto reduz a transferência de K para as raízes por difusão. Altas concentrações de K em solução de solo seco, ajudam a compensar essas restrições quanto ao movimento do K (POTAFÓS, 1990).

A fraca estrutura do solo, acúmulo de água e compactação reduz a absorção do K pelas plantas. O impacto dessas condições reduz a quantidade de oxigênio no solo, pode ser parcialmente superado pela fertilização potássica (LOPES, 1998).

### **2.6.3.5. Temperatura do Solo**

A temperatura do solo pode ter profundo efeito na disponibilidade K no solo, assim como na taxa de difusão. O efeito na absorção é proporcional à temperatura entre 15° a 29°C (MALAVOLTA, 2006).

A temperatura influencia na taxa de intemperismo dos minerais do solo. Quando em temperatura e umidade elevadas, o K “não disponível” pode contribuir para o suprimento da planta. Em temperaturas baixas, as plantas são mais dependentes de K “disponível” ou trocável (POTAFÓS, 1990).

### **2.6.4. Papéis Bioquímicos e Funcionais**

O K estimula o desenvolvimento da raiz, o alongamento dos colmos, ativa cerca de 60 enzimas, controla a turgidez das plantas, o transporte de açúcares e amido, auxilia na formação de proteína, oferece a planta maior resistência às doenças, propicia melhor qualidade aos produtos vegetais e está envolvida em muitas outras funções. O K é vital para o metabolismo da planta e indispensável para se obter a produção máxima econômica. Suas funções plenas envolvem a compreensão de processos bioquímicos e fisiológicos (MENGEL; KIRBY, 1987; MARSCHNER, 1995 apud NOGUEIRA, et al., 2001).

#### **2.6.4.1. Importância no Uso da Água**

O acúmulo de K nas raízes produz um gradiente de pressão osmótica que puxa a água para dentro das raízes. Portanto, as plantas deficientes em K são menos capazes de absorver água em condições de baixo suprimento (NOGUEIRA, et al., 2001).

Lopes (1998) relata que o processo de abertura e fechamento dos estômatos é controlado pela concentração de K nas células que o circundam. A falta de K faz com que os estômatos se abram apenas parcialmente e se fechem mais lentamente, provocando estresse hídrico.

#### **2.6.4.2. Fotossíntese**

Quando a energia do sol é usada na síntese de açúcar, o dióxido de carbono se combina com água para formá-lo. O produto inicial é a adenosina trifosfato (ATP), usada como fonte de energia para reações químicas. O balanço de carga elétrica no sítio de produção de ATP é mantido com íons K. Quando as plantas estão deficientes em K, as taxas de fotossíntese e de produção de ATP são reduzidas, diminuindo todo o metabolismo dependente de ATP (NOGUEIRA et al., 2001).

O papel do K na fotossíntese é complexo, mas a ativação de enzimas e o envolvimento deste nutriente na produção de ATP é, provavelmente, mais importante no controle de fotossíntese do que no seu desenvolvimento na atividade estomatal (MALAVOLTA et al., 1997).

#### **2.6.4.3. Transporte de Açúcares**

Os açúcares produzidos pela fotossíntese são transportados pelo floema para armazenamento e utilização de outras partes da planta. Este sistema usa energia na forma de ATP. Se o K é insuficiente, menos ATP está disponível e o sistema é interrompido, conduzindo ao armazenamento de fotossintatos nas folhas, reduzindo-se a taxa de fotossíntese. O desenvolvimento normal dos órgãos de armazenamento de energia, tais como grãos, também é retardado. Um adequado suprimento de K ajuda a manter todos estes processos funcionando normalmente (MALAVOLTA, 1976).

#### **2.6.4.4. Transporte de Água e Nutrientes**

O K exerce também uma função maior no transporte de água e nutrientes no xilema, para todas as partes da planta. Quando o suprimento de K é reduzido, a translocação de nitrato, P, Ca, Mg e aminoácidos diminuem. Por outro lado, o sistema de transporte no floema e função de transporte de K no xilema, está muitas vezes ligado a enzimas específicas e a hormônios de crescimento da planta em

ambos os sistemas de transporte (xilema e floema), um suprimento maior de K é essencial (NOGUEIRA et al., 2001).

#### **2.6.4.5. Ativação de Enzimas**

As enzimas atuam como catalizador para reações químicas, O K é exigido para ativar pelo menos 60 enzimas diferentes envolvidas no crescimento da planta. O K muda a forma física da molécula da enzima, expondo os sítios apropriados para a reação. A quantidade de K presente na célula determina quantas enzimas podem ser ativadas, definindo as reações químicas que podem ocorrer. A ativação de enzimas é, provavelmente, a função mais importante do  $K^+$  no crescimento da planta (NOGUEIRA et al., 2001).

O K absorvido como  $K^+$  é o cátion mais abundante nos tecidos vegetais por ser facilmente absorvido em maior intensidade, criando o conceito “alimentação de luxo”, admitido principalmente para o cafeeiro (MALAVOLTA, 1976).

A absorção de  $N-NO_3^-$  e sua assimilação metabólica são influenciadas consideravelmente pela presença de K nas plantas, mas sua carência aumenta a proporção de aminoácidos básicos (arginina, ornitina, e citrulina), levando ao acúmulo de putrescina, predispondo as plantas ao ataque de insetos e a incidência de doenças (NOGUEIRA et al., 2001).

### **2.7. Potássio na Cafeicultura**

A exigência do K aumenta com a idade e, principalmente, com o período de frutificação, ocorrendo a translocação do K das folhas para os frutos devido à alta mobilidade do nutriente (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A absorção de K é semelhante a do N, com maior destaque em épocas chuvosas, quando se encontra maiores teores de K nas folhas e, durante as épocas mais secas menores teores foliares devido a menor absorção e extração dos K pelos frutos. O teor foliar considerado adequado é de 1,9 a 2,4  $g\ Kg^{-1}$  e a relação de P/K ideal para que não ocorra desequilíbrio é de 16 a 18 (MALAVOLTA, 1993).

O excesso de K pode levar a deficiência de Ca e Mg por antagonismo, em solos desequilibrados com esses elementos não ocorre resposta de produção para níveis de K, aplicados na adubação (MATIELLO, 2008). O fornecimento de P tende a diminuir o efeito depressivo do K no teor foliar do Mg (MALAVOLTA, 2006).

Em caso de deficiência, as folhas mais velhas começam a aparecer clorose marginal e depois necrose nas pontas e margens. Em casos extremos ocorre morte dos ponteiros, frutos menores e chochos, menor resistência à seca, e favorece o ataque de pragas e doenças (MALAVOLTA, 1993).

A predisposição do cafeeiro a ferrugem pode ser minimizada quando o nível de K na planta for adequado, na falta de K na folha, o pH celular é baixo facilitando reações que favorecem a presença de fungos, principalmente em folhas mais velhas (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

### 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 em Minas Gerais, cujas coordenadas são: -21° 17' 05" (latitude) e 46° 38' 41" (longitude) e 988 m de altitude. Os componentes climáticos da região na época da do experimento pode ser visto na Tabela 1. O solo é um Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA,1999). A análise química do solo, da área experimental na implantação do experimento pode ser observada na Tabela 2. A declividade de 3% e elevado teor de argila (48%).

**Tabela 1** - Componentes climáticos na região de 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
Mai	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
Outubro	69,0	56,0	118,0	28,0	18,0	23,0

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

**Tabela 2** - Resultado da análise de solo onde foi instalado o experimento

	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
cm	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	2,5	7,0	10	74	6	24	46	3,9	0,6
10-20	6,0	2,87	11,3	123	4,9	1,4	0	2,5	6,6	9	73	4	27	37	4,3	0,5
20-40	5,6	1,75	5,9	90	3,1	0,9	0	2,7	4,2	7	61	2	34	29	3,5	0,6

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-recepadado (29/08/2007) (Figura 1 e 2), mantendo-se de 2 a 3 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 ocorrendo no dia 13/11/2007. As parcelas experimentais foram constituídos por 6 plantas (Figura 3). Os tratamentos utilizados foram de acordo com a dosagem de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e fonte, sendo:

- T1 = 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> – testemunha;
- T2 = 53,3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (200 g cova<sup>-1</sup>) - termosfotato;
- T3 = 106,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (400 g cova<sup>-1</sup>) – termosfotato;
- T4 = 213 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (800 g cova<sup>-1</sup>) – termosfotato;
- T5 = 426 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (1600 g cova<sup>-1</sup>) – termosfotato;
- T6 = 852 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (3200 g cova<sup>-1</sup>) – termosfotato;
- T7 = 1704 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (6400 g cova<sup>-1</sup>) – termosfotato;
- T8 = 400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (1333 g cova<sup>-1</sup>) – superfosfato simples.

**Figura 1** – Lavoura a ser recepada. Guaxupé, MG



A composição química do termofosfato com nome comercial Yoorin Máster 1 S é 16,0%  $P_2O_5$  total, destes 12,0% solúvel em ácido cítrico; 16,0% 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.

**Figura 2** – Lavoura recém recepada. Guaxupé, MG



**Figura 3** – Visão geral do experimento. Guaxupé, MG



### **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 coffella*), foi feito à aplicação de 2 kg ha<sup>-1</sup> de Thiamethoxam (Actara 250 WG), principal praga do cafeeiro na região. As desbrotas ocorreram nos dias 04/01 e 16/09 de 2008 deixando-se somente as hastes principais.

### **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 28/10/2008.

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 de 2 mm de abertura (TFSA). Os métodos empregados para analisar as amostras foram os seguintes (LOPES, 1999; EMBRAPA, 2007): pH em H<sub>2</sub>O; C orgânico: Método Walkley & Black (via úmida com dicromato de K); Ca, Mg, Acidez trocável: Método KCl 1mol L<sup>-1</sup>; Acidez potencial: Método SMP; P, K, Zn, Mn, Fe, Cu - disponível: Método Mehlich (Extrato Sulfúrico); Enxofre - disponível: Método Hoefl et al. (Ba Cl<sub>2</sub>); B – disponível: Método água quente.

### **3.5.3. Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR (1999, 2007), versão 5,0.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As concentrações de K no solo (Tabela 3) não diferiram estatisticamente em nenhum dos tratamentos, mostrando que as doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não influenciaram nas concentrações de K superficial nem em profundidade, sendo que as concentrações mantiveram-se em um teor bom para o cafeeiro (GUIMARAES et al., 1999; RAIJ et al., 1997) em todos os tratamentos, resultados concordantes com Lopes (1998), que demonstra que a concentração de K não é afetada diretamente pelo acréscimo de P no solo.

**Tabela 3** – Concentrações de K no solo aos 300 dias após aplicação de diferentes doses de  $P_2O_5$  no município de Guaxupé, 2008.

Tratamentos	K	
	(mg dm <sup>-3</sup> )	
	0 – 10	10 – 20
kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	cm	
T1 (0) – Termofosfato	142,0 a	111,2 a
T2 (50) – Termofosfato	149,5 a	84,7 a
T3 (100) – Termofosfato	128,2 a	90,5 a
T4 (200) – Termofosfato	159,5 a	99,0 a
T5 (400) – Termofosfato	161,0 a	91,7 a
T6 (800) – Termofosfato	146,2 a	117,5 a
T7 (1600) – Termofosfato	168,2 a	68,2 a
T8 (300) – Superfosfato simples	108,2 a	63,5 a
<b>CV (%)</b>	<b>34,97</b>	<b>34,97</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan.

Na análise foliar (Tabela 4) de 120 daa houve diferença estatística somente entre os tratamentos 2 e 3, não sendo considerada uma resposta efetiva a adubação de P, uma vez que a mobilidade do P é baixa no solo, podendo ser causado por vários fatores como a matéria orgânica resultante dos restos vegetais provenientes da recepa (MALAVOLTA, 1993). Uma vez que nos demais tratamentos não houve diferença estatística e que os teores foliares em questão são considerados deficientes por Malavolta (1992), Raji (1997), Guimarães (1999) e Matiello (2005). A deficiência em questão deve-se a falta de adubação nitrogenada, e em função da época de amostragem, que coincide com as condições climáticas (Tabela 1) propícias para o crescimento da planta, causando assim um efeito de diluição do N devido à franca expansão da área foliar.

Na segunda análise (350 daa), os teores de N também não demonstraram diferenças estatísticas. Com relação aos teores, nota-se que estão adequados à exigência do cafeeiro (MALAVOLTA, 1992; GUIMARÃES et al., 1999). Devido às variações sazonais no crescimento vegetativo influenciadas pelas condições climáticas e pela própria fisiologia do cafeeiro (CAMARGO; CAMARGO, 2001), houve uma menor expansão foliar resultando em um maior acúmulo do N foliar.

Para os teores de K foliar na primeira avaliação (120 daa), não houve diferença estatística. Em comum acordo com Guimarães et al. (1999) todos os

tratamentos apresentam teores adequados de K, com exceção dos tratamentos 2 (50 Kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ) e 7 (1600 Kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ) que se apresentaram altos.

**Tabela 4** – Teores foliares de N e K em brotos de cafeeiro recepado em duas avaliações sob diferentes doses de  $P_2O_5$  no município de Guaxupé, 2008.

Tratamentos	N		K	
	dag.Kg <sup>-1</sup>			
	120	350	120	350
kg $P_2O_5$ $ha^{-1}$	daa*			
T1 (0) – TF**	2,34 ab	2,95 a	2,05 a	2,00 b
T2 (50) - TF	2,49 a	2,94 a	2,30 a	2,30 a
T3 (100) - TF	2,25 b	2,98 a	2,11 a	2,18 ab
T4 (200) - TF	2,30 ab	2,91 a	2,00 a	2,14 ab
T5 (400) - TF	2,34 ab	2,94 a	2,09 a	2,15 ab
T6 (800) - TF	2,38 ab	2,98 a	2,16 a	2,32 a
T7 (1600) - TF	2,33 ab	3,02 a	2,30 a	2,34 a
T8 (300) – SFS***	2,37 ab	2,94 a	2,18 a	1,96 b
<b>CV (%)</b>	<b>5,09</b>	<b>2,96</b>	<b>12,67</b>	<b>7,12</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan.

\*daa: dias após a aplicação; \*\*TF: Termofosfato; \*\*\*SFS: Super Fosfato Simples

Aos 350 daa o tratamento com menor dose (50 Kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ) e os tratamentos com doses maiores manifestaram diferenças estatísticas com relação a testemunha e ao tratamento 8 (superfosfato simples). Apesar dos tratamentos nas fontes de termofosfato não diferirem, as doses 50, 800 e 1600 Kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  destacaram-se com os maiores teores foliares.

Os tratamentos 6 e 7 favoreceram a absorção de K foliar, devido a um possível distúrbio fisiológico proporcionado pelas reações físico-químicas do solo em resposta as altas doses de termofosfato aplicado. O tratamento 2 é o que mais se aproxima dos boletins de adubação para cafeeiro em produção tendo destaque quanto aos teores em função de um equilíbrio harmônico entre os demais nutrientes.

Dentre os tratamentos não houve diferenças claras da ação do P com a interferência sobre os teores foliares de N e K, em função do mecanismo do P no solo e morfologia do cafeeiro recepado. Mas merece destaque o tratamento 2, que apresentou bons índices de absorção, e mostrou eficiência em função dos teores absorvidos nas análises, quando comparado aos resultados obtidos nos tratamentos

6 e 7, este ganha destaque por não se diferir em respostas e, pela eficiência econômica proporcionada pela menor dose, favorecendo a competitividade, sustentabilidade e lucratividade da cafeicultura.

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido o experimento é possível concluir que:

As doses crescentes de  $P_2O_5$  não influenciaram nas concentrações de K no solo e na absorção de N pelo cafeeiro

Os maiores teores de K foliar foram obtidos com a menor dose de termofosfato aplicado, em função de um equilíbrio com os demais nutrientes; e também observadas com as maiores doses, resultado de um possível desequilíbrio ocasionado pelo excesso de termofosfato no sistema solo-planta.

A continuação do experimento é de grande importância para a obtenção de dados mais concretos quanto a viabilidade das doses de P, e interação entre o N e K no desenvolvimento do broto do cafeeiro.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. **O fósforo e a vida**. Brasília: IBRAFÓS. São Paulo, 1986. 453p.

ANDRADE, C. E. de. **Calagem e Adubação do Café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130p.

BARROS, U. V. et al. Recuperação de cafeeiros com aplicação corretiva de adubo fosfatado em plantas sem fósforo na cova de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 26., 2000, Marília. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 2000. p. 64-66.

BATAGLIA, O. C. Resposta da cultura do café à adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Informações Agronômicas**, POTAFÓS, Piracicaba, n. 102, junho de 2003, 20p.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M.B.P. Definição esquemática das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R. F.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 7, p. 375-470.

CATANI, R. A. **Estudos de Potássio dos Solos do Estado de São Paulo**. Tese de Cátedra. E.S.A "Luiz de Queiroz", USP. Piracicaba, 1995. 53p.

COOPERATIVA REGIONAL DOS CAFEICULTORES DE GUAXUPÉ LTDA. (COOXUPÉ). **Metereologia Guaxupé- MG**. Disponível em <<https://www.cooxupé.com.br/metereologia/>>. Acesso em: 03 de Nov. de 2008.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.3, p. 91-132.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo**: manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral de Plantas**: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: USP, 1975, 341p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FENILLI, T.A.B. **Destino do Nitrogênio (<sup>15</sup>N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100f. Piracicaba, Tese de Doutorado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2006. 100p.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. DO; RESENDE, A. V.DE; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GALLO, P.B.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. PREIRA, L.C.E. Respostas de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v.58,n.2, p. 341-351,1999.

GARCIA, A. W. R.; FERREIRA, R. A. Estudos comparativos de doses de Atifós e outras fontes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na formação do cafeeiro - Varginha - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 1997. p. 4-5. GOMES, F. P. Curso de estatística experimental.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOMICZ, C.; RIBEIRO FILHO, G.C.; TOLEDO, P.M.R., RIBEIRO L.F. **Sistema de Produção de Café irrigado**: um novo enfoque. Irrigação e tecnologia Moderna, n.73, 1º trimestre, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. Lavras, UFLA/FAEPE, 1997. 70p.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ, V.; VH.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.; VH. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo de estado de Minas Gerais, 1999. p.289-302.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato (POTAFOS), 1984. 162p.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. 177p.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V.V.H. Apresentação dos resultados das análises de solos In: RIBEIRO, A C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.; VH. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo de estado de Minas Gerais, 1999. p.289-302.

KIEHL, E. J.; **Fertilizantes Organominerais**. Piracicaba: Edição do autor, 1993. 189p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**: nutrição mineral de plantas e fertilidade de solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1982. 59p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo, Ed. Ceres, 1987. 496p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.



MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubos, corretivos e defensivos para lavoura cafeeira**: indicações de uso. Varginha: Bom Pastor, 2005. 112p.

MATIELLO, J. B.; Redução do Potássio na Adubação de Cafeeiros em Solos Desequilibrados, na Zona da Mata de Minas. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**: pesquisas, recomendações e análises, Varginha, ano 5, n.13, p.14-15, janeiro/abril 2008.

NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E.de B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Adubação Potássica do Cafeeiro**: sulfato de potássio. Washington: SOPIB, 2001. 81p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. jot; NUNES F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 8, p. 472-550.

POTAFÓS. **Potássio**: necessidade e uso na agricultura moderna. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1990. 45p.

RAIJ, B. van; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação Fosfatada no Brasil: Apreciação geral, conclusões e recomendações. In OLIVEIRA, A. J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. 382p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico/FUNDAG, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

RITCHEY, K. DALE (Ed.). **O Potássio nos Oxissolos e Utilissolos dos Trópicos Úmidos**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. 69p.

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

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Informações Agronômicas**, POTAFÓS, Piracicaba, n. 102, junho de 2003, 20p.