

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA SUL DE MINAS GERAIS – CAMPUS
MUZAMBINHO**

Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura

Ronan de Carvalho Mendes

MACRONUTRIENTES NA CAFEICULTURA

**MUZAMBINHO
2009**

RONAN DE CARVALHO MENDES

MACRONUTRIENTES NA CAFEICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Cafeicultura.

Orientador (a): Prof.^o Dr. Marcelo Bregagnoli

**MUZAMBINHO
2009**

COMISSÃO EXAMINADORA

Marcelo Bregagnoli

Raul Henrique Sartori

Francisco Vítor de Paula

Muzambinho , 06 de dezembro de 2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meus caminhos sempre e por estar sempre presente em minha vida.

Agradeço à minha família e amigos por sua compreensão pelo grande carinho e incentivo constantes.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Bregagnoli por toda ajuda e conhecimento cedidos.

Muito obrigado a todos!

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram”

(Alexandre Grham Bell)

MENDES, Ronan de Carvalho. **Macronutrientes na cafeicultura**. 2009. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho, Muzambinho, 2009.

RESUMO

A planta para produzir necessita de luz, água, CO₂ e nutrientes. Com relação a este último, alguns são necessários em grande quantidade, por isso são chamados de macronutrientes. Pertencem a esse grupo o nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S). Quando os nutrientes e os outros fatores de crescimento (luz, água, etc.) estão em níveis ótimos, as pragas e as doenças estão sob controle e, o clima favorável, as culturas respondem com altas produtividades. 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. O presente estudo teve como propósito, mostrar as principais funções dos nutrientes na cafeicultura, o uso e manejo adequados pressupondo a melhoria da fertilidade, a exemplo da preservação e aumento da matéria orgânica, diminuição da acidez, garantindo o crescimento radicular vigoroso do cafeeiro mantendo os nutrientes em quantidades e relações apropriadas..

PALAVRAS-CHAVE: nutrição de plantas; produção; crescimento vegetativo.

MENDES, Ronan de Carvalho. Macronutrients in coffee. 2009. 58 p. Conclusion of Course (Course of Technology in Cafeicultura) - Federal Office for Education, Science and Technology in southern Minas Gerais - Campus Muzambinho, Muzambinho, 2009.

ABSTRACT

The plant needs to produce electricity, water, CO₂ and nutrients. Regarding the latter, some are needed in large quantities, so they are called macronutrients. Belong to this group nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S). When nutrients and other growth factors (light, water, etc..) Are at optimal levels, pests and diseases are under control and the climate, crops respond with high yields. Research in the main coffee regions have shown that a major factor limiting production is the lack of nutrients, indicating a need for concrete information about the nutritional requirements for different management conditions, soil types and physiologic states of the plant. This study aimed to show the main functions of nutrients in coffee, the use and handling assuming improving fertility, such as the preservation and increase of organic matter, decreased acidity, ensuring the vigorous root growth of coffee keeping the nutrients in appropriate quantities and relationships.

KEY WORDS: plant nutrition, production, vegetative growth.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVO	11
2 NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO	12
2.1 FÓSFORO	13
2.1.1 Origem, formas, assimilação e fixação no solo.....	13
2.1.2 Papéis funcionais.....	14
2.1.3 Formação da colheita	15
2.1.4 Critérios para doses na adubação fosfatada	16
2.1.5 Fontes de fertilizantes fosfatados	16
2.1.6 Aplicações e respostas	16
2.1.7 Exigência e teores na planta.....	17
2.1.8 P na cafeicultura	18
2.1.8.1 Sintomas de deficiência de P em cafeeiros	19
2.1.8.2 Sintomas de toxidez de P em cafeeiros	19
2.1.9 Principais interações do P com os outros nutrientes	19
2.2 NITROGÊNIO	20
2.2.1 Formas e Transformações.....	20
2.2.1.1 Mineralização e Imobilização	20
2.2.1.2 Nitrificação e Desnitrificação.....	21
2.2.1.3 Fixação e Perdas	22
2.2.2 Absorção Transporte e Redistribuição.....	22
2.2.3 Papéis Bioquímicos e Funcionais	23
2.2.4 As fontes de N	23
2.2.5 Nitrogênio na Cafeicultura	24
2.3 POTÁSSIO	25
2.3.1 Formas de Potássio no Solo.....	25
2.3.1.1 Potássio Disponível	26
2.3.1.2 Potássio Lentamente Disponível.....	26
2.3.1.3 Potássio não Disponível	27
2.3.2 Absorção, Transporte e Redistribuição.....	27
2.3.3 Fatores que Influenciam a Absorção de Potássio.....	27
2.3.3.1 Lixiviação	27

2.3.3.2	Quantidades e Tipos de Minerais de Argila	28
2.3.3.3	pH do Solo e Calagem.....	29
2.3.3.4	Estrutura do Solo e Conteúdo de Água	29
2.3.3.5	Temperatura do Solo	30
2.3.4	Papéis Bioquímicos e Funcionais	30
2.3.5	As fontes de K.....	32
2.3.6	Potássio na Cafeicultura	32
2.4	CÁLCIO	33
2.4.1	Aspectos gerais	33
2.4.2	Formas e transformações no solo.....	34
2.4.3	As fontes de Ca	34
2.4.4	Absorção.....	35
2.4.5	Transporte	36
2.4.6	Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso	36
2.4.7	Funções	38
2.4.8	Formação da colheita	40
2.4.9	Cálcio em cafeeiros	40
2.5	MAGNÉSIO (Mg)	41
2.5.1	Aspectos gerais	41
2.5.2	Magnésio no solo.....	42
2.5.3	As fontes de Mg.....	43
2.5.4	Absorção.....	43
2.5.5	Transporte	43
2.5.6	Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso	44
2.5.7	Funções	44
2.5.8	Formação da colheita	46
2.5.9	Magnésio no cafeeiro.....	46
2.6	ENXOFRE (S).....	48
2.6.1	Origem e formas do S.....	48
2.6.2	Adsorção e lixiviação	49
2.6.3	Absorção de S	49
2.6.4	Transporte e redistribuição	50
2.6.5	Funções	50
2.6.6	Principais fontes de S	51

2.6.7 Enxofre na cafeicultura	51
2.6.7.1 Sintomas de deficiência de enxofre no cafeeiro	52
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS:.....	54

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma planta que necessita de pequenas quantidades de nutrientes na sua fase inicial de crescimento. Mas, à medida que a planta cresce e as produções se elevam, as demandas também aumentam e o cafeeiro passa a exigir mais em nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e outros nutrientes. Isto indica que o fornecimento de fertilizantes deve acompanhar o ritmo de crescimento do cafeeiro e sua expectativa de produção. Os fertilizantes, dependendo do seu comportamento no solo, devem ser aplicados em maior ou menor número de fracionamentos. Alguns nutrientes, como o nitrogênio, entram em contato com a raiz mais rapidamente do que, o P que deve ser aplicado na região de maior concentração de raízes ativas, sendo o local ideal para a absorção de todos os nutrientes.

Em solos originariamente férteis, cultivado a décadas sem manejo apropriado e a exploração intensiva de áreas com solos de baixa fertilidade natural, sem a devida reposição de nutrientes, tornam a agricultura dependente de forma crescente e irreversível, de aplicações maciças de fertilizantes, são essenciais para o aumento e a sustentação da produtividade das culturas. Contudo, as elevações nos últimos anos dos custos desses insumos, têm levado o agricultor a diminuir a quantidade aplicada de fertilizantes, levando ao desânimo na cadeia produtiva da cafeicultura. É necessário evitar desperdícios e traduzir a aplicação de fertilizantes em máximo benefício para o agricultor, sugerindo a necessidade do aprimoramento das técnicas de diagnose da deficiência de nutrientes nos solos (LOBATO, 1982).

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 (LUIZ, 2008).

1.1 JUSTIFICATIVA

Os fertilizantes minerais são essenciais para o aumento da produção e/ou para manutenção da cultura durante o ciclo. Solos que mantêm um bom equilíbrio entre os nutrientes faz com que as plantas produzam com a qualidade que o mercado exige e devido tem que conhecer as funções dos nutrientes e suas fontes.

1.2 OBJETIVO

Os macronutrientes são de grande importância tanto para o crescimento vegetativo quanto para a produção de um café de boa qualidade. O presente trabalho descreve um estudo sobre a importância, funções e principais fontes dos macronutrientes na cultura do cafeeiro.

2 NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO

O uso de fertilizantes minerais é absolutamente necessário para a agricultura, existindo uma estreita relação entre a produção agrícola e o consumo dos três principais nutrientes, nitrogênio(N), fósforo(P) e potássio(K). (RAIJ, 2006).

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).

De acordo com algumas considerações numéricas, admiti-se para 1,0 t de café beneficiado, correspondente a 2,0 t de café em coco, a extração em Kg t.⁻¹, de 34 kg de N, 8 kg de P₂O₅ e 62 kg de K₂O. As quantidades médias de nutrientes aplicados na cultura do café em 2000, no Brasil, foram de 114 de N, 24 P₂O₅ e 92 de K₂O, totalizando 230 Kg ha⁻¹ (RAIJ, 1996).

A cultura do cafeeiro depende de um conjunto de fatores para alcançar níveis adequados de produtividade. Existe uma tendência no aumento da produção por unidade de área na cafeicultura brasileira, pois ainda se tem um rendimento baixo. Portanto, é fundamental que conheçamos as causas prováveis da baixa produtividade, como a existência de lavouras decadentes; falta ou inadequado controle de pragas e doenças; pequeno número de plantas por hectare; falta de manejo correto de podas; falta ou inadequação da calagem e adubação (MALAVOLTA, 1986; GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Na cultura do cafeeiro no aspecto da adubação, destacam-se como manejos incorretos as adubações insuficientes e desequilibradas; negligência no uso de Ca, Mg e S devido à tendência de usar formulações concentradas (NPK); proporção dos elementos contidos nos fertilizantes formulados nem sempre é a mais conveniente; micronutrientes, principalmente a exemplo do, boro (B), zinco (Zn) e cobre (Cu) não são aplicados ou mal empregados; calagem quando não é feita é praticada de modo inadequado, insuficiente ou calcário de má qualidade (MALAVOLTA, 1986; GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1 FÓSFORO

O P faz parte do trifosfato de adenosina (ATP), gerado na respiração e na fotossíntese essa é a moeda com que o vegetal paga todos os processos em que há gasto de energia, tais como absorção de nutrientes e a síntese ou formação de proteínas. Sem o P não se pode falar em fotossíntese e respiração. O P é importante na floração e na frutificação, além de ajudar no desenvolvimento do sistema radicular (MALAVOLTA, 2002).

2.1.1 Origem, formas, assimilação e fixação no solo

O P do solo tem sua origem no mineral acessório chamado genericamente apatita, 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 - 440 kg ha⁻¹. Nos solos ácidos em que se faz calagem, elevando o pH e introduzindo mais Ca no meio, ocorrendo a formação de P/Ca e, talvez, de P/apatita. O P 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 adsorvida, também chamada “lábil” (MALAVOLTA, 2006).

Do ponto de vista do aproveitamento pelas plantas, o pH parece ser a variável com maior influência na disponibilidade. Sendo que em pH mais ácido (menor que 5,5) o P é fixado por óxidos de Fe, Al e Mn tornando o P indisponível para as plantas. O mesmo acontece quando o pH se torna alcalino (maior que 7,0) mas nessa situação, o P é fixado por óxidos de Ca (MALAVOLTA, 2006). Portanto deve-se manter o pH dos solos entre 5,5 e 6,5 para evitar a fixação do P.

A maior parte do P entra em contato com a raiz por difusão, exclusivamente, e é absorvido num processo “morro acima”. O mesmo se aplica, de modo geral para a absorção foliar (BARBER; OLSON, 1968 apud RAIJ, 1981).

Em solos muito ácidos (pH < 2,0) a principal espécie iônica absorvida é H₃PO₄, já em solos com o pH entre 2,0 e 7,0 o P é absorvido na forma de

H_2PO_4^- , e com o pH acima de 7,0 a maioria do P é absorvido na forma de HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , sendo a última absorvida em pH maior que 12,0 (FAQUIN, 2005).

O P absorvido e acumulado pelas células corticais da raiz é transferido radialmente até o xilema e via simplasto alcança a parte aérea, folha ou região de crescimento. O P, juntamente com o N, é o elemento mais redistribuído nas plantas, sendo o P fornecido às folhas e 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 (MALAVOLTA, 2006).

A fácil redistribuição do P tem várias conseqüências: (1) em condições de carência os sintomas vão aparecer em primeiro lugar em órgãos mais velhos dos quais os elementos migram para os mais novos; (2) parte da exigência para o crescimento e produção são satisfeitas pela mobilização das reservas de P (OLIVEIRA et al., 1982).

2.1.2 Papéis funcionais

Bieleski e Ferguson (1983) apud Malavolta (2006) classificam os compostos de P da célula vegetal em cinco grupos:

A) Fosfato inorgânico, PI: Solúvel em água, o mais importante dos compostos considerados isoladamente, é a forma que o P chega à célula.

B) Ésteres simples: Extraídos por solventes aquosos. Cerca de 50 foram identificados. “Juntos representam a maquinaria metabólica da célula”. Entre eles, os principais compostos são: 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%)

C) Fosfolipídeos: Solúveis nos solventes das gorduras como clorofórmio ou éter. Os fosfolipídeos são presentes nas membranas celulares. Os cloroplastos têm um sistema de membranas altamente desenvolvido (tilacóide) e representam 40% do total de fosfolipídeos das células fotossintéticas.

D) Ácido desoxiribonucléico (DNA): O DNA é uma macro molécula, responsável por carregar a informação genética da célula.

E) Ácido ribonucléico (RNA): Com estrutura semelhante às do DNA, 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 transladação da informação genética (via RNA mensageiro) e na síntese de proteína .

O principal papel do P na planta (e nos demais seres vivos) é armazenar e transferir energia. Quando se fornece à planta P marcado com o seu isótopo radioativo, ^{32}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).

2.1.3 Formação da colheita

Os papéis do P no processo global de formação da colheita se baseiam nas suas funções: componente dos lipídeos do plasmalema e do tonoplasto; passagem obrigatória dos nutrientes no processo de absorção, tanto na raiz quanto na folha; armazenamento de energia na fotossíntese e respiração; utilização da energia para reações de síntese de proteínas, FBN e outras; transferência dos caracteres genotípicos da planta com suas manifestações externas (fenótipo) que dependem do ambiente. A participação do P no processo de formação da colheita tem os seguintes aspectos principais: acelera a formação das raízes e é essencial para o seu funcionamento como apoio mecânico e órgão de absorção da água e de íons; aumenta o perfilhamento das gramíneas (junto com o N), cereais ou forrageiras; maior pegamento da florada (frutificação); regulador de maturação; mais viabilidade das sementes; maior teor de carboidratos, óleo, gordura e proteínas; essencial para a fixação biológica do nitrogênio (FBN); quando

deficiente causa menor vegetação e produção, qualidade e senescência precoce (MALAVOLTA, 2006).

2.1.4 Critérios para doses na adubação fosfatada

No caso do P as perdas são muito maiores que qualquer outro nutriente, devido a “fixação” do P, que deve se, ao elevado grau aos óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn, abundantes nos solos ácidos, e H elevado ligando-se ao Ca. O termo “retrogradação” é, reservado à insolubilização do P solúvel dos adubos que passa a fazer parte da fase lábil, passando para a solução do solo (MALAVOLTA, 2006).

2.1.5 Fontes de fertilizantes fosfatados

A matéria prima para a produção de adubos fosfatados é um mineral chamado, genericamente apatita, de origem ígnea, metamórfica ou sedimentar. No último caso tem-se fosfato natural “mole”, denominado “reativo” ou “fosforita” (LEHR et al., 1980 apud MALAVOLTA, 2006).

Os tipos de adubos fosfatados se diferenciam principalmente pela solubilidade em água. Entretanto, isso não é sinônimo de disponibilidade. É que devido às transformações que o P passa no solo, a planta não absorve o P presente no adubo aplicado, mas na forma resultante de tais transformações. Os principais adubos que fornecem P são Superfosfato Simples, Superfosfato Triplo, Termo fosfato, Escória de Thomas, Farinha de ossos, Fosfato Natural, Fosfato de Araxá, Nitrofosfato, DAP, MAP (OLIVEIRA et al., 1982).

2.1.6 Aplicações e respostas

Tanto em culturas temporárias, como perenes, quando o nível de P disponível for muito baixo e houver recursos disponíveis, pode ser feito um investimento através da adubação fosfatada corretiva, onde são usadas elevadas doses de P_2O_5 destinadas a aumentar os compartimentos deste

nutriente e criar uma alta concentração no solo. O adubo fosfatado, fosfato natural reativo, superfosfato simples ou termofosfato magnésiano é aplicado a lanço e incorporado com aração e gradagem tal como se faz na calagem (MALAVOLTA, 2006). Se os recursos não permitirem que se faça uma “caderneta de poupança”, torna-se necessária adubação com doses mais pesadas nas covas ou nos sulcos de plantio (LOBATO, 1982).

A aplicação do Superfosfato simples (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. A aplicação foliar, evitando-se a fixação, foi ainda mais eficiente. Apesar disso a adubação fosfatada foliar não é compensatória em decorrência das quantidades exigidas pelo cafeeiro (MALAVOLTA; NEPTUNE, 1977 apud MALAVOLTA, 2006).

Porém, no plantio das culturas perenes como o cafeeiro, 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^{-3} com SPS, mistura de SPS mais termofosfato ou mistura de SPS mais fosfato natural reativo (MALAVOLTA, 2006).

2.1.7 Exigência e teores na planta

A exigência do P em relação ao N e K é pequena, para a maioria dos vegetais, a exemplo o cafeeiro que na fase adulta da lavoura absorve pouco P, sendo sua maior absorção, proporcional entre os demais nutrientes, na fase jovem. A absorção de P também é maior na época chuvosa e na granação dos frutos (GUIMARÃES et al., 1998).

O P no cafeeiro, atua no sistema radicular, formação do lenho da planta e é também muito importante na granação os frutos. Os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g kg^{-1} de matéria seca da planta, considerando-se teores entre 1,0 a 1,5 g kg^{-1} como adequados para um crescimento normal das plantas. Plantas deficientes apresentam teores foliares menores do que 1,0 g kg^{-1} , enquanto acima de 3,0 g kg^{-1} podem-se observar sintomas de toxidez (MALAVOLTA, 1980; NOVAIS et al., 2007).

2.1.8 P na cafeicultura

Para o bom desenvolvimento das culturas são necessárias quantidades muito maiores de P do que aquelas que a cafeeiro retira. Solos das regiões tropicais “fixam” P no solo e requerem a aplicação de elevadas quantidades, porque apenas uma pequena parte das raízes ficam em contato com adubo, que se move pouco (LOPES et al., 1992). Análises foliares realizadas no Sul de Minas Gerais, em 1999, mostraram entre os macronutrientes, maior frequência da falta de P (62%), Mg (58%) e K (30%) (MATIELLO et al., 2005).

Várias literaturas são utilizadas pelos técnicos para prestarem assistência em campo, para recomendar doses de adubação, onde se destacam a 5ª aproximação de Minas Gerais no capítulo referente ao cafeeiro, escrito por Guimarães et al. (1999) e o Boletim Técnico 100 do IAC de São Paulo escrito por Rajj et al. (1996), literaturas que recomendam em uma única dose no máximo 80 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ respectivamente de P₂O₅. Porém, Guerra et al. (2007), concluíram que doses de P₂O₅ de 300 kg ha⁻¹ são as mais indicadas para solos de Minas Gerais, justificando que essas quantidades de P amenizam a bienalidade do cafeeiro devido maior fornecimento de energia para a planta (ATP).

O efeito do P depende da fonte (solubilidade e reação no solo). Geralmente plantas deficientes em P tendem a diminuir seus teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e F. Bregagnoli et al. (2009a) estudaram a utilização de Termofosfato e Superfosfato Simples como fonte de P em cafeeiros recepados, onde o último apresentou absorção mais imediata, quando comparado ao uso de Termofosfato, sugerindo que em caso de carência de P, deve-se dar preferência a fontes mais solúveis. Bregagnoli et al. (2009b) verificaram que doses de P₂O₅ entorno de 100 kg ha⁻¹, estimularam o desenvolvimento vegetativo de brotos de cafeeiros recém-recepados, demonstrando que mesmo com baixa atividade metabólica, a planta necessita de considerável quantidade de P.

2.1.8.1 Sintomas de deficiência de P em cafeeiros

O P é bastante móvel na planta, redistribuído com facilidade pelo floema, onde o elemento aparece principalmente como fosforil colina. Quando as plantas estão adequadamente nutridas em P, de 85 a 95% do P se encontra nos vacúolos. Ocorrendo deficiência, o P não metabolizado sai do vacúolo e é redistribuído para os órgão mais novos que cessa o crescimento quando acaba tal reserva. Devido a fácil redistribuição do P na planta, os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas folhas mais velhas (OLIVEIRA et al., 1982).

Os sintomas de deficiência do P são mais comuns em regiões altas e frias. Inicialmente ocorre perda de brilho as folhas, que em seguida mudam de cor na seguinte seqüência: amarelo brilhante, amarelo róseo vermelho escuro e marrom arroxeadado, na ponta e margem da folha. Em casos mais graves pode causar queda prematura das folhas, que pode ser total (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Quando se refere à qualidade dos frutos, plantas deficientes em P tem uma pior bebida (MALAVOLTA; VOLANTE NETO, 1991).

2.1.8.2 Sintomas de toxidez de P em cafeeiros

São raros os sintomas de excesso de P; contudo, plantas sensíveis podem manifestar sintomas em condições cuja concentração nas folhas seja superior ou igual a 3 g kg^{-1} . Nestas condições, ocorrem manchas vermelho-escuras nas folhas mais velhas. Deficiência de Zn em solos ricos em P pode provocar a absorção e acúmulo de P em excesso promovendo sintomas semelhantes aos da deficiência de Zn (MALAVOLTA, 2004 apud NOVAIS et al., 2007).

2.1.9 Principais interações do P com os outros nutrientes

O efeito do P depende da fonte (solubilidade e reação no solo). Geralmente, plantas deficientes em P tendem a diminuir seus teores foliares de

N, P, K, Ca, Mg e F. Altas doses de P, aumentam a concentração de N, P, Ca, Mg, B e Mo. E diminuem a concentração de K, Cu, Fe, Mn, Zn. O Al diminui a absorção de P, reduzindo o teor foliar. Ca em condições não excessivas aumenta o teor foliar de P, já o seu excesso diminui, o efeito pode estar relacionado com pH, formação de fosfatos de Ca insolúveis. O Mg também aumenta o teor de P absorvido (MALAVOLTA, 2006).

2.2 NITROGÊNIO

2.2.1 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).

2.2.1.1 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_4^+ ou NO_3^-). 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).

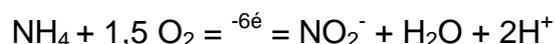
Os processos de mineralização e imobilização representam um subciclo dentro do ciclo do N no solo. A diferença entre os processos define a disponibilidade de N para as plantas (CANTARELLA, 2007).

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).

2.2.1.2 Nitrificação e Desnitrificação

Nitrificação é o processo de conversão do N amoniacal em nitrogênio N 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 NH_4^+ é convertido em NO_2^- .



na segunda etapa o NO_2^- é oxidado a NO_3^- :



Na desnitrificação o nitrato pode ser transformado em óxido nitroso (N_2O) ou N elementar (N_2) e perdidos para a atmosfera na forma de gás (LOPES, 1998). Microrganismos heterotróficos efetuam desnitrificação usando o NO_3^- como aceitador de N no lugar do O_2 . A desnitrificação ocorre com maior frequência em solos com menor taxa de 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 NH_4^+ para 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).

2.2.1.3 Fixação e Perdas

A fixação ocorre quando o N atmosférico combina-se com o H e O₂. 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⁻¹ano⁻¹ (LOPES, 1998).

A fixação natural é fornecida pelo calor gerado por relâmpagos que promove a reação do N com o O₂ do ar, formando eventualmente N-NO₃⁻. A chuva e a neve adicionam de 5 a 10 Kg ha⁻¹ ano⁻¹. 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 NH₃ (0 – 40% do N aplicado), desnitrificação (0 – 30% do N aplicado), além perdas por exportação pela colheita e perdas irreversíveis por erosão (MALAVOLTA 2006).

2.2.2 Absorção Transporte e Redistribuição

O N pode ser absorvido pela forma gasosa (N₂), através da fixação biológica; pelo NH₄⁺ oriundo da mineralização da matéria orgânica e adubos nitrogenados; diretamente pela Uréia (CO (NH₂)₂), NH₄⁺ ou após o desdobramento pela uréase (NH₃ e CO₂); 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 NO₃⁻ (nitrato) é reduzido a NO₂⁻ (nitrito), por conta da enzima redutase do nitrato. O nitrito é reduzido à amônia pela

reductase do nitrito. Reduzido, o N na forma de NO_3^- 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 NH_4^+ é diretamente assimilado nos tecidos das raízes e transportado como aminoácidos (MALAVOLTA 1980).

2.2.3 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).

2.2.4 As fontes de N

Segundo Sengik, (2005) em cada hectare podem existir toneladas de nitrogênio no ar do solo que, para serem aproveitados pelas plantas, precisam ser transformadas de N gasoso para amônio ou nitrato. A fixação do N pelos relâmpagos enriquecem de N as águas das chuvas. A fixação pelos organismos do solo e pelos nódulos de bactérias das leguminosas enriquece o solo em nitrogênio. A fixação industrial fornece os milhões de toneladas de adubos nitrogenados que são as fontes mais utilizadas.

A escolha de uma fonte de adubo nitrogenado deve se basear em fatores como preço, disponibilidade, cultura, época, modo de aplicação e manejo da cultura. Na escolha entre uma fonte orgânica ou mineral, jamais se deve esquecer que para a planta um quilo de N é um quilo de N, não importa a fonte do nutriente, isto é, se orgânica ou mineral. São fontes de N: chuvas (2 a 20 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$); Fixação simbiótica (50 a 300 $\text{kg há}^{-1} \text{ano}^{-1}$); Fixação livre (10 a 50 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$); Restos culturais (10 a 60 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$); esterco de boi (0,6%); esterco de frango (1,7%); esterco de cavalo (0,7%) e adubos químicos

como a Uréia (45% de N), Sulfato de Amônia (20%), Nitrato de Cálcio (33%), Nitrato de Amônia (35,5%)(SENGIK, 2005).

A quantidade de N aplicada em gramíneas forrageiras pode ser bastante elevada, isto é, acima de 400 kg ha⁻¹. Aplicações de 50 Kg ha⁻¹ em nossa região, tem apresentado pouco efeito. As respostas à aplicação de N são visíveis mas não se deve esquecer dos aspectos econômicos, das perdas elevadas em função do solo, do manejo das fontes aplicadas e do aproveitamento da forragem produzida. Para o milho pode ser feita a aplicação de 20 Kg na semeadura e até 150 Kg em cobertura com respostas econômicas

2.2.5 Nitrogênio na Cafeicultura

Este nutriente é altamente exigido pelo cafeeiro, e quando aplicado adequadamente, promove o 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 g.Kg⁻¹); de março a abril (2,7 - 3,2 g.Kg⁻¹); de maio a junho (2,8 – 3,1 g.Kg⁻¹); de julho a agosto (2,6 – 2,9 g.Kg⁻¹) e; de setembro a dezembro (2,8 – 3,2 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 esta abaixo de 3,5 g.Kg⁻¹ as plantas reduzem à quantidade de cloroplastos, em conseqüência a falta de clorofila, diminuindo o processo de fotossíntese e causando menor conversão de C, O₂, 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 são comumente encontradas. 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). Na falta de N ou P para as plantas há redução dos teores de ambos na parte aérea (LOPES, 1998).

Quando deficientes os sintomas aparecem em folhas mais velhas, ocorrendo perda de brilho e amarelecimento, principalmente nos períodos 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).

2.3 POTÁSSIO

2.3.1 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 montimorilonita; (c) K trocável, facilmente extraível por um sal neutro, como acetato de amônia e; (d) pequena quantidade solúvel presente na solução do solo (RITCHEY, 1982).

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).

2.3.1.1 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 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).

2.3.1.2 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).

2.3.1.3 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.

2.3.2 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 (FAQUIM, 2005).

2.3.3 Fatores que Influenciam a Absorção de Potássio

2.3.3.1 Lixiviação

As perdas de K por lixiviação são 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).

2.3.3.2 Quantidades e Tipos de Minerais de Argila

Segundo à Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato (1990) 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. Solos arenosos e caulíníticos 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 caulínítico.

A passagem do K da forma trocável para a não trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (ROSOLEM et al., 2006). A energia de retenção dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} nos colóides do solo segue uma série denominada liotrófica, resultando na maior lixiviação de K em solos bem drenados, principalmente em solos com menor

CTC (RAIJ, 1991), característica de grande parte da região de Cerrado do Brasil.

2.3.3.3 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 (POTAFOS, 1990).

A toxicidade 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).

Segundo Ritchey (1982) 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.

2.3.3.4 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).

2.3.3.5 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).

2.3.4 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).

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). 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 (LOPES,1998).

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 sua participação na ativação de enzimas e o envolvimento deste nutriente na produção de ATP é mais importante do que no seu envolvimento na atividade estomatal (MALAVOLTA et al., 1997).

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).

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).

As enzimas atuam como catalisador 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 são influenciadas 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).

2.3.5. As fontes de K

A palavra potássio, em inglês *POTASH* significa cinza de pote. As cinzas eram utilizadas como matéria prima para a obtenção de adubos potássicos. A cinza da palha de café pode possuir 18% de K_2O e a de torta de algodão 26% de K_2O . Portanto as cinzas são boas fontes de potássio. A fonte mineral comercial de potássio mais usada é o cloreto de potássio (KCl) com 60% de K_2O . Há outras fontes como o K_2SO_4 com 50% de K_2O , $K_2 \cdot 2MgSO_4$ com 40 % de K_2O e o nitrato de potássio (KNO_3) com 46% de K_2O (SENGIK, 2005).

2.3.6 Potássio na Cafeicultura

A exigência do K aumenta com a idade e 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, ocorre 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 favorecendo 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).

2.4 CÁLCIO

2.4.1 Aspectos gerais

Nas plantas os teores de Ca variam de 5 a 80 g kg⁻¹ da massa seca, considerando-se concentrações entre 10 e 50 g kg⁻¹ como adequadas para um crescimento normal das plantas. Em casos de deficiência apresentam teores foliares menores de 4 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 2002).

O Ca é um elemento vegetativo, mais abundante nas raízes, folhas e ramos, que nos frutos ou sementes. Sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais novas e várias espécies mostram sintomas no fruto (MALAVOLTA, 2006).

As dicotiledôneas apresentam maior CTC (Capacidade de troca de cátions) na parede celular sob condições de menor suprimento de Ca mais de 50% do Ca total está ligado aos pectatos. A superfície externa do plasmalena é

um local de acúmulo de Ca, devido ao seu papel na manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares (FAQUIM, 2005).

2.4.2 Formas e transformações no solo

Macronutriente secundário, o Ca é o quinto elemento em abundância na litosfera, constituindo-se 3,6% da crosta terrestre. Encontrado na calcita, gesso, conchas de ostras e corais. Os minerais primários mais importantes são a anortita, que contém entre 70 e 140 g Kg⁻¹ de Ca e piroxênios com 90 a 160 g Kg⁻¹ de Ca. Presente também em apatitas, compostos isomorfos de Ca₅(PO₄)₃Fe e Ca₅(PO₄)₃Cl, em fosfatos como o fosfato monocálcio (Ca(H₂PO₄)₂), o dicálcio (CaHPO₄) e o ortofosfato de Ca (Ca₄H(PO₄)₃), que existem principalmente em solos calcários e solos com altos valores de pH. Minerais de argila como illita, vermiculita e montmorilonita, têm na sua constituição baixos teores de Ca (FASSBENDER, 1994 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O Ca é o cátion predominante no complexo de troca, exceto em solos extremamente ácidos onde cede lugar para o Al. A saturação “ideal” por bases seria 65% de Ca, 10% de Mg e 5% de K. A regra geral é simples, Ca alto está associado com Al baixo e Ca baixo consiste com Al alto (CAMBERTO; PAN, 1999, apud MALAVOLTA, 2006). A textura do solo, quantidade de matéria orgânica, lixiviação e remoção pela cultura podem influenciar a disponibilidade no solo (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.4.3 As fontes de Ca

As principais fontes de Ca são os minerais do solo, de maneira geral, solos argilosos são ricos em Ca disponível, por serem formados por rochas ricas em minerais com alto teor de Ca. Os calcários, originados de rochas moídas, são utilizados como corretivos de acidez do solo, são fontes de Ca. O gesso agrícola, não possui valor neutralizante, mas pode ser utilizado como fonte de Ca e S. O uso de fertilizantes como superfosfato simples (18% Ca⁺⁺),

superfosfato triplo (10% Ca^{++}), termofosfato (20% Ca^{++}), fosfatos naturais (28% Ca^{++}), fosmag (18% Ca^{++}), cloreto de cálcio (25% Ca^{++}) também são fontes de Ca para as plantas (SENGIK,2005)

2.4.4 Absorção

A absorção de Ca em contato com a raiz se faz essencialmente, por fluxo de massa, necessitando de maior umidade no solo. Existem dúvidas se a absorção do Ca é dependente do metabolismo ou ativa, sabe-se que a absorção passiva ou ativa depende da concentração externa (MALAVOLTA, 2006).

Na solução do solo é absorvido pelas raízes como Ca^{2+} , com baixa taxa de absorção, por ser absorvido apenas pelas extremidades das radículas radiculares, onde as paredes celulares da endoderme não foram ainda suberizadas. A presença de outros cátions em altas concentrações, como o K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+ , diminuem competitivamente a absorção de Ca^{2+} (FAQUIM, 2005).

Relatam-se duas formas pelas quais o Ca pode ser absorvido pelas raízes, o íon Ca^{+2} na solução do solo (ou nutritiva) e o cálcio quelatizado da solução do solo (KIRKBY, 1984 apud MALAVOLTA, 2006).

A maior parte do Ca no tecido vegetal encontra-se sob formas não-solúveis em água, como o pectato de Ca, o principal componente da lamela média da parede celular, e sais cálcicos de baixa solubilidade, como carbonatos, sulfatos, fosfatos, silicato, citrato, malato e oxalato (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Principais fatores externos que influenciam a absorção são: (A) concentração externa – a curva que decresce a velocidade de absorção em função da concentração externa é a hipérbole equilátera correspondente à equação de Michaelis-Menten; (B) outros íons: concentrações altas de NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} , Al^{+3} , Mn^{+2} diminuem a quantidade absorvida podendo provocar deficiência; (C) íon acompanhante - a absorção segue a ordem decrescente $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$; (D) temperatura - pouco efeito direto, maior indireto devido ao aumento na transpiração, o que prejudica o abastecimento de cálcio para os órgãos que transpiram mais. Além destes, há a influência de gênero, espécies

e variedades refletindo em exigências maiores (dicotiledôneas) ou menores (monocotiledôneas) (MALAVOLTA, 2006).

2.4.5 Transporte

Quando o Ca é aplicado nas folhas é normalmente imóvel, mas pode ser mobilizado mediante saturação de sítios de adsorção por novas quantidades do nutriente, de outros cátions divalentes ou quelatização. O movimento no xilema constitui um fluxo reverso de acordo com gradientes do potencial da água (MALAVOLTA, 2006).

O transporte do Ca ocorre via xilema e em parte no floema, depois de transportado para as folhas se torna imóvel (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O movimento no xilema é acropétalo, isto é, unidirecional via corrente transpiratória das raízes para a parte aérea, muito pouco caminhado na direção contrária para as raízes. O transporte do Ca no xilema se dá por troca iônica, muito importante para o movimento ascendente na planta e é deslocado dos sítios de trocas por outros cátions. Adsorvido a sítios com carga negativa no interior ou nas paredes celulares, sendo o transporte via floema limitado (FAQUIM, 2005; CLARK, 1984 apud MALAVOLTA, 2006).

2.4.6 Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso

A taxa de redistribuição do Ca é muito pequena devido sua concentração no floema ser muito baixa. A maior parte no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis em água, representadas por pectatos de cálcio e sais cálcicos de baixa solubilidade tais como carbonato, sulfato, fosfato, silicato, citrato, malato e oxalato. A baixa solubilidade e a baixa concentração explicam em parte, a pequena redistribuição do elemento em condições de carência, o que provoca o aparecimento de sintomas em órgãos e partes mais novas, gemas e pontas de raízes (FAQUIM, 2005).

A baixa redistribuição do Ca, com imobilidade no floema, se deve predominantemente em muitas espécies de plantas, por formas insolúveis em

água, como o pectato da lamela média da parede celular. O Ca pode ser transportado lateralmente para fora do xilema formando cristais insolúveis de oxalato, nos tubos de seiva há deposição de Ca como oxalato ou fosfato, restringindo a redistribuição. Em um sintoma maior da deficiência o Ca está envolvido na morte celular programada (MCP), resultando em desorganização de funções críticas como a permeabilidade seletiva da membrana, com a não operação dos mecanismos de sinalização em que opera como mensageiro (MALAVOLTA, 2006).

Como o Ca é imóvel na planta, esta exige um suprimento constante do elemento o que é feito mais eficientemente pelo solo. Quando o suprimento não for adequado, os sintomas de deficiência se expressam nos pontos de crescimento da parte aérea, raiz e em frutos em desenvolvimento. As regiões com maior expansão celular na planta são as mais afetadas pela deficiência. Os sintomas podem apresentar-se como deformações nas folhas novas, clorose ou queimadura de uma região limitada nas margens destas folhas, morte das gemas apicais e extremidades das raízes (FAQUIM, 2005).

Sintoma comum de deficiência é o pequeno crescimento das raízes, que se tornam escuras e morrem. Como o Ca não se retransloca na planta, as folhas jovens e outros tecidos novos desenvolvem sintomas. Os tecidos novos precisam de Ca para formação da parede celular; portanto, a deficiência caracteriza-se por a planta apresentar as nervuras das folhas e os pontos de crescimento de forma gelatinosa. Em casos severos, os pontos de crescimento morrem (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Se a concentração de Ca no xilema for baixa ou a taxa de transpiração do fruto pequena, como ocorre sob condições de baixa umidade no solo, ocorre uma competição pelo Ca entre as folhas, que transpiram mais e assim um inadequado nível do nutriente atinge os frutos, resultando em sintomas de deficiência (FAQUIM, 2005).

Não existem relatos de toxidez em plantas, o que se deve, provavelmente, ao fato de ser o excesso de Ca, pela sua baixa mobilidade, armazenado no vacúolo das células (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

2.4.7 Funções

Os íons de Ca protegem a planta do excesso de H, e em ambientes salinos naturais ou provocados pelo adubo, como excesso de Na e Al. Caso essa função protetora fosse eliminada, a exigência da planta seria tão pequena que o elemento passaria para a lista de micronutrientes (RAINS, 1976 apud MALAVOLTA, 2006).

Elemento essencial para o crescimento de meristemas e, particularmente, para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares, componente da lamela média como função cimentante (pectato de Ca). A fração principal de Ca está nas paredes celulares, vacúolos e organelas, como sais de ácidos orgânicos, fosfato ou filato, esta fração pode ser especialmente alta em plantas que sintetizam o oxalato de Ca, produto insolúvel que se deposita no vacúolo, exercendo provavelmente, função antitóxica (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Requerido para o alongamento e divisão celular, refletindo drasticamente no crescimento radicular, sendo que na ausência do suprimento exógeno de Ca, o crescimento radicular cessa em poucas horas. O Ca é indispensável para a germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, o que se deve ao seu papel na síntese da parede celular ou ao funcionamento da plasmalema (FAQUIM, 2005).

O Ca influi indiretamente no rendimento das culturas, ao melhorar as condições de crescimento das raízes, bem como por estimular a atividade microbiana, auxiliar na disponibilidade do Mo e na absorção de outros nutrientes, além de ajudar a reduzir o NO_3^- na planta. É requerido em grandes quantidades pelas bactérias fixadoras de N_2 (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O Ca exerce na planta três tipos de funções, estrutural, regulador enzimático e de mensageiro secundário. É essencial para manter a integridade estrutural e funcional das membranas e da parede celular. Em caso de deficiência as membranas permitem o vazamento do conteúdo citoplasmático com a compartimentação celular comprometida, afetando a ligação do Ca com a pectina da parede celular. O pectato de Ca da lamela média cimenta uma célula a outra, sendo depositado durante a citocinese. Assim, quando as

células crescem aumenta a superfície de contato entre elas, crescendo a necessidade de Ca (RAINS, 1976 apud MALAVOLTA, 2006).

O Ca exerce a função de impedir danos à membrana celular, evitando a saída de substâncias intracelulares, exercendo papel estrutural ao manter a integridade da membrana citoplasmática. O íon Ca desempenha papel importante no desenvolvimento vegetal e regulação metabólica; o íon Ca livre atua como um regulador intracelular de numerosos processos bioquímicos e fisiológicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A concentração do Ca no citoplasma e nos cloroplastos é baixa, a manutenção desta concentração é de vital importância para a célula da planta. Inibe a atividade de várias enzimas localizadas no citoplasma, prevenindo a precipitação do fosfato inorgânico como fosfato de Ca e a competição com o Mg por sítios de ligação. A mais importante função do Ca citoplasmático é a sua participação na forma ativa da coenzima calmodulina (conformação ativa adquirida quando ligada a quatro átomos de Ca), que é exigida para a atividade de uma série de enzimas como a fosfolipase, nucleotídeo fosfodiesterase, NDA-quinase, ATP-ase-Ca de membranas (FAQUIM, 2005).

Estímulos externos (luz, gravidade, mecânicos) e internos (hormônios) são mensagens conduzidas pelo Ca como mensageiro secundário e atuam sobre os mecanismos transportadores de Ca dentro da célula, modificando o seu nível no citoplasma. Quando a célula “percebe” a mensagem o Ca é descarregado de seus reservatórios, como o apoplasto, mitocôndrias e retículo endoplasmático no citosol. O aumento na concentração de Ca no citosol ativa as calmodulinas que ativam numerosas enzimas, o que leva a uma resposta por parte da planta. A calmodulina ativa também a Ca-ATPase que bombeia Ca de volta aos reservatórios. Com isso cai o Ca no citosol e diminui a ativação enzimática efetuada pela calmodulina (MALAVOLTA, 2006).

As anexinas são uma família de pelo menos 12 proteínas que se ligam a fosfolipídeos tendo o Ca como “ponte”. Sabe-se que as anexinas são multifuncionais e desempenham papéis em vários processos celulares essenciais, como movimentos através das membranas, atividade de canais da membrana, metabolismo de fosfolipídeos, mitose e replicação do DNA (CLARK; ROUX, 1995 apud MALAVOLTA, 2006).

2.4.8 Formação da colheita

Alguns dos efeitos da deficiência de Ca levando à senescência precoce (não à morte programada), são caracterizadas pela desorganização da membrana e da parede celular, não funcionamento das calmodulinas e produção maior de etileno (MALAVOLTA, 1994).

2.4.9 Cálcio em cafeeiros

O Ca no cafeeiro influi na estrutura da planta (ramagem) e no sistema radicular, podendo causar morte de gemas terminais (ponteiros) muitas vezes associada à carência de B (MATIELLO et al., 2005).

Nas raízes, caules e ramos do cafeeiro as quantidades de Ca são da mesma ordem que o K, e de uma forma geral, é o elemento mais abundante na planta depois do K (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A deficiência de Ca é difícil de ser observada em campo, ocorrendo com maior frequência em solos ácidos, associada à toxidez de Al e Mn, em períodos secos, situações comuns nas áreas de cerrado e zonas de solos desgastados. Sintomas aparecem nas folhas novas (baixa mobilidade), permanecendo o centro da folha mais verde, a coloração amarela passa a branquicenta e atinge toda a folha, ficando a nervura central ainda verde. Em períodos secos podem ocorrer pequenos pontos necróticos nas folhas novas, a seca de ramo (die back), desfolhas e morte de extremidade de raízes. O nível foliar adequado situa-se em 1,0 a 1,5% (MATIELLO et al., 2005).

Cátion predominante no complexo de troca e é o maior contribuinte para a CTC (capacidade de troca catiônica). Em solos cafeeiros de Minas Gerais existe correlação muito estreita entre Ca no solo e produtividade (60% de Ca na CTC) (MALAVOLTA, 1993).

Elemento pouco móvel na planta, no cafeeiro necessita de suprimento constante via solo, afim de serem atendidas as deficiências. Absorção diminuída por altas concentrações de K e Mg no meio, e de menor importância o $N-NH_4^+$. Depois de localizado nas folhas se torna muito imóvel podendo ser redistribuído somente em condições especiais (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Através de levantamentos de fertilidade, concluíram que os solos cafeeiros de Minas Gerais são geralmente ácidos por apresentarem pH (H₂O) menor que 6,0-6,5; V% (saturação de bases) menor que 70,0; baixos teores de Ca e Mg e; altos teores de Al. Várias causas contribuem para que os solos sejam ou se tornem ácidos, como lixiviação de bases (Ca, Mg e em menor grau K) ao longo dos anos, que são substituídos por íons H⁺ e Al³⁺, os quais em parte passam para a solução do solo. No processo de absorção a raiz “troca” cátions da solução do solo (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) por íons H⁺ (MALAVOLTA, 1993).

Os pontos de crescimento de raízes e caules são particularmente vulneráveis à deficiência de Ca, que é pouco translocado das folhas mais velhas para as mais novas. Por essa razão, a deficiência de Ca promove a morte da célula e o sintoma de deficiência se manifesta, primeiramente, nas folhas mais novas do cafeeiro (PREZOTTI, 2001).

Nutriente importante no crescimento e desenvolvimento das raízes, retenção de folhas, desenvolvimento das gemas, maturação dos frutos e na formação de proteínas. Sintomas de deficiência no cafeeiro são caracterizados por raízes mal desenvolvidas e ineficientes para a absorção de água e minerais; clorose nas margens das folhas jovens (pouca mobilidade na planta) e em casos extremos, morte da gema terminal em plantas jovens (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.5 MAGNÉSIO (Mg)

2.5.1 Aspectos gerais

O Mg é um macronutriente secundário, componente da estrutura de minerais de argila (ilita, vermiculita e montmorilonita), tem sua origem primária em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Quanto mais intemperizado for o solo, menor a ocorrência destes minerais, até que reste somente o Mg trocável adsorvido aos colóides e componentes da matéria orgânica. A forma trocável e na solução são as consideradas disponíveis às plantas (FAQUIM, 2005).

A clorofila possui 2,7% de Mg, o que dá em média, entre 10 e 30 mg 100g⁻¹ por folha. O conteúdo da clorofila corresponde a 10% de Mg total das partes verdes da planta (PAPENBROCK, 2000 apud MALAVOLTA, 2006).

As exigências das culturas em Mg são relativamente baixas. É um nutriente normalmente pouco utilizado em adubações, na maioria em calagens, existem poucos dados de respostas de culturas ao Mg. Contudo, as deficiências têm ocorrido com certa frequência em solos ácidos, sendo agravados em culturas que recebem aplicações elevadas de K (FAQUIM, 2005).

Nas plantas, os teores de Mg variam de 1 a 10 g kg⁻¹ de matéria seca da planta, considerando-se teores entre 3 e 5 g kg⁻¹ como adequados para um crescimento normal das plantas. As plantas deficientes apresentam teores foliares menores de 3 g kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1989; FURLANI, 2004 apud DECHEN; NACHTIGALL 2007).

2.5.2 Magnésio no solo

O Mg é o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre, com teor médio de 19,3 g kg⁻¹, variando segundo a origem geológica do solo. No solo encontra-se nas formas não-trocável, trocável e solução do solo. Na forma não-trocável é encontrado principalmente em minerais secundários, como a biotita, augita, horblenda, olivina, serpentina, clorita, montmorilonita, ilita, vermiculita e nos carbonatos minerais, como dolomita e magnesita (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A reciclagem do Mg na serrapilheira ou restos vegetais não significa uma adição líquida, mas uma contribuição para a manutenção do nível do elemento no solo. Naturalmente, a adição na camada superficial ocorre quando as raízes exploram camadas mais profundas do perfil e levam o Mg para a parte aérea, da qual os elementos passam à superfície (MALAVOLTA, 2006).

O Mg representa 95% das bases do complexo de troca. Os cátions alcalino-terrosos, como Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺, têm menor mobilidade no solo que os alcalinos (K⁺ e Na⁺). O Mg é deslocado mais facilmente que o Ca (MALAVOLTA, 2006).

2.5.3 As fontes de Mg

A correção dos níveis de Mg trocável no solo ocorre sempre pela aplicação de calcário para a correção da acidez dos solos, pois os calcários, de modo geral, possuem Mg, principalmente se for aplicado calcário dolomítico ou magnesiano. Mas sua deficiência pode ser corrigida pela aplicação de sulfato de Mg, sulfato duplo de K e Mg, fosmag e termofosfato magnesiano (SENGIK, 2005)

2.5.4 Absorção

As plantas absorvem o Mg da solução do solo na forma de Mg^{2+} . A taxa de absorção do Mg é baixa, reduzida por altas concentrações de K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ , devido a inibição competitiva, podendo levar a deficiência do elemento nas plantas (FAQUIM, 2005; DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As folhas ou raízes diminuem a absorção quando ocorrem altas concentrações de K, Ca, H e Al. A travessia da membrana é intermediada por ionóforos, moléculas orgânicas com peso molecular entre 200 e 2000 que são capazes de formar complexos com cátions polares solúveis em lipídeos (eniatina, valinomicina, nigericina, gramidicina A) (MENGEL; KIRKBY, 1987 apud MALAVOLTA, 2006).

A absorção de todos nutrientes dependem do teor trocável (na solução do solo); dos teores de K, Ca e Al e; do teor de umidade no solo, visto que o processo de contato do Mg com a raiz é fluxo de massa (MALAVOLTA, 2006).

2.5.5 Transporte

O transporte a longa distância se dá na mesma forma em que é absorvido, junto com o K e Ca na corrente transpiratória. No xilema também pode haver competição entre os três elementos (MALAVOLTA, 2006).

Das raízes para a parte aérea o transporte do Mg ocorre pelo xilema via corrente transpiratória, basicamente na forma como foi absorvido Mg^{2+} , que é móvel no floema (FAQUIM, 2005).

2.5.6 Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso

A maior parte do Mg na planta encontra-se na forma difusível que é facilmente redistribuído nas plantas. Redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas ou para as regiões de crescimento, manifestando-se sintomas de deficiência nas folhas mais velhas, como uma clorose internerval típica, denunciando menos clorofila (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006).

De modo geral, a fração solúvel do Mg em água é maior que a do Ca. Cerca de 70% do Mg total é difusível e está associado com ânions minerais ou orgânicos que podem ser difusíveis (oxalato, pectato). Nos grãos dos cereais acumula-se sal magnésiano do ácido fítico, que é a forma de armazenamento do P (MALAVOLTA, 2006).

No xilema e floema é bastante móvel, com transporte e redistribuição na forma iônica. A deficiência é caracterizada pela ocorrência de clorose entre as nervuras, que progride em intensidade, em estágio adiantado forma um “V” verde, invertido em relação ao pecíolo. A deficiência induz a redução da produção e alternância de safras em plantas perenes, com a queda de folhas. Nas plantas deficientes, diminui o tamanho dos frutos, a acidez total e o teor de vitamina C. Relatos sobre toxidez de Mg em plantas são inexistentes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A mobilidade do Mg aplicado às folhas na direção de outros órgãos é baixa, não sendo a mesma para todas as espécies o que talvez seja consequência da maior ou menor proporção de Mg solúvel em água no tecido (MALAVOLTA, 2006).

2.5.7 Funções

No metabolismo das plantas é essencial, que mais de 70% do Mg difunde-se livremente na suspensão celular, bem como associado a

componentes carregados negativamente, tais como proteínas e nucleotídeos por meio de ligações iônicas. Provavelmente, grande quantidade está ligada a polifosfatos, como o Mg-ATP (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As enzimas ativadas pelo Mg são na maioria fosforilativas (incorporação ou transferência de Pi), dependente da presença do Mg que forma uma ponte entre o ATP ou ADP e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois componentes é fundamental nos processos da fotossíntese (fases luminosa e escura), respiração (glicólise e ciclo dos ácidos tricarboxílicos), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz. Em algumas das reações de transferência o Mg pode ser substituído, ainda que menos eficientemente pelo Mn e outros cátions (MALAVOLTA, 2006).

O Mg ativa mais enzimas que qualquer outro elemento na planta, atuando como co-fator de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP OU ADP e a molécula da enzima (FAQUIM, 2005).

A absorção do H_2PO_4^- é máxima na presença do Mg^{2+} , esse papel de “carregador do fósforo” se explica pela sua participação na ativação de ATPase da membrana implicadas na absorção iônica e na própria geração do ATP na fotossíntese e na respiração. A falta de Mg inibe a fixação do CO_2 , pois é exigido em reações de fotofosforilação e em outras de fase escura do processo (carboxilase de ribulose de fosfato, por ex.) (MALAVOLTA, 2006).

O substrato para ATPases é o Mg-ATP, sendo que a máxima atividade de ATPases necessita da presença do K. A síntese da ATP pelo processo da fosforilação ($\text{ADP} + \text{Pi} = \text{ATP}$), tem essencial requerimento de Mg para ligação entre o ADP e a enzima. Isto explica a alta concentração de Mg nos cloroplastos e nas mitocôndrias, onde ocorrem as reações de síntese de ATP pela fotofosforilação e fosforilação oxidativa. Outras enzimas importantes são as desidrogenases e a enolase ativas pelo Mg. A atividade da RuBP carboxilase depende de Mg e da elevação do pH do estroma dos cloroplastos para 7,5-8,0. O efeito favorável do Mg sobre a assimilação do CO_2 e processos relacionados, como a produção de açúcar e do amido, são provavelmente consequência da ativação da RuBP carboxilase (FAQUIM, 2005).

O Mg tem relação com o transporte de P e carboidratos nas plantas, sua presença aumenta a absorção de P. Concentra-se mais nas folhas acumulando-se também nas partes em crescimento do caule e raízes (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Plantas deficientes em Mg, a relação de N-protéico/N-não protéico decresce. O Mg parece estabilizar a configuração das partículas do ribossomo necessária para a síntese protéica. A ativação e a transferência dos aminoácidos para formar a cadeia polipeptídica necessitam de Mg. Outra enzima importante no metabolismo do N, a síntese do glutamato (GS), que atua na via de assimilação da NH_3 , também é ativada pelo Mg nos cloroplastos (FAQUIM, 2005).

2.5.8 Formação da colheita

Os processos em que está envolvido o Mg, tornam evidente sua participação na formação da colheita. Como a absorção do H_2PO_4^- é atividade da ATPase membrana, como a absorção de todos os elementos, macro e micronutrientes; fotossíntese que atua constantemente sobre a vegetação, sinônimo da vida das plantas e dos animais, fonte de energia renovável (biomassa, álcool); interação positiva com o P, resultando em armazenamento e transferência de energia (MALAVOLTA, 2006).

2.5.9 Magnésio no cafeeiro

O Mg no cafeeiro participa da formação da clorofila e do metabolismo energético da planta. Deficiências estão associadas a solos ácidos (sem calagem) e em situações que provocam desequilíbrio, como excesso de K ou calcário calcítico. São mais frequentes em variedades precoces e de maturação igualada e em ramos com boa carga de frutos. Sintomas aparecem nitidamente nas folhas velhas, com amarelecimento na área entre as nervuras secundárias, que permanecem verdes, o amarelecimento internerval evolui para a cor alaranjada e até castanha, forte desfolha e pode ocorrer seca de

ramos laterais. No caso de grande deficiência ou em períodos de estiagem, as folhas apresentam pontuações escuras (visíveis contra a luz) que coalescem e formam manchas negras (MATIELLO et al., 2005).

Os sintomas de deficiência, inicialmente, se manifestam nas folhas maduras completamente expandidas, caracterizam-se por cloroses internervais que se expandem gradualmente na direção das margens das folhas. Em deficiência grave se manifesta também nas folhas mais novas, aparecem necroses nas pontas das folhas, e podem causar quedas. O primeiro sinal característico da deficiência de Mg é o aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras da folha do cafeeiro, sintomas semelhantes em *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* (GUIMARÃES; MENDES, 1997; PREZOTTI, 2001).

No cafeeiro, a deficiência de Mg induzida pelo excesso de K, é bastante comum devido à exigência em K e utilizando formulações ricas nesse elemento. Em solos ácidos, além da pobreza natural, a absorção de Mg é diminuída pela presença de H e Al (FAQUIM, 2005).

Os teores adequados nas folhas variam de 0,35 a 0,50%. Alguns autores consideram ideal de 0,30 a 0,40% e outros entre 0,40 a 0,50%, objetivando uma relação mais estreita com o Ca (3:1) em cafeeiros mais sensíveis ao Mg, como o Acaia e alguns Icatu (MATIELLO et al., 2005).

O cafeeiro tem quatro vezes mais Ca que Mg, no fruto a relação é de 1:1. O Mg na planta é móvel, com as carências aparecendo nas folhas velhas e adjacentes a frutos cereja. A seca diminui a absorção e acentua a deficiência, acontecendo mais comumente em solos ácidos ou pelo antagonismo com o K (a relação K/Mg no solo, acima de 10/1 induz a carência de Mg). O uso contínuo de adubos acidificadores do solo podem facilitar a lavagem do Mg e Ca (GUIMARÃES; MENDES; 1997).

A relação Ca/Mg no solo ótima para o cafeeiro é 2 a 4, especificamente para o arábica a relação Mg/K é 2,2; De forma geral Mg/k entre 3 e 4 parece favorável a maioria das culturas. Os limites inferiores e superiores da relação Ca+Mg/K para o cafeeiro arábica é de 9 a 44 até 53 (23,5= resposta provável ao K) (BOYER, 1978 apud MALAVOLTA, 2006).

O Mg é mais abundante nos tecidos novos, translocados essencialmente pelo floema, em vias de crescimento e nos órgãos

reprodutores como as flores e os grãos. Analisando o lenho, folhas e flores de ramos de cafeeiro Catuaí, verificou-se que as flores apresentavam 50% do total do Mg contido nas três partes (MALAVOLTA, 2006).

2.6.ENXOFRE (S)

O S deixou de ser um elemento renegado no Brasil, a partir de 1950 quando Euripedes Malavolta escreveu sua tese de livre Docência na ESALQ-USP, inspirada na visão de José de Mello Moraes, Catedrático de Química Agrícola e Diretor da ESALQ. Foram feitas as primeiras análises sistemáticas de S nos solos e nas plantas e estudados outros aspectos como, por exemplo, o efeito do ácido sulfúrico produzido no solo por oxidação microbiana do S elementar na solubilização da apatita (MALAVOLTA, 2006).

2.6.1 Origem e formas do S

Estima-se que o S é o 9º elemento mais abundante no planeta. O S nativo ou livre encontra-se principalmente em depósitos vulcânicos sedimentares. O S está nos solos nas formas inorgânicas e orgânicas. Na solução do solo, o S está presente como íon sulfato (SO_4^{-2}). As formas mais comuns de S nas rochas são sulfetos metálicos (Fe, Pb, Mn, Ni, Cu) contidos nas plutônicas. Com a intemperização ocorre a oxidação dos sulfetos a sulfatos, ocasionado pela atividade microbiana. Nas regiões áridas o S pode ser concentrado como sais solúveis e insolúveis de Ca e Na ou reduzidos a sulfeto e sulfito. Com muita chuva pode haver lixiviação e condução até sedimentos marinhos (RICHE, 1960 apud MALAVOLTA, 2006).

Na atmosfera o S aparece como dióxidos de enxofre (SO_2) ácido sulfúrico (H_2SO_4), gás sulfídrico (H_2S), metilmercaptano (CH_3SH), etc. Cerca de 70% do SO_2 , se origina da queima de carvão, óleo e gás natural; 16% dos escapamentos dos veículos; 4% das refinarias de petróleo e; 10% das fundições de metais (ZEHLER et al., 1981 apud MALAVOLTA, 2006).

Essas fontes estão presentes, especialmente nos países em desenvolvimento como no Brasil. a queima da vegetação como prática cultural,

a exemplo da cana-de-açúcar; limpeza de pasto, e abertura de novas áreas para o plantio. Formas reduzidas podem passar do solo para atmosfera. Com retorno de parte do S atmosférico pelas águas da chuva (MALAVOLTA & PAULINO, 1987 apud MALAVOLTA, 2006).

Em áreas rurais do Brasil a atmosfera adiciona ao solo (ou recicla) entre 5 e 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S e nas regiões urbanas, essa adição seria de 3 a 4 vezes maior, chegando até 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S (BARBER, 1995 apud MALAVOLTA, 2006).

O S existe no solo em vários estados de oxidação correspondentes a uma gama de formas minerais. Entre as formas minerais solúveis estão os sulfatos da solução do solo, fonte imediata de S para as plantas. A concentração de sulfato na solução do solo é muito variável, os valores mais altos são encontrados nas regiões áridas, 50-100 mg L⁻¹, enquanto nos tropicais a faixa mais freqüente vai de 0,4 a 16 mg L⁻¹. (HAVLIN et al., 1999 apud MALAVOLTA, 2006).

2.6.2 Adsorção e lixiviação

Consideram-se como fontes imediatas de S para as plantas o SO₄⁻² da solução do solo e o adsorvido, correspondendo acerca de 1% do S total, que se adsorve (em ordem decrescente) nos óxidos de Fe e Al hidratados, óxidos cristalinos, argilas 1 : 1, argilas 2 : 1 (MALAVOLTA, 2006).

Tal como acontece com os íons molibdato e fosfato, a adsorção diminui com o aumento do pH, porque nessas condições, ocorre precipitação de Al e Fe ocupe sítios de adsorção em competição com o SO₄⁻². Nas camadas mais profundas do perfil há uma tendência para acumulação de SO₄⁻² que em parte se deve ao menor pH (CATANI, et al., 1971).

2.6.3 Absorção de S

O contato do SO₄⁻² com a raiz se faz predominantemente por fluxo de massa (BARBER; OLSON, 1968 apud RAIJ, 1981). O S é absorvido pelas plantas principalmente na forma inorgânica (SO₄⁻²) e reduzido e incorporado a

compostos orgânicos. Na reciclagem do S, este retorna ao solo na forma orgânica, onde se mineraliza por ação de microrganismos antes de ser utilizado pelas plantas (NOVAIS et al., 2007).

Parece não haver “alimentação de luxo” com respeito ao S, isto é, as plantas não acumulam mais do que necessitam. As folhas além do SO_4^{-2} , podem absorver o SO_2 do ar, ainda que de modo pouco eficiente. A velocidade de absorção depende do íon acompanhante crescendo na ordem Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ . A absorção é maior em presença de N (REHM; CALDWELL, 1968 apud MALAVOLTA, 2006).

2.6.4 Transporte e redistribuição

O SO_4^{-2} absorvido pela raiz é transportado predominantemente na direção acrópeta, (da base para cima). Com a baixa capacidade da planta para redistribuir o S na direção basípeta. Em caso de carência, os sintomas aparecem em primeiro lugar nos órgãos mais novos, como folhas superiores (MALAVOLTA, 2006).

O S predomina na planta em forma orgânica, principalmente nas proteínas, já que todas as proteínas vegetais possuem o elemento. O S que permanece como SO_4^{-2} no tecido é relativamente pouco. A folha de um cafeeiro bem nutrido em enxofre possui 0,25% de S, sendo que a mesma folha tem 6 vezes menos SO_4^{-2} (LOTT et al., 1960).

Há um paralelismo entre produção de matéria seca e acúmulo do N, P e S pelas culturas (MALAVOLTA, 1982).

2.6.5 Funções

O S é constituinte dos aminoácidos cisteína, metionina, além da cisteína, que é a sua “porta de entrada” em compostos orgânicos e, do glutathione, um triptídeo formado pela condensação de glutamina, cisteína e glicina. Este desempenha várias funções na planta como a manutenção de tiois, inclusive da cisteína e da ferredoxina na forma reduzida. Tiamina, biotina e CoA são coenzimas de baixo peso molecular essenciais para o metabolismo quando

ligadas a apoenzimas (proteínas) determinadas. As ferredoxinas, proteínas que contém ferro (Fe) e não apresentam o grupo heme, participam de vários processos de transferência eletrônica na fotossíntese, FBN e outros. As tioredoxinas são proteínas pequenas que servem como redutores em processos como a fotossíntese (THOMPSON et al., 1986 apud MALAVOLTA, 2006).

2.6.6 Principais fontes de S

Existem várias fontes de S no mercado, dentre as principais estão Enxofre elementar, Sulfato de cálcio (gesso ou fosfogesso), Superfosfato Simples, Sulfato de amônio, Sulfato de potássio, Sulfato de magnésio, Fosfato parcialmente acidulado, Sulfonitrato de amônio, e alguns Termofosfatos.

2.6.7 Enxofre na cafeicultura

No café, o sabor doce desejável detectado pelo painel organoléptico da OIC é consequência da presença de açúcares nos grãos após a torração. Os açúcares juntamente com os aminoácidos sulfurados, são responsáveis pela cor caramelo desejável no café , obtido pelas reações de caramelização (PEREIRA, 1997 apud NOGUEIRA, 2001).

O S se tornou problema na cafeicultura com a degradação progressiva dos solos, ou seja, cada vez mais os solos estão se esgotando, principalmente devido a falta da matéria orgânica com as plantas apresentando cada vez mais sintomas de deficiência de S, uma vez que a matéria orgânica é a maior fonte natural nos solos. A exigência do cafeeiro em enxofre é semelhante ao P, mas pouca atenção tem sido dada devido ao seu fornecido por outras fontes (sulfato de amônio e superfosfato simples) e sua determinação laboratorial ser trabalhosa (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Quando o S não é fornecido por fontes como o sulfato de amônio ou superfosfato simples, o mesmo deve ser acrescentado ao cafeeiro na dose de aproximadamente 1/8 da dose de N, essa adubação pode ser dispensada se a

análise de solo revelar teores no solo acima de 10 mg dm^{-3} de S (RAIJ et al., 1996).

2.6.7.1 Sintomas de deficiência de enxofre no cafeeiro

Por ser um nutriente pouco móvel na planta, os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais novas, que por sua vez ficam amarelas (amarelo citrina), devido a falta de clorofila nos cloroplastos, pois o nutriente é componente de proteínas e participa da síntese de clorofila. Pode ocorrer também o encurtamento dos internódios e o desfolhamento da planta (GUIMARAES; MENDES, 1997).

Além disso, apresentam caule quebradiço, lenhoso, com crescimento paralisado, reduz o vingamento de flores, os frutos são descorados, fracamente esverdeados, com amarelecimento tardio (NOGUEIRA, 2001).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pobreza dos solos e a demanda da lavoura obrigam os produtores a fazerem aplicações constantes de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre e magnésio, sem os quais não se consegue boas produtividades e vida longa das lavouras. Solos corretamente fertilizados podem fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para produzir com a qualidade exigida pelo mercado consumidor.

Ao pensar em nutrição, não se pode esquecer o equilíbrio entre os elementos disponíveis para a lavoura. O uso e manejo adequado do solo pressupõe a melhoria de sua fertilidade por meio das várias práticas que preservem e aumentem a matéria orgânica, diminuam a acidez, garantam o crescimento radicular vigoroso e mantenham os nutrientes em quantidades e relações ótimas. É necessário, ainda, que se faça a correção de condições desfavoráveis de sua acidez e o suprimento racional de nutrientes.

Adubar, conseguir o bom desenvolvimento da lavoura e obter elevadas produções são objetivos já superados pela pesquisa. Os novos desafios voltam-se, agora, para a conscientização dos produtores para que usem de maneira correta as fontes de macronutrientes, a tudo isso vem se somar o desafio de garantir a qualidade do fruto a partir da adubação e da nutrição.

REFERÊNCIAS:

BREGAGNOLI, M.; PAIVA, B.O.; GRATIERI, L.A.; SOUZA, H.; LUIZ, J.T.; SALOMÃO, C.A.D. Teores de fósforo e enxofre no cafeeiro recepado em diferentes doses e fontes de $p_{2}o_{5}$. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, 2009, Vitória. **Resumos...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café, 2009a. CD-ROM

BREGAGNOLI, M.; VALLE FILHO, J.G.R.; BREGAGNOLI, F.C.R. Desenvolvimento vegetatiVo do cafeeiro recepado sob diferentes doses $p_{2}o_{5}$ na forma de termofosfato e superfosfato simples. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, 2009, Vitória. **Resumos...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café, 2009b. CD-ROM

CATANI, R. A.; GLORIA N. A.; VITTI, G. C. **Adsorção de sulfato pelo solo**. Piracicaba: USP, 1971. 246p.

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.

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.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. 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. 3, p.91-132.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 100f. Textos acadêmicos - Curso de Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas do Agronegócio - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 2005.

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

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.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C.; RIBEIRO FILHO, G. C.; TOLEDO, P. M. R.; RIBEIRO, L. F. **Sistema de produção de café irrigado**: um novo enfoque. Brasília: Irrigação & Tecnologia Moderna, 2007. 61p.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. Lavras, UFLA/FAEPE, 1997. 70p, 631p.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ, V. V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. **Cafeeiro**. In: RIBEIRO, C. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

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

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos do Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A. J.; LOURENÇO, S. ; GOEDERT, W. J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. 236p.

LOTT, W. L.; MCCLUNG, A. C.; MEDCALF, J. C. **Deficiência de enxofre no cafeeiro**. São Paulo: IBEC, 1960. 23 p.

LUIZ, Josimar Torres. **Teores de nitrogênio e potássio do cafeeiro recepado em diferentes doses de P₂O₅**. 2008. 44f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e Enxofre nos Solos e Culturas Brasileiras**. São Paulo: SN Centro de pesquisa e Promoção Sulfato de Amônio, 1982. 59 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, Adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p.

MALAVOLTA, E.; VOLANTE NETTO, A. **Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação dos citros**. Piracicaba: POTAFÓS, 1991.153p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**: Colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 200 p.

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. 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.; 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: Agronômica Ceres, 2006. 500 p,631p,632p,638p.

MALAVOLTA, E. ; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e Adubações.** São Paulo: 2002. 200 p.

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, 438p.

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.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, A. J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. **Adubação fosfatada no Brasil.** Brasília: EMBRAPA, 1982.236p.

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

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade.** Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.607-646.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto de Potassa e Fósforo; Instituto Internacional da Potassa, 1981.142p

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J, A.; FURLANI A. M. C. (Ed). **Recomendações de Adubação e Calagem Para o Estado de São Paulo:** Boletim Técnico 100. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

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.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S. & CALONEGO, J.C. **Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1033-1040, 2006.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. 2005. Disponível em: <<http://www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/nutrientes.doc>>. Acesso em: 05 de novembro de 2009.