

JOÃO BOSCO DINIZ PEREIRA

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM
PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Fitotecnia, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
NOVEMBRO - 1999

A Deus.

Ao meu saudoso pai.

À minha esposa, Morena.

Aos meus filhos, Fernanda, Pedro e André Luiz.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, pela autorização concedida para o Doutorado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Laércio Zambolim, pela orientação, pela valorização da tarefa e do ser humano que a executa, pelo apoio constante e pela amizade.

À professora Hermínia Emília Prieto Martinez, pela contribuição essencial no planejamento e na execução deste trabalho.

Ao professor Antônio Carlos Ribeiro, pela contribuição sempre cordial e prestimosa e pela amizade.

Aos professores Carlos Sigueyuki Sedyama, Tocio Sedyama e Paulo Cecon, pela importante contribuição e pela amizade.

Ao professor Gerival Veira, pelo decisivo estímulo na fase final do curso.

A todos os colegas das disciplinas cursadas, pelo companheirismo, pela consideração, pelos congradamentos de fim de semestre, enfim, pela convivência agradável.

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação em Fitotecnia, Vicente Madaleno dos Santos e Mara Rodrigues, pela eficiência, pela dedicação, pela amizade e pela inestimável colaboração.

Aos funcionários que formaram a equipe de apoio do experimento de campo, Gino, Valdevino, Geraldo Soares, Fernando, Geraldo Gomes, José Mateus, Antônio Eloi, Ricardo, Antônio José, Leanil, Francisco Rosado, José Antônio, José Clara, Antônio Reinaldo e Geraldo Magela, pela ajuda em todas as etapas do trabalho.

Aos funcionários que formaram a equipe de trabalho do viveiro, Geraldo, Valter, Delfim, Mário, José Leôncio, Sebastião Natal, André, José Rosado, Anastácio e Geraldo Custódio, pela ajuda no experimento em vasos.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Mineral/DFT, Domingos Sávio da Silva, efetivo, e José Carlos Bento, estagiário, pela colaboração nas análises efetuadas.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFV, pela solicitude e constante boa vontade.

À Silvana Lages Ribeiro Garcia, pela fundamental colaboração na análise estatística e pelo estímulo constante.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOÃO BOSCO DINIZ PEREIRA, filho de Pedro da Cruz Pereira e Honorina Diniz Pereira, nasceu em Muriaé-MG, no dia 14 de maio de 1948.

Em dezembro de 1969, graduou-se em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

No período de 1970 a 1976, prestou serviços profissionais como extensionista da EMATER, nos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Em agosto de 1976, ingressou no Serviço Público Federal, atuando como pesquisador do Instituto Brasileiro do Café até agosto de 1989.

Em julho de 1985, obteve o título de “Magister Scientiae” em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1989, foi remanejado para o Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

Em setembro de 1993, iniciou o Curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em maio de 1999.

CONTEÚDO

	Página
EXTRATO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO 1	21
EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO	21
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1. Localização e características do solo	24
2.2. Tratamentos empregados	24
2.3. Colheita total e preparo de amostras	25
2.4. Características analisadas	26

	Página
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1. Teores dos nutrientes e produção de matéria seca	28
3.2. Conteúdos dos nutrientes na matéria seca da folha	34
3.3. Eficiência de uso de N	37
3.4. Eficiência de utilização de N	40
3.5. Eficiência de conversão de N e K, em relação à planta toda	42
3.6. Eficiência de translocação de N	45
3.7. Eficiência de absorção de N	47
3.8. Considerações gerais sobre os resultados obtidos	47
4. RESUMO E CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
CAPÍTULO 2	57
EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) NO CAMPO	57
1. INTRODUÇÃO	57
2. MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1. Localização e características do solo	60
2.2. Tratamentos empregados	60
2.3. Colheita total e preparo das amostras	62
2.4. Características analisadas	62
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1. Produção de matéria seca de grãos	64
3.2. Teores dos nutrientes na matéria seca foliar	69
3.3. Conteúdo dos nutrientes na matéria seca foliar	70
3.4. Eficiência agrônômica	70
3.5. Eficiência de uso de N e K para a produção de grãos	75
3.6. Eficiência de conversão de N e K em grãos	79
3.7. Índice de colheita	82
3.8. Índice de nutriente relativo a N e K	82
3.9. Índice de eficiência de N e K	84
3.10. Número de ramos plagiotrópicos (ramos produtivos)	87
3.11. Considerações gerais sobre os resultados obtidos	87

	Página
4. RESUMO E CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
3. RESUMO E CONCLUSÕES	97

EXTRATO

PEREIRA, João Bosco Diniz., D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 1999. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. Orientador: Laércio Zambolim. Conselheiros: Carlos Sigueyuki Sedyama e Hermínia Emília Prieto Martinez.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência de uso de nitrogênio e potássio por três linhagens de café, em experimentos conduzidos na fase de formação de mudas e durante o desenvolvimento no campo até a primeira colheita, tendo sido analisadas, em ambos os casos, as linhagens: UFV 2237 (Catuaí Vermelho), UFV 2983 (Catimor) e UFV 3880 (Catimor). O experimento com mudas foi conduzido em vasos, no período de abril a outubro de 1996, utilizando o esquema fatorial 5 x 5 x 3, com cinco doses de N e de K (0, 50, 100, 200 e 400 mg/dm³) aplicadas às três linhagens mencionadas, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Quando as plantas completaram sete meses de idade, efetuou-se a colheita total, dividida em três etapas: folhas, caule + ramos e raízes. As características avaliadas foram a produção total da matéria seca, os conteúdos dos nutrientes nas folhas e as eficiências de uso de nutriente, conceituadas como: eficiência de uso, eficiência de conversão, eficiência de translocação,

eficiência de utilização e eficiência de absorção. A linhagem UFV 2237 destacou-se em relação às estimativas mais altas dos conteúdos foliares e do índice de utilização de N. A linhagem UFV 3880 distinguiu-se entre as estimativas mais altas da eficiência de utilização de N. Não se observou distinção entre as linhagens em relação às estimativas mais altas nas eficiências de conversão de N e K e de translocação e absorção de N. O conjunto de dados obtidos evidencia que as variedades estudadas necessitam mais de aplicações de N do que de K para o aproveitamento eficiente destes nutrientes na formação de mudas. O experimento de campo foi conduzido desde o plantio, em novembro/94, até a primeira safra, em maio/97, empregando o esquema fatorial, tendo as três citadas linhagens constado de três doses de N (totais de 40 g, 120 g e 200 g por planta) e três doses de K (totais de 39 g, 111 g e 183 g por planta), no delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Por ocasião da safra, realizou-se, em uma planta representativa de cada parcela, a colheita total, em etapas, de grãos maduros, folhas e caule + ramos. Avaliaram-se as seguintes características: capacidade produtiva, número de ramos plagiotrópicos, teores foliares, índice de colheita, índice de eficiência, índice de nutriente, eficiência de uso, eficiência de conversão e eficiência agrônômica. Não se constatou diferença entre as linhagens, em relação ao índice de eficiência. A linhagem UFV 2237 apresentou os teores foliares mais altos e também o maior número de ramos plagiotrópicos. A linhagem UFV 3880 destacou-se na avaliação do índice de nutriente de N e no índice de colheita. A linhagem de maior destaque no campo foi a UFV 2983, que se sobressaiu em matéria seca de grãos, eficiência de uso, eficiência de conversão, índice de nutriente de K e eficiência agrônômica. A análise dos resultados obtidos até a primeira safra indica que a linhagem UFV 2237, para ser eficiente, apresenta grandes exigências de N e que a linhagem UFV 2983, ao contrário do que se observou no período de formação de mudas, destacou-se pela alta eficiência de utilização de N e K, quando estes estão escassos.

ABSTRACT

PEREIRA, João Bosco Diniz, D.S., Universidade Federal de Viçosa, November 1999. **Nutritional efficiency of nitrogen and potassium in coffee plants (*Coffea arabica* L.)**. Adviser: Laércio Zambolim. Committee members: Carlos Sigueyuki Sedyama e Hermínia Emília Prieto Martinez.

This research aimed to evaluate the use efficiency of nitrogen and potassium in three lineages of coffee. The experiments were conducted at the phase of seedling formation and over the development in the field until the first harvest. In both cases, the following lineages were analyzed: UFV 2237 (Catuí Vermelho), UFV 2983 (Catimor) and UFV 3880 (Catimor). The experiment with seedlings was carried out in pots during the period from April to October 1996, by using the factorial scheme 5 x 5 x 3 with five doses of N and K (0, 50, 100, 200 and 400 mg/dm³) applied to those three mentioned lineages on a randomized block design with four replicates. When plants were seven months old, the total harvesting was performed and divided in three phases that is leaves, stem plus branches, and roots. The evaluated characteristics were the total yield of dry matter, the contents of nutrients in the leaves, as well as the efficiencies of nutrient use which were regarded as: the use efficiency, conversion efficiency, translocation efficiency,

utilization efficiency and absorption efficiency. The lineage UFV 2237 distinguished in relation to higher estimates of the leaf contents and the N using index. The lineage UFV 3880 distinguished among the higher estimates for N using efficiency. No distinction was observed among the lineages in relation to the higher estimates for efficiencies of N and K conversion as well as the N translocation and absorption. The obtained data set really shows that the studied varieties need more applications of N than K for an efficient utilization of these nutrients in seedling formation. The field experiment was carried out from planting on November 1994 until the first harvest on May 1997, by using the factorial scheme, and the three lineages were added three doses of N (totals of 40, 120 g and 200 g per plant) and three doses of K (totals of 39 g, 111 g and 183 g per plant) on a randomized block design with three replicates. At the harvest time, the total harvesting was performed in one plant representative of each plot at the stages of mature grains, leaves and stem plus branches. The following characteristics were evaluated: productive capacity, number of plagiotrophic branches, leaf contents, harvest index, efficiency index, nutrient index, using efficiency, conversion efficiency and agronomic efficiency. No difference among lineages was verified in relation to efficiency index. The lineage UFV 2237 presented the higher leaf contents and also the greater number of plagiotrophic branches. The lineage UFV 3880 was distinguished in evaluating the N nutrient index as well as in the harvest index. In the field the lineage UFV 2983 mostly distinguished as to grain dry matter, use efficiency, conversion efficiency, K nutrient index and agronomic efficiency. The analysis of the obtained results until the first harvest indicates that the lineage UFV 2237 presents large N requirements for being efficient. Oppositely to the observation made over the seedling formation period, the lineage UFV 2983 was distinguished because its high efficiency in utilizing N and K when these nutrients are scarce.

1. INTRODUÇÃO

A cultura cafeeira foi introduzida no Brasil em 1727, no Estado do Pará, e expandiu-se gradativamente pelas diversas regiões do país, tendo sido solidamente implantada no Sudeste e no Sul (Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo e Paraná), tornando-se por muito tempo o principal gerador de divisas para o Brasil. Atualmente, reduziu-se a participação relativa do café na exportação brasileira, porém, este ainda é um dos principais produtos agrícolas do país, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial desta rubiácea.

Os cultivares de *Coffea arabica* L. recomendados para o plantio em escala comercial, Mundo Novo e Catuaí, possuem elevada capacidade produtiva e, conseqüentemente, alto potencial econômico, desde que cultivados em condições favoráveis. Os cultivares portadores de resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.), como Icatu e Catimor, pelo fato de ainda se encontrarem em estudos, são indicados para plantio em lotes de observação nas propriedades rurais, utilizando as linhagens mais promissoras e que melhor se adaptem a cada região produtora.

Além da escolha criteriosa e adequada do cultivar a ser explorado, outro fator importante na produtividade do cafeeiro é sua nutrição mineral. Para o pleno desenvolvimento e a máxima produção, são necessários

macro e micronutrientes, de acordo com a exigência quantitativa de cada nutriente. De modo geral, os solos não se apresentam com disponibilidade equilibrada e suficiente dos elementos minerais necessários, tornando-se obrigatória a adubação dos cafezais. Esta deve se basear na fertilidade natural do solo, no conhecimento do estado nutricional da lavoura, na exigência de nutrientes pelas plantas e, entre outras características do sistema de cultivo, na capacidade de utilização eficaz dos nutrientes pelo cultivar empregado.

Existem diferenças entre genótipos de plantas quanto à absorção, à translocação, ao acúmulo e ao uso de elementos minerais essenciais, diferenças estas muito úteis para o estudo de vegetais cultivados em condições de limitação de nutrientes. Pesquisas realizadas nestas condições de limitação possibilitam a detecção de cultivares mais eficientes na absorção, a distribuição e a utilização interna do nutriente, resultando em maiores produções de grãos ou de biomassa, dependendo da espécie e do tipo de exploração. Por intermédio destas pesquisas, muitas seleções de culturas anuais e perenes já foram realizadas, obtendo-se genótipos adaptados a condições distintas de disponibilidade de nutrientes, sob as quais eles apresentam altas produções, com um custo menor de produção. Em virtude da importância da cafeicultura na economia de Minas Gerais e do Brasil, tais pesquisas se tornam necessárias, principalmente no estudo dos nutrientes mais requeridos pelo café, nitrogênio e potássio, analisados segundo os diversos conceitos de eficiência de utilização.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de uso de nitrogênio e de potássio por duas linhagens de Catimor e uma de Catuaí, com experimentos conduzidos na fase de formação de mudas (Capítulo 1) e na fase de desenvolvimento no campo, até a primeira safra (Capítulo 2).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Muitos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de estudar a extração de nutrientes pelo cafeeiro ou a sua resposta às adubações recebidas, cujos resultados e conclusões variam com as condições locais, os tratamentos utilizados, as variedades e espécies analisadas, o interesse principal do pesquisador e diversos outros fatores. CHAVES (1982) estudou a extração de nutrientes por frutos da variedade Catuaí, aos cinco anos de idade no campo, desde a formação até sua maturação completa, tendo registrado que a extração obedeceu à seguinte ordem decrescente: K, N, Ca, Mg, P, S, Mn, B, Cu, Zn. Pesquisadores do extinto Instituto Brasileiro do Café quantificaram as necessidades das variedades Mundo Novo e Catuaí desde o plantio (mudas de seis meses) até a fase produtiva (66 meses após o plantio), e concluíram que as exigências por nutrientes são similares para ambas as variedades e que os macronutrientes mais destacados em termos de exigência quantitativa são N e K, seguidos de Ca, Mg, P e S (INSTITUTO... - IBC, 1985). CIETTO (1988), pesquisando o requerimento de macronutrientes pela variedade Catuaí aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso (julho), granação (janeiro) e maturação (junho), verificou que a idade de maior acumulação de nutrientes pelo caule e por folhas e ramos varia em função das épocas estudadas, exceção para o K, que atingiu os maiores

valores aos cinco anos, para as três épocas, ao passo que a exigência de N revelou-se crescente com a idade. O autor observou ainda que a variedade estudada, aos cinco anos de campo, exportava, por meio da colheita e em função do conteúdo total da planta, 45% de N, 56% de P e 62% de K.

A absorção de nutrientes por mudas de Catuaí em solução nutritiva, com diferentes doses de Zn e diferentes valores de pH, foi pesquisada por MOYSES (1988), que detectou algumas interações importantes do Zn com outros elementos, destacando ainda que as maiores variações na absorção, em função dos tratamentos e do pH, foram observadas no terceiro e no quarto pares de folhas, o que indica que estas seriam as partes mais sensíveis às diferenças nutricionais; em relação ao K, verificou que seu teor nos ramos decresceu com o aumento da dose de Zn na solução. DIAS (1985) realizou um estudo de translocação e redistribuição do P, mediante a utilização de radioisótopo e de corante, em mudas de cafeeiros da progênie de Catimor UFV 1603: a análise das auto-radiografias obtidas indicou que ^{32}P era absorvido e translocado diretamente para os principais drenos da parte aérea, retornando, posteriormente, para o sistema radicular via floema.

CARDOSO (1990) estudou o efeito de doses de P no substrato, até cinco meses após a repicagem, em mudas de cultivares e progênies de Catuaí, Bourbon, Caturra, Mundo Novo e Icatu, avaliando altura de mudas, diâmetro do caule, área foliar, peso de matéria seca da parte aérea e de raízes e análise de nutrientes da parte aérea. Embora tenha encontrado correlação positiva entre doses de P e características de crescimento, concluiu que as diferenças varietais ocorreram de forma independente das aplicações desse elemento. Analisando as respostas da variedade Catuaí à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do sul de Minas Gerais, após cinco safras, GUIMARÃES (1986) relatou que o K pareceu ser um nutriente limitante em todos os solos e, entre outras conclusões, determinou os níveis críticos de P (9,2 ppm em anos de alta produção) e de K (112 ppm em anos de alta produção) para os locais e anos de respostas significativas.

As pesquisas sobre nutrição do cafeeiro concentram-se preferencialmente em torno dos macronutrientes N, P e K. Analisando os efeitos da adubação sobre a composição mineral de folhas do cafeeiro e sua correlação com a produção, em seis localidades da Colômbia, VALENCIA-ARISTIZABAL e ARCILA-PULGARIN (1977) observaram que o N foi o elemento que mais afetou o conteúdo de nutriente das folhas e que as concentrações de N, Mn, P e B apresentaram a maior correlação com a produção cafeeira.

CERVellini e IGUE (1994) relataram respostas positivas ao N em cafeeiros do cultivar Bourbon Vermelho, com incremento da produção de até 50%, quando a fertilização foi efetuada por meio de esterco de curral e de sulfato de amônio.

Por sua vez, OJENIYI (1981), em experimento com *Coffea canephora* Pierre, na Nigéria, efetuou a análise do conteúdo foliar após sete anos de fornecimento de NPK, tendo observado que estas aplicações favoreceram a absorção de Mn e que as quantidades fornecidas de P aumentaram a absorção de Cu, Ca e S, o que não ocorreu em relação a N e K. Verificou, ainda, que Ca e Mg mostraram-se deficientes em folhas de café, como resultado das aplicações de N, P e K. Em outro estudo que focalizava o café Robusta da Nigéria, em plantações de 15 anos de idade, AFOLAMI (1985) verificou que as aplicações de N, P e K e suas combinações em um fatorial $4 \times 4 \times 2$, tendo como doses máximas 315, 252 e 95 kg/ha/ano, respectivamente, não resultaram em respostas significativas na produção de grãos, embora tenham sido corrigidos os sintomas iniciais de deficiência de N, P e Ca; por este motivo, concluiu que a utilização dos nutrientes NPK só teria justificativa econômica quando se destinasse à manutenção do vigor das plantas, sendo qualquer dose superior à quantidade necessária para tal fim considerada um desperdício. Entretanto, trabalhando no Quênia com o cultivar Catimor de café Arábica, GATHAARA e KIARA (1990) testaram 16 combinações de NPK e seis densidades de plantio, e obtiveram respostas significativas de

produção para as doses de 117 kg de N e 25 kg de P_2O_5 por hectare, tendo sido observado, ainda, aumento linear de produção para densidade acima de 5.128 cafeeiros/ha.

Os principais efeitos de N e K sobre os vegetais, em geral, e os cafeeiros, em particular, foram descritos por diversos autores (IBC, 1985; MALAVOLTA, 1986, 1993; MARSCHNER, 1986). Em relação ao N, tais efeitos podem ser resumidos da seguinte forma: aumento do índice de área foliar, com conseqüente aumento da fotossíntese e dos compostos fundamentais, como proteínas, ácidos nucléicos e constituintes de membranas; a nutrição nitrogenada adequada, não havendo outros fatores limitantes, é evidenciada no desenvolvimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos frutíferos e na formação de folhas verdes e brilhantes; existe, ainda, relação direta entre fornecimento de N, número de folhas no florescimento e número de gemas floríferas; o crescimento da área foliar, mediante adubação nitrogenada suficiente, acarretará maior produção de amido e de outros carboidratos indispensáveis para a formação e o crescimento dos frutos; a deficiência de N aparece com intensidade durante o crescimento dos frutos, quando as folhas formadas são geralmente menores; as folhas mais velhas e, posteriormente, as mais novas mostram uma clorose uniforme do limbo; se a falta for muito severa, as folhas ficam quase brancas e entram em necrose; e o desfolhamento é comum, observando-se ainda, como um estágio muito avançado de deficiência, a morte descendente dos ramos frutíferos.

Em relação ao K, sua importância pode ser resumida da seguinte maneira: é um cátion de alta mobilidade na planta, sendo de fundamental importância em sua atividade metabólica, como, por exemplo, no transporte de longa distância via xilema e floema, no equilíbrio osmótico de células e de tecidos, na ativação de enzimas, no movimento de estômatos e na lignificação de feixes vasculares; a quantidade de K nas partes vegetativas e nos frutos do cafeeiro demonstra que este elemento desempenha um papel muito importante na nutrição do café; há correlação positiva entre o teor de K nas folhas e o

seu conteúdo de amido, de tal forma que, ao baixar o nível de K, a produção de amido diminui e, conseqüentemente, reduzem-se o desenvolvimento da planta, o aparecimento de novos ramos e de novas folhas e a produção; a primeira indicação da falta de K aparece nas folhas mais velhas, como resultado da translocação para as folhas novas ou para os ramos em crescimento e, ou, para os frutos em formação; as manchas pardas, inicialmente formadas, gradualmente coalescem, e uma faixa marrom-escura se forma na ponta da folha e nas margens adjacentes, levando ao desprendimento fácil do ramo; e, com freqüência, apenas um ou dois pares de folhas permanecem presos ao ramo, que começa a morrer da ponta para a base (“dieback”).

Na literatura, encontram-se vários estudos específicos sobre fertilização com N e K. TESHAR e KUMAR (1979), no Quênia, analisaram plântulas de café Arábica submetidas a três níveis de K, dois níveis de N e três regimes de umidade (entre 40 e 90% da capacidade de campo) e verificaram menor absorção de N e K no menor regime de umidade e aumento de absorção de N e K com suas respectivas aplicações, as quais também causaram incrementos no crescimento em extensão e na área foliar. SANTINATO et al. (1994, 1995) pesquisaram o uso de adubação líquida N/K e o uso de salitre potássico como fontes de N e K em experimentos instalados no Triângulo Mineiro, em lavouras cafeeiras da variedade Acaiá, com sete a oito anos de idade. No caso da adubação líquida, utilizaram-na no mesmo nível da adubação via fertilizantes sólidos (250 kg/ha para N e para K no primeiro ano e 250 kg/ha para N e 200 kg/ha para K no segundo ano) e em níveis reduzidos em 15, 30 e 45% em relação à adubação sólida. Os autores observaram, com base no primeiro biênio de produção, que a adubação líquida é similar à sólida, podendo, entretanto, ser reduzida em 15% sem perder a eficácia, ao mesmo tempo que reduz também o custo.

RAIJ et al. (1996) estudaram os efeitos da calagem e das adubações nitrogenada e potássica em café Arábica em produção e que vinha sendo normalmente adubado e observaram que o efeito do N na produção, embora

não acentuado, foi coerente com os altos teores nas folhas, permitindo a monitoração da adubação nitrogenada pela análise foliar, enquanto a adubação potássica poderia ser controlada pela análise de solo, uma vez que, por causa dos altos teores no solo, não houve resposta para K. Concluíram, ainda, que há necessidade de rever a meta de saturação por bases para o cafeeiro, em virtude do baixo efeito do calcário. Procurando avaliar, em condições de viveiro, no sul de Minas, o efeito de N e K em diferentes doses (de 0 a 60 g/10 L de água/1.000 mudas) e épocas (mudas de um a cinco pares de folhas), GUIMARÃES et al. (1995) observaram que a adição de K não alterou o desenvolvimento das mudas, provavelmente em virtude da quantidade que inicialmente existia no substrato, e que quanto maior a dose de N usada em cobertura, maior era a quantidade de N na matéria seca da parte aérea das mudas, causando menor relação raiz/parte aérea. Tal fato evidencia que a prática do “forçamento” pode prejudicar o desenvolvimento normal das mudas.

O efeito de doses de N e K em quatro cultivares de *Coffea arabica* L., por cinco anos, foi analisado por WINSTON et al. (1992), que verificaram que o incremento daqueles elementos essenciais não afetou significativamente as características altura de plantas, diâmetro da projeção da copa, número de ramos laterais e produção média de café. Entretanto, foram observadas diferenças entre cultivares para as referidas características e para concentrações foliares dos nutrientes. Analisando apenas o efeito da adubação nitrogenada em cafeeiros, NJOROGE (1984) constatou, no Quênia, após dez anos de estudos, que o adubo que continha N inorgânico, na dose de 50 kg/ha, aplicado quatro vezes ao ano, aumentou em 47% a produção de café, enquanto o adubo orgânico provocou aumento da produção entre 16 e 27%. MARTIN (1988) realizou, em Cuba, estudos sobre a fertilização nitrogenada de café Arábica, utilizando a variedade Caturra a pleno sol, com irrigação, avaliando os efeitos de seis doses de N (de 0 a 150 g/cova), desde o plantio até os cinco anos. O autor concluiu que houve efeito positivo e significativo do nutriente sobre o crescimento e o rendimento do cafeeiro,

correlacionados com a concentração de N nas folhas e com o fracionamento de sua aplicação.

FAHL et al. (1994) pesquisaram a influência de quantidades fornecidas de N e de níveis de luminosidade sobre a fotossíntese líquida e o crescimento de plantas jovens da variedade Catuaí Vermelho e observaram que o cafeeiro analisado exibiu características de plantas adaptadas a pleno sol, combinadas com atributos de aclimação ao sombreamento. Os dados obtidos indicaram que esta alta capacidade de adaptação à transição sombra:sol seria muito influenciada pelo nível de adubação nitrogenada. Por outro lado, RAMALHO et al. (1997) estudaram a influência da presença de N em relação a respostas fotossintéticas de plantas de Catuaí de dois anos de idade, cultivadas em vaso com solo suplementado com solução nutritiva e submetidas à alta exposição de luz. Os autores verificaram que os melhores resultados foram obtidos com o tratamento de N a cada 15 dias e que a disponibilidade de N é um fator-chave na adaptação à alta luminosidade.

A eficiência nutricional, ou eficiência de uso do nutriente, ou eficiência de utilização do nutriente, tem diversos conceitos, que variam principalmente em função do tipo de estudo e do objetivo do pesquisador. Segundo VOSE (1987), a definição de eficiência já é, em si mesma, um ponto de discussão; existem plantas, variedades e genótipos “responsivos” e “não-responsivos” ao acréscimo de um determinado nutriente; “eficientes” e “não-eficientes” na conversão do nutriente em matéria seca; “eficientes” e “ineficientes” para absorção ou translocação; e “acumuladores” ou “não-acumuladores” de certos elementos. O autor relatou ainda que devem ser considerados, além dos fatores determinantes de produção da planta, a velocidade de crescimento, os métodos de cultivo, a fertilidade natural do solo e as exigências nutricionais. Em comentários sobre a grande variação de definições de eficiência do nutriente, GOURLEY et al. (1994) consideram que podem ser cometidos diversos enganos em relação ao aumento de produtividade, se não forem bem identificados os mecanismos para incremento na aquisição e utilização do nutriente.

Para CLARK e DUNCAN (1991), também há um grande e confuso número de definições, além da falta de consenso sobre quais características são as mais importantes para o estudo da eficiência, termo que é usado frequentemente em relação a diferenças de genótipos e espécies na absorção e uso dos nutrientes. SAURBECK e HELAL (1990) consideram fundamental a pesquisa em busca de plantas com maior eficiência na utilização de nutrientes, portanto, indicam como aspectos mais importantes a serem considerados os que têm relação com as propriedades morfológicas e fisiológicas da raiz, as relações raiz/parte aérea que influenciam a translocação e redistribuição de nutrientes e as interações solo-raiz relacionadas com a disponibilidade dos nutrientes.

Moll et al. (1982), citados por LI et al. (1991), definiram eficiência de uso como produção de biomassa por unidade do nutriente aplicado, sendo dividida em dois componentes: eficiência de absorção (nutriente total da planta por unidade de nutriente fornecido) e eficiência de utilização (matéria seca total do produto colhido por unidade de nutriente). Entretanto, para SIDDIQI e GLASS (1981), o conceito já amplamente disseminado de quantidade de biomassa por unidade de nutriente presente na biomassa representaria um “quociente” cuja aplicação seria limitada por não levar em conta o crescimento e a dinâmica do sistema solo-planta. Assim, qualquer acréscimo no quociente pode ser devido mais à perda de nutriente do que ao crescimento; portanto, a concentração do nutriente no tecido tem mais importância do que a quantidade total. Este foi o argumento básico dos autores, para redefinirem a eficiência de utilização como a razão entre a quantidade de biomassa e a concentração do nutriente no tecido.

No entendimento de LI et al. (1991), os dois componentes da eficiência de uso do nutriente - eficiências de captação e de utilização - são, por sua vez, constituídos ou subdivididos da seguinte forma: eficiência de captação - composta por eficiência de absorção (conteúdo total do nutriente por comprimento ou superfície da raiz) e eficiência de enraizamento (comprimento ou superfície ou massa da raiz por quantidade aplicada do

nutriente); e eficiência de utilização - dividida em eficiência de translocação (conteúdo na parte aérea em relação ao conteúdo total) e eficiência de conversão (razão entre a biomassa produzida e conteúdo na parte aérea). Destacaram, ainda, que os componentes citados estão sujeitos a diferentes variações genéticas e que cada um deles contribui diferentemente, sob diferentes níveis de aplicação do nutriente. FURTINI NETO (1994) cita dois conceitos de eficiência de uso: um, do ponto de vista agrônomo (GRAHAM, 1984), que seria a eficiência de um genótipo em fornecer altas produções em um solo pobre em determinado nutriente, em relação a um genótipo considerado como padrão; e outro, do ponto de vista fisiológico (GODDARD e HOLLIS, 1984), que salienta a eficiência de um genótipo em absorver o nutriente do solo, distribuí-lo e utilizá-lo internamente.

Segundo MARSCHNER (1986), para conceituar a eficiência de uso é necessário levar em consideração que as diferenças genotípicas referentes a esta característica estão relacionadas com absorção, transporte e utilização no interior da planta, que são afetados por fatores morfológicos e fisiológicos e pela demanda por nutrientes. Para SWIADER et al. (1994), a eficiente utilização de nutrientes é a relativa capacidade de as plantas produzirem máximas quantidades de matéria seca para cada incremento de nutriente acumulado. Em referência à produção de grãos, a eficiência de uso do nutriente tem sido conceituada como uma função da eficiência de absorção pela planta e da eficiência com que o nutriente é utilizado para produzir grão, o que é o resultado final em uma razão entre produção de grão e quantidade de nutriente aplicado (CLARK, 1990; KELLY et al., 1994; WU e TAO, 1995). No entendimento de JANSSEN (1998), a eficiência de uso depende da disponibilidade do nutriente em relação a outros fatores de desenvolvimento e requer um perfeito balanceamento entre N, P e K para alcançar valores máximos de produção, apresentando uma proposição de cálculo para determinação das razões entre os respectivos suprimentos.

Revisando o assunto, GOURLEY et al. (1994) efetuaram comparações entre definições de eficiência encontradas na literatura, dividindo-as entre as

que enfatizam a produtividade e as que enfatizam o requerimento interno da planta. Em referência à ênfase na produtividade, os autores citam conceitos, que podem ser resumidos da seguinte forma: eficiência agronômica - produção obtida em relação à unidade de nutriente aplicado; eficiência por “requerimento externo” - quantidade de nutriente exigida para alcançar uma dada porcentagem da produção máxima; e eficiência de produção - representada pelas respostas de produção por unidade de nutriente adicionado. Quanto aos conceitos que enfatizam o requerimento interno da planta, citados pelos autores, podem ser destacados resumidamente: quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido, conceito este freqüentemente denominado “razão de eficiência do nutriente” e que tem sido amplamente usado para descrever o requerimento interno de nutriente em muitas espécies agronômicas; eficiência pela quantidade do produto colhido por unidade de nutriente absorvido; e eficiência de absorção - aquisição de nutriente por unidade de comprimento ou de superfície, ou de peso, de raiz. Em consequência a esta variedade de conceitos, as diferenças entre germoplasmas, quanto à “eficiência de uso de nutriente”, variam de acordo com a definição utilizada.

Trabalhos específicos sobre diferenças varietais quanto às eficiências de absorção, translocação e utilização de nutrientes têm sido desenvolvidos para diversas culturas. Alguns exemplos destas pesquisas serão apresentados a seguir, ressaltando-se que até o presente momento foram encontradas poucas referências à lavoura cafeeira dentro deste assunto.

CABALA-ROSAND e MARIANO (1985) detectaram desigualdades em mudas de cinco cultivares de cacau, em relação à sua velocidade de crescimento e à capacidade de absorção de P. FAGERIA et al. (1988), pesquisando respostas de cultivares de arroz a doses de P, consideraram que os dados obtidos contribuiriam para a seleção de cultivares de arroz com comportamento satisfatório, sob condições de baixa disponibilidade do nutriente. MAE et al. (1997) estudaram as relações entre utilização de nitrogênio, fotossíntese e potencial de produção, visando determinar a

eficiência fisiológica de N em cultivares de arroz, com o uso de ^{15}N . BOSELLI et al. (1995) relataram diferenças entre cultivares de uva na utilização de K, por intermédio da avaliação da taxa de crescimento relativo, razão de eficiência e eficiência de utilização.

CIARELLI (1989) encontrou linhagens de milho mais eficientes na absorção e utilização de P e que apresentavam maiores pesos de matéria seca e maiores comprimentos radiculares, além de mais alta velocidade de absorção e melhores índices de eficiência. GUIMARÃES (1993), conduzindo estudos com mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e de *Eucalyptus citriodora*, verificou que o conjunto de dados obtidos evidenciava ser possível selecionar espécies e progênies mais eficientes nutricionalmente. Analisando mudas de cinco espécies de eucalipto, FURTINI NETO (1994) obteve respostas distintas à aplicação de P entre as espécies, em relação às eficiências de absorção e de utilização. Por outro lado, MOURA (1995) detectou a existência de variabilidade genética entre linhagens de pimentão, em relação à eficiência nutricional de P. DA SILVA et al. (1996) observaram diferenças na eficiência de utilização de K entre espécies florestais nativas, com base em estudos relacionados com absorção, translocação e uso do nutriente.

Na pesquisa de procedimentos sobre adensamento de plantio e contribuição para o aumento de produtividade de cafeeiros, ANDROCIOLI FILHO (1996) discutiu as implicações desta prática em diversos aspectos relacionados com a produção, tendo observado que a manutenção de umidade nas camadas superficiais e a grande quantidade e distribuição de raízes por volume de solo contribuem para aumentar a eficiência de aproveitamento de nutrientes, quando se aumenta a população de plantas na área. MALAVOLTA (1986) baseou-se em dados de absorção de elementos e de produção aos três e quatro anos de idade, referentes a 'Mundo Novo' e 'Catuaí', para calcular a eficiência por meio da relação entre produção e nutrientes acumulados em dois anos, tendo registrado diferenças entre as variedades quanto aos macronutrientes N e S. Por sua vez, SOUZA et al. (1998), estudando o comportamento de cafeeiros na fase de muda, com relação a Zn aplicado via

solo, analisaram a eficiência nutricional sob os conceitos de porcentagem de recuperação de nutriente, porcentagem de translocação, eficiência de absorção e eficiência de utilização. Verificaram que os cultivares apresentaram respostas diferenciais quanto aos índices de eficiência testados, o que possibilita a seleção de cafeeiros com adaptação a condições distintas de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFOLAMI, C.A. An economic appraisal of N, P and K fertilizer use on mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre) at Itsuada Plantation, Nigéria. **Cafe-Cacao-The**, v.29, n.1, p.31-36, 1985.
- ANDROCIOLI FILHO, A. Procedimentos para o adensamento de plantio e contribuição para o aumento da produtividade. In: CARAMORI, P. H., ANDROCIOLLI FILHO, A., LIBERAL, E.G., CHAVES, J.C.D., CARNEIRO, R.G. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO**, Londrina, 1994. **Anais...**, Londrina, IAPAR, 1996. p.249-275.
- BOSELLI, M., VOLPE, B., TAGLIAVINI, M., NEILSEN, G.H., MILLARD, P. Differences in potassium utilization by grape rootstocks: evaluation by relative growth rate, efficiency ratio and utilization efficiency. **Acta Horticulturae**, n.383, p.257-264, 1995.
- CABALA-ROSAND, P., MARIANO, A.H. Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.2, p.159-167, 1985.
- CARDOSO, E.L. **Avaliação do desenvolvimento de cultivares e progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes doses de fósforo no substrato**. Lavras, MG: UFLA, 1990. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 1990.
- CERVELLINI, G. S., IGUE, T. Adubação mineral e orgânica do cafeeiro. **Bragantia**, v. 53, n. 1, p. 83-93, 1994.

- CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro** (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí). Piracicaba, SP: ESALQ, 1982. 131p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1982.
- CIARELLI, D.M. **Eficiência na absorção e utilização do fósforo por genótipos de milho** (*Zea mays* L.) **em solução nutritiva**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1989, 110 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1989.
- CIETTO, S. **Acumulação de matéria seca, recrutamento de macro e micronutrientes pelo cafeeiro** (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) **com dois, três, quatro e cinco anos de idade, nas fases fenológicas de repouso, granação e maturação, vegetando em um latossolo vermelho amarelo, fase cerrado**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1988. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1988.
- CLARK, R. Physiology of cereals for mineral uptake and use efficiency. In: BALIGAR, V. C., DUNCAN, R.R. **Crop as Enhancer of Nutrient Use**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 131-205.
- CLARK, R., DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, v. 27, p. 219-240, 1991.
- DA SILVA, I.R., FURTINI NETO, A.E., DO VALE, F.R., CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 257-264, 1996.
- DIAS, L.E. **Estudo da translocação e redistribuição de fósforo em cafeeiro, pela utilização de radioisótopo e de corante**. Viçosa, MG: UFV, 1985. 57 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, 1985.
- FAGERIA, N.K., MORAIS, O.P., BALIGAR, V.C., WRIGHT, J.R. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an oxissol. **Fertilizer Research**, v. 16, p. 195-206, 1988.
- FAHL, J.L., CARELLI, M.L.C., VEGA, J., MAGALHÃES, A.C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994.

- FURTINI NETO, A.E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus spp.*** Viçosa, MG: UFV, 1994. 99p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- GATHAARA, M.P.H., KIARA, J.M. Density and fertilizer requirements of the compact and disease resistant arabica coffee. **Kenya Coffee**, v. 55, n. 646, p. 907-910, 1990.
- GODDARD, R.E., HOLLIS, C.A. The genetic basics of forest tree nutrition. In: BOWEN, G.D., NAMBIER, E.K.S. **Nutrition of Plantation Forest**. London: Academic Press, 1984. p. 237-258.
- GOURLEY, C.J.P., ALLAN, D.L., RUSSELE, M.P. Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil**, v. 158, p. 29-37, 1994.
- GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B., LAUCHLI, A. **Advances in Plant Nutrition**. New York, Praeger, 1984. p. 57-102.
- GUIMARÃES, H.S. **Variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus citriodora***. Viçosa, MG: UFV, 1993. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- GUIMARÃES, P.T.G. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do sul de Minas Gerais**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1986.
- GUIMARÃES, R.J., FRAGA, A.C., CARVALHO, J.G. de, MENDES, A.N.G., CARVALHO, G.R. Efeito da aplicação em cobertura de N e K em diferentes doses e épocas no desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21, Caxambu, 1995. **Resumos...**, Rio de Janeiro, MAARA/PROCAFÉ, 1995. p. 150-152.
- HIROCE, R. **Composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. "Mundo Novo") com referência à época e à adubação**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1972. 76p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1972.

- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ-IBC. Ministério da Indústria e do Comércio. **Cultura do Café no Brasil - Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro, 1985, 580 p.
- JANSSEN, B.H. Efficient use of nutrients: an art of balancing. **Field Crops Research**, v. 56, n. 1-2, p. 197-201, 1998.
- KELLY, J.T., BACON, R.K., WELLS, B.R. Relation of nitrogen utilization to yield components in soft red winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 12, p. 2105-2118, 1994.
- LI, B., McKEAND, S.E., ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- MAE, T., ANDO, T., FUJITA, K., MATSUMOTO, H., MORI, S., SEKIYA, K. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. **Plant and Soil**, v. 196, n. 2, p. 201-210, 1997.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro -Colheitas Econômicas Máximas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1993. 210p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B., MALAVOLTA, E., ROCHA, M., YAMADA, T. **CULTURA DO CAFEIEIRO - Fatores que Afetam a Produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.165-274.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1986. p. 401-523.
- MARTIN, J. R. La fertilizacion nitrogenada de *Coffea arabica* L. cultivado al sol, bajo riego, en suelo ferralítico rojo. I. Crecimiento. **Cultivos Tropicales**, v. 10, n. 4, p. 38-44, 1988.
- MOLL, R. H., KAMPRATH, E. J., JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 562-564, 1982.

- MOURA, W. de M. **Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão** (*Capsicum annuum* L.). Viçosa, MG: UFV, 1995. 102 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- MOYSES, E. F. L. D. **Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pelo cafeeiro** (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) **em solução nutritiva com diferentes doses de Zn e valores de pH**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1988. 147p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1988.
- NJOROGE, J. M. Yield responses of arabica coffee to nitrogen rates and frequency of nitrogen application. **Kenya Coffee**, v. 49, n. 578, p. 155-157, 1984.
- OJENIYI, S. O. Effect of long-term NPK application on secondary and micronutrients contents of *Coffea canephora* Pierre. **Plant and Soil**, v. 60, n.3, p. 477-480, 1981.
- RAIJ, B. V., COSTA, W. M. da, IGUE, T., SERRA, J. R. M., GUERREIRO, G. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 347-355, 1996.
- RAMALHO, J. C., PONS, T. L., GROENEVELD, H. W., NUNES, M. A. Photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term high-light exposure in relation to nitrogen availability. **Physiologia Plantarum**, v. 101, n. 1, p. 229-239, 1997.
- SANTINATO, R., MATSUBARA, E., PARRA, M. P., ROSSI, L. A., PEREIRA, E. M. Eficácia da adubação líquida N/K₂O em cafeeiros em produção - 1^o biênio, 93/94. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20, Vitória, 1994. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1994. p. 83-86.
- SANTINATO, R., OLIVEIRA, L. H., PEREIRA, E. M. Efeitos do uso do salitre potássico como fonte de N e K₂O na adubação química do cafeeiro - Resultados do 1^o triênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21, Caxambu, 1995. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1995. p.185-187.
- SAUERBECK, D. R., HELAL, H. M. Factors affecting the nutrient efficiency of plants. In: EL BASSAN, N. et al. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Kluwer Academic Publishers, 1990. p. 11-17.

- SIDDIQI, M. Y., GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVA, E. D. B., NOGUEIRA, F. D., GUIMARÃES, P. T. G., ADÃO, W, A. Efeito de fontes e doses de K na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21, Caxambu, 1995. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1995. p.98-99.
- SOUZA, C. A. S., GUIMARÃES, P. T. G., FURTINI NETO, A. E., NOGUEIRA, F. D. Eficiência nutricional de cultivares de cafeeiro na fase de muda, com relação a zinco aplicado via solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24, Poços de Caldas, 1998. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1998. p. 195.
- SWIADER, J. M., CHYAN, Y., FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.
- TESHA, A. J., KUMAR, D. Effects of soil moisture, potassium and nitrogen on mineral absorption and growth of *Coffea arabica* L. **Turrialba**, v. 29, n. 3, p. 213-218, 1979.
- VALENCIA-ARISTIZABAL, G., ARCILA-PULGARIN, J. Efecto de la fertilizacion con N, P, K a tres niveles en la composicion mineral de las hojas del cafeto. **Cenicafe**, v. 28, n. 4, p. 119-138, 1977.
- VOSE, P. B. Genetical aspects of mineral nutrition - progress to date. In: GABELMAN, H. W., LOUHMANN, A. **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition**. Boston: Lancaster, 1987. p. 3-13.
- WINSTON, E. C., LITTLEMORE, J., SCUDAMORE-SMITH, P., O'FARREL, P. J., WIFFEN, D., DOOGAN, V. J. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 217-224, 1992.
- WU, P., TAO, Q. N. Genotypic response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 3, p. 487-500, 1995.

CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) NA FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café é de fundamental importância na Região Sudeste do Brasil, sendo ainda uma das principais geradoras de divisas para o país. Na implantação de cafezais, deve-se ter conhecimento dos fatores que afetam a cultura como um todo - climáticos, fisiológicos, genéticos, edáficos, topográficos, nutricionais etc. -, devendo-se ter um cuidado especial com a formação de mudas a partir de sementes sadias e provenientes de lavouras produtivas. Segundo RENA e MAESTRI (1986), para a produção de mudas com desenvolvimento normal, é necessário garantir, primeiramente, um bom preparo e armazenamento das sementes e, em seguida, procurar otimizar todos os fatores que favorecem a formação de boas mudas, relacionados com temperatura, relação luz/sombra, fisiologia da plântula etc. Pesquisadores do extinto Instituto Brasileiro do Café quantificaram as necessidades nutricionais das variedades Mundo Novo e Catuaí, desde o plantio até a fase produtiva, e

constataram que os nutrientes mais exigidos são N e K, seguidos de Ca, Mg, P e S (INSTITUTO... - IBC, 1985). No preparo do substrato para a formação de mudas e durante o desenvolvimento do cafeeiro, tem sido demonstrada a importância de N e de K (TESHA e KUMAR, 1979; OJENIYI, 1981; GUIMARÃES et al., 1995), aplicados por meio de adubações e até mesmo pelas técnicas modernas de fertirrigação (NOGUEIRA et al., 1998). O fornecimento adequado de K está correlacionado com a maior produção de amido, o melhor desenvolvimento da planta, a maior produção de grãos e a maior resistência a doenças, ao passo que a correta adubação nitrogenada reflete-se no crescimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos frutíferos, na formação de folhas verdes e brilhantes e no aumento do número de gemas floríferas (MALAVOLTA, 1986).

As variedades comerciais de café e o material genético que confere resistência ao agente da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.) têm sido avaliados quanto ao seu aspecto produtivo e quanto às suas características comerciais, porém, encontram-se poucas referências à eficiência nutricional (MALAVOLTA, 1986; BUNDT et al., 1997; SOUZA et al., 1998). Diversas culturas anuais e perenes vêm sendo analisadas em relação à eficiência de utilização de nutrientes, podendo ser mencionadas as pesquisas que focalizam os efeitos da acidez do solo sobre a eficiência de uso em genótipos de milho (BALIGAR et al., 1997) e a influência da fertilização potássica sobre a produção de matéria seca, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento de algodão (PETTIGREW e MEREDITH JR., 1997); o estudo da absorção e do uso de N por híbridos de milho (MA e DWYER, 1998); e o estudo das diferenças genotípicas para eficiência de utilização de fósforo em linhagens de pimentão (MOURA, 1996) e do comportamento diferencial de espécies de eucalipto quanto à eficiência de utilização de fósforo (FURTINI NETO, 1994).

Mudas saudáveis e bem preparadas garantem um bom desenvolvimento inicial do cafeeiro. Entretanto, são importantes a pesquisa e a detecção de plantas mais eficientes na utilização dos principais nutrientes, o que contribui

para a redução dos custos de produção, tornando mais rentável a exploração da cafeicultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de uso de nitrogênio e de potássio por duas linhagens de Catimor, portadoras de resistência à ferrugem do cafeeiro, e uma linhagem de Catuaí na fase de formação de mudas, buscando a possibilidade de seleção precoce de cafeeiros mais eficientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características do solo

O experimento em vasos foi instalado no Viveiro de Mudanças de Café, dirigido pelo Departamento de Fitopatologia da UFV, em convênio com a EPAMIG, no local denominado Fundão. Foi utilizado o solo de uma área próximo ao Aeroporto da UFV, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço, cujas características foram determinadas pelo Laboratório de Análise de Solo da UFV, estando apresentadas no Quadro 1.

2.2. Tratamentos empregados

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 5 x 3, constituído de cinco doses de N (0, 50, 100, 200, 400 mg/dm³), cinco doses de K (0, 50, 100, 200, 400 mg/dm³) e três linhagens (UFV 2237 - Catuaí Vermelho, UFV 2983 – Catimor e UFV 3880 - Catimor), totalizando 75 tratamentos e 300 parcelas experimentais, compostas de uma planta por vaso, de 21,5 cm de altura por 19,0 cm de diâmetro na base, contendo 5 dm³ de solo. Por ocasião do preparo do solo e do enchimento dos vasos, realizou-se, em cada um destes, a mistura

Quadro 1 - Características químicas das amostras do solo utilizado no experimento em vasos^{1/}

pH ^{2/}	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC		V	m
								Efet.	Total		
	--- mg/dm ³ ---		----- cmol _e /dm ³ -----							---- % ----	
6,1	5,3	101	0,0	5,0	1,4	2,4	6,57	6,57	8,97	73,2	0,0

^{1/} Extratores utilizados:

P e K = Extrator Mehlich 1.

Al, Ca e Mg = Extrator KCl 1 mol/L.

H+Al = Extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L pH 7,0.

^{2/} pH em água, relação 1:2,5.

completa de 25 g de superfosfato simples ao substrato. O plantio foi realizado em março de 1996, mediante a repicagem de mudas selecionadas em germinadores de areia. As doses dos fertilizantes foram divididas em dez aplicações, no período de abril a outubro de 1996, tendo os nutrientes sido fornecidos por meio de 50 mL de solução por vaso: o N nas formas de sulfato de amônio e de nitrato de amônio (alternadamente) e o K na forma de cloreto de potássio. No decorrer do período, foram fornecidos micronutrientes (B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo) em quantidades iguais para todos os vasos e nas doses recomendadas por ALVAREZ V. (1974).

2.3. Colheita total e preparo de amostras

As colheitas foram realizadas em três etapas, quando as mudas estavam com sete meses de idade, coletando-se a totalidade de folhas, caules ortotrópicos + ramos plagiotrópicos e raízes, devendo-se ressaltar que a cada etapa as partes colhidas foram lavadas com água desmineralizada, secas em estufa com ventilação forçada a 65°C, até atingirem peso constante, e posteriormente moídas. As amostras destinadas à determinação do N sofreram digestão sulfúrica (JACKSON, 1958), enquanto aquelas destinadas à

determinação do K foram submetidas à digestão nitroperclórica (JOHNSON e ULRICH, 1959).

2.4. Características analisadas

Antes da moagem, foi determinada a biomassa de cada uma das partes colhidas e da planta toda, por meio da pesagem de sua matéria seca. O teor de N nas amostras de cada um dos segmentos colhidos foi determinado por colorimetria, usando o reagente de Nessler (JACKSON, 1958), ao passo que o teor de K foi determinado por intermédio de fotometria de chama.

A partir do conhecimento dos teores de N e K, calculou-se o conteúdo dos nutrientes na matéria seca dos segmentos analisados. Para o estudo da eficiência de uso dos nutrientes pelas variedades, foram aplicadas as expressões matemáticas de conceitos de eficiência nutricional propostas por diversos pesquisadores, as quais estão resumidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Modelos matemáticos de eficiência nutricional e respectivas referências bibliográficas, aplicados em mudas de cafeeiros no experimento em vasos

Eficiência estudada	Fórmula Matemática	Referência Bibliográfica
Eficiência de uso	$\frac{(\text{Biomassa produzida})^2}{\text{Nutriente na biomassa}}$	SIDDIQI e GLASS (1981)
Eficiência de utilização	$\frac{\text{Matéria seca da planta}}{\text{Nutriente na planta}}$	SWIADER et al. (1994)
Eficiência de conversão	$\frac{\text{Biomassa produzida}}{\text{Nutriente na parte aérea}}$	LI et al. (1991)
Eficiência de translocação	$\frac{\text{Nutriente na parte aérea}}{\text{Nutriente na planta toda}} \times 100$	LI et al. (1991)
Eficiência de absorção	$\frac{\text{Nutriente total absorvido}}{\text{Matéria seca da raiz}}$	SWIADER et al. (1994)

Biomassa produzida - refere-se à matéria seca total da planta, em mg.

Nutriente - refere-se ao conteúdo do nutriente (teor \times MS \times 10), em mg.

Os resultados deste trabalho foram submetidos às análises de variância e de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes das equações, em que se utilizou o teste “t” de Student, a 1 e 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3, encontram-se resumidos os testes de significância estatística para as fontes de variação das características analisadas. Quando se utiliza experimento fatorial, o objetivo principal é o estudo da interação entre todos os fatores, sendo, neste caso, a interação $V \times N \times K$ básica para a interpretação dos resultados obtidos.

3.1. Teores dos nutrientes e produção de matéria seca

No Quadro 4, estão apresentados, resumidamente, os teores de N e K encontrados nos segmentos das mudas de café, na forma de porcentagem na matéria seca, não tendo sido possível a determinação do teor de K nas raízes. Foram verificados, para ambos os nutrientes, teores foliares elevados, com valores análogos aos de plantas adultas, que, se assim fossem, estariam situados nas seguintes faixas de classificação: para o N, as linhagens UFV 2237 e UFV 2983 estão próximas do limite máximo de “adequado” (de 2,7 a 3,2 - MALAVOLTA, 1993) ou entre “limiar” e “excessivo” (de 3,0 a 3,5 - IBC, 1985), enquanto a linhagem UFV 3880 encontra-se em “adequado” ou “limiar” (acima do nível de deficiência); e para o K, ‘UFV 2237’ possui teor “alto” (de 2,5 a 2,7) ou “excessivo” ($> 2,5$) e as outras duas variedades

Quadro 3 - Significância do teste F e coeficiente de variação experimental (CV) das variáveis avaliadas no experimento em vasos

Variáveis	Fontes de Variação							CV (%)
	V	N	K	V×N	V×K	N×K	V×N×K	
----- Folhas -----								
Teor de N (%)	**	**	ns	**	*	**	**	7,03
Teor de K (%)	**	**	*	**	*	*	**	10,23
Conteúdo de N (mg)	**	**	**	**	**	**	**	20,87
Conteúdo de K (mg)	**	**	**	**	**	**	**	22,66
----- Caule + ramos -----								
Teor de N (%)	**	**	ns	**	**	**	**	8,27
Teor de K (%)	ns	**	**	**	**	**	ns	8,95
Conteúdo de N (mg)	**	**	**	**	**	**	**	32,47
Conteúdo de K (mg)	**	**	**	**	**	**	**	34,52
----- Raízes -----								
Teor de N (%)	**	**	ns	**	**	**	**	8,04
Conteúdo de N (mg)	**	**	**	**	**	**	**	27,84
----- Planta toda -----								
Matéria seca (g)	**	**	**	**	**	**	**	18,41
Índice de utilização de N	**	**	**	**	**	**	**	19,40
Eficiência de utilização de N	**	**	ns	**	**	**	**	6,33
Eficiência de conversão de N	**	**	ns	**	**	**	**	7,16
Eficiência de conversão de K	**	**	**	**	**	**	**	8,73
Eficiência de translocação de N	**	**	**	**	**	**	**	3,47
Eficiência de absorção de N	*	**	**	ns	*	ns	**	30,17

** e * F significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

ns F não-significativo a 5% de probabilidade.

V = Linhagens.

N = Doses de N.

K = Doses de K.

Quadro 4 - Valores médios de teor de N e K, em porcentagem na matéria seca, peso de partes da planta (MS - g), relação folha:planta toda, em porcentagem e relação parte aérea:raiz em mudas de cafeeiros com idade de sete meses - experimento em vasos

Variedade	Parte da planta	Teor (dag/kg)		MS	Relação	
		N	K		Folha:planta (%)	Parte aérea:raiz
UFV 2237 (Catuaí)	Folhas	3,29	2,67	1,76		
	Caule + ramos	1,77	2,43	0,52	66,0	6,00
	Raízes	2,35	-	0,38		
UFV 2983 (Catimor)	Folhas	3,24	2,82	1,46		
	Caule + ramos	1,82	2,50	0,43	67,3	6,75
	Raízes	2,30	-	0,28		
UFV 3880 (Catimor)	Folhas	3,05	2,85	1,46		
	Caule + ramos	1,77	2,47	0,41	69,2	7,79
	Raízes	2,24	-	0,24		

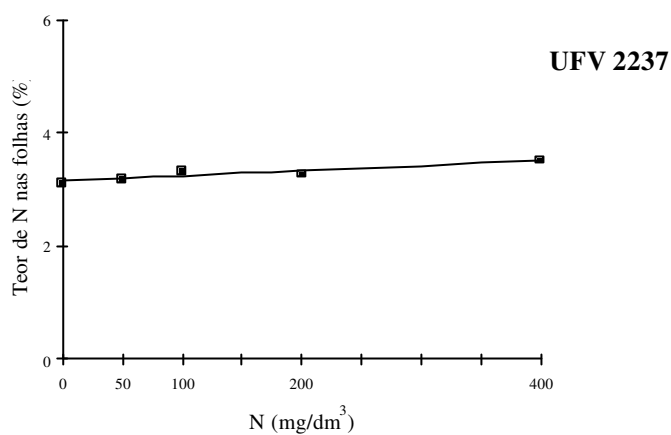
enquadram-se no nível “excessivo” ($> 2,7$ ou $> 2,5$) nas classificações consideradas como padrão para este estudo (MALAVOLTA, 1993; IBC, 1985). Esses valores se devem, provavelmente, aos efeitos da dose de 400 mg/dm^3 dos nutrientes, conforme se depreende dos dados contidos no Quadro 5 e na Figura 1, em que as estimativas mais altas referem-se ao citado tratamento, principalmente em relação ao N. Este deve ser também o motivo pelo qual CORREIA et al. (1983) e TREVISAN (1998) detectaram teores menores de N e K em mudas de seis meses, antes do plantio, e em cafeeiros com 12 meses de idade no campo, respectivamente. Em relação ao teor foliar de K, verifica-se, pela análise do Quadro 5 e da Figura 2, que as estimativas mais altas encontram-se na dose zero de N e nas maiores doses de K, ressaltando-se a falta de efeito significativo de K em UFV 3880.

Considerando a produção de matéria seca, observa-se, pela análise do Quadro 4, que a relação entre parte aérea (folhas + caule + ramos) e sistema radicular apresenta valores de 6,00 (‘UFV 2237’) a 6,75 (‘UFV 2983’) e de 7,79 (‘UFV 3880’) e que o peso da matéria seca de folhas representou, em

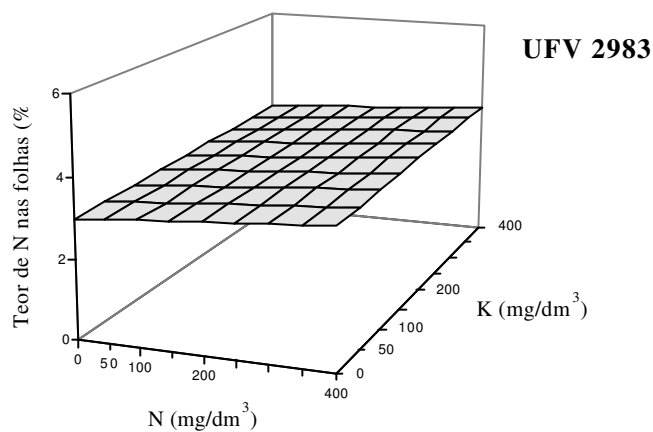
Quadro 5 - Estimativas mais altas das variáveis avaliadas (\hat{Y}) no experimento em vasos e respectivas doses de nutrientes (DN)

Variável	Parte da Planta	Variedades	\hat{Y}	DN (mg/dm ³)	
				N	K
Matéria seca (g)	Planta toda	UFV 2237	3,09	213,56	-
		UFV 2983	2,68	0	284,20
		UFV 3880	2,66	168,55	206,71
Teor de N (dag/kg)	Folhas	UFV 2237	3,52	400,00	-
		UFV 2983	3,61	400,00	400,00
		UFV 3880	3,38	400,00	0
Teor de K (dag/kg)	Folhas	UFV 2237	2,89	0	241,64
		UFV 2983	3,08	0	400,00
		UFV 3880	3,14	0	-
Conteúdo de N (mg)	Folhas	UFV 2237	72,51	248,13	0
		UFV 2983	53,54	-	400,00
		UFV 3880	56,89	182,10	194,91
Conteúdo de K (mg)	Folhas	UFV 2237	58,67	206,24	168,91
		UFV 2983	51,27	0	400,00
		UFV 3880	52,81	129,41	195,55
Eficiência de uso de N (mg ² MS/mg N)	Planta toda	UFV 2237	107.578	191,25	-
		UFV 2983	99.546	0	266,87
		UFV 3880	84.032	151,35	-
Eficiência de utilização de N (mg MS/mg N)	-	UFV 2237	37,92	0	400,00
		UFV 2983	37,56	0	-
		UFV 3880	40,76	400,00	400,00
Eficiência de conversão de N (mg MS/mg N)	Planta toda	UFV 2237	35,89	0	-
		UFV 2983	36,52	0	-
		UFV 3880	36,34	-	-
Eficiência de conversão de K (mg MS/mg K)	Planta toda	UFV 2237	42,88	400,00	0
		UFV 2983	41,04	400,00	0
		UFV 3880	44,35	400,00	-
Eficiência de translocação de N (%)	-	UFV 2237	91,65	400,00	0
		UFV 2983	90,52	254,34	-
		UFV 3880	90,49	-	177,95
Eficiência de absorção de N (mg N/mg MS)	-	UFV 2237	0,30	400,00	0
		UFV 2983	0,28	400,00	-
		UFV 3880	0,28	400,00	190,22

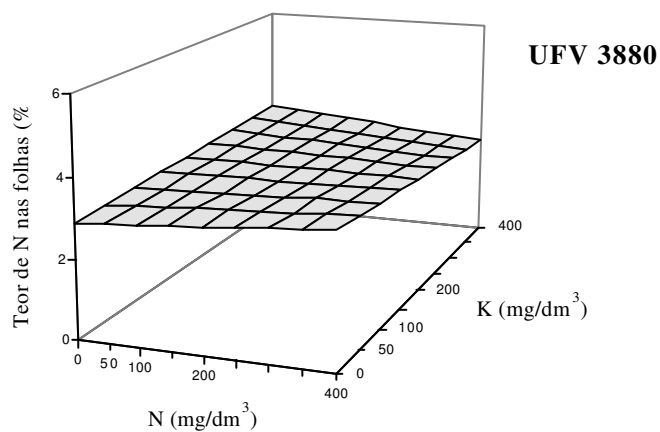
$$\hat{Y} = 3,15 + 0,0009202 **N \quad r^2 = 0,87$$



$$\hat{Y} = 3,02 + 0,001121 **N + 0,0003475 *K \quad R^2 = 0,42$$



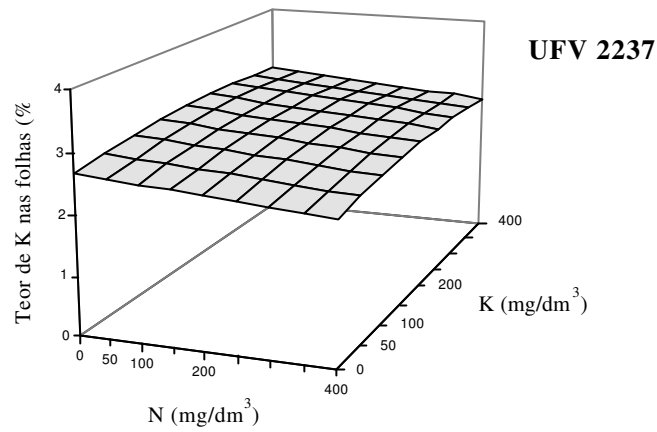
$$\hat{Y} = 2,92 + 0,001160 **N + 0,0006530 **K - 0,000006452 **NK \quad R^2 = 0,56$$



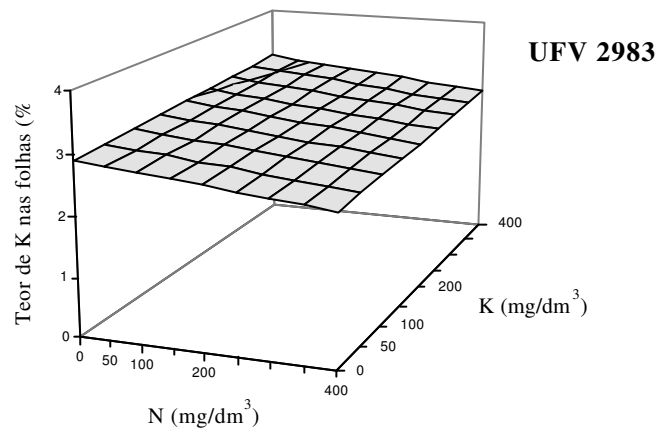
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 1 - Estimativa do teor de nitrogênio nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

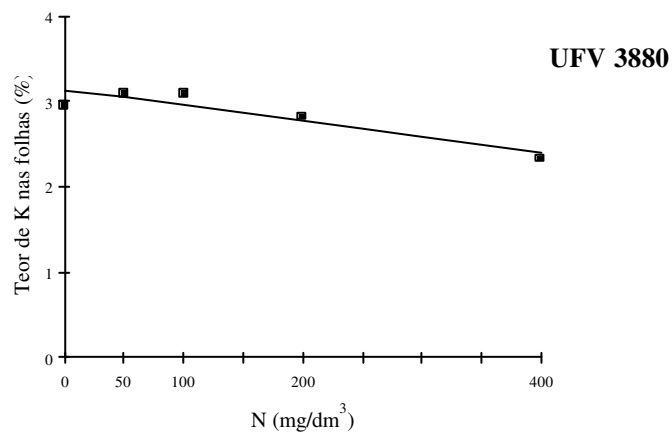
$$\hat{Y} = 2,67 - 0,0007833 **N + 0,001821 * K - 0,000003768 **K^2 \quad R^2 = 0,42$$



$$\hat{Y} = 2,91 - 0,001059 **N + 0,0004070 * K \quad R^2 = 0,45$$



$$\hat{Y} = 3,14 - 0,001844 **N \quad r^2 = 0,85$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 2 - Estimativas do teor de potássio nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

relação ao peso total, 66% para a linhagem UFV 2237, 67,3% para a linhagem UFV 2983 e 69,2% para a linhagem UFV 3880. Tais resultados não estão muito distantes daqueles obtidos por CORREIA et al. (1983), quais sejam, 5,33 na relação parte aérea/raiz e 66,0% de matéria seca de folhas em relação à matéria seca total, em mudas de ‘Catuaí’ com seis meses de idade.

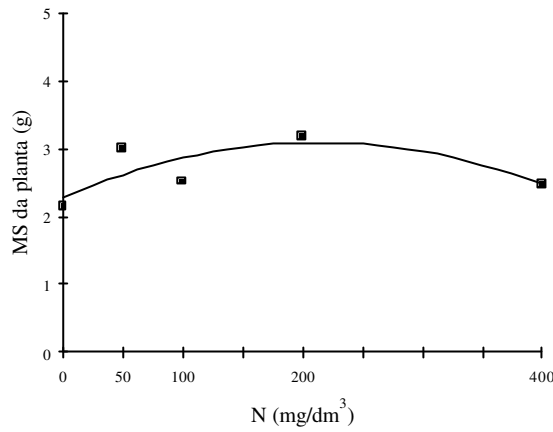
Na Figura 3 está a representação gráfica dos efeitos das doses dos nutrientes sobre a matéria seca total das mudas das variedades analisadas. Verificou-se que para a linhagem UFV 2237 não houve efeito significativo de K, enquanto para N o ponto máximo correspondeu à dose de 213,56 mg/dm³. A linhagem UFV 2983 obteve menor produção total de matéria seca com o acréscimo de N, ao passo que produziu mais matéria seca total sob o efeito do aumento no fornecimento de K, até o ponto máximo, na dose de 284,20 mg/dm³. Já para a linhagem UFV 3880, os acréscimos na aplicação de N e de K provocaram respostas quadráticas na produção de sua matéria seca total. A análise do Quadro 5 leva a constatar que a maior estimativa de matéria seca da planta toda pertence à linhagem UFV 2237, sendo 15,30 e 16,16% a mais que as estimativas mais altas das linhagens UFV 2983 e UFV 3880, respectivamente, tendo ela exigido mais nutrientes que as demais, para atingir seu mais alto valor estimado.

3.2. Conteúdos dos nutrientes na matéria seca da folha

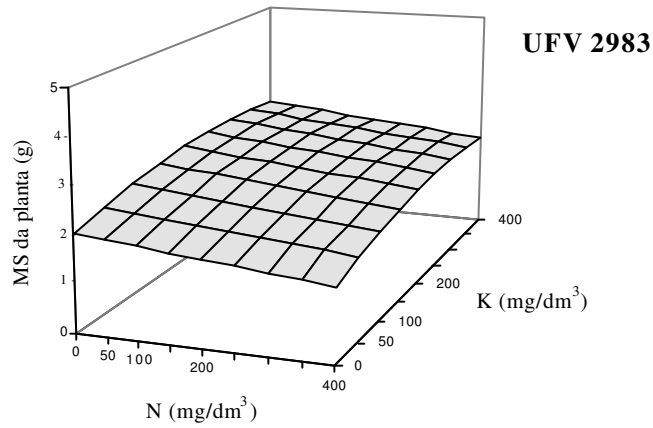
Embora o teor foliar seja considerado indicativo do estado nutricional de uma planta, o conhecimento do conteúdo do nutriente na folha, que é obtido pelo produto entre o teor e a matéria seca produzida, também traz informações importantes, além de ser utilizado, junto com os conteúdos dos outros segmentos da planta, nos cálculos matemáticos para expressão dos diversos conceitos de eficiência.

Na Figura 4, verifica-se que o conteúdo de N nas folhas da linhagem UFV 2237 foi afetado de forma quadrática pelo N, com ponto máximo na dose de 248,13 mg/dm³, e de forma linear pelo K, cujo aumento de

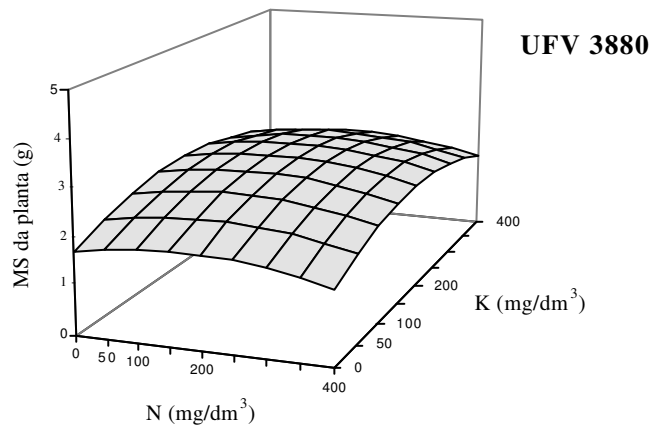
$$\hat{Y} = 2,28 + 0,007607 **N - 0,00001781 **N^2 \quad R^2 = 0,58$$



$$\hat{Y} = 2,08 - 0,001262 **N + 0,004196 **K - 0,000007382 **K^2 \quad R^2 = 0,62$$



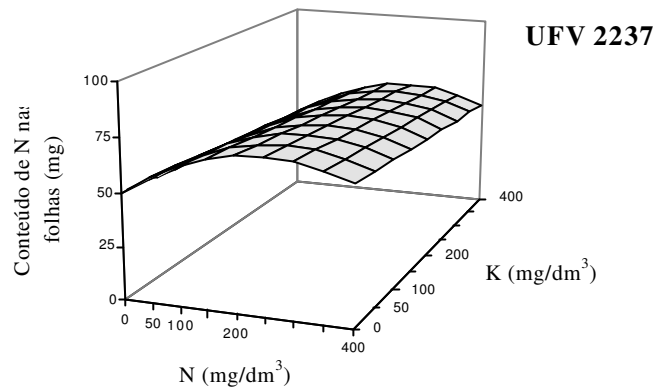
$$\hat{Y} = 1,76 + 0,002470 * N - 0,000007327 **N^2 + 0,006656 **K - 0,00001610 **K^2 \quad R^2 = 0,59$$



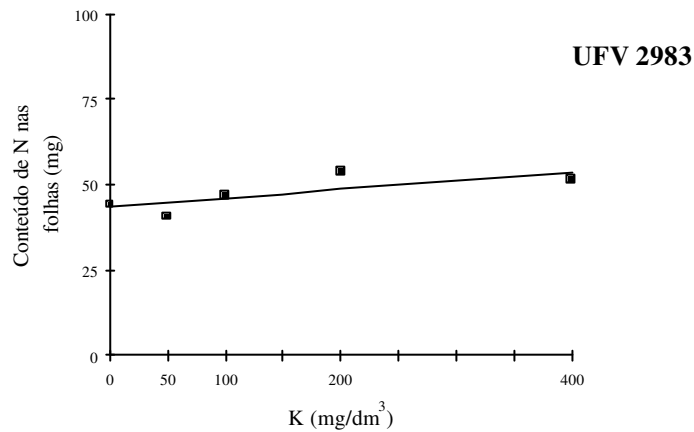
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 3 - Matéria seca da planta toda das variedades UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, experimento em vasos.

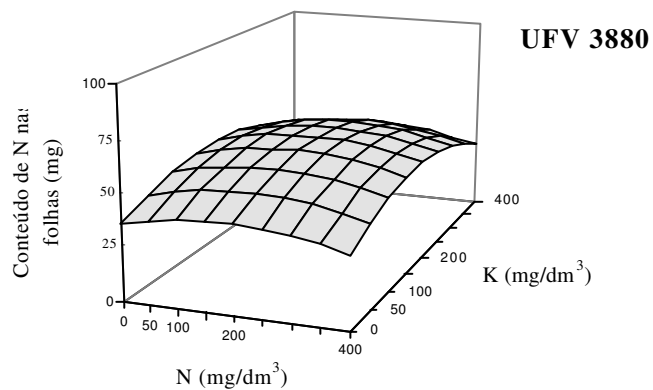
$$\hat{Y} = 50,26 + 0,1794 ** N - 0,0003615 ** N^2 - 0,02560 ** K \quad R^2 = 0,24$$



$$\hat{Y} = 43,58 + 0,02490 ** K \quad r^2 = 0,55$$



$$\hat{Y} = 36,62 + 0,06359 * N - 0,0001746 ** N^2 + 0,1486 ** K - 0,0003812 ** K^2 \quad R^2 = 0,21$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 4 - Estimativa do conteúdo de nitrogênio nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

quantidade proporcionou diminuição no conteúdo de N; a linhagem UFV 2983 não sofreu efeito significativo de N, tendo sido verificado que o aumento de K contribuiu para o maior conteúdo de N em suas folhas; a linhagem UFV 3880 forneceu respostas quadráticas para N e K, atingindo maiores estimativas nas doses de 182,10 e 194,91 mg/dm³, respectivamente. Em relação ao conteúdo de K, verifica-se, na Figura 5, que as linhagens UFV 2237 e UFV 3880 apresentaram respostas quadráticas às doses aplicadas de N e de K, em que suas maiores estimativas correspondendo às doses de 206,24 e 129,41 mg/dm³ de N e 168,91 e 195,55 mg/dm³ de K, respectivamente; a linhagem UFV 2983 foi influenciada por efeitos inversos dos dois nutrientes, de tal maneira que o aumento na dose de N provocou menores valores de conteúdo e o aumento na dose de K causou valores mais altos de conteúdo de K nas folhas.

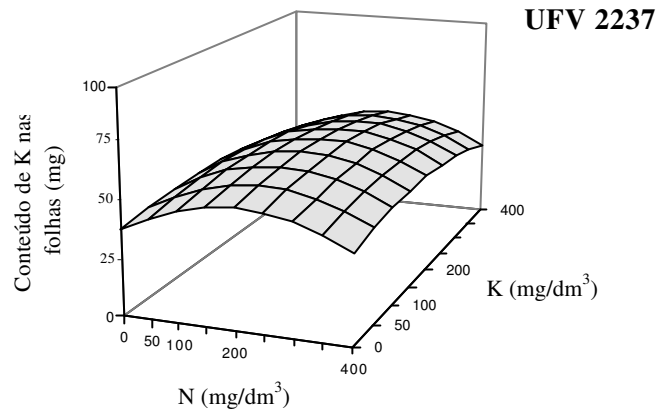
A análise do Quadro 5 revela que a linhagem UFV 2237, que apresentou a maior estimativa para matéria seca total por planta, também apresentou as mais altas estimativas para os conteúdos de N e K na folha, principalmente em relação ao N.

3.3. Eficiência de uso de N

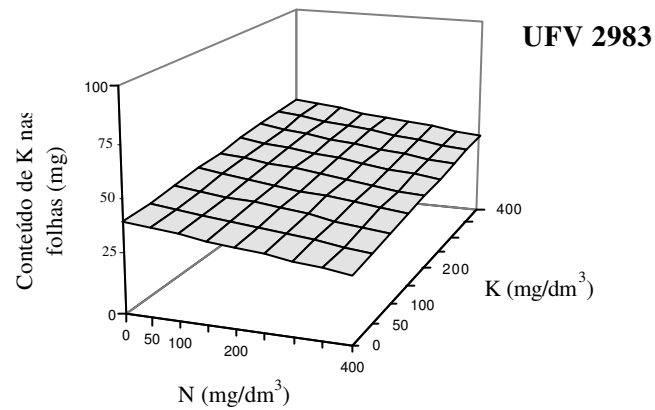
SIDDIQI e GLASS (1981) propuseram uma nova abordagem para a dedução da eficiência com que as plantas utilizam os nutrientes à sua disposição, em que levaram em consideração a concentração do nutriente durante o período em que ele se encontra sob análise. Por este motivo, a eficiência de uso é calculada por meio da relação entre o quadrado da biomassa produzida, que nesta pesquisa refere-se à matéria seca de toda a planta (parte aérea + sistema radicular), e o conteúdo do nutriente nesta biomassa.

A análise da Figura 6 demonstra que a linhagem UFV 2237 apresentou resposta quadrática ao fornecimento de N, com ponto máximo correspondendo à dose de 191,25 mg/dm³, não tendo sido observado efeito

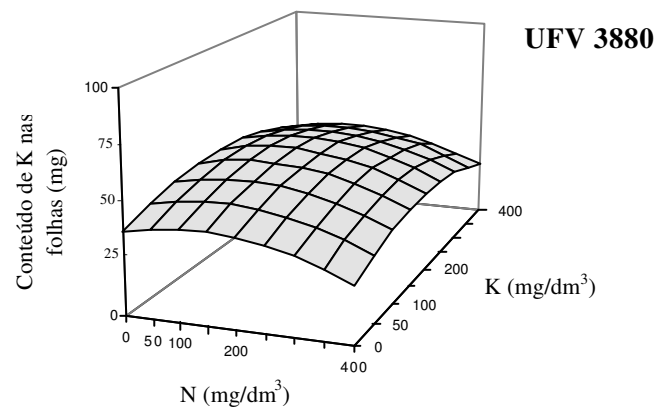
$$\hat{Y} = 38,45 + 0,1461 **N - 0,0003542 **N^2 + 0,06101 * K - 0,0001806 **K^2 \quad R^2 = 0,25$$



$$\hat{Y} = 41,72 - 0,02892 **N + 0,02387 **K \quad R^2 = 0,32$$



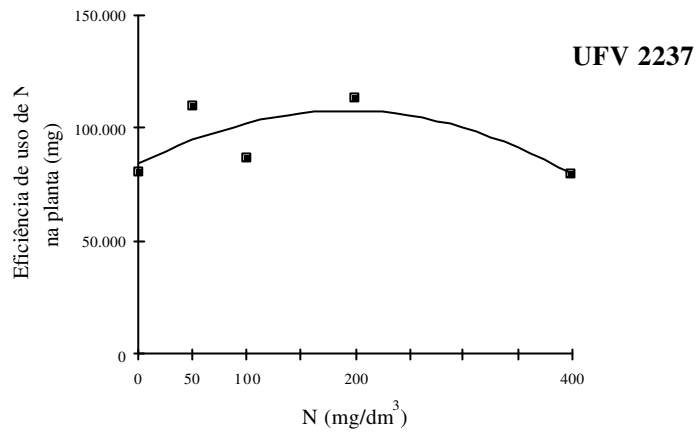
$$\hat{Y} = 38,12 + 0,05562 * N - 0,0002149 **N^2 + 0,1135 **K - 0,0002902 **K^2 \quad R^2 = 0,25$$



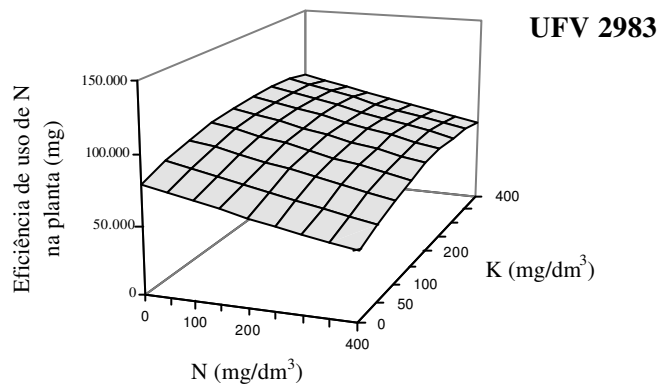
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 5 - Estimativa do conteúdo de potássio nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

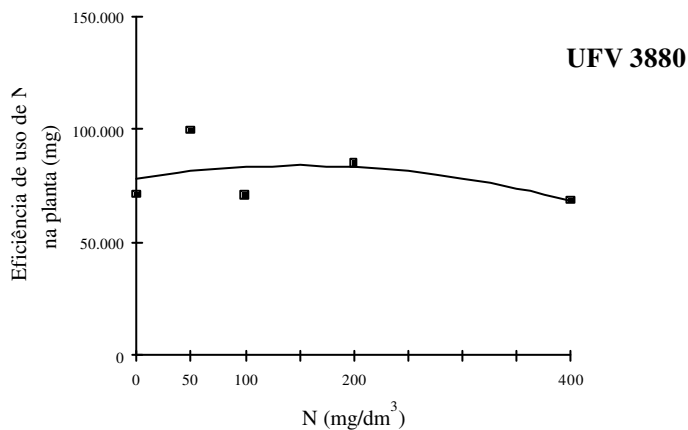
$$\hat{Y} = 84.236,70 + 243,2050 **N - 0,6335 **N^2 \quad R^2 = 0,52$$



$$\hat{Y} = 78.877,70 - 74,0896 **N + 154,8910 **K - 0,2902 **K^2 \quad R^2 = 0,55$$



$$\hat{Y} = 78.213,80 + 76,8860 **N - 0,2540 *N^2 \quad R^2 = 0,53$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 6 - Estimativa da eficiência de uso de N considerando a planta toda, para as linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

significativo de K; para a linhagem UFV 2983, a eficiência de uso foi reduzida com o aumento na dose de N, ao passo que foi verificada resposta quadrática ao fornecimento de K, em que a maior estimativa estava ligada à dose de 266,87 mg/dm³; a linhagem UFV 3880 apresentou efeito não-significativo de K e resposta quadrática para o N, de tal forma que o ponto máximo correspondeu à dose de 151,35 mg/dm³. Verificando o Quadro 5, é possível detectar que a linhagem UFV 2237 apresentou a maior eficiência de uso estimada, tendo sido superior em 8,07% à linhagem UFV 2983 e em 28,02% à linhagem UFV 3880, necessitando, para tanto, de mais quantidade de N que as demais; por outro lado, a linhagem UFV 2983 exigiu elevado fornecimento de K para atingir sua mais alta estimativa e a linhagem UFV 3880 necessitou de N em quantidade intermediária. Observa-se, ainda, que a linhagem UFV 2237 foi a de maiores estimativas para a produção total de matéria seca e conteúdo foliar de N e K, características relacionadas com maior eficiência de uso de ambos os nutrientes.

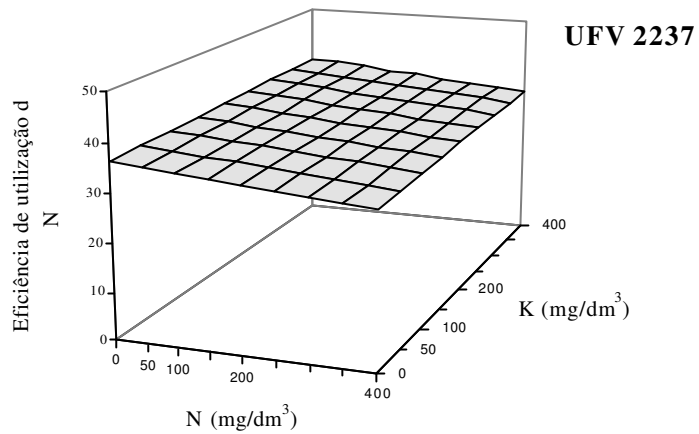
3.4. Eficiência de utilização de N

Uma das maneiras mais utilizadas para estudar a eficiência das plantas no uso de nutrientes é o cálculo da relação entre a produção de matéria seca da planta toda e o conteúdo do nutriente na matéria seca, denominado de eficiência de utilização (SWIADER et al., 1994).

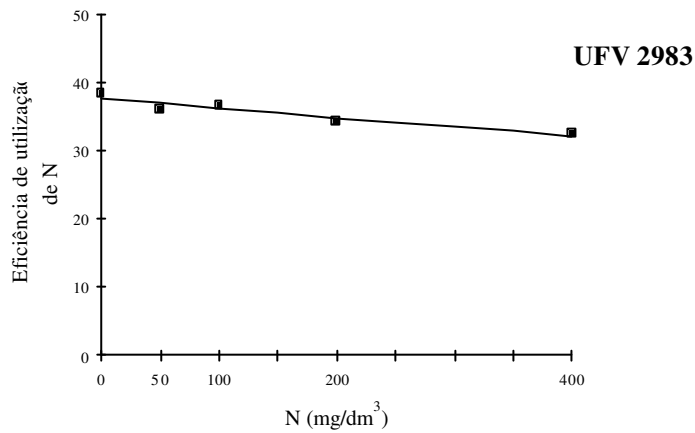
Analisando a Figura 7, verifica-se que, para a linhagem UFV 2237, o acréscimo de N reduziu a eficiência de utilização, enquanto o aumento de K na dose contribuiu para tornar mais alta a mesma eficiência; a linhagem UFV 2983 foi afetada significativamente apenas pelo N, cujo aumento na quantidade fornecida correspondeu à menor eficiência; em relação à linhagem UFV 3880, verificou-se que o aumento em conjunto de ambos os nutrientes propiciou acréscimo na eficiência de utilização de N.

Pelos dados apresentados no Quadro 5, observa-se que as linhagens UFV 2237 e UFV 2983 apresentaram valores praticamente iguais para suas

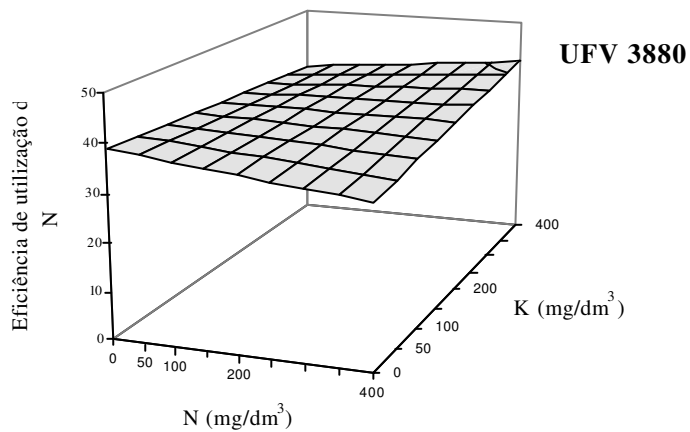
$$\hat{Y} = 36,37 - 0,01121 **N + 0,003866 **K \quad R^2 = 0,64$$



$$\hat{Y} = 37,56 - 0,01351 **N \quad r^2 = 0,89$$



$$\hat{Y} = 38,83 - 0,01384 **N - 0,006942 **K + 0,00006402 **NK \quad R^2 = 0,50$$



** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 7 - Eficiência de utilização de N das variedades UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

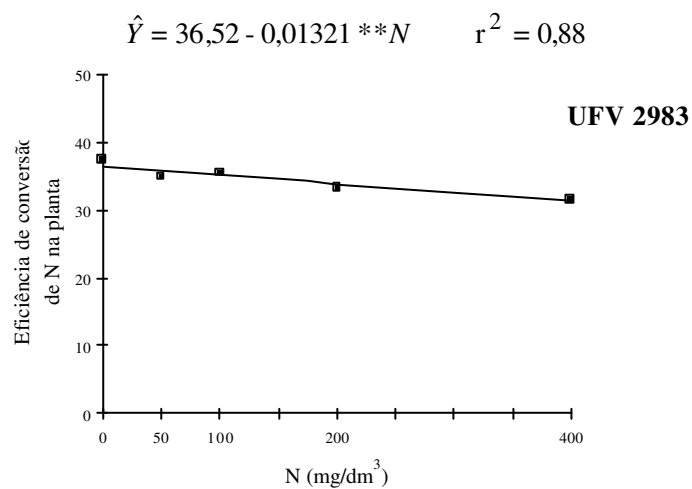
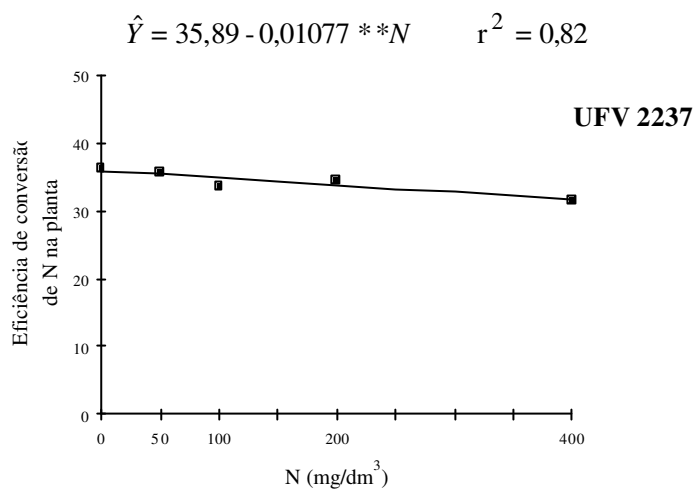
estimativas mais altas de eficiência de utilização de N e que a linhagem UFV 3880 obteve o maior valor de estimativa entre as variedades. Entretanto, para atingir tal condição, esta linhagem exigiu as maiores doses de cada um dos nutrientes. Esta constatação evidencia que, para comparação do material genético empregado, a eficiência de uso mostrou ser a mais útil, em que a linhagem de destaque, UFV 2237, utilizou quantidades bem menores de fertilizantes com maior eficiência, pois apresenta também as maiores estimativas de conteúdo de N e K e de produção de matéria seca total.

3.5. Eficiência de conversão de N e K, em relação à planta toda

A eficiência de conversão é determinada pela relação entre a biomassa produzida e o conteúdo do nutriente na parte aérea da planta, medindo, desta forma, a eficiência do vegetal em converter nutriente em biomassa.

A análise da Figura 8 mostra que somente o N teve efeito significativo na eficiência de conversão de N pelas linhagens UFV 2237 e UFV 2983, de tal forma que, em ambos os casos, acréscimos na dose do nutriente corresponderam a menores valores de eficiência; por outro lado, a linhagem UFV 3880 não foi influenciada significativamente pelos macronutrientes estudados, tendo atingido eficiência média igual a 36,34.

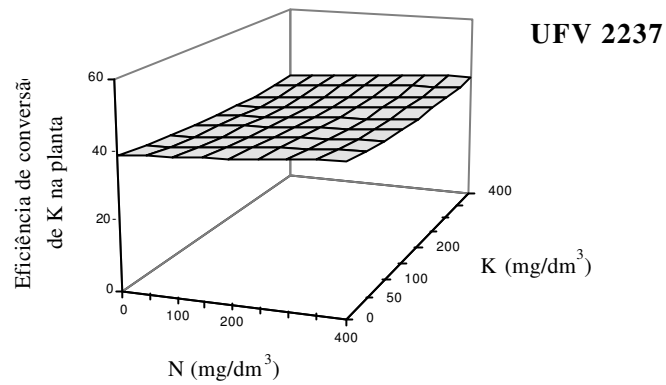
Os dois nutrientes afetaram a eficiência de conversão de K em duas das variedades analisadas, conforme se comprova pelos gráficos contidos na Figura 9. Para a linhagem UFV 2237, a eficiência teve um pequeno aumento com o incremento na quantidade fornecida de N, observando-se resposta quadrática às doses de K. Em referência à linhagem UFV 2983, foi verificada resposta linear aos acréscimos de N e K, observando-se, respectivamente, em consequência, maiores valores e menores valores de eficiência de conversão de K, ao passo que a linhagem UFV 3880 apresentou resposta quadrática ao fornecimento de N.



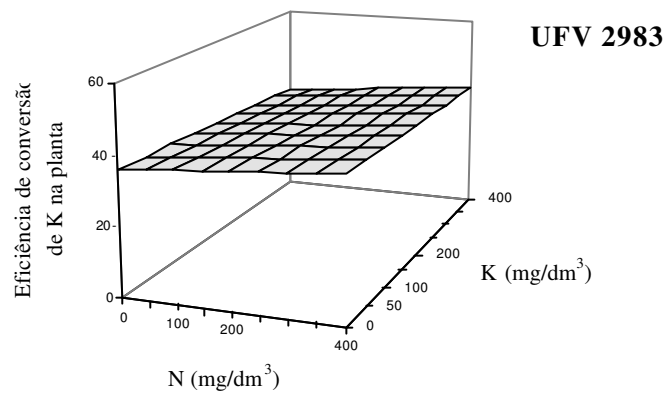
** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 8 - Estimativas de eficiência de conversão de N em relação à planta toda, das linhagens UFV 2237 e UFV 2983, em função de doses de N, no experimento em vasos.

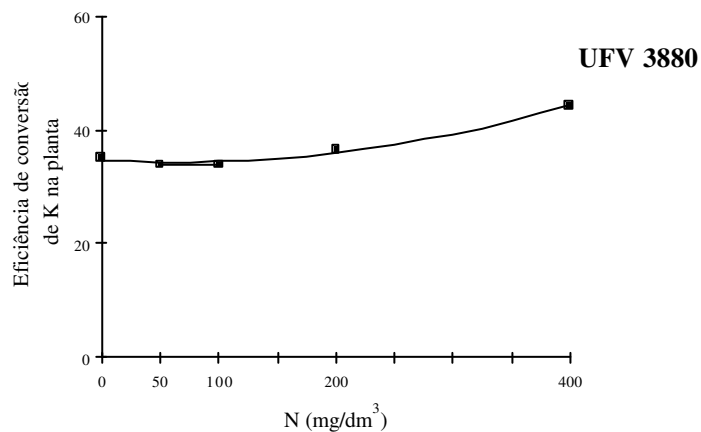
$$\hat{Y} = 38,77 + 0,01027 **N - 0,02405 * K + 0,00004504 * K^2 \quad R^2 = 0,54$$



$$\hat{Y} = 36,24 + 0,01202 **N - 0,007378 **K \quad R^2 = 0,57$$



$$\hat{Y} = 34,64 - 0,01099 **N + 0,00008817 **N^2 \quad R^2 = 0,98$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 9 - Estimativa da eficiência de conversão de K na a planta das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, experimento em vasos.

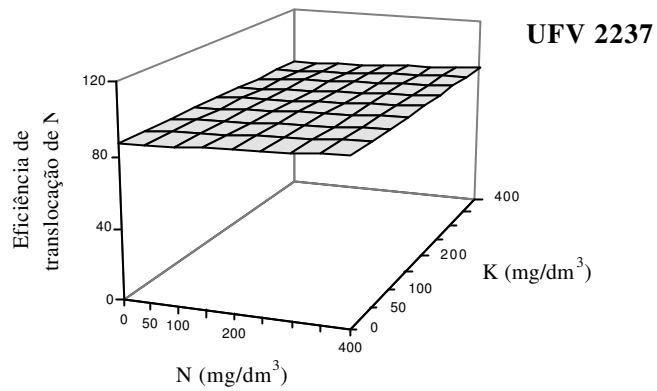
Os dados apresentados no Quadro 5 mostram que as estimativas mais altas das linhagens pesquisadas são muito próximas entre si, tanto em relação à eficiência de conversão de N quanto à eficiência de conversão de K, não permitindo, portanto, o destaque de qualquer linhagem sob este aspecto. Em outras palavras, em que pesem as diferenças de comportamento, as linhagens apresentaram praticamente a mesma capacidade máxima de eficiência na conversão dos macronutrientes analisados em matéria seca total da planta.

3.6. Eficiência de translocação de N

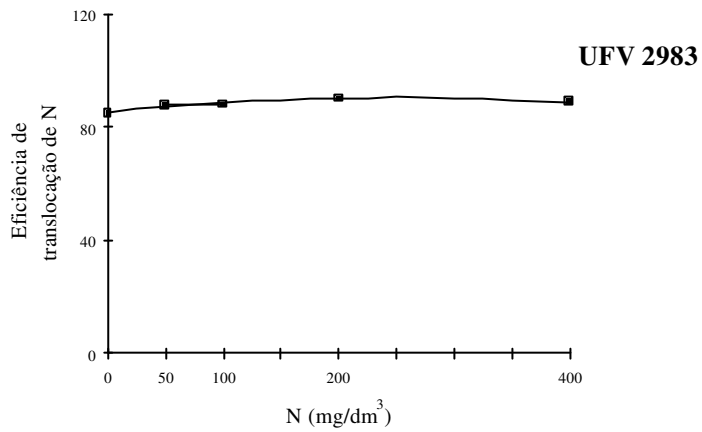
Segundo LI et al. (1991), a eficiência de translocação, assim como a eficiência de conversão, é um dos componentes básicos da eficiência de utilização e consiste na razão entre o conteúdo do nutriente na parte aérea e o seu conteúdo no total da planta (raiz + parte aérea).

Com base na análise da Figura 10, pode-se afirmar que, para a linhagem UFV 2237, foram obtidos efeitos lineares dos nutrientes, correspondendo o aumento de N ao incremento na eficiência, enquanto o acréscimo de K correspondeu a menores valores para a eficiência de translocação de N. Em relação à linhagem UFV 2983, observou-se resposta quadrática às aplicações de N, sem efeito significativo de K, ao passo que a linhagem UFV 3880 apresentou resposta quadrática ao incremento de K, não tendo sido afetada significativamente pelo N. Observando o Quadro 5, nota-se que as estimativas mais altas de eficiência de translocação de N foram praticamente iguais para as linhagens analisadas. Entretanto, para atingi-las, a linhagem UFV 2237 requereu a maior dose de N, a linhagem UFV 2983 exigiu dose relativamente alta de N e a linhagem UFV 3880 necessitou de quantidades intermediárias de K. Verifica-se também que a linhagem UFV 2237, que se destacou na eficiência de uso de N para produção de biomassa total, exigiu muito mais nutriente para atingir alta eficiência de translocação do que para alcançar elevada eficiência de uso. Os resultados obtidos indicam que, em relação à determinação da eficiência de translocação, as linhagens

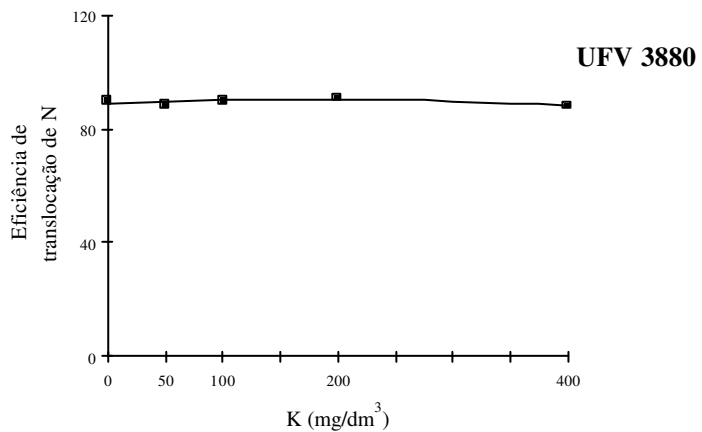
$$\hat{Y} = 87,25 + 0,1101 **N - 0,0006758 **K \quad R^2 = 0,40$$



$$\hat{Y} = 85,31 + 0,04099 **N - 0,00008058 **N^2 \quad R^2 = 0,93$$



$$\hat{Y} = 89,09 + 0,01582 * K - 0,00004445 **K^2 \quad R^2 = 0,63$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 10 - Estimativa da eficiência de translocação de N das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

estudadas não evidenciaram diferenças quanto aos maiores valores estimados de eficiência.

3.7. Eficiência de absorção de N

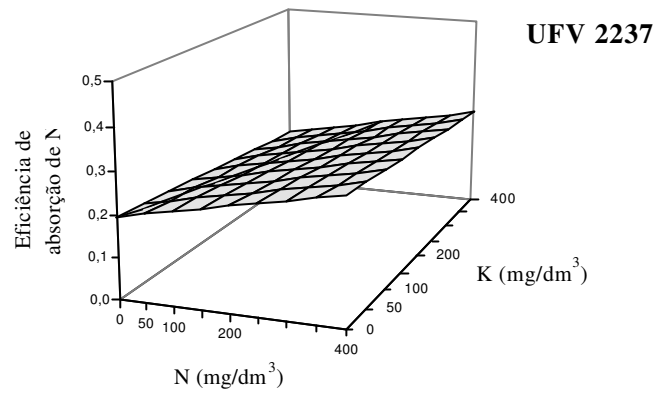
A eficiência de absorção é representada pela razão entre o nutriente total absorvido e a matéria seca da raiz.

Os dados apresentados na Figura 11 permitem afirmar que a linhagem UFV 2237 apresentou respostas lineares às doses dos nutrientes, de tal forma que o aumento na quantidade fornecida de N correspondeu ao aumento da eficiência de absorção, enquanto acréscimos em K estavam relacionados com menores valores de eficiência; para a linhagem UFV 2983, a eficiência se tornou maior com maiores quantidades de N, não tendo sido observado efeito significativo de K; no caso da linhagem UFV 3880, registrou-se efeito linear de N e resposta quadrática às doses de K. A análise do Quadro 5 indica que os valores das estimativas mais altas para esta variável foram muito próximos entre si, não havendo distinção entre as linhagens. Destaca-se o fato de todas as linhagens terem alcançado suas maiores estimativas na maior dose de N, ocorrendo as seguintes diferenças quanto às quantidades necessárias de K: dose zero do nutriente, no caso da linhagem UFV 2237, e dose intermediária, no caso da linhagem UFV 3880. Considerando os maiores valores estimados para as linhagens analisadas, pode-se afirmar que não houve linhagem de destaque em relação à eficiência de absorção de N.

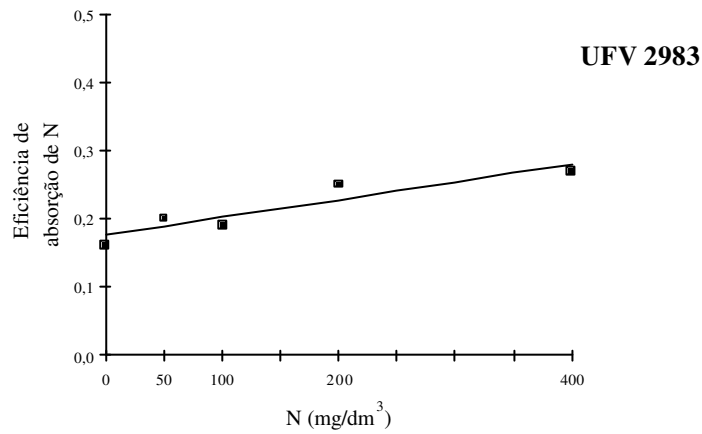
3.8. Considerações gerais sobre os resultados obtidos

Os dados apresentados neste trabalho têm como principal objetivo estudar a eficiência de utilização de N e K por três linhagens de café, de maneira a produzir mudas de boa qualidade e a se tornarem úteis para avaliação precoce em viveiro. Não foram encontrados, na revisão de literatura, trabalhos com essa finalidade específica do estudo da eficiência em

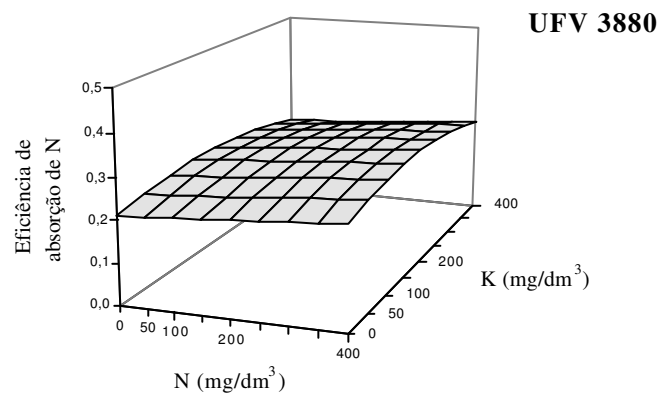
$$\hat{Y} = 0,19 + 0,0002523 **N - 0,0001210 *K \quad R^2 = 0,42$$



$$\hat{Y} = 0,18 + 0,0002586 **N \quad r^2 = 0,89$$



$$\hat{Y} = 0,21 + 0,00009801 * N + 0,0003779 * K - 0,0000009933 * K^2 \quad R^2 = 0,48$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 11 - Estimativa da eficiência de absorção de N, das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento em vasos.

mudas de cafeeiros, porém, resultados referentes à produção de matéria seca e os teores de nutrientes (CORREIA et al., 1983; TREVISAN, 1998) foram de muita utilidade para balizamento de algumas discussões. Como era de se esperar, ocorreram grandes variações nos dados obtidos, o que não permite conclusões definitivas a respeito das características analisadas. Essas variações se devem aos diversos conceitos de eficiência de uso de nutrientes e aos fatores que afetam essa eficiência (SIDDIQI e GLASS, 1981; MARSCHNER, 1986; LI et al., 1991; GOURLEY et al., 1994; SWIADER et al., 1994), devendo ser lembrado, também, que a produção de mudas encontra-se sujeita às influências dos mesmos fatores que afetam a produtividade, entre os quais podem-se citar: propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, variabilidade genética das plantas, morfologia e fisiologia de raízes, aspectos climáticos e exigências nutricionais.

Entretanto, algumas informações importantes podem ser extraídas dos resultados obtidos. Os dados referentes à linhagem UFV 2237 (Catuaí), na maioria das estimativas mais altas das características focalizadas, indicam que, para esta linhagem, o N foi mais requisitado que o K para a formação de mudas com maior eficiência de utilização destes macronutrientes. As linhagens de Catimor (UFV 2983 e UFV 3880) apresentaram comportamento que se pode avaliar como intermediário, ora necessitando mais de N, ora de K, ou mesmo de ambos.

O critério utilizado para detectar possíveis diferenças genotípicas entre as linhagens foi o estudo dos valores mais altos que poderiam ser obtidos nas estimativas das variáveis analisadas e as respectivas doses de nutrientes. Assim, poderia ser afirmado que não houve distinção entre as linhagens quanto às eficiências de absorção, translocação e conversão, ou seja, as linhagens tiveram, em referência aos macronutrientes estudados, a mesma eficiência em absorver, translocar para a parte aérea e converter o conteúdo da parte aérea em matéria seca. Por outro lado, detectaram-se destaques entre as linhagens, quando foram efetuadas as determinações da eficiência de utilização (UFV 3880) e da eficiência de uso (UFV 2237). Em

ambos os casos, a característica considerada foi a produção total de matéria seca em relação ao conteúdo total de nutrientes.

Considerando que a linhagem UFV 3880 exigiu as maiores doses de nutrientes para atingir sua estimativa mais alta de eficiência e que a linhagem UFV 2237 requereu muito menos quantidades para o mesmo objetivo, esta pode ser considerada como a de melhor comportamento neste estudo.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido no período de abril a outubro de 1996, no Viveiro de Mudanças de Café da UFV/Departamento de Fitopatologia, no local denominado Fundão, com o objetivo de avaliar a eficiência de utilização de N e K por três linhagens de cafeeiro, no período de formação de mudas. Instalou-se um experimento fatorial 5 x 5 x 3, em vasos, com os tratamentos dispostos no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram analisadas as linhagens UFV 2237 (Catuaí Vermelho), UFV 2983 (Catimor) e UFV 3880 (Catimor), tendo sido empregadas as seguintes doses totais, por planta, em vaso de 5 dm³ de solo: 0, 50, 100, 200 e 400 mg/dm³ de N e de K. A cultura foi conduzida até os sete meses de idade, quando foi realizada a colheita total de cada planta, dividida em três etapas: folhas, caule + ramos e raízes. Após a secagem e moagem de todo o material e o preparo das respectivas amostras, foram determinados o teor e o conteúdo dos nutrientes para os cálculos matemáticos referentes às eficiências de uso de nutrientes pelas plantas, conceituadas como: eficiência de uso, eficiência de conversão, eficiência de translocação, eficiência de utilização e eficiência de absorção. Também foram realizadas análises comparativas da capacidade de produção de biomassa total e do teor foliar dos nutrientes estudados.

A grande variação observada nos resultados deveu-se, provavelmente, aos fatores que afetam o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, a formação de mudas, principalmente os de ordem genética, edáfica e fisiológica, e que afetam igualmente a utilização dos nutrientes disponíveis. Deve-se ressaltar, ainda, que o experimento foi conduzido em viveiro de produção de mudas, seguindo as técnicas usuais para esta finalidade, diferente, portanto, da condução em casas de vegetação.

A linhagem UFV 2237 (Catuaí), entre as analisadas, foi a que apresentou os teores foliares mais elevados de N, necessitando, para tanto, da dose máxima deste nutriente, ao mesmo tempo em que demonstrou não ser afetada significativamente pelo K neste aspecto. A mesma linhagem destacou-se em relação às estimativas mais altas da produção total de matéria seca, dos conteúdos foliares de N e K e da eficiência de uso de N, requerendo, nestes casos, quantidades intermediárias de N e K.

A linhagem UFV 3880 (Catimor) distinguiu-se no teor de K das folhas e nas estimativas mais altas da eficiência de utilização de N, ainda que tenha exigido a dose máxima de ambos os nutrientes para se mostrar mais eficiente.

Não foi observada distinção entre as variedades, considerando-se as estimativas mais altas, quanto às eficiências de conversão de N e K, de translocação de N e de absorção de N; entretanto, na maioria das situações de maior eficiência, o N foi requerido na dose máxima e o K, em quantidades pequenas ou mínimas.

O conjunto dos dados obtidos indica que as linhagens cafeeiras empregadas nesta pesquisa demonstraram, de modo geral, ser mais necessitadas de N do que de K para o aproveitamento eficiente destes nutrientes no período inicial de desenvolvimento das plantas, como também exibiram elevada eficiência na utilização de N e K preexistentes no solo utilizado para enchimento dos vasos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-V., V.H. **Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1974. 125p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1974.
- BALIGAR, V.C., PITTA, G.V.E., GAMA, E.E.G., SCHAFFERT, R.E., BAHIA FILHO, A.F.C., CLARK, R.B. Soil acidity effects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. **Plant and Soil**, v.192, p.9-13, 1997.
- BUNDT, M., KRETZSCHMAR, S., ZECH, W., WILCKE, W. Seasonal dynamics of nutrients in leaves and xylem sap of coffee plants as related to different soil compartments. **Plant and Soil**, v.197, p.157-166, 1997.
- CORREIA, J.B., GARCIA, A.W.R., COSTA, P.C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10, Poços de Caldas, 1983. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p.177-183.
- FAGERIA, N.K., MORAIS, O.P., BALIGAR, V.C., WRIGHT, J.R. Response of rice cultivar to phosphorus supply on an oxisol. **Fertilizer Research**, v.16, p.195-206, 1988.
- FURTINI NETO, A.E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus spp.*** Viçosa, MG: UFV, 1994. 99p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1976. 468p.
- GOURLEY, C.J.P., ALLAN, D.L., RUSSELLE, M.P. Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil**, v.158, p.29-37, 1994.
- GUIMARÃES, R.J., FRAGA, A.C., CARVALHO, J.G., MENDES, A.N.G., CARVALHO, G.R. Efeito da aplicação em cobertura de N e K em diferentes doses e épocas no desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21, Caxambu, 1995. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1995. p.150-152.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Ministério da Indústria e do Comércio. **CULTURA DO CAFÉ NO BRASIL - Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro, 1985. 580p.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. 458p.
- JOHNSON, C.M., ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analysis**. Florida: University of California, 1959. v.766, p.32-33.
- LI, B., McKEAND, S.E., ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v.37, n.2, p.613-626, 1991.
- MA, B.L., DWYER, L.M. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids differing in leaf senescence. **Plant and Soil**, v.199, p.283-291, 1998.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro - colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1993. 210p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B., MALAVOLTA, E., ROCHA, M., YAMADA, T. (Eds.) **Cultura do cafeeiro - fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p.165-274.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. p.401-523.

- MOURA, W. M. **Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão** (*Capsicum annuum* L.). Viçosa, MG: UFV, 1996. 102p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- NOGUEIRA, F.D., LIMA, L.A., GUIMARÃES, P.T.G. Fertirrigação para o cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.19, n.193, p.82-91, 1998.
- OJENIYI, S.O. Effect of long-term application on secondary and micronutrients contents of *Coffea canephora* Pierre. **Plant and Soil**, v.60, n.3, p.477-480, 1981.
- PETTIGREW, W.T., MEREDITH JR., W.R. Dry matter production, nutrient uptake and growth of cotton as affected by potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, n.4/5, p.531-548, 1997.
- RENA, A.B., MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B., MALAVOLTA, E., ROCHA, M., YAMADA, T. (Eds.) **Cultura do cafeeiro - fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.13-85.
- SIDDIQI, M.Y., GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, n.3, p.289-302, 1981.
- SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Iowa State: University Press, 1976. 593p.
- SOUZA, C.A.S., GUIMARÃES, P.T.G., FURTINI NETO, A.E., NOGUEIRA, F.D. Eficiência nutricional de cultivares de cafeeiro na fase de muda, com relação a zinco aplicado via solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24, Poços de Caldas, 1998. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1998. p.195.
- SWIADER, J.M., CHYAN, Y., FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994.
- TESHA, A.J., KUMAR, D. Effects of soil moisture, potassium and nitrogen on mineral absorption and growth of *Coffea arabica* L. **Turrialba**, v.29, n.3, p.213-218, 1979.

TREVISAN, W.L. **Preparo de covas e formas de aplicação da matéria orgânica no plantio do cafeeiro**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

WU, P., TAO, Q.N. Genotypic response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.3, p.487-500, 1995.

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) NO CAMPO

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das exigências minerais do cafeeiro é básico para a formulação da adubação, que deverá suprir a deficiência de nutrientes com quantidades necessárias e equilibradas. CORREIA et al. (1983) quantificaram as necessidades das variedades Mundo Novo e Catuaí, desde o plantio até a fase produtiva, tendo observado que em termos de exigência quantitativa em macronutrientes há um grande destaque para N e K, seguidos, em ordem decrescente, de: Ca, Mg, P e S. A pesquisa tem demonstrado que, em solos apropriados, tanto N como K estão entre os nutrientes de maior disponibilidade para o cafeeiro e que a adubação parcelada de ambos é recomendada para melhor aproveitamento pelo cafeeiro (INSTITUTO... - IBC, 1985). A adubação adequada de N evidencia-se pelo desenvolvimento rápido e pelos aumentos da ramificação dos ramos frutíferos, da formação de folhas verdes e brilhantes e do número de gemas floríferas, enquanto a correta

adubação potássica está correlacionada com a maior produção de amido, o melhor desenvolvimento da planta, o aparecimento de novos ramos e folhas, maior produção de grãos e a maior resistência a doenças (MALAVOLTA, 1986).

Atualmente, as variedades comerciais mais utilizadas, por sua alta capacidade produtiva, são Mundo Novo e Catuaí, com grande destaque para esta última, havendo também interesse na utilização de cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro que apresentem boas características de produtividade. Diversos fatores influem na produtividade dos cafezais no Brasil, podendo ser englobados da seguinte forma: econômico-conjunturais, climáticos e de manejo da cultura, quando se consideram, entre outros aspectos, os sistemas de cultivo, os espaçamentos utilizados, as práticas culturais, as condições físicas do solo, os cultivares explorados e as adubações necessárias (MATIELO, 1986).

Em relação aos estudos que se dedicam à resposta do cafeeiro às adubações recebidas, há muitas informações na literatura, citando-se as pesquisas de adubação mineral e orgânica em ‘Catuaí’ (GUIMARÃES, 1986), de aplicações de NPK em ‘Catimor’ no Quênia (GATHAARA e KIARA, 1990), de adubação líquida NK para a variedade Acaiá (SANTINATO et al., 1994), de adubação mineral e orgânica em ‘Bourbon Vermelho’ (CERVELLINI e IGUE, 1994), de calagem e adubação nitrogenada e potássica em ‘Catuaí’ e ‘Mundo Novo’ (RAIJ et al., 1996) e de utilização das técnicas modernas de fertirrigação (NOGUEIRA et al., 1998).

Além de se pesquisarem os efeitos do uso de fertilizantes na cafeicultura, torna-se necessário aprimorar os conhecimentos da eficiência com que os cafeeiros utilizam os nutrientes para a produção de grãos. Embora se encontrem referências a determinações de eficiência de utilização (MALAVOLTA, 1986, ANDROCIOLLI FILHO, 1996, SOUZA et al., 1998), não são encontrados trabalhos específicos para o café, nesta área. Dentre as publicações sobre eficiência de uso de nutrientes em culturas anuais e perenes, citam-se as de FAGERIA et al. (1988) na seleção de cultivares de

arroz adaptados à baixa disponibilidade de P, de NEDEL et al. (1997) na detecção de diferenças genóticas em absorção, remobilização e utilização de N por cultivares de cevada, de SEMBIRING et al. (1998) no estudo da eficiência de acumulação de N por variedades de trigo de inverno, de BUAH et al.(1998) na análise da resposta diferenciada de cultivares de sorgo à fertilização nitrogenada e de GUIMARÃES (1993) no estudo da variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de duas espécies de eucalipto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de uso de N e K, de acordo com diversos conceitos, por duas linhagens de Catimor, portadoras de resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.), e uma linhagem de Catuaí, na fase de desenvolvimento no campo, desde o plantio até a primeira safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características do solo

O experimento de campo foi instalado na área experimental do Departamento de Fitotecnia, localizada próximo ao Aeroporto da UFV, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, cujas características, analisadas pelo Laboratório de Análise de Solo da UFV, estão descritas no Quadro 1.

2.2. Tratamentos empregados

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em um esquema fatorial 3 x 3 x 3, constituído de três doses de N (totais de 40, 120 e 200 g/planta, até dois anos e meio de campo), três doses de K (totais de 39, 111 e 183 g K₂O/planta, até dois anos e meio de campo) e três linhagens (UFV 2237 - Catuaí Vermelho e UFV 2983 - Catimor, UFV 3880 - Catimor), totalizando 27 tratamentos e 81 parcelas experimentais, compostas por quatro plantas em linha. Por ocasião do preparo e do enchimento das covas de plantio, todas as parcelas receberam o seguinte tratamento básico por cova: 60 g de P₂O₅, como superfosfato simples; 2,3 g de B, na forma de bórax;

Quadro 1 - Características químicas de amostras do solo utilizado no experimento de campo¹

pH ²	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC		V	m
								Efet.	Total		
	--- mg/dm ³ ---		----- cmol _c /dm ³ -----							----- % -----	
4,8	1,8	19,5	0,7	0,45	0,25	4,05	0,74	1,44	4,79	15,45	48,6

¹ Extratores utilizados:

P e K = Extrator Mehlich 1.

Al, Ca e Mg = Extrator KCl 1 mol/L.

H+Al = Extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L pH 7,0.

² pH em água, relação 1:2,5.

e 350 g de calcário dolomítico. O calcário restante, para atender à necessidade total de calagem, foi aplicado a lanço. O plantio foi realizado em novembro de 1994, no espaçamento de 3 × 1 m, e os tratamentos foram aplicados até o ano 1996/97 em cobertura, em três parcelamentos no período das chuvas, de acordo com o seguinte esquema: N, como sulfato de amônio - dose 1 (total de 40 g nos três anos agrícolas): 5, 10 e 25 g/cova para cada ano, respectivamente; dose 2 (total de 120 g nos três anos agrícolas): 15, 30 e 75 g/cova para cada ano, respectivamente; dose 3 (total de 200 g nos três anos agrícolas): 25, 50 e 125 g/cova para cada ano, respectivamente; K, na forma de cloreto de potássio - dose 1 (total de 39 g de K₂O nos três anos agrícolas): 5, 10 e 24 g/cova para cada ano, respectivamente; dose 2 (total de 111 g K₂O nos três anos agrícolas): 15, 30 e 66 g/cova para cada ano, respectivamente; e dose 3 (total de 183 g K₂O nos três anos agrícolas): 25, 50 e 108 g/cova para cada ano, respectivamente. As últimas quantidades mencionadas em cada dose foram calculadas com base na produção estimada (INSTITUTO... - IBC, 1985).

2.3. Colheita total e preparo das amostras

As colheitas foram realizadas aos dois anos e meio de idade no campo, a partir de maio de 1997, coletando-se, de uma planta representativa de cada parcela, a totalidade de grãos maduros (café cereja), folhas e caules ortotrópicos + ramos plagiotrópicos. Os segmentos colhidos foram secos em estufa com ventilação forçada a 65°C, até atingirem peso constante, e posteriormente moídos. As amostras destinadas ao estudo do N sofreram digestão sulfúrica (JACKSON, 1958), enquanto aquelas destinadas ao estudo do K foram submetidas à digestão nitroperclórica (JOHNSON e ULRICH, 1959).

2.4. Características analisadas

Anteriormente às colheitas, efetuou-se a contagem do número de ramos plagiotrópicos (produtivos). Após cada colheita e antes da moagem, procedeu-se à determinação da biomassa de cada uma das partes colhidas, por meio da pesagem de sua matéria seca. O teor de N nas amostras de cada um dos segmentos colhidos foi determinado por colorimetria, tendo sido usado o reagente de Nessler (JACKSON, 1958), ao passo que o teor de K foi determinado por fotometria de chama.

A partir do conhecimento dos teores de N e K, realizou-se a dedução do conteúdo dos nutrientes na matéria seca dos segmentos analisados. Para o estudo da eficiência de uso dos nutrientes pelas variedades, foram aplicadas expressões matemáticas de conceitos de eficiência nutricional, propostas por diversos pesquisadores e resumidas no Quadro 2.

Os resultados deste trabalho foram submetidos às análises de variância e de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes das equações, em que se utilizou o teste “t” de Student, a 1 e 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas por meio da utilização do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quadro 2 - Modelos matemáticos de eficiência nutricional, aplicados à cafeeiros com dois anos e meio de idade, cultivados em condições de campo

Eficiência Estudada	Fórmula Matemática	Referência Bibliográfica
Eficiência agrônômica	$\frac{\text{Produção de grãos}^{4/}}{\text{Nutriente aplicado}^{3/}}$	WU e TAO (1995)
Eficiência de uso	$\frac{\left(\text{Biomassa produzida}^{1/}\right)^2}{\text{Nutriente na biomassa}^{2/}}$	SIDDIQI e GLASS (1981)
Eficiência de conversão (grãos)	$\frac{\text{Produção de grãos}}{\text{Nutriente na parte aérea}}$	BATTEN (1986)
Índice de colheita (adaptado)	$\frac{\text{Produção de grãos}}{\text{Produção da parte aérea}}$	VOSE (1987)
Índice de nutriente (adaptado)	$\frac{\text{Nutriente no grão}}{\text{Nutriente na parte aérea}}$	VOSE (1987)
Índice de eficiência	$\frac{\text{Prod.em baixo nível}}{\text{Média exp.embaixo nível}} \times \frac{\text{Prod.em alto nível}}{\text{Média exp.em alto nível}}$	FAGERIA et al. (1988)

¹ Biomassa produzida - refere-se à matéria seca de grãos, em mg.

² Nutriente - refere-se ao conteúdo do nutriente (teor × MS × 10) em mg.

³ Nutriente aplicado - relativo à quantidade do nutriente fornecido à planta, em g.

⁴ Produção - referente à matéria seca de grãos ou da parte aérea, expressa em mg ou em g.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3, encontram-se resumidos os testes de significância estatística para as fontes de variação das características analisadas. Quando se utiliza experimento fatorial, o objetivo principal é o estudo da interação entre todos os fatores, sendo, neste caso, a interação $V \times N \times K$ básica para a interpretação dos resultados obtidos.

3.1. Produção de matéria seca de grãos

Em relação à matéria seca de grãos, observa-se, pelos resultados apresentados no Quadro 4, que a linhagem UFV 2983 (Catimor) distinguiu-se estatisticamente nas menores doses de fornecimento dos nutrientes, até 111 g de K_2O e 40 g de N, apresentando produções maiores. Verifica-se, como exemplo, que a produção obtida por esta linhagem, nesta combinação de nutrientes, foi semelhante à produção fornecida pela linhagem UFV 2237, na combinação de 111 g K_2O com 200 g N. Nos tratamentos que continham doses maiores de qualquer um dos nutrientes, a linhagem UFV 2983 alcançou resultados semelhantes ou inferiores aos das demais linhagens. Analisando a Figura 1, verifica-se que para a linhagem UFV 2237 o aumento nas doses de N e K correspondeu ao aumento na produção de grãos, enquanto nas doses mais altas a

Quadro 3 - Significância do teste F e coeficiente de variação experimental (CV, %) das variáveis avaliadas no experimento de campo

Variáveis	Fontes de variação							CV (%)
	V	N	K	V × N	V × K	N × K	V × N × K	
----- Grãos -----								
Matéria seca (g)	**	**	**	**	**	**	**	20,98
Teor de N (%)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	16,36
Teor de K (%)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	8,01
Conteúdo de N (mg)	*	**	ns	**	*	ns	*	29,36
Conteúdo de K (mg)	**	**	**	**	**	**	**	20,87
Eficiência agrônômica de N	**	**	*	**	**	ns	**	21,32
Eficiência agrônômica de K	**	**	**	**	**	**	**	18,54
Eficiência de uso de N	**	**	**	**	*	*	*	26,08
Eficiência de uso de K	**	**	**	**	*	*	*	23,88
Eficiência de conversão de N	**	ns	**	**	**	ns	**	16,78
Eficiência de conversão de K	**	*	**	**	**	ns	**	13,60
Índice de colheita (adaptado)	**	**	**	**	**	ns	**	12,93
Índice de nutriente N (adaptado)	**	ns	**	**	**	ns	**	14,75
Índice de nutriente K (adaptado)	**	**	**	**	**	ns	**	10,34
Índice de eficiência N (adaptado)	ns	-	-	-	-	-	-	27,11
Índice de eficiência K (adaptado)	ns	-	-	-	-	-	-	28,29
----- Folhas -----								
Matéria seca (g)	**	**	**	**	**	**	**	25,83
Teor de N (%)	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	8,86
Teor de K (%)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	13,99
Conteúdo de N (mg)	**	**	**	**	**	**	**	28,17
Conteúdo de K (mg)	**	**	**	**	**	**	**	31,23
----- Caule + ramos -----								
Matéria seca (g)	**	**	**	**	**	**	**	11,51
Teor de N (%)	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	12,77
Teor de K (%)	**	*	*	ns	ns	ns	ns	12,38
Conteúdo de N (mg)	**	**	**	**	**	**	**	18,62
Conteúdo de K (mg)	**	**	**	**	**	**	**	17,15
Número de ramos plagiotrópicos	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	14,97

** e * F significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

ns F não-significativo a 5% de probabilidade.

V = Linhagens.

N = Doses de N.

K = Doses de K.

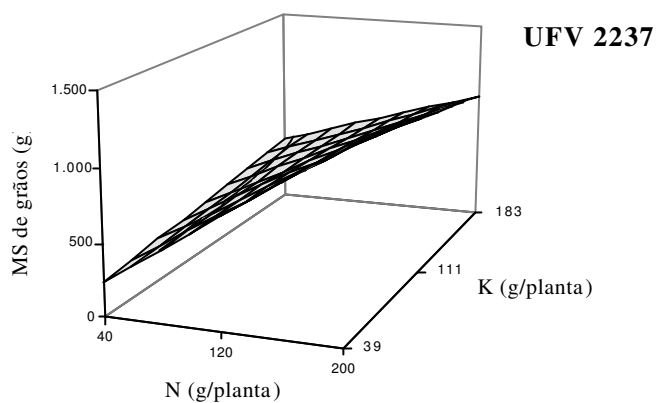
Quadro 4 - Valores médios de matéria seca de grãos produzida por linhagens de café adubadas com diferentes doses de N e K, no experimento de campo

Potássio (g/planta)	Variedade	Nitrogênio (g/planta)		
		40	120	200
39	UFV 2237	285,00 b	755,00 ab	1.260,00 a
	UFV 2983	1.095,00 a	1.026,67 a	1.090,00 a
	UFV 3880	395,00 b	665,00 b	1.047,67 a
111	UFV 2237	390,00 b	520,00 b	1.255,00 a
	UFV 2983	1.235,00 a	1.150,00 a	440,00 b
	UFV 3880	420,00 b	970,00 a	1.070,00 a
183	UFV 2237	520,00 a	700,00 a	941,67 a
	UFV 2983	733,33 a	733,33 a	528,67 b
	UFV 3880	555,00 a	737,67 a	776,67 ab

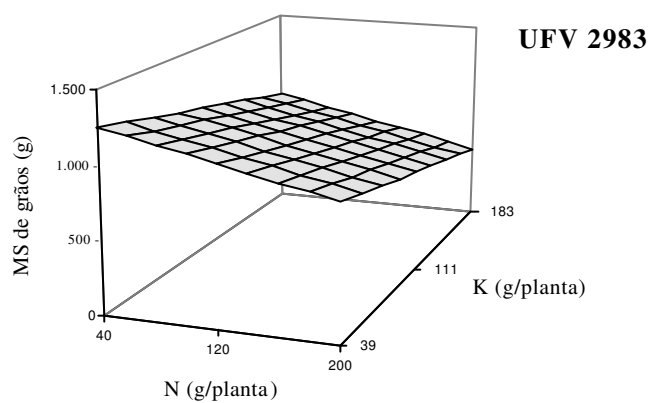
Em cada dose de N e K, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

interação entre os nutrientes correspondeu a menores valores de produção; em relação à linhagem Ufv 2983, nota-se que acréscimos nos nutrientes levaram à diminuição da capacidade produtiva, ao passo que a linhagem Ufv 3880 foi influenciada apenas pelo N, cujo aumento na dose correspondeu ao aumento na produção. A análise do Quadro 5 evidencia destaque para a linhagem Ufv 2983, no que se refere à estimativa mais alta de matéria seca de grãos, que foi atingida com as menores doses de N e K, enquanto as outras linhagens exigiram as maiores doses dos nutrientes para alcançar sua estimativa mais alta. Observa-se, ainda, que a linhagem Ufv 2983 apresentou estimativa mais alta de produção de grãos, com um valor 32,7% mais elevado que a maior produção estimada da linhagem Ufv 2237 (Catuaí), mostrando, desta forma, elevada produtividade.

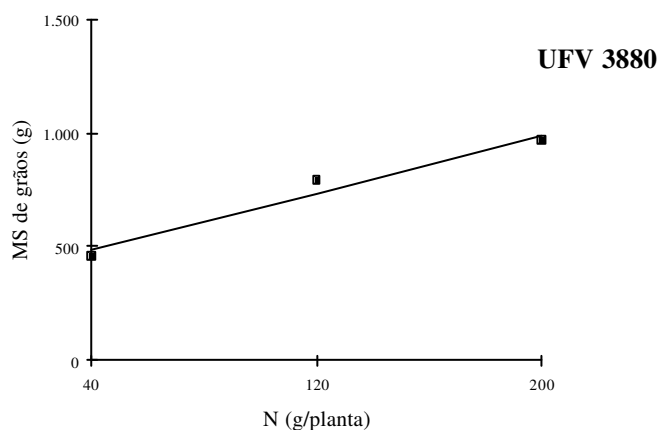
$$\hat{Y} = -113,47 + 7,3776 **N + 2,5617 * K - 0,02402 **NK \quad R^2 = 0,93$$



$$\hat{Y} = 1.456,14 - 2,0931 **N - 2,8156 **K \quad R^2 = 0,62$$



$$\hat{Y} = 356,36 + 3,1757 **N \quad r^2 = 0,97$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 1 - Estimativa da matéria seca de grãos produzidos pelas linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

Quadro 5 - Estimativas mais altas das variáveis avaliadas (\hat{Y}) no experimento de campo e respectivas doses de nutrientes (DN)

Variável	Parte da Planta	Linhagem	\hat{Y}	DN (g/cova)	
				N	K
Matéria seca (mg)	grãos	UFV 2237	951,71	200,00	183,00
		UFV 2983	1.262,61	40,00	39,00
		UFV 3880	991,50	200,00	-
Conteúdo de N (mg)	folhas	UFV 2237	5.126,78	200,00	143,18
		UFV 2983	8.024,16	140,64	183,00
		UFV 3880	6.865,15	200,00	183,00
Conteúdo de K (mg)	folhas	UFV 2237	3.194,44	-	183,00
		UFV 2983	7.148,67	136,74	183,00
		UFV 3880	5.108,11	200,00	183,00
Eficiência agronômica de N	grãos	UFV 2237	9,17	40,00	-
		UFV 2983	27,91	40,00	80,46
		UFV 3880	10,91	40,00	-
Eficiência agronômica de K	grãos	UFV 2237	17,89	-	39,00
		UFV 2983	28,85	40,00	39,00
		UFV 3880	16,85	-	39,00
Eficiência de uso de N	grãos	UFV 2237	54.263.800	200,00	-
		UFV 2983	66.088.696	40,00	39,00
		UFV 3880	59.008.473	200,00	103,32
Eficiência de uso de K	grãos	UFV 2237	49.196.500	200,00	-
		UFV 2983	56.864.731	40,00	39,00
		UFV 3880	42.706.900	200,00	-
Eficiência de conversão de N	grãos	UFV 2237	30,12	200,00	-
		UFV 2983	38,82	40,00	82,50
		UFV 3880	38,53	123,17	82,11
Eficiência de conversão de K	grãos	UFV 2237	30,84	200,00	-
		UFV 2983	36,88	40,00	39,00
		UFV 3880	33,85	137,79	39,00
Índice de colheita	grãos	UFV 2237	0,57	200,00	-
		UFV 2983	0,72	40,00	78,18
		UFV 3880	0,70	135,78	39,00
Índice de nutriente adaptado de N	grãos	UFV 2237	0,62	200,00	-
		UFV 2983	0,77	40,00	39,00
		UFV 3880	0,91	124,33	39,00
Índice de nutriente adaptado de K	grãos	UFV 2237	0,70	200,00	-
		UFV 2983	0,80	40,00	68,94
		UFV 3880	0,78	139,47	39,00

3.2. Teores dos nutrientes na matéria seca foliar

Os teores foliares são utilizados como base para a avaliação do estado nutricional das plantas e, por este motivo, são empregados para estudos comparativos.

No Quadro 6, encontram-se resumidos os teores de nutrientes nas partes analisadas, na forma de porcentagem na matéria seca. Pela análise desse quadro, percebe-se que em todas as linhagens o teor de N foi maior nas folhas e o teor de K foi maior nos grãos, o que permite deduzir que ocorreu maior redistribuição desse elemento para os frutos.

Quadro 6 - Valores médios de teores de N e K, em porcentagem na matéria seca de partes da planta, e relação N:K na folha de café no experimento de campo

Variedade	Parte da Planta	N (%)	K (%)	Relação N:K
UFV 2237	Grãos	1,97	2,26	1,35
	Folhas	2,90	2,14	
	Caule + ramos	1,43	1,22	
UFV 2983	Grãos	1,95	2,26	1,30
	Folhas	2,71	2,09	
	Caule + ramos	1,57	1,23	
UFV 3880	Grãos	1,96	2,31	1,36
	Folhas	2,78	2,04	
	Caule + ramos	1,53	1,49	

Destaca-se também, para todas as linhagens, que os teores foliares de N e K apresentaram valores que se encontram dentro da faixa considerada adequada (de 2,7 a 3,2 e 1,9 a 2,4, respectivamente - MALAVOLTA, 1993), ou acima do nível sintomático de deficiência (2,5 e 1,8, respectivamente - IBC, 1985).

As relações N:K dos teores foliares também se apresentaram dentro da faixa adequada (de 1,30 a 1,40 - MALAVOLTA, 1993).

3.3. Conteúdo dos nutrientes na matéria seca foliar

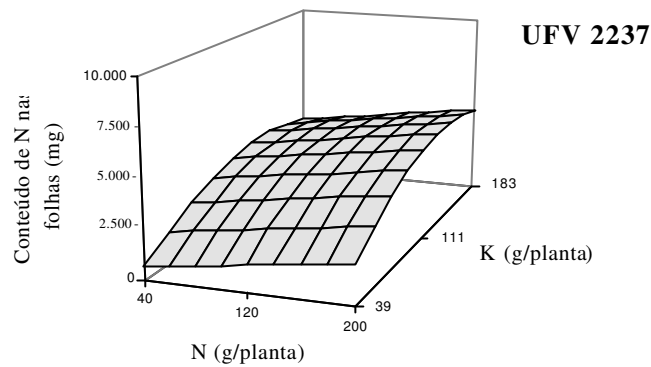
Os conteúdos dos nutrientes são determinados pelo produto entre teor e matéria seca produzida e são utilizados nos cálculos matemáticos para expressão dos diversos conceitos de eficiência. Em referência aos conteúdos de N e K nas folhas, o Quadro 3 mostra que houve efeito significativo para todas as fontes de variação. Pelo exame da Figura 2, visualiza-se que a linhagem UFV 2237 apresentou resposta linear positiva às doses de N e resposta quadrática às doses de K; que a linhagem UFV 2983 apresentou resposta quadrática para ambos os nutrientes, porém de forma inversa para N e K; e, por outro lado, que a linhagem UFV 3880 apresentou resposta quadrática aos dois macronutrientes. Analisando agora a Figura 3, verifica-se que, para a linhagem UFV 2237, maiores fornecimentos de K elevaram o conteúdo de K, ocorrendo efeito não-significativo de N; as linhagens UFV 2983 e UFV 3880 mostraram, em relação ao conteúdo de K nas folhas, padrões de comportamento análogos aos que tiveram relativamente ao conteúdo de N, apresentando também, neste caso, respostas quadráticas. Observando o Quadro 5, verifica-se que tanto para o conteúdo de N quanto para o conteúdo de K, a linhagem UFV 2983 apresentou as estimativas mais altas, exigindo, para tanto, as maiores doses de K e doses intermediárias de N.

3.4. Eficiência agronômica

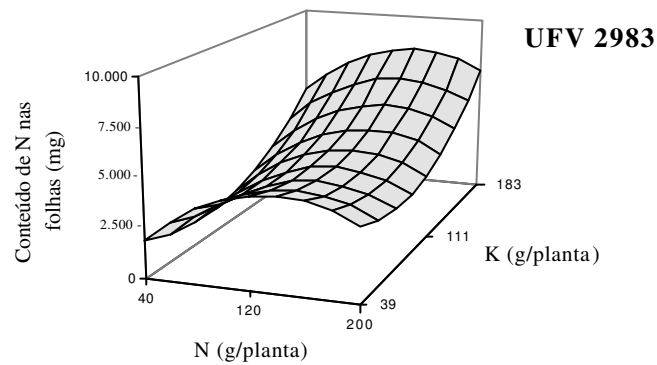
Para a pesquisa de diferenças genotípicas em espécies produtoras de grãos, tem sido amplamente utilizado o cálculo da eficiência agronômica, que é expressa pela relação entre a produção de grãos e a quantidade aplicada de nutriente.

O exame da Figura 4 mostra que não houve efeito significativo de K para a eficiência agronômica, relativa ao N, das linhagens UFV 2237 e UFV 3880; entretanto, para ambas, o acréscimo na dose de N causou decréscimo na eficiência agronômica. Em referência à linhagem UFV 2983,

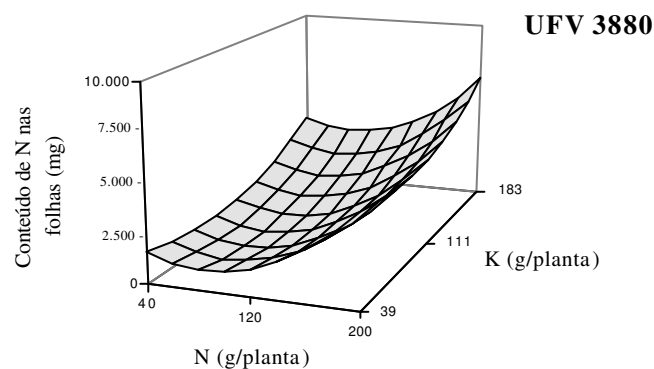
$$\hat{Y} = -2.377,46 + 8,8626 **N + 80,0647 **K - 0,2796 **K^2 \quad R^2 = 0,61$$



$$\hat{Y} = 1.028,51 + 81,6261 **N - 0,2902 **N^2 - 64,2149 **K + 0,3884 **K^2 \quad R^2 = 0,72$$



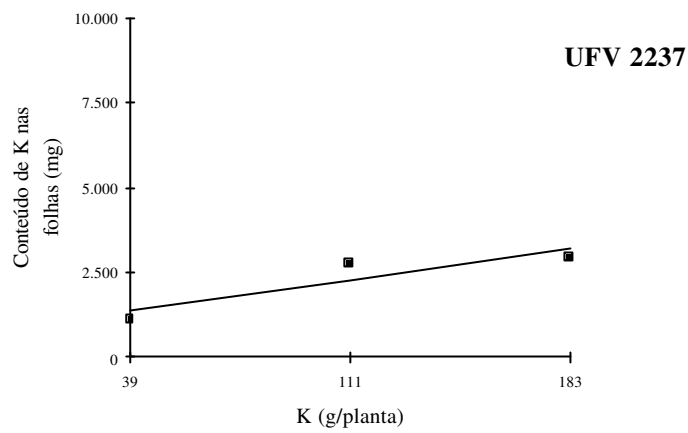
$$\hat{Y} = 4.313,71 - 47,8858 **N + 0,2831 **N^2 - 41,0239 **K + 0,2482 **K^2 \quad R^2 = 0,84$$



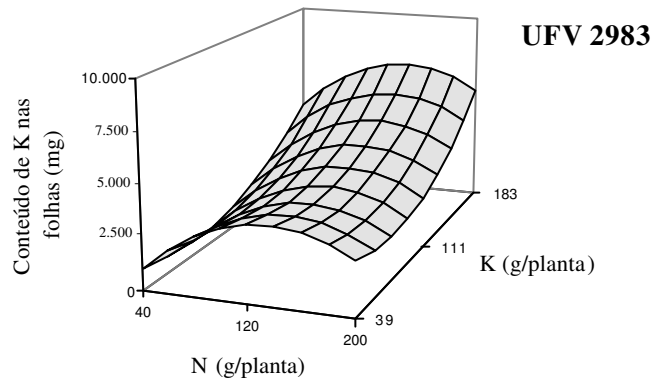
** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste "t".

Figura 2 - Estimativa do conteúdo de N nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

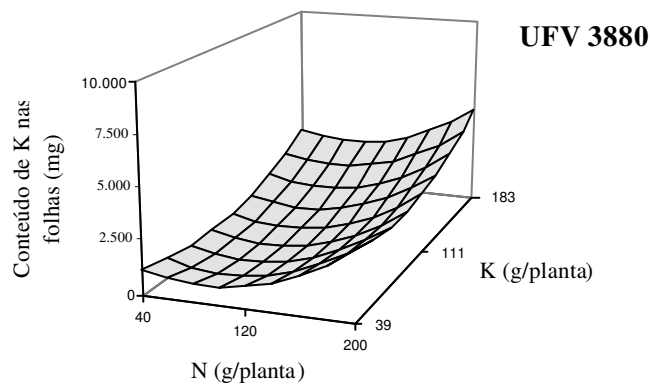
$$\hat{Y} = 852,47 + 12,7977 **K \quad r^2 = 0,82$$



$$\hat{Y} = -186,55 + 80,5398 **N - 0,2945 **N^2 - 50,1591 **K + 0,3287 **K^2 \quad R^2 = 0,78$$



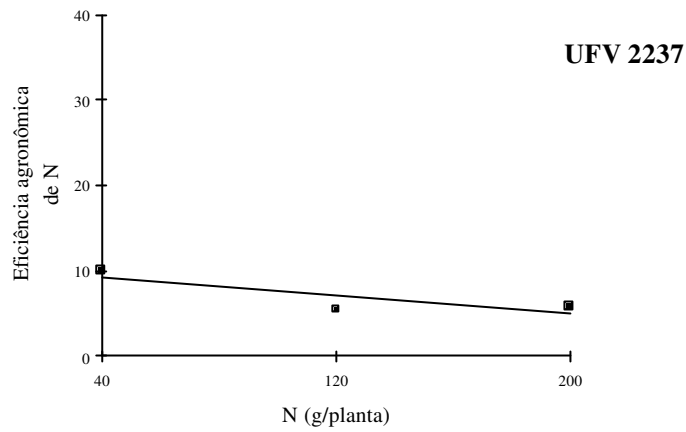
$$\hat{Y} = 3.536,07 - 33,7541 * N + 0,1951 **N^2 - 40,4259 **K + 0,2364 **K^2 \quad R^2 = 0,87$$



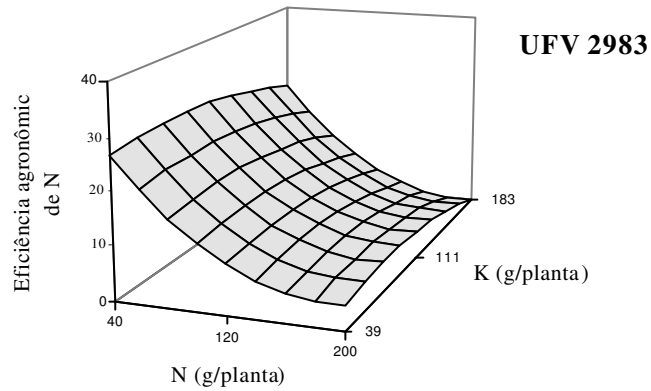
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 3 - Estimativa do conteúdo de K nas folhas das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

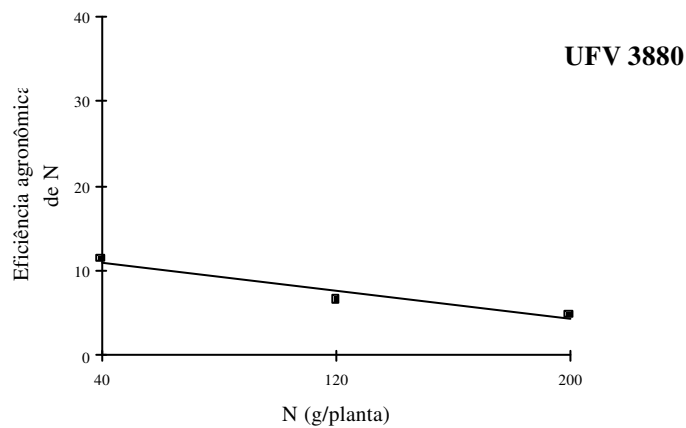
$$\hat{Y} = 10,22 - 0,02623 ** N \quad r^2 = 0,70$$



$$\hat{Y} = 37,92 - 0,3779 ** N + 0,0009994 ** N^2 + 0,08717 * K - 0,0005417 ** K^2 \quad R^2 = 0,95$$



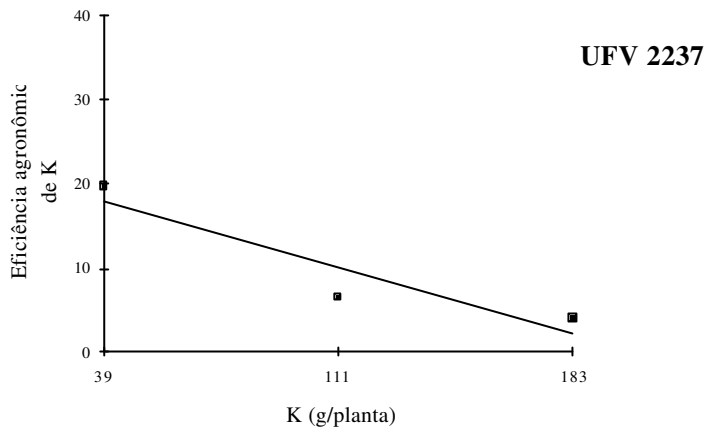
$$\hat{Y} = 12,56 - 0,04120 ** N \quad r^2 = 0,93$$



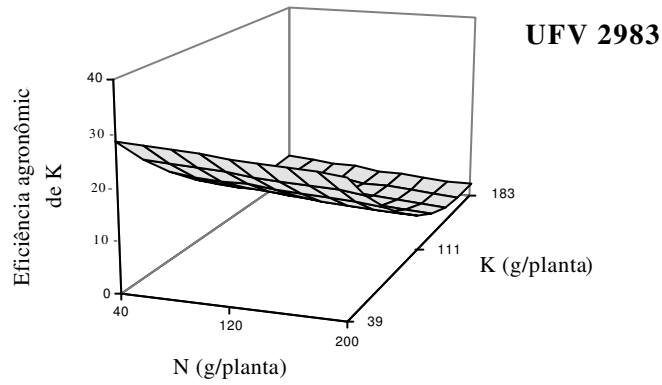
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 4 – Estimativa da eficiência agrônômica de utilização de N para produção de grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

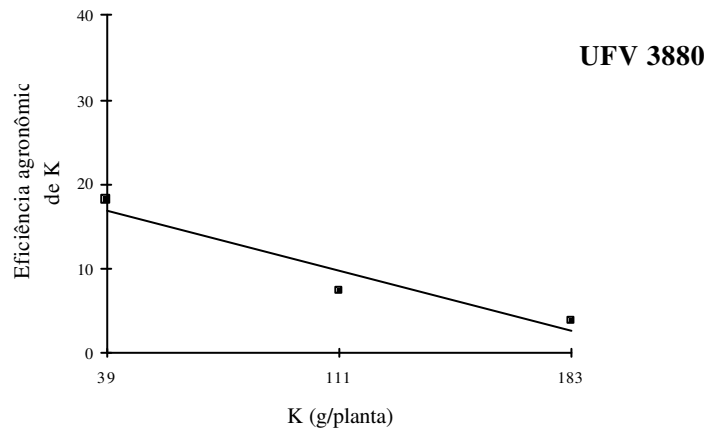
$$\hat{Y} = 22,15 - 0,1092 * K \quad r^2 = 0,87$$



$$\hat{Y} = 45,72 - 0,01752 **N - 0,4677 **K + 0,001362 **K^2 \quad R^2 = 0,98$$



$$\hat{Y} = 20,71 - 0,09890 **K \quad r^2 = 0,93$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 5 – Estimativa da eficiência agrônômica de utilização de K para produção de grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

observaram-se respostas quadráticas às doses de N e K. Verifica-se, portanto, que as plantas das referidas linhagens apresentaram alta eficiência quando fornecidas pelas menores doses de N ou de ambos os nutrientes.

Observando a Figura 5, nota-se que o N não afetou a eficiência agronômica, relativa ao K, das linhagens UFV 2237 e UFV 3880, para as quais se verificou menor eficiência à medida que se aumentou a dose de K. Com referência à linhagem UFV 2983, verifica-se que acréscimos na dose de N corresponderam à menor eficiência agronômica e que esta mesma linhagem apresentou resposta quadrática às doses de K.

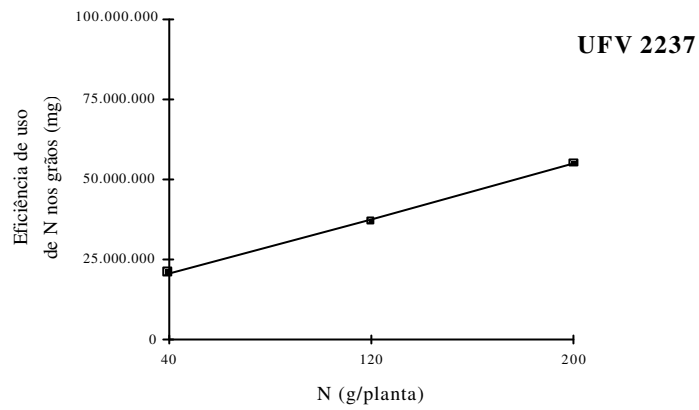
Considerando os valores contidos no Quadro 5, observa-se um grande destaque para a linhagem UFV 2983, cujas estimativas mais altas de eficiência agronômica, em relação ao N, foram muito maiores que as estimativas mais altas das demais linhagens, o mesmo ocorrendo quando se examina a eficiência agronômica em relação ao K. Registra-se, ainda, que as maiores estimativas das linhagens, em termos de eficiência agronômica de uso de N, corresponderam à menor dose utilizada deste nutriente, ao passo que as maiores estimativas das mesmas linhagens, relativas ao K, também corresponderam à menor quantidade fornecida de K.

Tais observações indicam a possibilidade de seleção de linhagens por meio de sua eficiência agronômica, em condições de suprimento limitado de N e K, como já foi constatado para genótipos de arroz pesquisados por WU e TAO (1995), em relação ao N.

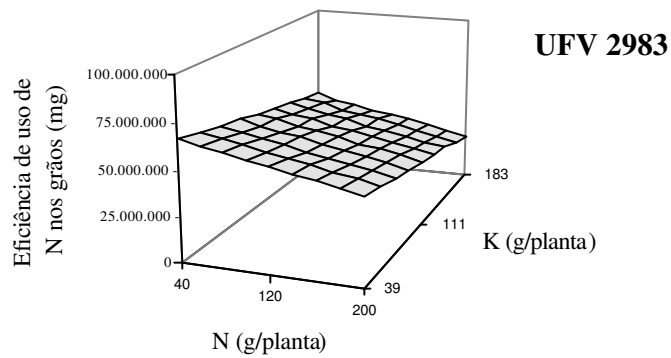
3.5. Eficiência de uso de N e K para a produção de grãos

Conforme demonstrado no Quadro 3, as eficiências de uso dos nutrientes para a produção de grãos, calculadas pela relação entre o quadrado da matéria seca produzida e o conteúdo do nutriente na parte analisada, sofreram influências significativas de todas as fontes de variação. A análise da Figura 6 permite inferir que, para a linhagem UFV 2237, ocorreu efeito linear positivo das doses de N e nenhum efeito significativo das doses de K.

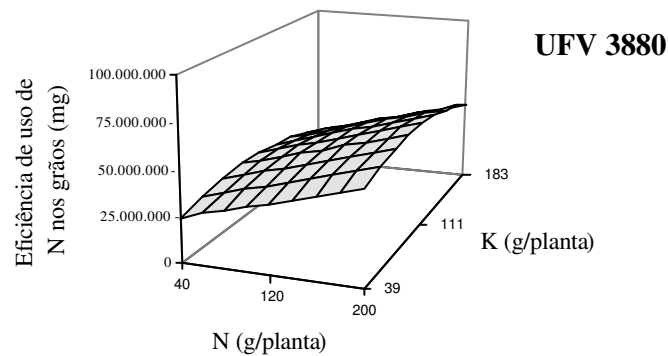
$$\hat{Y} = 11.921.600 + 213.556,00 ** N \quad r^2 = 0,99$$



$$\hat{Y} = 76.483.800 - 117.356,00 ** N - 146.176,00 ** K \quad R^2 = 0,67$$



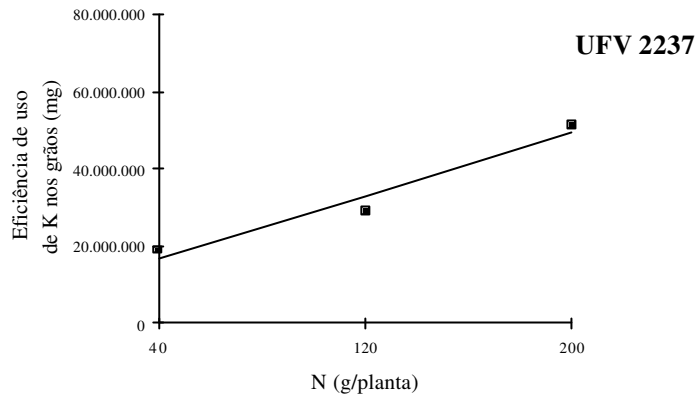
$$\hat{Y} = 5.316.480 + 165.633,00 ** N + 398.073,00 * K - 1.926,32 * K^2 \quad R^2 = 0,67$$



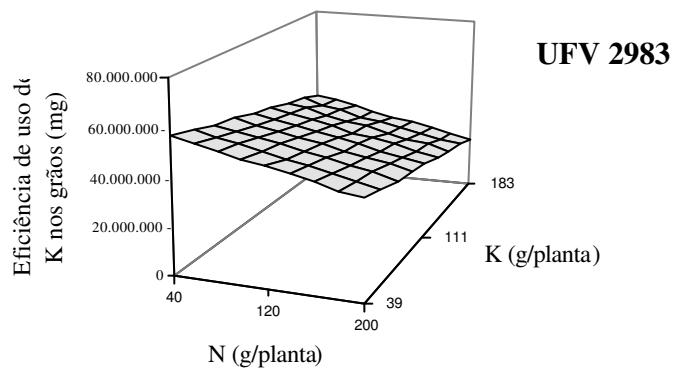
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 6 – Estimativa da eficiência de uso de N para produção de grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

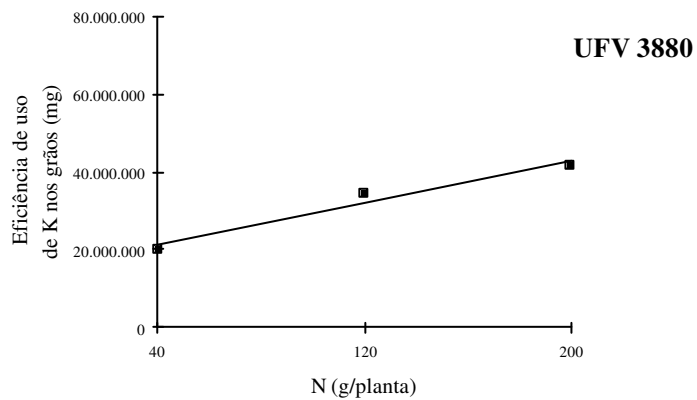
$$\hat{Y} = 8.678.900 + 202.588,00 ** N \quad r^2 = 0,96$$



$$\hat{Y} = 65.756.300 - 97.763,20 ** N - 127.719,00 ** K \quad R^2 = 0,65$$



$$\hat{Y} = 15.848.500 + 134.292,00 ** N \quad r^2 = 0,96$$



** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Figura 7 – Estimativa da eficiência de uso de K para a produção de grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

para a eficiência de uso do N, o que demonstra que para este conceito de eficiência esta linhagem necessita de doses crescentes de N. Efeito linear positivo das doses de N foi observado também em relação à linhagem UFV 3880, que apresentou respostas quadráticas às doses de K.

Por outro lado, em relação à linhagem UFV 2983, as menores doses de ambos os nutrientes corresponderam aos maiores valores de eficiência de uso.

Ao analisar a Figura 7, verifica-se que, para as linhagens UFV 2237 e UFV 3880, o aumento da eficiência de uso do K está relacionado com o incremento na dose de N, não se verificando efeito significativo de K; observa-se ainda que, para a linhagem UFV 2983, acréscimos nas doses de N e K acarretaram menores valores de eficiência de uso de K. Conforme se verifica pelas informações resumidas no Quadro 5, as estimativas mais altas da linhagem UFV 2983, em relação à eficiência de uso de N e K na produção de grãos, foram maiores que as estimativas mais altas correspondentes às outras linhagens. Nota-se também que a linhagem UFV 2983 exigiu as menores quantidades de nutrientes, dentre as que foram aplicadas, para atingir suas maiores estimativas de eficiência. Tanto a eficiência agrônômica (subitem 3.4.) quanto a eficiência de uso dos nutrientes procuram avaliar a produção de grãos em relação a cada nutriente estudado. Enquanto a eficiência de uso leva em consideração o conteúdo do nutriente no tecido analisado, a eficiência agrônômica relaciona a produção de grãos com a quantidade aplicada do nutriente. Este último conceito vem sendo muito utilizado, provavelmente porque já fornece informações para o cálculo da relação custo do nutriente/benefício da produção obtida.

Pelos resultados apresentados, verifica-se que a linhagem UFV 2983 destacou-se em ambos os conceitos de eficiência mencionados.

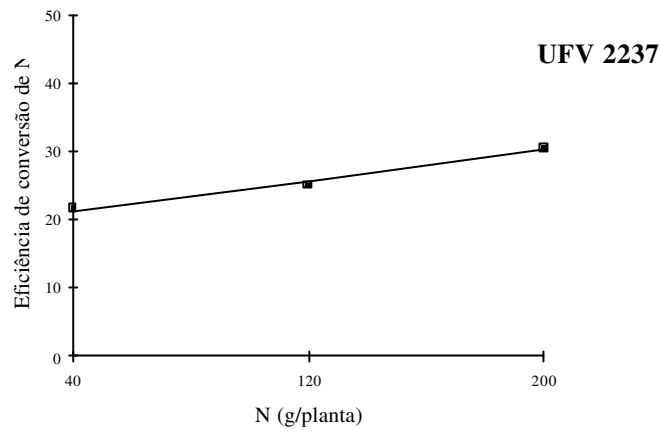
3.6. Eficiência de conversão de N e K em grãos

Na pesquisa que procura detectar diferenças entre genótipos, é útil o estudo da eficiência de conversão, representada pela produção de grãos em relação ao conteúdo do nutriente estudado na parte aérea da planta. O exame da Figura 8 revela que, para a linhagem UFV 2237, o aumento da dose de N correspondeu à maior eficiência de conversão desse nutriente, não havendo efeito significativo de K, e que a linhagem UFV 3880 apresentou respostas quadráticas às doses dos nutrientes em relação à eficiência de conversão de N. Por outro lado, para a linhagem UFV 2983, o incremento na dose de N correspondeu a menores valores de eficiência de conversão desse nutriente, enquanto a mesma linhagem apresentou resposta quadrática ao acréscimo de quantidades de K.

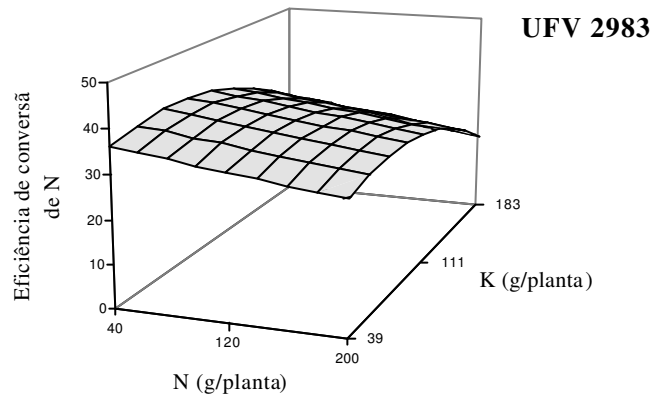
Analisando a Figura 9, observa-se que a eficiência de conversão de K foi maior quando ocorreram acréscimos na dose fornecida de N, não tendo sido verificado efeito significativo de K, no caso da linhagem UFV 2237; em relação à linhagem UFV 3880, notam-se o efeito linear negativo de doses de K e as respostas quadráticas às quantidades aplicadas de N. Mais uma vez, a linhagem UFV 2983 apresentou comportamento desejável e destacável, com alta eficiência de conversão nas menores quantidades de N e K.

Os dados apresentados no Quadro 5 indicam que as linhagens de Catimor (UFV 2983 e UFV 3880) apresentaram praticamente os mesmos valores quando se consideram as estimativas mais altas relativas tanto à eficiência de conversão de N quanto à eficiência de conversão de K. Estes valores, por sua vez, foram maiores que os referentes às estimativas mais altas da linhagem de Catuaí (UFV 2237), tendo ambas apresentado ainda como vantagem adicional, exigências em quantidades baixas dos nutrientes para atingir tais valores, com destaque para a linhagem UFV 2983. Tais informações indicam que esta linhagem foi a que apresentou a maior eficiência na conversão dos nutrientes N e K em grãos de café.

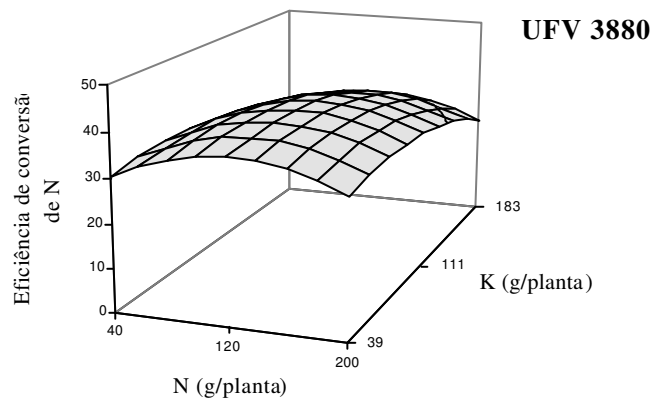
$$\hat{Y} = 19,10 + 0,05510 **N \quad r^2 = 0,98$$



$$\hat{Y} = 31,31 - 0,04003 **N + 0,2211 * K - 0,001340 **K^2 \quad R^2 = 0,81$$



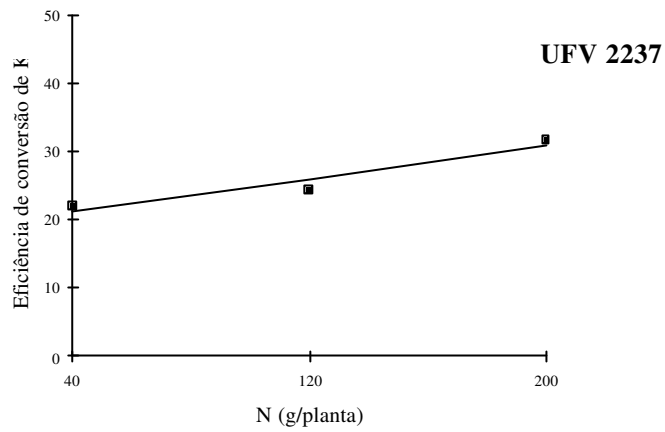
$$\hat{Y} = 18,19 + 0,2337 **N - 0,0009487 **N^2 + 0,1449 K - 0,0008823 * K^2 \quad R^2 = 0,71$$



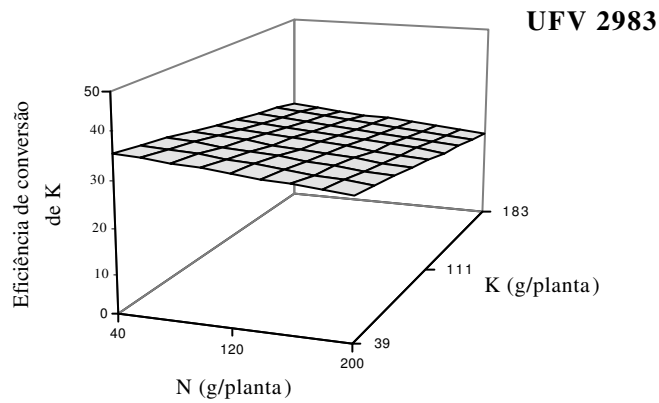
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 8 – Estimativa da eficiência de conversão de N em grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

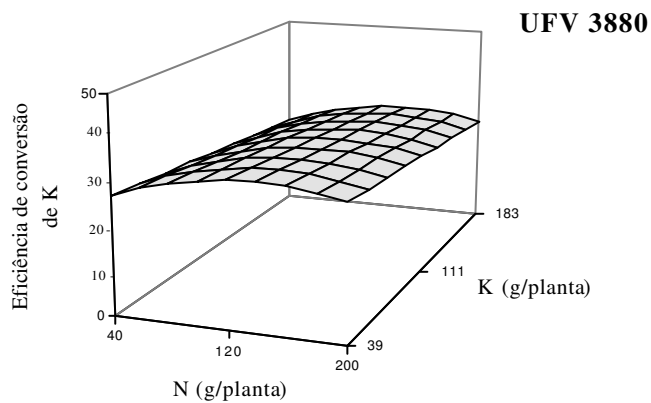
$$\hat{Y} = 18,69 + 0,06077 **N \quad r^2 = 0,92$$



$$\hat{Y} = 40,84 - 0,02755 *N - 0,07338 **K \quad R^2 = 0,67$$



$$\hat{Y} = 23,17 + 0,1762 **N - 0,0006394 *N^2 - 0,03751 **K \quad R^2 = 0,67$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 9 – Estimativa da eficiência de conversão de K em grãos das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

3.7. Índice de colheita

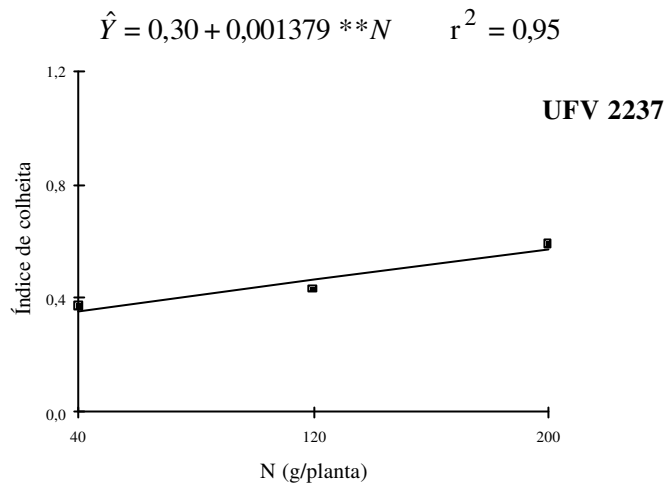
O índice de colheita consiste na relação entre a produção de grãos e a produção de toda a parte aérea, a partir do peso de suas matérias secas, sendo apropriado, portanto, para as culturas cujo interesse principal reside na produção de grãos. Segundo VOSE (1987), um alto índice de colheita é uma das características importantes na avaliação de variedades produtoras de grãos.

Examinando-se a Figura 10, nota-se que a linhagem UFV 3880 apresentou resposta quadrática às doses de N e resposta linear negativa às quantidades aplicadas de K e que a linhagem UFV 2983 apresentou respostas quadráticas aos acréscimos nas doses de ambos os macronutrientes. Em relação à linhagem UFV 2237, verifica-se que não houve efeito significativo de K e que ocorreu aumento linear do índice de colheita com maiores fornecimentos de N.

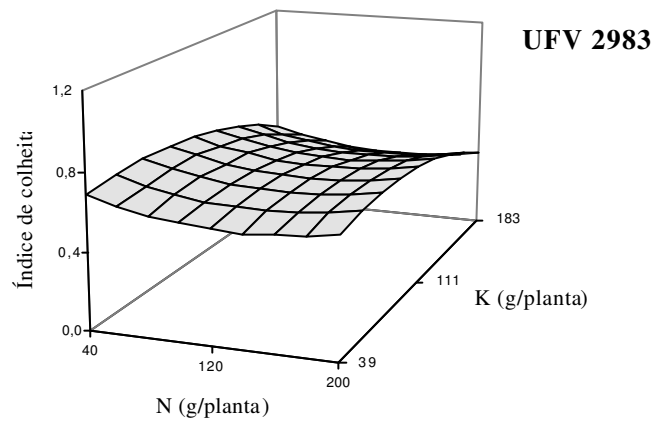
Os dados apresentados no Quadro 5 mostram que as duas linhagens de Catimor (UFV 2983 e UFV 3880) possuem valores muito próximos em suas estimativas mais altas do índice de colheita, sendo estes valores superiores ao da maior estimativa apresentada pela linhagem de Catuaí (UFV 2237). Portanto, poderia ser afirmado que, considerando a produção obtida na primeira safra, as linhagens de Catimor mostraram-se mais aptas que a do Catuaí para atingirem o objetivo principal da lavoura de café, que é a produção de grãos.

3.8. Índice de nutriente relativo a N e K

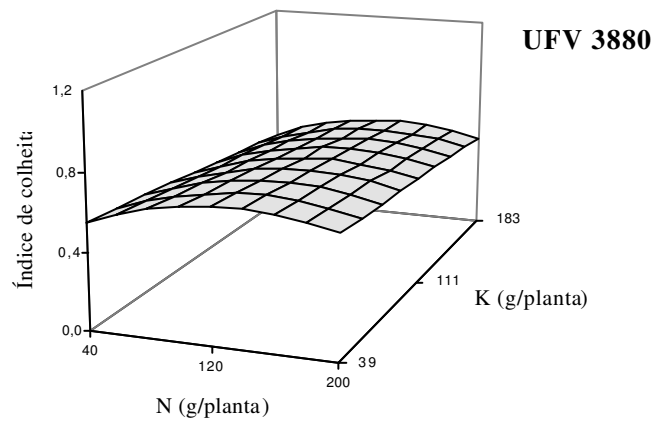
Este é um índice de grande utilidade nos estudos de eficiência, pois representa a relação entre o conteúdo do nutriente no grão e o conteúdo do nutriente em toda a parte aérea, indicando o nível de redistribuição.



$$\hat{Y} = 0,69 - 0,003083 **N + 0,00001118 *N^2 + 0,003426 **K - 0,00002191 **K^2 \quad R^2 = 0,83$$



$$\hat{Y} = 0,45 + 0,004201 **N - 0,00001547 **N^2 - 0,0008574 **K \quad R^2 = 0,72$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 10 – Estimativa do índice de colheita das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

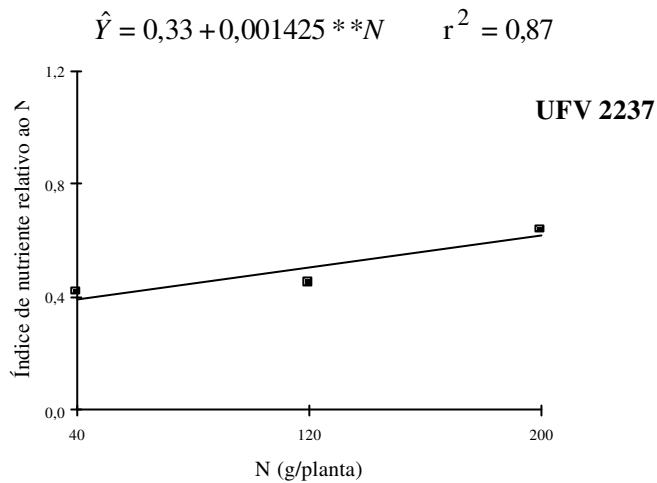
O exame das Figuras 11 e 12 permite verificar que, para a linhagem UFV 2237, o K não apresentou efeito significativo, enquanto aumentos na dose de N corresponderam a aumentos no índice de nutriente, seja este referente a N ou a K; considerando a linhagem UFV 3880, visualizam-se comportamentos análogos para os índices de nutrientes, referentes a N e K, quais sejam, respostas quadráticas às doses de N e resposta linear negativa às doses de K.

A linhagem UFV 2983 apresentou resposta quadrática às doses de N, no caso do índice de nutriente de N, e resposta quadrática às doses de K, no caso do índice de nutriente de K; a mesma linhagem apresentou resposta linear negativa, respectivamente, às quantidades fornecidas de K e de N.

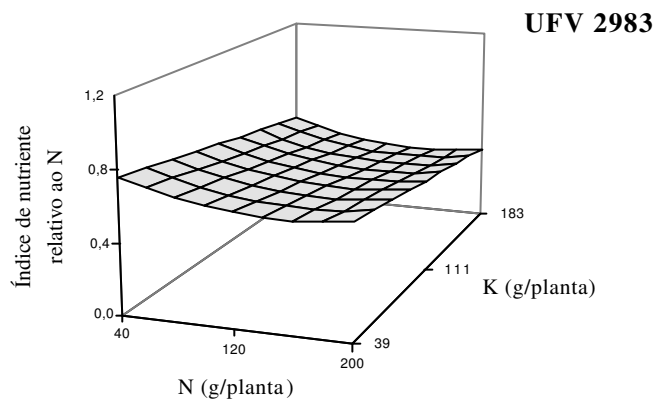
Analisando os dados do Quadro 5, verifica-se que a linhagem UFV 3880 destacou-se entre as estimativas mais altas para o índice relativo a N, estando as linhagens com valores próximos nas estimativas mais altas para o índice relativo a K. Em ambos os casos, observam-se valores maiores para as linhagens de Catimor (UFV 2983 e UFV 3880), indicando maior nível de redistribuição em comparação com a linhagem de Catuaí (UFV 2237). Estas descrições, ora realizadas, simbolizam a complexidade das respostas encontradas neste trabalho, não muito diferentes das que foram descritas por pesquisadores diversos de culturas anuais e perenes, na literatura especializada, citados ao longo dos dois capítulos componentes deste trabalho.

3.9. Índice de eficiência de N e K

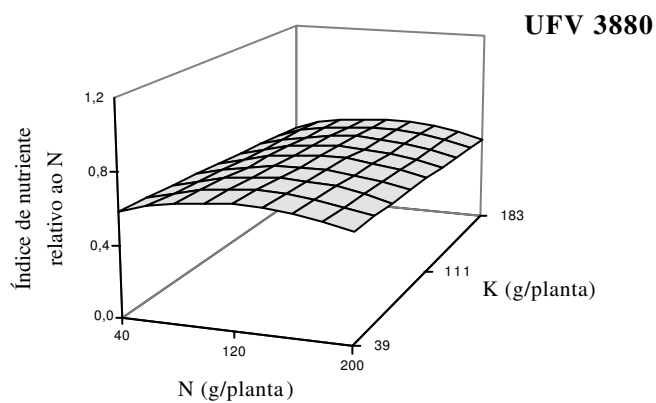
O índice de eficiência é o resultado do produto entre relação da produção em baixo nível de nutriente com a média experimental nesse nível e relação da produção em alto nível de nutriente com a média experimental nesse nível. Conforme pode ser verificado no Quadro 3, não houve diferença significativa entre as linhagens nos índices de eficiência dos dois nutrientes, em relação à produção de grãos. Registra-se, também, que se fosse aplicada



$$\hat{Y} = 0,94 - 0,003467 **N + 0,00001145 * N^2 - 0,001485 **K \quad R^2 = 0,65$$



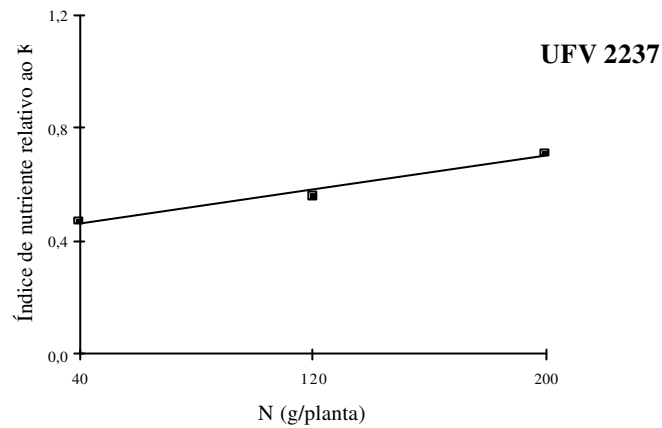
$$\hat{Y} = 0,49 + 0,003511 **N - 0,00001412 **N^2 - 0,0006014 * K \quad R^2 = 0,66$$



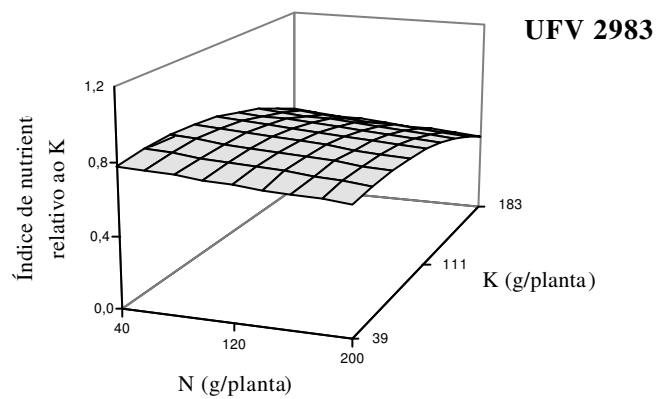
** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 11 – Estimativas do índice de nutriente relativo ao N, das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

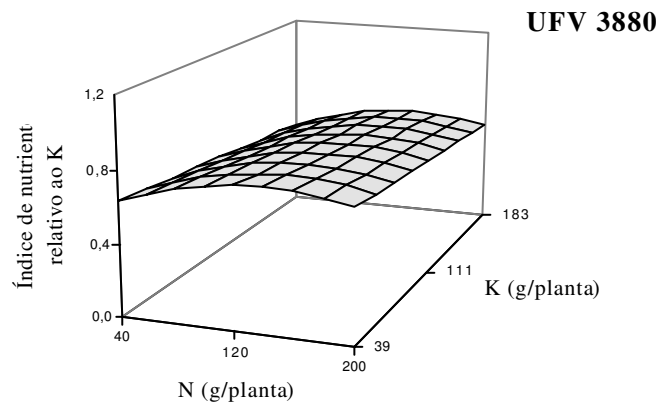
$$\hat{Y} = 0,40 + 0,001508 **N \quad r^2 = 0,97$$



$$\hat{Y} = 0,73 - 0,0005268 **N + 0,002635 *K - 0,00001911 **K^2 \quad R^2 = 0,80$$



$$\hat{Y} = 0,53 + 0,004173 **N - 0,00001496 **N^2 - 0,0009087 **K \quad R^2 = 0,77$$



** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Figura 12 – Estimativas do índice de nutriente relativo ao K, das linhagens UFV 2237, UFV 2983 e UFV3880, em função de doses de N e K, no experimento de campo.

às linhagens ora analisadas a classificação proposta por FAGERIA et al. (1988), para eficiência agrônômica de genótipos de arroz no uso de P, a linhagem UFV 2983 seria classificada como eficiente (I.E. > 1,0) e as demais linhagens, como intermediárias (I.E. entre 0,5 e 1,0).

3.10. Número de ramos plagiotrópicos (ramos produtivos)

Para esta característica, somente houve efeito significativo de linhagens e de N, conforme se verifica pelas informações contidas no Quadro 3. O acréscimo no fornecimento de N favoreceu o aumento do número de ramos plagiotrópicos das linhagens analisadas, que se elevou da média de 43 para a média de 48 ramos. A linhagem UFV 2237 apresentou, a 5% de probabilidade, o mais alto número de ramos plagiotrópicos (média de 51 ramos), característica esta que, entretanto, não se refletiu em maior produção de grãos nesta primeira safra.

3.11. Considerações gerais sobre os resultados obtidos

Os dados obtidos neste trabalho referem-se ao período que vai desde o plantio no campo até a primeira colheita de grãos de café e tiveram como objetivo primordial estudar a eficiência com que três linhagens de cafeeiros utilizam os nutrientes N e K de forma a alcançarem elevada produção.

Observou-se grande variação de resultados entre as características analisadas, com poucas oportunidades de comparação com dados da literatura, visto que praticamente não se conhecem trabalhos semelhantes a este na cafeicultura brasileira. Essa variação era esperada, conforme se depreende das informações contidas na literatura especializada em relação aos diversos conceitos de eficiência de utilização de nutrientes (SIDDIQI e GLASS, 1981; MARSCHNER, 1986; VOSE, 1987; CLARK, 1990; LI et al., 1991; GOURLEY et al., 1994).

Por esse motivo, não há como eleger um conceito de eficiência que seja o mais indicado para avaliar o comportamento de linhagens de café, pois tal análise dependerá do objetivo que norteia o trabalho do pesquisador.

Deve-se ressaltar, ainda, que os vários fatores que afetam a produtividade das culturas também afetam a eficiência nutricional (FAGERIA, 1998), como: temperatura, precipitação, propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, variabilidade genética das plantas, morfologia e fisiologia das raízes, exigência nutricional. Portanto, não se pode indicar a linhagem mais eficiente entre aquelas focalizadas neste estudo, pela impossibilidade de controle dos fatores citados. Entretanto, várias observações podem ser extraídas dos muitos dados apresentados.

No experimento de campo, também se realizou o estudo dos valores mais altos que poderiam ser obtidos nas estimativas das variáveis junto com as respectivas doses de nutrientes, como critério para identificar diferenças genotípicas entre as linhagens. Sob este critério, verificou-se grande destaque para a linhagem UFV 2983, material genético portador de resistência à ferrugem do cafeeiro, na capacidade produtiva de grãos e na grande maioria dos conceitos de eficiência. Portanto, esta linhagem, detentora das estimativas mais altas dos conteúdos foliares dos macronutrientes N e K, sobressaiu-se na eficiência em aproveitar o nutriente contido no próprio grão para produção de grãos, em converter o nutriente existente na parte aérea em grãos e em utilizar o nutriente aplicado no sentido de promover alta produção de grãos.

Tais características enquadram-se entre os possíveis mecanismos de diferenças genotípicas na eficiência de uso de nutriente, citadas por MARSCHNER (1986), principalmente em relação à utilização dentro da parte aérea da planta. Esta eficiência faltou, por exemplo, à linhagem UFV 3880, que se destacou no índice de nutriente, indicando bom nível de redistribuição de macronutriente para o grão, sem, entretanto, utilizá-lo internamente de forma a se destacar também na produção de grãos.

Ressalte-se, ainda, que as mais altas estimativas de eficiência atingidas pela linhagem UFV 2983 corresponderam às doses mais baixas de N

e K, o que equivaleria a um solo de baixa fertilidade. Por outro lado, a linhagem de Catuaí (UFV 2237) atingiu a grande maioria de suas mais altas estimativas, requerendo as maiores doses de nutrientes, principalmente do N.

É de conhecimento geral a precocidade de produção do ‘Catimor’, que apresenta produtividade muito alta nas primeiras safras e sua degenerescência após algumas colheitas, característica apresentada pela maioria de suas linhagens. Porém, o que os dados demonstram é que, em comparação com a linhagem-padrão ‘Catuaí’ (UFV 2237), o ‘Catimor UFV 2983’ mostrou alta capacidade de adaptação a condições de carência dos nutrientes mais requeridos pelo cafeeiro.

Em relação à linhagem de Catuaí utilizada nesta pesquisa, os dados obtidos evidenciam que há mais exigência em N do que em K e que a mesma necessita de alto fornecimento de N para se tornar mais eficiente e, assim, expressar sua notória elevada capacidade produtiva.

Em última análise, os resultados obtidos indicam a possibilidade de seleção de linhagens de cafeeiros com base na eficiência com que utilizam os nutrientes para a produção de grãos, em condições de carência.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com a finalidade de avaliar a eficiência de uso de N e K no período de formação do cafeeiro, instalou-se, no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia, próximo ao Aeroporto da UFV, um experimento fatorial $3 \times 3 \times 3$, com os tratamentos dispostos no delineamento em blocos ao acaso, com três repetições.

Foram analisadas as linhagens: UFV 2237 (Catuaí Vermelho), UFV 2983 (Catimor) e UFV 3880 (Catimor), tendo sido empregadas as seguintes doses totais por planta do plantio, em novembro/94 até o terceiro ano agrícola (96/97): 40, 120 e 200 g de N e 39, 111 e 183 g de K_2O , devendo-se ressaltar que as doses de 120 g de N e 111 g de K_2O encontram-se entre as mais recomendadas para lavouras comerciais. A cultura foi conduzida no campo, no espaçamento de 3×1 m, até a primeira colheita (maio/97), recebendo todas as parcelas de quatro plantas os mesmos cuidados técnicos, referentes à adubação de plantio e aos tratamentos culturais necessários.

Aos dois anos e meio de idade no campo, elegeu-se uma planta representativa de cada parcela, na qual foram realizadas a contagem do número de ramos plagiotrópicos (produtivos) e a colheita total de café cereja, folhas e caule + ramos (ramos ortotrópicos + ramos plagiotrópicos). Após as operações preparatórias do material colhido, foram determinados o teor e o

conteúdo de N e K nas amostras correspondentes aos segmentos das plantas, para os cálculos matemáticos relativos aos seguintes conceitos: eficiência de uso ou índice de utilização; eficiência de conversão; eficiência agrônômica; índice de colheita, adaptado; índice de nutriente, adaptado; e índice de eficiência. Foram efetuadas, também, análises comparativas da capacidade produtiva na primeira safra (matéria seca de grãos), do número de ramos plagiotrópicos dos cafeeiros e do teor foliar dos nutrientes N e K.

A única característica que não apresentou diferença significativa entre as linhagens foi o índice de eficiência.

Observou-se pouca variação dos teores foliares, os quais foram classificados como adequados, entre as variedades, registrando-se que o ‘Catuaí’ apresentou os valores mais altos de ambos os nutrientes. Comparando os segmentos das plantas, detectou-se que nas folhas a maior concentração foi de N e nos frutos, de K. A linhagem de Catuaí destacou-se, ainda, quanto ao número de ramos plagiotrópicos, embora tal aspecto não tenha se refletido na produção da primeira colheita.

A linhagem UFV 3880 (Catimor) distinguiu-se na avaliação do índice de nutriente do N e no índice de colheita; nestes casos, suas estimativas mais altas ocorreram na menor dose de K e um pouco acima da dose recomendada de N.

A linhagem que obteve maior destaque foi a UFV 2983 (Catimor), sobressaindo-se nas seguintes características: matéria seca de grãos, conteúdos foliares, eficiência de uso, eficiência de conversão, índice de colheita (neste caso, juntamente com a linhagem UFV 3880), índice de nutriente do K e eficiência agrônômica. Para atingir os valores das estimativas mais altas dos conteúdos foliares, necessitou da dose máxima de K e de quantidades relativamente próximas à dose recomendada de N. Entretanto, para alcançar as maiores estimativas de produção de grãos e dos diversos conceitos de eficiência mencionados, a linhagem UFV 2983 requereu sempre a dose mínima de N e, com poucas exceções, também a menor quantidade de K.

A análise dos resultados obtidos neste trabalho indica que a linhagem de Catuaí utilizada (UFV 2237) exige fornecimentos elevados, principalmente de N, para que tenha maior eficiência no uso dos nutrientes estudados (N e K) e que o Catimor - UFV 2983 se destacou pela alta eficiência de utilização dos mesmos nutrientes quando estes se encontram escassos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDROCIOILLI FILHO, A. Procedimentos para o adensamento de plantio e contribuição para o aumento da produtividade. In: **Simpósio Internacional sobre Café Adensado**. Londrina: IAPAR, 1996. p.249-275.
- BATTEN, G.D. The uptake and utilization of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum* spp.). **Annal of Botany**, v.58, p.49-59, 1986.
- BUAH, S.S.J., MARANVILLE, J.W., TRAORE, A., BRAMEL-COX, P.J. Response of nitrogen use efficient sorghums to nitrogen fertilizer. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.11, p.2303-2318, 1998.
- CERVELLINI, G.S., IGUE, T. Adubação mineral e orgânica do cafeeiro. **Bragantia**, v.53, n.1, p.83-93, 1994
- CLARK, R. Physiology of cereals for mineral uptake and use efficiency. In: BALIGAR, V.C., DUNCAN, R.R. (Eds.) **Crop as enhancer of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990. p.131-205.
- CORREIA, J.B., GARCIA, A.W.R., COSTA, P.C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 10, Poços de Caldas, 1983. **Anais...**, Rio de Janeiro: IBC, 1983. p.177-183.

- FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.6-16, 1998.
- FAGERIA, N.K., MORAIS, O.P., BALIGAR, V.C., WRIGHT, J.R. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an oxissol. **Fertilizer Research**, v.16, p.195-206, 1988.
- GATHAARA, M.P.H., KIARA, J.M. Density and fertilizer requirements for the compact and disease resistant arabica coffee. **Kenya Coffee**, v.55, n.646, p.907-910, 1990.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1976. 468p.
- GOURLEY, C.J.P., ALLAN, D.L., RUSSELLE, M.P. Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil**, v.158, p.29-37, 1994.
- GUIMARÃES, H.S. **Variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus citriodora***. Viçosa, MG: UFV, 1993. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- GUIMARÃES, P.T.G. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do sul de Minas Gerais**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1986.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ-IBC. Ministério da Indústria e do Comércio. **CULTURA DO CAFÉ NO BRASIL - Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro, 1985. 580p.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. 458p.
- JOHNSON, C.M., ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Florida: University of California, 1959, v.766, p.32-33.
- LI, B., McKEAND, S.E., ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v.37, n.2, p.613-626, 1991.

- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro - colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1993. 210p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B., MALAVOLTA, E., ROCHA, M., YAMADA, T. **CULTURA DO CAFEIEIRO - Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.165-274.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1986. p.401-523.
- MATIELO, J.B. Fatores que afetam a produtividade de café no Brasil. In: RENA, A.B., MALAVOLTA, E., ROCHA, M., YAMADA, T. **CULTURA DO CAFEIEIRO - Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.1-11.
- NEDEL, J.L., ULLRICH, S.E., PAN, W.L. Nitrogen use by standard height and semi-dwarf barley isotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.2, p.147-153, 1997.
- NOGUEIRA, F.D., LIMA, L.A., GUIMARÃES, P.T.G. Fertirrigação para o cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.19, n.193, p.82-91, 1998.
- RAIJ, B.V., COSTA, W.M., IGUE, T., SERRA, J.R.M., GUERREIRO, G. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, v.55, n.2, p.347-355, 1996.
- SANTINATO, R., MATSUBARA, E., PARRA, M.P., ROSSI, L.A., PEREIRA, E.M. Eficácia da adubação líquida N/K₂O em cafeeiros em produção - 1^o biênio, 93/94. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 20, Vitória, 1994. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1994. p.83-86.
- SEMBIRING, H., RAUN, W.R., JOHNSON, G.V. Nitrogen accumulation efficiency: relationship between excess fertilizer and soil-plant biological activity in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.6, p.1235-1252, 1998.
- SIDDIQI, M.Y., GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, n.3, p.289-302, 1981.

- SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Iowa: Iowa State University Press, 1976. 593p.
- SOUZA, C.A.S., GUIMARÃES, P.T.G., FURTINI NETO, A.E., NOGUEIRA, F.D. Eficiência nutricional de cultivares de cafeeiro na fase de muda, com relação ao zinco aplicado via solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24, Poços de Caldas, 1998. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1998. p.195.
- VOSE, P.B. Genetical aspects of mineral nutrition - progress to date. In: GABELMAN, H.W., LOUHMANN, A. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Boston: Lancaster, 1987. p.3-13.
- WU, P., TAO, Q.N. Genotypic response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.3, p.487-500, 1995.

3. RESUMO E CONCLUSÕES

Com a finalidade de avaliar a eficiência de uso de N e K por cafeeiros na formação de mudas e no desenvolvimento no campo, foram conduzidos experimentos com as linhagens UFV 2237 (Catuaí Vermelho), UFV 2983 (Catimor) e UFV 3880 (Catimor).

Para o estudo na fase de mudas, instalou-se, no Viveiro do Departamento de Fitopatologia, no local denominado Fundão, um experimento fatorial 5 x 5 x 3, em vasos, com os tratamentos dispostos no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, no período de abril a outubro de 1996. Utilizaram-se as seguintes doses totais, por planta, em vaso de 5 dm³ de solo: 0, 50, 100, 200 e 400 mg/dm³ de N e de K, da forma elementar. Todas as parcelas receberam os mesmos cuidados técnicos para a formação de substrato e para o desenvolvimento das mudas que, após atingirem sete meses, sofreram colheita total, em etapas, de folhas, caule + ramos e raízes. Depois de devidamente preparadas, as amostras de cada segmento foram submetidas à análise para determinação do teor e do conteúdo de N e K, que serviram de base para os cálculos matemáticos referentes a diversos conceitos de eficiência. Foram analisadas as seguintes características: teor e conteúdo dos nutrientes nas folhas, eficiência de uso,

eficiência de conversão, eficiência de translocação, eficiência de utilização e eficiência de absorção.

Para a pesquisa no campo, conduzida em um experimento fatorial 3 x 3 x 3 na área experimental próximo ao Aeroporto da UFV, no período entre o plantio (novembro/94) e a primeira safra (maio/97), foram aplicadas três doses de N (totais de 40, 120 e 200 g por planta) e três de K (totais de 39, 111 e 183 g K₂O por planta), tendo os tratamentos sido dispostos em blocos ao acaso, com três repetições, recebendo todas as parcelas a mesma adubação de plantio e os mesmos tratamentos culturais durante todo o período. Aos dois anos e meio de campo, foi eleita uma planta representativa de cada parcela, na qual se realizaram a contagem dos ramos plagiotrópicos e a colheita total, em etapas, de café cereja, folhas e caule + ramos. Após o preparo adequado do material colhido, determinaram-se, nas respectivas amostras, o teor e o conteúdo de N e K que serviram de base para o cálculo da eficiência sob vários conceitos. Foram objetos de análise as seguintes características: número de ramos plagiotrópicos, matéria seca de grãos, teor e conteúdo de N e K nas folhas, eficiência de conversão, eficiência agrônômica, índice de colheita, índice de eficiência, índice de nutriente e eficiência de uso.

Os resultados obtidos no experimento em vasos permitem as seguintes conclusões:

- a linhagem UFV 2237 obteve destaque nas seguintes características: produtividade total de matéria seca, teor foliar de N, conteúdo foliar de N e K e eficiência de uso de N;

- a linhagem UFV 3880 destacou-se no teor foliar de K e na eficiência de utilização de N; e

- não se observou diferença relativamente às estimativas mais altas entre as linhagens, quanto à eficiência de conversão de N e K e às eficiências de translocação e de absorção de N.

O experimento de campo revelou dados que levam às seguintes conclusões:

- Não foi encontrada diferença significativa entre as linhagens, em relação ao índice de eficiência.

- A linhagem UFV 2237 distinguiu-se nos teores foliares de N e K e no número de ramos plagiotrópicos.

- No índice de colheita e no índice de nutriente relativo ao N, sobressaiu-se a linhagem UFV 3880.

- O maior destaque foi a linhagem UFV 2983, que exibiu os melhores comportamentos nas seguintes características: conteúdos foliares de N e K, matéria seca de grãos, eficiência de uso, eficiência de conversão, índice de nutriente relativo ao K e eficiência agrônômica.

Eficiência de uso e eficiência de conversão foram os conceitos comuns aos dois experimentos, porém com resultados diferentes: no viveiro, destacou-se a linhagem UFV 2237; e no campo a linhagem UFV 2983 apresentou o melhor desempenho, eliminando, assim, a possibilidade de seleção precoce no material estudado.

A análise dos dados de ambos os experimentos indica que as linhagens estudadas requerem maior quantidade de N do que de K para alcançarem maior eficiência de produção, principalmente a linhagem UFV 2237, e que há possibilidade de seleção de cafeeiros em condições de carência de nutrientes.