

ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA  
NITROGÊNIO EM CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

**POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
FEVEREIRO - 2010

ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA  
NITROGÊNIO EM CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

**POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”

Orientador: Prof. Geraldo de Amaral Gravina  
Coorientadora: Dra. Waldênia de Melo Moura

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
**FEVEREIRO – 2010**

# **ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA NITROGÊNIO EM CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

**POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”

Aprovada em 12 de Fevereiro de 2010

Comissão Examinadora:

---

Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior (D.Sc., Genética e Melhoramento) – UENF

---

Pesquisador Paulo César de Lima (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – EPAMIG

---

Pesquisadora Waldênia de Melo Moura (D.Sc., Fitotecnia) – EPAMIG  
(Coorientadora)

---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) – UENF  
(Orientador)

A minha mãe,  
A minha avó,  
A minha irmã,  
Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

A minha mãe, pelos conselhos, incentivo e amizade.

Ao meu marido Adans, pela compreensão e incentivo.

Ao meu filho Gael, meu maior amor e alegria de viver.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela oportunidade de realizar este curso, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão da bolsa.

À pesquisadora Dra. Waldênia de Melo Moura, pela concessão dos dados para a realização deste trabalho, bem como pela amizade e orientação.

Ao Professor Geraldo de Amaral Gravina, pela amizade, confiança, pelos ensinamentos e orientação dedicados.

Ao pesquisador Dr. Paulo César de Lima, pela amizade e sugestões apresentadas.

Ao Professor Antonio Teixeira do Amaral Júnior, pelas sugestões apresentadas.

À Coordenadora, Professora Telma Nair Santana Pereira, e ao secretário, José Daniel Valle de Almeida, do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela competência e presteza em todos os momentos.

A todos os professores, pelos valiosos ensinamentos que contribuíram para a minha formação ao longo do curso.

Aos amigos de pós-graduação e república, em especial Keila, Emanuelli, Roberta e Érica, pela amizade e convívio.

Ao amigo Leandro pelo auxílio na análise multivariada.

Aos companheiros de idas para Viçosa, nos fins de semana.

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

Obrigada!!!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. A espécie <i>Coffea arabica</i> L. ....	5
2.2. Melhoramento genético do café arábica ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	7
2.3. Genética e nutrição mineral de plantas.....	8
2.4. Nitrogênio para o cafeeiro e seu papel no metabolismo das plantas.....	10
2.5. Conceitos da eficiência nutricional.....	12
2.6. Eficiência nutricional para nitrogênio.....	14
2.7. Parâmetros genéticos.....	16
2.8. Diversidade genética .....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Localização.....	21
3.2. Delineamento experimental.....	21
3.3. Descrição do material genético utilizado.....	21
3.4. Plantio das mudas, preparo da solução nutritiva e condução do experimento.....	29
3.5. Características avaliadas.....	31
3.6. Estimativa dos índices de eficiência nutricional para nitrogênio.....	32

3.7. Interação genótipos x ambiente .....	32
3.8. Resposta à adubação nitrogenada .....	33
3.9. Parâmetros genéticos.....	34
3.10. Análise multivariada.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1. Características agronômicas.....	38
4.2. Produção de matéria seca.....	49
4.3. Eficiência nutricional.....	59
4.3.1. Eficiência de Enraizamento (EE).....	60
4.3.2. Eficiência de Absorção (EA).....	61
4.3.3. Eficiência de Translocação (ET).....	61
4.3.4. Eficiência de Utilização (EU).....	61
4.3.5. Eficiência de Produção de Biomassa (EPB).....	62
4.4. Parâmetros genéticos.....	67
4.5. Análise multivariada .....	71
4.5.1. Agrupamento hierárquico pelo método UPGMA.....	71
4.5.2. Discriminação genotípica com base em Variáveis Canônicas (VC).....	72
4.5.3. Importância relativa das características estudadas.....	74
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78



## RESUMO

CARDOSO, Poliane Marcelle Ribeiro; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro, 2010. Análise biométrica da eficiência nutricional para nitrogênio em café (*Coffea arabica* L.). Orientador: Geraldo de Amaral Gravina. Coorientadora: Waldênia de Melo Moura. Conselheiro: Antônio Teixeira do Amaral Júnior.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a diversidade genética entre cultivares de café com base nas características agronômicas, produção de matéria seca e índices de eficiência nutricional, por meio de análises univariada e multivariada em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio, de modo a subsidiar a escolha de cultivares promissoras, para ambientes de baixa disponibilidade desse elemento, e para estudos genéticos futuros visando à obtenção de cultivares eficientes para nitrogênio. Neste sentido, foi realizado um experimento, em solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, utilizando-se do delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial (20x2), com três repetições, sendo vinte cultivares de café e duas doses de nitrogênio, adequada ( $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) e baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), totalizando 40 tratamentos, sendo que cada parcela foi constituída por duas plantas por vaso. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta, diâmetro do caule, número de nós, comprimento de internódio, número de pares de folha e área foliar. Após a avaliação, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa, com circulação forçada de ar a  $70^{\circ}\text{C}$ , por 72 horas e, em seguida, determinou-se a massa da matéria seca de: raiz, caule, folha, parte aérea total e relação raiz parte aérea, determinada pela massa

da matéria seca de raiz/ massa da matéria seca de parte aérea. Após a secagem, a massa da matéria seca de cada parte da planta foi moída e enviada ao laboratório de análise foliar da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para determinação dos teores de nitrogênio. Em seguida, foram obtidos os conteúdos deste elemento, por meio do produto entre os teores e a massa da matéria seca de cada segmento da planta. De posse dos conteúdos, foram obtidas as estimativas da eficiência nutricional para nitrogênio. Para as características agronômicas e de produção de matéria seca, foi verificada a resposta à adubação nitrogenada, segundo a metodologia proposta por Fox (1978). Com base no cultivo em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio, foi verificado que existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café, podendo ser explorada em programas de melhoramento, para a obtenção de cultivares eficientes para N. As cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 podem ser consideradas as mais eficientes nutricionalmente para N, além de responsivas à adição deste elemento, apresentando-se como promissoras, para ambientes de baixa disponibilidade e/ou sistemas de produção com recurso para a adubação nitrogenada. A cultivar Topázio MG 1190 pode ser considerada eficiente para N e não responsiva, com potencial, para sistemas de produção, com baixa disponibilidade de recursos para adubação nitrogenada. Já as cultivares San Ramon e São Bernardo foram ineficientes para N, e não responsivas. Por meio das análises multivariadas, o método UPGMA mostrou-se eficiente na discriminação das cultivares de café, de forma análoga à técnica de variáveis canônicas no estudo da diversidade genética. A Matéria Seca Total (MST) foi a característica de maior importância relativa para a discriminação das cultivares, podendo ser utilizada como parâmetro de seleção na avaliação de cultivares eficientes para nitrogênio.

## ABSTRACT

CARDOSO, Poliane Marcelle Ribeiro; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro, 2010. Biometric analysis of the nutritional efficiency for nitrogen in coffee (*Coffea arabica* L.). Adviser: Geraldo de Amaral Gravina. Coadviser: Waldênia de Melo Moura. Committee: Antônio Teixeira do Amaral Júnior.

This study aimed to evaluate the genetic diversity among coffee cultivars based on agronomic characteristics, dry matter production and nutritional efficiency indices by means of univariate and multivariate analysis in low availability of nitrogen, so supporting the choice of cultivars promising for environments of low availability of this element, and for future genetic studies aimed at obtaining efficient cultivars to nitrogen. In this sense, an experiment was performed in Hoagland and Arnon (1950) modified, using the design of randomized blocks in factorial scheme (20x2) with three replications, twenty varieties of coffee and two doses of nitrogen, adequate (7.5 mmol.L<sup>-1</sup>) and low (1.0 mmol.L<sup>-1</sup>), totaling 40 treatments, each plot consisted of two plants per pot. We evaluated the following characteristics: plant height, stem diameter, number of nodes, internodal length, number of pairs of leaves and leaf area. After evaluation, the plant material was subjected to drying in an oven with forced air at 70° C for 72 h and then determined the dry mass of: root, stem, leaf, shoot Total and shoot / root ratio, determined by the mass of root dry matter / dry matter of shoots. After drying, the dry mass of each plant was ground and sent to the laboratory leaf analysis at the Federal University of Viçosa (UFV) to determine the levels of nitrogen. Then they obtained the contents of this

element through the product between the contents and dry mass of each segment of the plant. In possession of the contents have been obtained, estimates of the nutritional efficiency for nitrogen. For the agronomic characteristics and dry matter production, there was the response to nitrogen fertilization, using the methodology proposed by Fox (1978). Based on culture in an environment with low nitrogen availability, it was verified that there is genetic variability among the 20 varieties of coffee, which can be exploited in breeding programs to obtain efficient cultivars to N. Cultivars Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 and Catucaí 785/15 can be considered the most nutritionally efficient for N, and responsive to the addition of this element, introducing himself as promising for environments of low availability and / or production systems using for nitrogen fertilization. The cultivar Topázio MG 1190 can be considered efficient for N and non-responsive, with potential for production systems with low availability of resources to nitrogen fertilization. However, cultivars San Ramon and São Bernardo were inefficient for N, and not responsive. Through multivariate analysis, the UPGMA method was efficient in the discrimination of varieties of coffee, similar to the technique of canonical variable in the study of genetic diversity. The total dry matter (TDM) was the feature of greater relative importance for the discrimination of cultivars can be used as a selection parameter in the evaluation of cultivars efficient in nitrogen.

## 1. INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma espécie perene, de clima tropical, pertencente à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. Dentre as diversas espécies reunidas nesse gênero, as de maiores interesses econômicas são *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froenher, representando aproximadamente 70% e 30% da produção mundial, respectivamente. O cultivo dessas espécies estende-se por mais de 50 países nos diversas continentes, ocupando uma área superior a 10 milhões de hectares, com uma produção média anual em torno de 130 milhões de sacas de café beneficiado (Fao, 2008).

O Brasil atualmente ocupa a posição de maior produtor e exportador mundial de café, sendo responsável, na safra de 2008/2009, por 36,35% da produção mundial, cultivada em uma área de aproximadamente 2,2 milhões de hectares em todas as regiões do país (Agrianual, 2009).

Nas últimas décadas, a expansão da cafeicultura tem ocorrido em solos de baixa fertilidade, com grande dependência de corretivos e adubos, o que implica o aumento no custo de produção da cultura. Pesquisas têm demonstrado que, dentre os macronutrientes mais exigidos ao desenvolvimento do cafeeiro, destaca-se o nitrogênio (N) (Correa *et al.*, 1983); sua falta é o que mais limita o crescimento e a produção dos cafezais (Vaast *et al.*, 1998). De acordo com

Matiello *et al.* (2005), o N desempenha papel importante na expansão da área foliar, no crescimento da vegetação e na formação dos botões florais, sendo constituinte de aminoácidos e parte integrante das moléculas de proteínas. O café está entre as cinco culturas que mais consome fertilizante no Brasil (Conab, 2008). Em termos de N, o Brasil é o quinto maior consumidor mundial (Agriannual, 2009).

O cultivo em solos de baixa fertilidade exige adaptação do solo à planta ou da planta ao solo, ou ambas (Baligar e Fageria, 1997). No primeiro caso, esta adaptação requer correção e fertilização que, na maioria das vezes, implica custos elevadas, e nem sempre eficientes, além de promover a contaminação do meio ambiente quando feita em excesso. A adaptação da planta ao solo diz respeito ao uso eficiente de nutrientes disponíveis, com o qual permite a seleção e o desenvolvimento de cultivares capazes de crescer e produzir, sob restrição no fornecimento de nutrientes, sendo o principal componente desta estratégia. Para tanto, é necessário o conhecimento dos mecanismos que governam as diferenças varietais entre as cultivares eficientes nutricionalmente. Determinadas variedades de uma cultura, sob as mesmas condições de crescimento, apresentam comportamento distinto em relação às características nutricionais, conduzindo a respostas diferenciais de crescimento e produtividade, surgindo, assim, vários conceitos de eficiência nutricional. Segundo Gerloff e Galbeman (1983), a resposta de determinado genótipo, sob condições de estresse nutricional, envolve a eficiência em adquirir o nutriente do meio externo, translocá-lo para a parte aérea e produzir eficientemente a biomassa, de acordo com a quantidade de nutriente adquirida. Para Marschner (1995), as diferenças genotípicas quanto à eficiência nutricional estão relacionadas com a absorção, transporte e utilização das nutrientes no interior das plantas, as quais são afetadas por fatores morfológicos, fisiológicos e pela demanda nutricional. O conhecimento desses mecanismos permitiria uma seleção mais efetiva, contribuindo para o avanço dos programas de melhoramento genético para eficiência nutricional.

De acordo com Ahmad *et al.* (2001), a base genética da nutrição mineral de plantas tem recebido maior atenção nos últimos anos, com o desenvolvimento de pesquisas em relação às variações no requerimento nutricional e na tolerância de plantas a condições de deficiência nutricional, cujos resultados sugerem o desenvolvimento de cultivares capazes de se adaptarem a diferentes condições

de solo, incluindo a estresses nutricionais. Tem-se constatado que diferentes cultivares de café apresentam diferença de comportamento quanto à absorção, acúmulo e utilização de N e outros nutrientes (Pereira, 1999; Amaral *et al.*, 2002; Tomaz *et al.*, 2003; Neves *et al.*, 2005; Tomaz *et al.*, 2005). Essas variações podem constituir a base genética de programas de melhoramento genético para a eficiência nutricional do cafeeiro.

A importância do estudo da diversidade genética, em programas de melhoramento genético para nutrição mineral de plantas, está relacionada com a escolha das cultivares a serem utilizadas como genitores. Cruzamentos que envolvem genitores geneticamente divergentes são os mais convenientes para produzir alto efeito heterótico na progênie e maior variabilidade genética em gerações segregantes (Falconer, 1987).

No estudo da diversidade, a análise univariada, por meio do teste de média de Scott-Knot, tem sido eficiente no agrupamento dos genótipos, na avaliação de diversidade genética, para a eficiência nutricional para N, em alface (Lédo, 1998).

Outro instrumento útil na avaliação da diversidade tem sido o uso de técnicas biométricas, fornecendo informações que auxiliam na seleção de genitores. Neste caso, vários métodos multivariados podem ser aplicados, cuja vantagem, em relação às análises univariadas, é a identificação das combinações mais promissoras em relação a várias características, simultaneamente (Miranda *et al.*, 1988).

A análise de agrupamento hierárquico UPGMA, utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) (Cruz *et al.*, 2004), tem sido eficiente no estudo da diversidade genética em trigo (Bertan *et al.*, 2006), café robusta (Ivoglio *et al.*, 2008) e tomate (Rocha *et al.*, 2009), considerando a análise multivariada.

Outra forma utilizada para auxiliar a seleção, num programa de melhoramento, é a importância relativa dos caracteres, pelo método de Singh (1981). As características de menor importância apresentam menor variabilidade ou estão representadas por outras.

De forma conjugada ao método de agrupamento, podem-se utilizar as técnicas que possibilitam a análise por meio de dispersão gráfica, dentre as quais, as Variáveis Canônicas têm grande aplicabilidade no estudo da discriminação genotípica, tornando facilmente perceptível a identificação de genótipos de

interesse. Essa técnica foi utilizada nos estudos de eficiência nutricional em alface para N (Lédo, 1998) e fósforo (P) (Cock *et al.*, 2002).

Assim, este trabalho teve como objetivos avaliar a diversidade genética entre cultivares de café com base nas características agronômicas, produção de matéria seca e índices de eficiência nutricional, por meio de análises univariada e multivariada, em condições de baixa disponibilidade de N, de modo a subsidiar a escolha de cultivares promissoras, para ambientes de baixa fertilidade desse elemento, e para estudos genéticos futuros visando à obtenção de cultivares eficientes para N.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A espécie *Coffea arabica* L.

O cafeeiro pertence à divisão das Fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Eudicotiledônea, ordem Rubiales, família das Rubiaceae, tribo Coffeae, subtribo Coffeinae (Guerreiro Filho *et al.*, 2008). De acordo com Bridson (1987) e Bridson (1994), o cafeeiro é classificado em dois gêneros: o *Coffea* L., composto pelos subgêneros *Coffea* e *Baracoffea*, e o *Psilanthus*, composto pelos subgêneros *Psilanthus* e *Afrocoffea*.

Dentre as espécies presentes no subgênero *Coffea*, enquadram-se as espécies de valor comercial *Coffea arabica* L., conhecidas como café arábica, sendo esta espécie responsável por aproximadamente 70% do café comercializado mundialmente, devido a sua superioridade na qualidade da bebida (Sondahl e Lauritis, 1992), e *Coffea canephora* Pierre ex Froenher, conhecida como café robusta.

A espécie *C. arabica* é originária do sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia, entre 1000 e 2000 m de altitude. Sua dispersão se deu através do lêmem (Ásia), chegando ao Brasil por volta de 1727, originário de plantações na América Central e na Guiana Francesa (Carvalho, 1993).

Atualmente, a espécie tem ampla dispersão, sendo cultivada em regiões de altitudes mais elevadas e temperaturas mais amenas, entre 18 e 21°C, nos

continentes americano e asiático, além de algumas regiões da África (Guerreiro Filho *et al.*, 2008).

*C. arabica* é um alotetraploide com conjunto genômico de  $2n=44$  cromossomos (Carvalho e Mônaco, 1964). Sua poliploidia está relacionada com sua origem cuja hipótese mais provável é a hibridação de espécies diploides (Carvalho e Mônaco, 1967). Estudos realizados mais recentemente comprovaram que as espécies diploides do gênero *Coffea*, *C. eugenioides* com *C. congensis* (Raina *et al.*, 1998) ou *C. eugenioides* com *C. canephora* (Lashermes *et al.*, 1999) seriam as progenitores de *C.arabica* L.

Quanto à reprodução, trata-se de uma espécie autofértil com multiplicação predominantemente por autofecundação e cerca de 10% de polinização cruzada (Carvalho e Mônaco, 1964).

Sob o aspecto econômico, atualmente o Brasil é considerado, além de maior produtor, o maior exportador e consumidor mundial. Estatísticas disponíveis mostram que, na safra de 2008/2009, o Brasil foi responsável por 36,35% da produção mundial de café, seguido por países como Vietnã (15,29%), Colômbia (8,68%) e Indonésia (4,69%), dentre outras (Agrianual, 2009). Destaque para o Estado de Minas Gerais como o maior produtor de café do país, com 51% da produção nacional, sendo 99,8% do café produzido do tipo arábica (Conab, 2008). A exportação brasileira alcançou em torno de 28 mil sacas de café beneficiado, o que corresponde a 26,84% das exportações mundiais (Agrianual, 2009). No que diz respeito ao consumo, o Brasil foi considerado o maior consumidor, atingindo 48,3% em relação ao consumo mundial (Agrianual, 2009).

O café arábica é uma espécie perene, apresentando aspectos biológicas peculiares, como: ciclo reprodutivo longo e acentuada oscilação anual de produção, resultando em ciclo bienal de produção; trata-se de uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, tronco cilíndrico, com sistema radicular pivotante, contendo raízes finas superficiais, localizadas em sua maioria até 30 a 40% de profundidade (Fazuoli, 1986). Lateralmente, o sistema radicular pode chegar até 2 m de comprimento. Apresenta caule lenhoso, com ramos dimórficos (ortotrópicos e plagiotrópicos). Os ramos ortotrópicos ou vegetativos crescem verticalmente e possuem folhas opostas e cruzadas. Os plagiotrópicos ou produtivos crescem lateralmente, dando origem às ramificações secundárias. As folhas são coriáceas, persistentes e inteiras. O fruto do cafeeiro é uma drupa elipsoide contendo dois

*locus* e duas sementes plano-convexas (sementes chatas), mas, ocasionalmente, pode conter uma, três ou mais. O abortamento em um lóculo dá origem a uma semente arredondada, chamada de moca (Sakiyama *et al.*, 2005).

## 2.2. Melhoramento genético do café arábica (*Coffea arabica* L.)

Desde a introdução do café no Brasil em 1727, o melhoramento genético era feito apenas com introduções de novos germoplasmas importados de outros países, e o processo de seleção era empírico, ou seja, sem utilização de técnicas científicas. No entanto, o papel do aumento da produtividade e da base genética estava sendo cumprido, contudo, sem possibilitar a melhoria de muitos caracteres de interesse.

Somente no início da década de 1930, o cafeeiro passou a ser estudado e melhorado geneticamente com bases científicas. Este estudo teve início com a criação das Seções de Genética e de Café, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em Campinas, São Paulo, que organizou um minucioso projeto de pesquisa, cujo objetivo era a obtenção de plantas com alta capacidade produtiva, vigorosas e com boas características físicas e químicas do grão. Outras características, como tamanho da semente, uniformidade de maturação dos frutos, componentes químicos como cafeína, sólidos solúveis, óleo e também resistência a pragas e doenças, foram estudadas em outros projetos executados adiante.

Mutantes e recombinantes naturais foram surgindo e, por meio do dinâmico trabalho do IAC, procuraram-se aproveitar estes novos germoplasmas com expressões fenotípicas distintas daquelas das cultivares introduzidas originalmente (Carvalho, 1952 e Carvalho 1981).

Juntamente com o IAC, outras instituições de pesquisas fazem parte do melhoramento do cafeeiro. A EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) é responsável por um dos mais completos programas de pesquisa com a cultura no país, sendo o melhoramento genético uma das linhas prioritárias, iniciada em 1970/71, e que conta com a parceria das Universidades Federais de Viçosa (UFV) e Lavras (UFLA). Destaque também para o IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), que iniciou suas atividades na década de 70; e

para o PROCAFE (Programa de Apoio Tecnológico à Cafeicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), na década de 90.

Os principais métodos de melhoramento genético do cafeeiro arábica utilizados no Brasil são: introdução, seleção de plantas individuais seguida de teste de progênie e método genealógico (Sakiyama *et al.*, 2005). Com este trabalho de melhoramento, chegou-se a resultados suficientemente homogêneos, o que permitiu a propagação, via semente, de todo o material de *C. arabica* plantado comercialmente.

Novas demandas para resistência a doenças e pragas, maiores produções, alterações na arquitetura da planta, tamanho do grão, melhoria da qualidade, tolerância às variações do pH do solo (toxidez de alumínio) e uniformidade de maturação requerem, dos melhoristas, programas complexos de cruzamentos e retrocruzamentos, envolvendo a recombinação de muitos caracteres (Van der vassen, 1985).

Atualmente, as programas de melhoramento estão voltados para o desenvolvimento de materiais que combinem alta produtividade com resistência a estresses bióticos e abióticos e boa qualidade de bebida.

O trabalho de melhoramento do cafeeiro, executado até os dias atuais, resultou na obtenção de cultivares de elevado potencial produtivo, excelente vigor vegetativo, rusticidade e resistência às principais pragas e doenças, obtidas pelas instituições de pesquisa do país. A cultivar originalmente introduzida, conhecida como Típica ou Nacional, passando pelas várias introduções e mutações já exploradas comercialmente, como o Bourbon Vermelho, o Sumatra, o Amarelo de Botucatu, o Maragogipe, o Caturra e tantas outras, até as modernas seleções de Mundo Novo, Catuaí, Icatu, Rubi, Obatã e Topázio, dentre outras, aumentou-se em pelo menos 300% o potencial produtivo do cafeeiro (Mendes, 1999).

### 2.3. Genética e nutrição mineral de plantas

A baixa fertilidade dos solos tem sido superada, basicamente, pela correção dos solos via adição de fertilizantes. Em geral, 50% do aumento da produção estão relacionados à aplicação de fertilizantes minerais (Saric, 1987).

Estatísticas disponíveis mostram que o consumo de fertilizantes no Brasil mais que dobrou de 1994 a 2007, passando de 12 milhões de toneladas para 24,6

milhões; no montante, 17,27 milhões de toneladas foram importados de outros países (Agrianual, 2009).

Os aumentos constantes no custo desse insumo, o aumento da poluição e problemas ambientais têm despertado o interesse no aproveitamento do potencial adaptativo de genótipos às condições adversas de fertilidade do solo, por meio de programas de melhoramento genético.

Um dos aspectos críticos da maioria dos programas de melhoramento genético, para nutrição mineral de plantas, é a identificação de fontes de variabilidade genética de plantas eficientes nutricionalmente, visando à adaptação de genótipos a diferentes condições de solo. Segundo Marschner (1995), as diferenças genótípicas quanto à eficiência nutricional estão relacionadas com a absorção, transporte e utilização dos nutrientes no interior das plantas, as quais são afetadas por fatores morfológicos, fisiológicos e pela demanda da planta. Neste sentido, o conhecimento dos mecanismos associados à eficiência nutricional permitiria uma seleção mais efetiva, contribuindo para o avanço desses programas.

Na avaliação da variabilidade genética disponível, para a eficiência nutricional em relação ao N e a outros nutrientes, em diversas culturas, têm-se utilizado técnicas de seleção, como o cultivo em solução nutritiva (Furlani *et al.*, 1985; Tomaz *et al.*, 2003; Moura *et al.*, 2007), cultivo no solo em vasos (Pereira, 1999) e cultivo no solo em campo (Amaral *et al.*, 2002; Kolchinski e Schuch, 2003; Neves *et al.*, 2005). Essas técnicas apresentam vantagens e desvantagens na identificação de mecanismos efetivos que ocorrem em condições naturais de campo.

De acordo com Furlani e Furlani (1988), dentre as técnicas empregadas, no estudo da eficiência nutricional, em seleção de plantas para fins de melhoramento, o uso de solução nutritiva vem crescendo rapidamente em vista da facilidade que esta apresenta na avaliação da planta como um todo. No cultivo em solução nutritiva, a nutrição das plantas é feita por meio de uma solução aquosa, que contém todos os elementos essenciais ao crescimento, em quantidade e proporções definidas, e isentas de quantidade elevada de elementos potencialmente tóxicos (Martinez e Silva Filho, 2006). Embora reconhecidamente limitada, em razão da validade e aplicabilidade dos resultados, as técnicas que envolvem a solução nutritiva apresentam satisfatória eficiência. O interesse pelo

uso da solução nutritiva em seleção de plantas, para fins de melhoramento, traz vantagens no sentido de poder controlar as condições de crescimento das plantas, estudar o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, além possibilitar a comparação de um número relativamente grande de genótipos num curto espaço de tempo (Furlani e Furlani, 1988).

Entretanto, para o estudo das características nutricionais, torna-se essencial, para a obtenção de dados comparativos em campo, levar-se em consideração a dinâmica do sistema solo-planta, para concluir se a técnica em solução nutritiva pode ser usada como ferramenta auxiliar na seleção e melhoramento de plantas.

Uma vez identificadas as fontes de variabilidade para eficiência nutricional, o conhecimento da base genética e do modo de herança faz-se necessário, para que o melhoramento genético seja efetuado de maneira rápida e efetiva, além de auxiliar na escolha do método de melhoramento mais adequado para a obtenção de cultivares com características agronômicas desejáveis aliadas à eficiência nutricional.

De acordo com Clark e Duncan (1991), o melhoramento para a eficiência nutricional é considerado complexo, envolvendo diversas características quantitativas que se interrelacionam, sendo também muito influenciado pelo ambiente.

Poucos programas de melhoramento genético têm sido realizados neste sentido, devido à complexidade de entendimento dos mecanismos relacionados com a eficiência nutricional. Para o sucesso destes programas de melhoramento, são necessários trabalhos de pesquisa em conjunto, envolvendo especialistas nas áreas de solos e nutrição mineral de plantas, fisiologistas e geneticistas.

#### 2.4. Nitrogênio para o cafeeiro e seu papel no metabolismo das plantas

Diversos nutrientes são necessários ao desenvolvimento do cafeeiro, no entanto, a falta de N é o que mais limita seu crescimento e produção (Vaast *et al.*, 1998). Cafeeiros em produção requerem adubações que variam de 200 a 450 kg de N/ha/ano (Guimarães, *et al.*, 1999).

De acordo com Matiello *et al.* (2005), o N desempenha papel importante na expansão da área foliar, no crescimento da vegetação e na formação dos

botões florais, sendo constituinte de aminoácidos e parte integrante das moléculas de proteínas.

Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) são as principais fontes inorgânicas de N absorvidas pelas plantas superiores, e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações de pH do meio. O meio ácido inibe a absorção do ( $\text{NH}_4^+$ ) e favorece a de ( $\text{NO}_3^-$ ), enquanto, em pH neutro/alcalino, o contrário é observado, possivelmente devido a efeitos competitivos do  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ , bombeados para fora da célula, por meio do mecanismo associado à atividade de ATPases de membrana, no processo de absorção ativa de cátions e ânions (Marschner, 1995). Assim, a absorção de ( $\text{NO}_3^-$ ) estimula a absorção de cátions, enquanto a absorção de ( $\text{NH}_4^+$ ) pode restringi-la.

Elementos encontrados em maiores concentrações na solução do solo, como o N, por serem retidos com menor energia na fase sólida, são transportados, preferencialmente, pelo fluxo de massa (Malavolta, 1980). O fluxo de massa vem da existência de um potencial de água no solo maior do que aquele junto à raiz. Esta diferença de potencial é devido à transpiração da planta, e causa um movimento de massa de água em direção à raiz, arrastando nela os íons encontrados na solução. Assim, o fluxo de massa segue o fluxo transpiracional da planta.

O N, quando absorvido na forma nítrica, deverá ser reduzido a amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), para fazer incorporação a compostos orgânicos e exercer suas funções metabólicas (Marschner, 1995).

A primeira etapa do processo é a redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Esta redução é mediada pela enzima nitrato redutase (Tischiner, 2000). Em muitas plantas, quando as raízes recebem pequenas quantidades de nitrato, o mesmo é reduzido, principalmente, nesses órgãos. À medida que o suprimento de nitrato aumenta, uma proporção maior do nitrato absorvido é translocado para as partes aéreas, onde será assimilado (Marschner, 1995).

Por ser o nitrito um íon altamente reativo e potencialmente tóxico nas células vegetais, após a redução do nitrato, ele é transferido rapidamente do citosol para o interior dos cloroplastos nas folhas, ou para o interior dos plastídios na raiz (Taíz e Zaiger, 2004). Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) a amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). O amônio é então assimilado nos aminoácidos glutamina e glutamato, pelas ações sequenciais das enzimas glutamina sintetase

e glutamato sintase. Estas estão localizadas no citosol e nos plastídeos, nas raízes; ou nos cloroplastos, nas folhas. Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o N orgânico pode ser translocado de fontes para drenos (Lam *et al.*, 1996). Na planta, o N é transportado no xilema e redistribuído no floema (Malavolta, 1980), conseqüentemente, as plantas deficientes em N apresentam os sintomas primeiramente nas folhas velhas.

A assimilação do N é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade das culturas (Oaks, 1994).

Assim, o N é um nutriente limitante para o crescimento das plantas que apresentam vários mecanismos para incrementar a eficiência no uso desse nutriente.

## 2.5. Conceitos da eficiência nutricional

A eficiência nutricional, também chamada eficiência de uso ou utilização de nutrientes, tem diversas definições, que variam principalmente em função do tipo de estudo e do objetivo do pesquisador, porém, a mais comum diz respeito à capacidade de a planta produzir, em um solo pobre, em determinado nutriente. No entanto, geralmente ocorrem variedades eficientes ou ineficientes em determinadas condições extremas de níveis nutricionais.

Em comentário sobre a grande variação de definições de eficiência do nutriente, Gourley *et al.* (1994) consideram que, por esse motivo, podem ser cometidos diversos enganos em relação ao aumento de produtividade, se não forem bem identificados os mecanismos para o incremento na aquisição e utilização do nutriente. Para Clark e Duncan (1991), além de um grande e confuso número de definições, existe a falta de consenso sobre quais são as características mais importantes para o estudo da eficiência, termo usado frequentemente em relação a diferenças de genótipos e de espécies na absorção e uso de nutrientes. Saurbeck e Helal (1990) consideram fundamental a pesquisa em busca de plantas com maior eficiência na utilização de nutrientes. Estes autores indicam que os aspectos mais importantes a serem consideradas são os que têm relação com as propriedades morfológicas e fisiológicas da raiz; as relações raiz/parte aérea que influenciam a translocação e a redistribuição de



nutrientes; e as interações solo-raiz, relacionadas com a disponibilidade de nutrientes.

Moll *et al.* (1982) definiram, como eficiência de uso, a 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 (massa da MST do produto colhido por unidade de nutriente). No entanto, para Siddiqi e Glass (1981), a eficiência de utilização do nutriente é considerada tão importante quanto a eficiência de aquisição. 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 acréscimo; portanto, a concentração do nutriente no tecido tem mais importância do que a quantidade total. Para evitar a seleção de plantas eficientes na utilização do nutriente, porém com baixa produção, esses autores propuseram um índice de eficiência como sendo a razão entre o quadrado da biomassa e o conteúdo do nutriente absorvido, reunindo, num mesmo índice, a eficiência de utilização do nutriente e o crescimento. Já Swiader *et al.* (1994) definem a eficiência de utilização como a capacidade relativa de as plantas produzirem máxima quantidade de matéria seca por incremento de nutriente aplicado. Li *et al.* (1991) abordaram os aspectos nutricionais mais especificamente e definiram a eficiência de uso ou nutricional como resultante do produto entre as eficiências de aquisição e utilização. Estas, por sua vez, foram subdivididas da seguinte forma: eficiência de aquisição, composta por eficiência de absorção e eficiência de enraizamento; e eficiência de utilização, composta por eficiência de transporte e eficiência de produção de biomassa. Furtini Neto (1994) cita dois conceitos de eficiência usados, 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 (1995), para conceituar a eficiência de uso, é necessário levar em consideração que as diferenças genotípicas referentes a esta

características estão relacionadas com absorção, transporte e utilização no interior da planta, e que estas são afetadas por fatores morfológicos e fisiológicos e pela demanda por nutriente.

Revisando o assunto, Gourley *et al.* (1994) efetuaram comparações entre definições de eficiências encontradas na literatura, dividindo-as entre as que enfatizam 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 agrônômica (produção obtida em relação ao nutriente aplicado); eficiência por requerimento externo (quantidade de nutriente exigida para alcançar uma dada percentagem da produção máxima); e eficiência de produção (resposta 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 frequentemente denominado “razão de eficiência do nutriente”, amplamente usado para descrever o requerimento interno de nutrientes em muitas espécies agrônômicas; eficiência pela quantidade do produto colhido por unidade de nutriente absorvido; e eficiência de absorção (aquisição de nutriente por unidade de comprimento ou superfície de raiz, ou de peso de raiz). Em consequência a esta diversidade de conceitos, as diferenças entre os germoplasmas e a eficiência de uso de nutriente variam de acordo com a definição utilizada. Embora a produção de grãos ou a produção econômica sejam as características mais adequadas para a avaliação da eficiência nutricional em nível de campo e em casa de vegetação, sob condições controladas, a produção de matéria seca pode ser utilizada adequadamente com esta finalidade de avaliação (Fageria, 1998).

## 2.6. Eficiência nutricional para nitrogênio

Vários estudos têm mostrado a existência de diferenças genotípicas quanto às eficiências de absorção, translocação e utilização de N e outros nutrientes para diversas culturas descritas a seguir.

Para cultivos em solução nutritiva, França (1983), estudando 44 genótipos de sorgo em baixa dose de N, observou diferenças entre os genótipos na produção de matéria seca, na absorção, distribuição e utilização de N em

diferentes idades da planta. Furlani *et al.* (1985) avaliaram linhagens de milho, em diferentes doses de N, e observaram que a eficiência de utilização foi mais eficaz na discriminação das linhagens que a eficiência de absorção. Em arroz, Furlani *et al.* (1986) verificaram eficiências similares na absorção de N entre linhagens de arroz de sequeiro e irrigado, com base na quantidade de N acumulado. Marchetti *et al.* (2001) evidenciaram diferença significativa entre as espécies de trigo em relação às características avaliadas, e que a variedade BR-40 foi mais eficiente na utilização do N e P.

Em cultivos de solo, Alagarswamy e Bidinger (1982) observaram, em milho, diferenças significativas entre as cultivares em relação à habilidade de utilização de N, para crescimento e produção de grãos; mas não observaram diferenças significativas na absorção de N.

Nedel *et al.* (1997) observaram que a eficiência de utilização de N em genótipos de cevada, cultivados em campo, apresentou incremento nas menores doses de N aplicadas. Kolchinski e Schuch (2003) avaliaram cultivares de aveia branca, no nível de campo, e verificaram que o incremento, na adubação nitrogenada, reduziu as eficiências de remobilização de absorção do N e de fertilização nitrogenada, sem afetar a eficiência de utilização do N; entretanto, aumentou a produção de matéria seca, o acúmulo de N na maturação e o rendimento de grãos.

Em se tratando da cultura do café, ainda não são constatados relatos de pesquisa para a eficiência nutricional de N, isoladamente. Entretanto, para cultivos em solo, Pereira (1999), avaliando a eficiência de utilização de N e potássio (K), por três linhagens de café cultivadas em vasos, com nove combinações de doses de N e K (baixas, adequadas e elevadas), no período de formação de mudas, constatou que a linhagem Catuaí Vermelho (UFV 2237) exigiu fornecimento elevado de N e K para que tivesse maior eficiência no uso destes nutrientes; por sua vez, a linhagem Catimor (UFV 2983) destacou-se pela alta eficiência de utilização dos mesmos nutrientes, quando estes se encontravam escassos. Amaral *et al.* (2002) cultivaram quatro variedades de café arábica em nível de campo, com dose baixa, adequada e alta de N, P e K, constatando que as diferenças na produtividade, apresentadas pelas variedades em estudo, foram atribuídas em parte às diferenças na eficiência de translocação do N para a parte aérea. Neves *et al.* (2005) avaliaram a eficiência de produção de raízes e de uso

de nutrientes na parte aérea por quatro cultivares de café, em nível de campo, com baixas, adequadas e altas doses de N, P e K. Constataram que as cultivares Icatu Precoce IAC 3282 e Acaí IAC 474-19 foram mais eficientes na produção de raízes; e as cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí IAC 99 foram menos eficientes. Quanto à eficiência de produção de biomassa de parte aérea, a cultivar Icatu Precoce IAC 3282 foi mais eficiente que a Rubi MG 1192, embora esta última tenha sido mais eficiente na produção de grãos. Tomaz *et al.* (2005), estudando a eficiência de absorção, translocação e utilização de N, P e enxofre (S) por plantas de cafeeiros enxertadas e cultivadas em vaso, constataram variações da eficiência nutricional das plantas quanto ao N, P e S, na maioria das plantas enxertadas. Dentre as combinações de quatro variedades da espécie *Coffea arabica*, utilizadas como enxertos, com cinco clones da espécie *Coffea Canephora*, utilizadas como porta-enxerto, a variedade Catuaí Vermelho IAC 15 foi beneficiada na eficiência de utilização de N e P quando combinada com os clones Conilon ES 26 e ES 23.

Em se tratando de cultivos em solução nutritiva, Tomaz *et al.* (2003), estudando a eficiência nutricional de plantas jovens em cultivo hidropônico, observaram bom desempenho do porta-enxerto - Apoatã LC 2258 e Mundo Novo IAC 376-4 - na absorção, translocação e uso de N, P e K, em determinadas combinações de enxertias.

Outro aspecto a considerar é a resposta à adubação nitrogenada. De acordo com o conceito de eficiência definido por Fox (1978), segundo o qual plantas eficientes são as que atingem maiores produções por unidade de tempo e área cultivada em meio deficiente ao nutriente em estudo, pode ser verificado como as cultivares, por meio das características avaliadas, respondem à adubação nitrogenada. Estudos de seleção para a eficiência a N, baseados na diferença apresentada pelas características avaliadas entre as doses baixa e adequada deste elemento, foram verificados em milho por Majerowicz *et al.* (2002) e Martins *et al.* (2008).

## 2.7. Parâmetros genéticos

Para melhor conhecimento da estrutura genética dos genótipos utilizados em programas de melhoramento, são estimados os parâmetros genéticos. De

acordo com Amaral Júnior (1994), os parâmetros genéticos possibilitam uma avaliação mais precisa sobre o grau de variabilidade genética do material experimental, inferindo a possibilidade de ganhos na seleção.

Os parâmetros mais comumente utilizados, no melhoramento aplicado, têm sido os estimadores da Variância Fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), Variância de Ambiente ( $\hat{\sigma}_A^2$ ), Variabilidade Genotípica ( $\hat{\Phi}_G$ ), Coeficiente de Determinação Genotípica ( $\hat{H}^2$ ), Coeficiente de Variação Genotípica ( $CV\hat{V}_G$ ) e Índice de Variação ( $I_V$ ) (Falconer 1987; Cruz 1990; Amaral Júnior 1994; Fonseca, 1999; Cock *et al.*, 2003).

Condições favoráveis ao melhoramento são obtidas quando se dispõe de caracteres com altos valores de coeficientes de determinação genotípica ( $\hat{H}^2$ ) e com Índice de Variação ( $I_V$ ) superior à unidade. No primeiro caso, de acordo com Falconer (1987), caracteres com alto  $\hat{H}^2$  refletem a menor influência do ambiente, o que aumenta o poder discriminatório dos mesmos. No segundo caso, Vencovsky (1987) salienta que um  $I_V$  superior à unidade indica condição favorável à seleção, visto que a variação genética supera a ambiental.

Por meio de análises biométricas em café conillon, Fonseca (1999) verificou elevadas estimativas dos coeficientes de determinação genotípica ( $\hat{H}^2$ ), bem como estimativas das variações genotípicas superiores àquelas verificadas nas variações fenotípicas, o que indica a predominância dos componentes de variação genéticas em relação às ambientais para os caracteres estudados.

Cock *et al.* (2003), selecionando genótipos de alface eficientes na absorção de P, constataram grandes possibilidades de ganhos em gerações segregantes, tendo em vista que, para a maioria das oito características estudadas, os coeficientes de determinação genotípica ( $\hat{H}^2$ ) foram superiores a 80%; e os índices de variação ( $I_V$ ) superiores à unidade.

## 2.8. Diversidade genética

A importância do estudo da diversidade genética, em programas de melhoramento genético para nutrição mineral de plantas, está relacionada com a escolha das cultivares eficientes nutricionalmente a serem utilizadas como

genitores. Cruzamentos que envolvam genitores geneticamente divergentes são os mais convenientes para produzir alto efeito heterótico na progênie e maior variabilidade genética em gerações segregantes (Falconer, 1987).

No estudo da diversidade, podemos lançar mão de análises univariadas ou multivariadas. Considerando a análise univariada, o teste de média de Scott-Knot tem sido eficiente no agrupamento dos genótipos, considerando-se a eficiência nutricional para N em alface (Lédo, 1998).

A vantagem das técnicas de análise multivariada em relação à univariada é a integração das múltiplas informações de um conjunto de caracteres na identificação das combinações mais promissoras, em relação a várias características, simultaneamente (Miranda *et al.*, 1988). Entretanto, a utilização das duas análises em conjunto permite uma melhor interpretação dos resultados.

No caso da multivariada, para a quantificação da diversidade, têm sido amplamente utilizados métodos preditivos, que tomam por base as diferenças agrônômicas e/ou morfológicas; e/ou bioquímico-fisiológicas entre as cultivares, e não requerem a obtenção prévia de cruzamentos (Miranda *et al.*, 1988). Por este método, o uso de técnicas biométricas constitui-se em um instrumento útil. Neste caso, vários procedimentos estatísticos multivariados podem ser aplicados, citando-se, entre estes, a análise de agrupamento, que envolve basicamente duas etapas. A primeira relaciona-se com a estimativa de uma medida de dissimilaridade entre os genótipos, como a distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) (Cruz *et al.*, 2004). O princípio desta distância considera a correlação entre as características analisadas por meio da matriz de variâncias e covariâncias residuais entre as variáveis (Cruz *et al.*, 2004). Sua quantificação permite obter a importância relativa de caracteres para a diversidade genética, por meio da avaliação da contribuição destes para os valores de  $D^2$ . Pelo método de Singh (1981), consideram-se de menor importância as características que apresentam menor variabilidade ou que estão representadas por outras.

Após obtenção das estimativas de distâncias, a segunda etapa consiste na adoção de uma técnica de agrupamento para a formação dos grupos. Os métodos de agrupamento têm por finalidade separar um grupo original de observações em vários subgrupos, de forma a obter homogeneidade dentro, e heterogeneidade entre os subgrupos (Mardia *et al.*, 1979). Dentre estes métodos, os hierárquicos são aqueles cujos genótipos são agrupados por um processo que

se repete em vários níveis, sendo construído um dendograma, sem preocupação com o número ótimo de grupos. Dentre os hierárquicos, o método de distância média entre os grupos (UPGMA) é o mais simples para a construção de árvores filogenéticas, utilizando-se a média das distâncias entre todos os pares de genótipos para a formação de cada grupo (Cruz e Carneiro, 2006).

A adequação do método hierárquico é feita por meio do coeficiente de correlação cofenética (CCC), de acordo com Sokal e Rohlf (1962). O CCC é um coeficiente de correlação, calculado entre os elementos da matriz de dissimilaridade e os elementos da matriz cofenética, ou seja, trata-se de uma medida de concordância entre os valores originais de dissimilaridade e aqueles representados no dendograma (Cruz e Carneiro, 2006). Segundo Sokal e Rohlf (1962), valores de CCC abaixo de 0,8 indicam baixa representatividade das reais distâncias entre genótipos, por meio da representação gráfica do dendograma, tornando-se não confiável. Estes autores ainda relataram que, dos métodos hierárquicos, o UPGMA é o que apresenta os dendogramas com CCC máximo.

A dispersão gráfica pode ser usada como alternativa aos métodos de agrupamento para a avaliação da diversidade genética, dentro de um conjunto de genótipos, uma vez que o agrupamento pode provocar perda de informação do grau de dissimilaridade, principalmente dos indivíduos pertencentes a um mesmo grupo (Cruz e Carneiro, 2006). Contudo, a dificuldade do estabelecimento de grupos de similaridade com base na simples inspeção visual, nas análises baseadas em dispersão gráfica, faz da utilização conjugada de métodos de dispersão gráfica, como os de agrupamento, a alternativa mais adequada em estudos de diversidade genética.

Dentre as técnicas que possibilitam a análise por meio de dispersão gráfica, as Variáveis Canônicas nada mais são do que combinações lineares das variáveis originais com alto poder de discriminação, cuja grande aplicabilidade é possibilitar o estudo da discriminação genotípica, por meio de uma dispersão gráfica, tornando facilmente perceptível a identificação de genótipos de interesse (Amaral Júnior e Thiébaud, 1999).

A análise gráfica, para o estudo do padrão de similaridade entre os genótipos, deve ser considerada quando for passível resumir, em poucas variáveis, a maior parte da variação total disponível. Segundo Cruz *et al.* (2004),

para uma fidedigna discriminação dos genótipos, em eixos cartesianos, exige-se um mínimo de 80% da variação total disponível nos dados.

As técnicas de análise multivariada descritas têm sido eficientes nos estudos de eficiência nutricional para N em alface (Lédo, 1998); P em pimentão (Moura *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 1999); e alface (Cock *et al.*, 2002); além de estudos de diversidade genética em trigo (Bertan *et al.*, 2006); em café robusta (Ivoglo *et al.*, 2008); e em tomate (Rocha *et al.*, 2009).

Como exemplo, Lédo (1998) discriminou genótipos de alface em relação à eficiência nutricional para N, utilizando técnicas multivariadas como as variáveis canônicas, além de verificar a importância relativa dos caracteres para a diversidade, pela metodologia proposta por Singh (1981).

Ivoglo *et al.* (2008) identificaram grupos dissimilares no estudo da divergência genética entre 21 progênies de cafeeiros (*Coffea canephora*), utilizando o agrupamento hierárquico por UPGMA, com base na matriz de dissimilaridade genética obtida pela distância generalizada de Mahalanobis.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização

O experimento foi realizado pela EPAMIG/UREZM (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/ Unidade Regional da Zona da Mata), em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, nos anos de 2005 a 2006.

#### 3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 20 X 2, com 20 cultivares de café (Tabela 1) e duas doses de N, adequada ( $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) e baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), e três repetições totalizando 40 tratamentos, sendo a parcela constituída por duas plantas por vaso, cultivadas em solução nutritiva.

#### 3.3. Descrição do material genético utilizado

Os materiais genéticos utilizados no estudo e as instituições que forneceram o genótipo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação e origem das cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) avaliadas.

Número	Cultivares	Instituição de origem das sementes
1	Catuaí Amarelo IAC 62	IAC
2	Paraíso MG H 419-1	EPAMIG
3	Icatu Vermelho IAC 4045	IAC
4	Obatã IAC 1669/20	IAC
5	Caturra Amarelo	PROCAFE
6	IPR 102	IAPAR
7	Catuaí Vermelho IAC 15	EPAMIG
8	Rubi MG 1192	EPAMIG
9	IPR 103	IAPAR
10	Araponga MG1	EPAMIG
11	Topázio MG 1190	EPAMIG
12	San Ramon	PROCAFE
13	Icatu Precoce 3282	IAC
14	Tupi IAC 1669-33	IAC
15	Catucaí 785/15	PROCAFE
16	Acaíá Cerrado MG 1474	EPAMIG
17	Oeiras MG 6851	EPAMIG
18	São Bernardo	IAC
19	Pau Brasil MG1	EPAMIG
20	Caturra Vermelho	PROCAFE

a) Catuaí Amarelo IAC 62

Do cruzamento de Caturra Amarelo IAC 476-11 com Mundo Novo IAC 374-19, obteve-se o híbrido IAC H2077, sendo que, na geração F<sub>3</sub> (IAC H2077-2-5), foram obtidos cafeeiros homozigotos para porte baixo e para frutas amarelas (Carvalho *et al.*, 2008). Estes têm, como principais características, porte baixo, alta produtividade e bom vigor vegetativo; altura entre 2,0 a 2,4 m; diâmetro da copa de 1,7 a 2,1 m. Apresentam susceptibilidade à ferrugem e aos nematoides. O sistema radicular é bem desenvolvido. As folhas novas são de cor verde-clara e

as adultas são verde-escuro brilhante. Da fertilização à maturação, o número médio de dias nas condições de Campinas, SP, é de 230 dias.

#### b) Paraíso MG H 419-1

Resultante da mistura de sementes de oito progênies em geração F<sub>4</sub>, obtidas do cruzamento artificial entre a cultivar Catuaí Amarelo IAC 30 e a seleção de Híbrido de Timor UFV 445-46 (Carvalho, *et al.*, 2008). Este cruzamento em geração F<sub>1</sub> recebeu a designação de H 419, tendo sido obtidas nove plantas que foram testadas para a resistência à ferrugem e avaliadas na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, MG.

Como características principais, esta variedade apresenta alto nível de resistência ao agente causal da ferrugem do cafeeiro, além de segregar para a resistência ao nematóide das galhas. Seus cafeeiros apresentam altura, diâmetro e volume da copa inferiores aos da cultivar Catuaí Vermelho IAC 15. Já a produtividade, em condições de lavoura na Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso, foi superior à da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99.

#### c) Icatu Vermelho IAC 4045

Obtida a partir de uma hibridação interespecífica entre um cafeeiro tetraploide de *C. canephora* e uma planta da cultivar Bourbon Vermelho de *C. arabica*, realizado em 1950, no IAC (Fazuoli *et al.*, 2008).

Para a obtenção desta cultivar, foram necessários três retrocruzamentos para a espécie *C. arabica*, a partir da geração F<sub>1</sub>, utilizando-se, como progenitores recorrentes, cafeeiros selecionados da cultivar Mundo Novo. A partir do cruzamento inicial, as sementes obtidas dos retrocruzamentos com Mundo Novo apresentam as frutas de coloração vermelha (XcXc) e a maturação, em época próxima à da cultivar Mundo Novo. Suas principais características - a moderada susceptibilidade ou a susceptibilidade à ferrugem – ocorrem devido ao surgimento de novas raças, como fonte de resistência a nematoides e ao fungo *Colletotrichum coffeanum*, agente causal da antracnose do cafeeiro. Assim como a bebida, a produtividade assemelha-se à das melhores seleções de Mundo Novo. O sistema radicular de plantas novas é bastante desenvolvido. A altura

média das plantas com oito anos de idade pode variar de 2,5 a 2,9 m, e o diâmetro médio da copa, de 2,2 a 2,4 m.

d) Obatã IAC 1669/20

Lançada pelo IAC em 2000, é resultado de uma provável hibridação natural de um cafeeiro H 361/4 com outro da cultivar Catuaí Vermelho (Carvalho *et al.*, 2008).

Cafeeiros  $F_2$  provenientes do híbrido  $F_1$  (H 361/4), derivado do cruzamento da cultivar Villa Sarchi com o Híbrido de Timor (CIFC 832/2), foram plantados em Campinas, em 1972, e selecionados por várias gerações. Durante os ciclos de seleção, ocorreram cruzamentos naturais com as cultivares Catuaí Vermelho e/ou Catuaí Amarelo, utilizados como testemunha nos experimentos.

Como característica principal, esta cultivar apresenta elevada resistência à ferrugem. É de maturação tardia e apresenta, em alguns locais, produtividade superior à da cultivar Catuaí Vermelho. Tem porte baixo e suas dimensões da altura e diâmetro da copa são semelhantes às da cultivar Catuaí Amarelo. Apresenta qualidade de bebida muito boa.

e) Caturra Amarelo

Pode ter tido origem numa mutação natural do próprio Caturra Vermelho (Carvalho *et al.*, 2008).

É susceptível à ferrugem e caracteriza-se, principalmente, por possuir porte reduzido. Trata-se da primeira mutação de café encontrada com porte reduzido e elevada capacidade produtiva. Contudo, nas condições em que foi plantada no Brasil, apresenta falta de rusticidade e vigor após algumas colheitas, levando-a ao depauperamento precoce. Apresenta bebida de alta qualidade.

f) IPR 102

Cultivar do germoplasma Icatu x Catuaí. É de porte médio, alto vigor vegetativo, maturação tardia, com grãos médios, frutas vermelhas e moderada

suscetibilidade à ferrugem (Sera, 2005). É indicada para regiões quentes e solos pobres.

#### g) Catuaí Vermelho IAC 15

Um cruzamento artificial seguido de recombinação entre cafeeiros selecionados de Caturra Amarelo IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19 deu origem ao híbrido IAC H 2077, no IAC, em 1949 (Carvalho *et al.*, 2008). A intenção era transferir o alelo dominante Caturra (Ct), que conferia menor porte devido à redução do comprimento de internódios, para a cultivar Mundo Novo. As plantas de frutas vermelhas foram selecionadas na população F<sub>3</sub> (IAC H 2077-2-5), homocigota CtCt e heterocigota para os alelos Xcxc, responsáveis pela cor do exocarpo. Suas principais características são as mesmas já descritas para a cultivar Catuaí Amarelo.

#### h) Rubi MG 1192

Com o objetivo de recuperar alelos de importância da cultivar Mundo Novo e diversificar as características da cultivar Catuaí, o IAC, ainda na década de 1960, fez surgir, com um trabalho de cruzamento entre Catuaí Vermelho e Mundo Novo, a cultivar Rubi (Carvalho *et al.*, 2008). Posteriormente, no início da década de 1970, várias progênies desse material foram avaliadas em diversas locais da região do Sul de Minas, sendo lançada até o momento, para cultivo comercial, a linhagem MG 1192.

Suas características são frutos de coloração vermelha, quando maduros, porte baixo com copa ligeiramente arredondada, maturação dos frutos pouco mais precoce e uniforme que a das cultivares do grupo Catuaí. Apresenta boa produtividade e vigor vegetativo, não exibindo seca de ramos, nem perda de vigor, após elevadas produções.

#### i) IPR 103

A variedade IPR 103 tem como origem o cruzamento entre cafeeiros dos grupos Catuaí e Icatu, realizado pelo IAC (Carvalho *et al.*, 2008). Em 1977, este

material foi introduzido pelo IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná), passando a ser denominado IAPAR 77054. Por meio do método genealógico, selecionou-se a progênie IAPAR 77054-40 que deu origem à progênie F<sub>5</sub> IAPARLF 77054-40-10.

Como característica, apresenta plantas de porte médio, maior vigor vegetativo que o da cultivar Catuaí, moderada resistência à ferrugem, resistência parcial à necrose dos frutos e sistema radicular rústico. Além de possuir bebida de boa qualidade e produtividade alta, é adaptada ao calor e a solos pobres.

#### j) Araponga MG1

Derivada da hibridação artificial entre a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 e a seleção de Híbrido de Timor UFV 446-08, realizada pela equipe da EPAMIG/UFV (Carvalho *et al.*, 2008). Após a hibridação, foi adotado o método genealógico, e a primeira geração (F<sub>1</sub>) foi obtida e conduzida no *campus* da UFV, em Viçosa, MG. Com seleção seguida de teste de progênie, as gerações F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> foram testadas na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, MG; e a geração F<sub>5</sub> foi testada em ensaios de competição na Fazenda Itatiaia, em Araponga, MG e na Fazenda Experimental da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso, MG, onde foram selecionadas 25 plantas que deram origem, em geração F<sub>6</sub>, à cultivar Araponga MG1.

Como principais características, destacam-se o alto vigor vegetativo, boa arquitetura das plantas, alta produtividade e resistência à ferrugem. A qualidade de bebida é idêntica a das cultivares comerciais Catuaí e Mundo Novo.

#### l) Topázio MG 1190

Assim como a cultivar Rubi, a cultivar Topázio surgiu com o objetivo de recuperar alelos de importância de Mundo Novo para diversificar as características da cultivar Catuaí. Suas características são frutos de coloração amarela, uma vez que é resultado do cruzamento de Catuaí Amarelo com Mundo Novo; porte baixo, com altura por volta de 2,0 m e diâmetro médio de copa de 1,8 m, aos 7 anos (Carvalho *et al.*, 2008). Apresenta excelente produtividade e elevado vigor vegetativo, não exibindo depauperamento precoce após elevadas produções.

## m) San Ramon

Esta é originária da Casta Rica, onde também é conhecida por café Enano ou San Lorenzo. Suas características são internódios muito curtos, folhas elípticas verde-escuras, com base e ápice obtusos e é um pouco mais tardio na maturação dos frutos (Carvalho *et al.*, 1991).

## n) Icatu Precoce 3282

Provavelmente, sua origem deu-se do cruzamento natural entre Icatu Vermelho e Bourbon Amarelo, seguido por seleção de uma planta matriz em uma população de Icatu, segregante, principalmente, para a coloração do fruto (Fazuoli *et al.*, 2008). Como principais características, destacam-se a resistência do tipo horizontal ao agente da ferrugem, a precocidade e a qualidade de bebida muito boa, semelhante à da cultivar Bourbon Amarelo.

## o) Tupi IAC 1669-33

Lançada pelo IAC, em 2000, obtida por seleção genealógica a partir do híbrido H 361/4, resultante do cruzamento Villa Sarchi com o Híbrido de Timor CIFIC 832/2 (Carvalho *et al.*, 2008). Tem como características o porte baixo, a precocidade e a resistência à ferrugem. Tem boa produção e qualidade de bebida normal, semelhante à da cultivar Catuaí Vermelho. A altura e o diâmetro da copa, em média, são menores que os das cultivares Obatã e Catuaí Vermelho.

## p) Catucaí 785/15

Com objetivo de se obter uma cultivar de porte baixo com resistência ao nematóide *M. exigua*, realizou-se o cruzamento entre Icatu Vermelho 785 e Catuaí Vermelho, em Caratinga, MG (Carvalho *et al.*, 2008). Como características, a Catucaí 785/15 possui porte baixo, plantas uniformes e frutos vermelhos. É a cultivar deste grupo que apresenta maior precocidade de maturação dos frutos, sendo classificada como muito precoce. Contudo, apresenta baixo vigor vegetativo e é pouco resistente à falta de água.

## q) Acaiá Cerrado MG 1474

Derivada da cultivar Acaiá (seleção da cultivar Mundo Novo), foi lançada no Estado de Minas Gerais em 1995 (Fazuoli *et al.*, 2008).

O trabalho realizado, durante quase 30 anos pelo Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária (EPAMIG-UFLA-UFV), teve início em Viçosa, MG. Por meio de seleção de plantas individuais entre e dentro de progênies, o material foi avançado, com as avaliações realizadas principalmente na região do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro. Ao final de cinco ciclos de seleção, chegou-se à cultivar Acaiá Cerrado. As principais características desta cultivar são porte alto, maior uniformidade de maturação das frutas, elevada produção e excelente vigor vegetativo.

## r) Oeiras MG 6851

Resultante do cruzamento entre Caturra Vermelho (CIFC 19/1) e Híbrido de Timor (CIFC 832/1), foi desenvolvida pelo método genealógico a partir do híbrido CIFC HW 26/5, pela EPAMIG e UFV (Carvalho *et al.*, 2008). Como principais características, destacam-se a resistência da maioria dos cafeeiros às raças do agente da ferrugem prevalentes nas regiões cafeeiras do Estado de Minas Gerais, porte baixo, com altura e diâmetro de copa inferiores aos da Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 15. A maturação é uniforme e intermediária entre as cultivares Mundo Novo e Catuaí Vermelho. A produtividade assemelha-se à da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44.

## s) São Bernardo

Originária da Guatemala, onde também é conhecida como café Pache. Possui porte menor que o Caturra e os internódios muito curtos, o que pode ser notado em plantas novas no viveiro (Carvalho *et al.*, 1991).

## t) Pau Brasil MG1



Derivada da hibridação artificial entre a cultivar Catuaí Vermelho IAC 141 e seleção de Híbrido de Timor UFV 442-34, realizada pela equipe de pesquisadores da EPAMIG/UFV (Carvalho *et al.*, 2008). A primeira geração foi obtida na UFV, em Viçosa, MG e, em seguida, as seleções posteriores foram feitas pelo método genealógico nas Fazendas Experimentais da EPAMIG, em Patrocínio e São Sebastião do Paraíso, MG, dando origem a esta cultivar, na geração F<sub>5</sub>. Como características, destacam-se o alto nível de resistência à ferrugem, alto vigor vegetativo e elevada produtividade.

#### u) Caturra Vermelho

Trata-se de uma cultivar de porte baixo, originada de uma mutação natural de Bourbon Vermelho, esta de porte alto (Carvalho *et al.*, 2008). Suas características são as mesmas já descritas para o Caturra Amarelo.

### 3.4. Plantio das mudas, preparo da solução nutritiva e condução do experimento

As sementes das 20 cultivares de cafeeiros foram germinadas em leito de areia previamente tratada com HCl 0,1 N. Aproximadamente aos 120 dias, as mudas mais vigorosas de cada cultivar foram transplantadas, no estágio “orelha-de-onça”, para os baldes plásticos (2 plantas/balde) contendo 8,0 L da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, estática e aerada (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Concentração de macro e micronutrientes (elemento e sais) da solução nutritiva utilizada na dose adequada de nitrogênio (N) ( $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), para o cultivo hidropônico de cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.).

Elemento	Macronutrientes		Micronutrientes		
	Concentração ( $\text{mmol.L}^{-1}$ )	Sais	Concentração ( $\text{ml.L}^{-1}$ )	Sais	Concentração ( $\text{g.L}^{-1}$ )
N- $\text{No}_3^-$	7,5	$\text{KNO}_3$	2,3	$\text{HBO}_3$	2,86
P	0,7	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,7	$\text{CuSO}_4 \cdot 5$ $\text{H}_2\text{O}$	0,08
Ca	2,6	$\text{Ca}(\text{No}_3)_2$	2,6	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,22
Mg	1,0	$\text{MgSO}_4$	1,0	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81
S	1,0	---	---	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,02
K	3,0	---	---	$\text{Na}_2\text{EDTA}$ $\text{FeCl}_3$	33,5 24,33

Tabela 3 – Concentração de macro e micronutrientes (elemento e sais) da solução nutritiva com baixa dose de nitrogênio (N) ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), para o cultivo hidropônico de cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.).

Elemento	Macronutrientes		Micronutrientes		
	Concentração ( $\text{mmol.L}^{-1}$ )	Sais	Concentração ( $\text{ml.L}^{-1}$ )	Sais	Concentração ( $\text{g.L}^{-1}$ )
N- $\text{No}_3^-$	1,0	$\text{KNO}_3$	1,0	$\text{HBO}_3$	2,86
P	1,0	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1,0	$\text{CuSO}_4 \cdot 5$ $\text{H}_2\text{O}$	0,08
Ca	2,5	$\text{Ca}(\text{No}_3)_2$	1,0	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,22
Mg	1,0	$\text{MgSO}_4$	1,0	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81
S	1,5	----	-----	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,02
K	3,0	$\text{K}_2\text{SO}_4$	1,0	$\text{Na}_2\text{EDTA}$	33,5
Cl	5,0	$\text{CaCl}_2$	2,5	$\text{FeCl}_3$	24,33

Durante o período de cultivo, completaram-se os volumes das soluções de cada balde, com água desionizada até 8,0 L. O pH das soluções foi ajustado semanalmente com HCl (1,0N) e NaOH (1,0N) entre 5,5 e 6,5 e sua troca foi realizada com base no monitoramento da condutividade elétrica (CE), quando a depleção da mesma atingiu 30% da CE inicial.

Foi realizada uma troca de solução nutritiva, sendo que a concentração de N, para o tratamento dose baixa, foi reduzida de 3,0 para  $1\text{mmol.L}^{-1}$ , a fim de se obter a completa definição dos sintomas de deficiência de N.

### 3.5. Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características:

- Altura da Planta (AP): medida em metro, da base do ramo ortotrópico ao ápice da planta.
- Diâmetro do Caule (DC): medido em milímetro, com uso de paquímetro, efetuada no ramo principal (ortotrópico).
- Número de Nós (NNO): obtido pela contagem visual no ramo principal (ortotrópico).
- Comprimento de Internódio (CI): altura da planta/ número de nós.
- Número de Pares de Folhas (NPF): obtido pela contagem em toda a planta.
- Área Foliar (AF): quantificada, após a colheita do experimento, utilizando-se um medidor de área modelo AT Delta-T Devices.
- Após a avaliação, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa, com circulação forçada de ar a  $70^{\circ}\text{C}$ , por 72 horas. Após a secagem, determinou-se a Massa da Matéria Seca de: Raiz (MSR), Caule (MSC), Folha (MSF), Parte Aérea (MSPA), Total (MST); e a Relação Raiz Parte Aérea (RRPA) foi determinada pela MSR/ MSPA.
- Teores de N: Após a secagem, a massa da matéria seca de cada parte da planta foi moída em moinho “Willey”, com peneira de 20 mesh, homogeneizada, e retiradas amostras que foram enviadas ao laboratório de análise foliar da

Universidade Federal de Viçosa (UFV). Na determinação dos teores de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica (Jackson, 1958).

- Conteúdo de N: Obtido pelo produto entre os teores e a massa da matéria seca de cada segmento da planta.

### 3.6. Estimativa dos índices de eficiência nutricional para nitrogênio

Uma vez obtidos os dados de produção de matéria seca e de conteúdos de N, foram estimados os índices de eficiência nutricional, conforme as relações apresentadas a seguir, de acordo com Siddiqi e Glass (1981) e Li *et al.* (1991):

- a) Eficiência de Enraizamento (EE) = (g de matéria seca de raiz)<sup>2</sup> / mg de N total na planta;
- b) Eficiência de Absorção (EA) = mg de N total na planta / g de matéria seca de raiz;
- c) Eficiência de Translocação (ET) = mg de N na parte aérea / mg de N total na planta;
- d) Eficiência de Utilização (EU) = (g de matéria seca total)<sup>2</sup> / mg de N total na planta e
- e) Eficiência de Produção de Biomassa (EPB) = (g de matéria seca de parte aérea)<sup>2</sup> / mg de N na parte aérea.

### 3.7. Interação genótipos x ambientes

No estudo da interação, a Análise de Variância (ANOVA) foi realizada utilizando-se o programa GENES (Cruz, 2008), conforme o modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + G_i + A_j + GXA_{ij} + E_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$  = valor observado do i-ésimo genótipo na k-ésima repetição dentro do j-ésimo ambiente;

$\mu$  = média geral do experimento;

$B_k$  = efeito do bloco;

$G_i$  = efeito fixo atribuído ao i-ésimo genótipo;

$A_j$  = efeito aleatório do j-ésimo ambiente;

$GXA_{ij}$  = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente e

$E_{ijk}$  = efeito do erro experimental.

O esquema da ANOVA das características avaliadas encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Esquema da Análise de Variância

FV	GL	QM	E(QM)	F
Bloco	$(b-1)$		$\sigma^2 + ga\sigma_b^2$	
Ambiente (A)	$(a-1)$	$QMA$	$\sigma^2 + gr\sigma_a^2$	$QMA/QMR$
Genótipo (G)	$(g-1)$	$QMG$	$\sigma^2 + r\ell\sigma_{ga}^2 + ar\Phi_g$	$QMG/QMGXA$
$GXA$	$(a-1)(g-1)$	$QMGXA$	$\sigma^2 + r\ell\sigma_{ga}^2$	$QMGXA/QMR$
Resíduo	$[(ga)-1].[b-1]$	$QMR$	$\sigma^2$	
Total	$(agb)-1$			

$$\Phi_g = \sum_{i=1}^g G_i^2 / (g-1); \quad \ell = g / (g-1)$$

Independentemente do nível de significância da interação cultivar x doses de N, foi realizado, para todas as variáveis, o teste de agrupamento Scott-Knott, no nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Ribeiro Júnior, 2001).

### 3.8. Resposta à adubação nitrogenada

As cultivares estudadas foram classificadas em quatro grupos - Eficientes e Responsivas (ER), Eficientes e Não Responsivas (ENR), Ineficientes e Responsivas (IR) e Ineficientes e Não Responsivas (INR).

Utilizando-se o critério de eficiência definido por Fox (1978), em que plantas eficientes são as que atingem maiores produções por unidade de tempo e área cultivada, em meio deficiente ao nutriente em estudo, foi verificada a resposta à adubação nitrogenada para as características agrônomicas e de

produção de matéria seca. As produções destas características avaliadas, nas doses adequada ( $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) e baixa ( $1 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) de N, foram representadas nos eixos x e y do sistema de coordenadas cartesianas, respectivamente.

As médias gerais das avaliações das diferentes cultivares, nas doses adequada e baixa de N, foram calculadas a fim de dividir o sistema de coordenadas cartesianas em quadrantes que permitem a classificação das cultivares quanto à característica em estudo. Os quadrantes à direita do sistema de coordenadas cartesianas indicam as cultivares “Responsivas (R)”, ou seja, variedades que responderam com um incremento na produção da característica em resposta ao aumento da dose de N. Os quadrantes à esquerda incluem cultivares que indicaram menor potencial de resposta, mesmo na presença da dose de N elevado, denominadas “Não Responsivas (NR)”. No mesmo sistema de coordenadas cartesianas, as cultivares, cujas médias da característica em estudo foram inferiores à média geral, sob condição de baixa dose de N, foram classificadas como “Ineficientes” (I), enquanto as cultivares com médias superiores foram classificadas como “Eficientes” (E).

### 3.9. Parâmetros genéticos

Para melhor conhecimento da estrutura genética das cultivares estudadas na dose baixa de N ( $1 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), inicialmente, realizou-se a ANOVA, utilizando-se o programa GENES (Cruz, 2008), de cada uma das características avaliadas, adotando-se o modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ik} = \mu + B_k + G_i + E_{ik}$$

em que:

$Y_{ik}$  = valor observado do i-ésimo genótipo na k-ésima repetição;

$\mu$  = média geral do experimento;

$B_k$  = efeito do bloco;

$G_i$  = efeito fixo atribuído ao i-ésimo genótipo e

$E_{ik}$  = efeito do erro experimental.

O esquema da ANOVA, em relação às características avaliadas, encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Esquema da Análise de Variância

FV	GL	QM	E(QM)	F
Bloco	$(b-1)$			
Genótipo ( $G$ )	$(g-1)$	$QMG$	$\sigma^2 + r\Phi_g$	$QMG/QMR$
Resíduo	$(b-1)(g-1)$	$QMR$	$\sigma^2$	
Total	$(bg-1)$			

$$\Phi_g = \sum_{i=1}^g G_i^2 / (g-1)$$

Adicionalmente à análise de variância, estimaram-se, para cada característica, os seguintes parâmetros genéticos:

a) Variância Fenotípica:

Representada pela razão entre o quadrado médio do genótipo ( $QMG$ ) e o número de repetições ( $b$ ), ou seja:

$$\hat{\sigma}_f^2 = QMG/b$$

b) Variância de Ambiente:

É o próprio quadrado médio do resíduo ( $QMR$ ), ou seja:

$$\hat{\sigma}_A^2 = QMR$$

c) Variabilidade Genotípica:

$$\hat{\Phi}_G = \frac{QMG - QMR}{b}$$

d) Coeficiente de Determinação Genotípica:

Expresso pela razão entre os estimadores da variabilidade genotípica ( $\hat{\Phi}_G$ ) e de variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), isto é:

$$\hat{H}^2 = \hat{\Phi}_G / \hat{\sigma}_f^2$$

e) Coeficiente de Variação Genotípica:

$$CV_{\hat{G}} = \frac{100\sqrt{\sigma_G^2}}{\hat{m}}$$

f) Índice de Variação: É a relação entre o Coeficiente de Variação Genotípica ( $CV_{\hat{G}}$ ) e o Coeficiente de Variação Experimental ( $CV_{\hat{e}}$ ), ou seja:

$$I_v = CV_{\hat{G}}/CV_{\hat{e}} = \sqrt{\hat{\Phi}_G/QMR}$$

### 3.10. Análise multivariada

A análise multivariada foi realizada utilizando-se as variáveis: Altura de Planta (AP), Diâmetro do Caule (DC), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Número de Pares de Folhas (NPF), Área Foliar (AF), Produção de Matéria Seca de Raiz (MSR), Caule (MSC), Folha (MSF), Parte Aérea (MSPA), Total (MST), Relação Raiz/Parte Aérea (RRPA), Eficiência de Enraizamento (EE), Eficiência de Absorção (EA), Eficiência de Translocação (ET), Eficiência de Utilização (EU) e Eficiência de Produção de Biomassa (EPB).

Na análise de agrupamento, foi empregado o método hierárquico de distância média entre os grupos (UPGMA), com base na matriz de dissimilaridade genética estimada pela distância generalizada de Mahalanobis. Por este método, os indivíduos foram agrupados aos pares, utilizando-se médias aritméticas da dissimilaridade (Cruz *et al.*, 2004).

A consistência entre a matriz de distância e os agrupamentos foi implementada pelo uso do coeficiente de correlação cofenética (Sokal e Rolf, 1962; Cruz *et al.*, 2004), gerando uma nova matriz de dissimilaridade, ou seja, uma matriz de coeficientes de semelhança cofenética, expressa por:

$$r_{cof} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n (c_i = c) \quad (d_i = d)}{\sqrt{\left[ \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n (c = c^2) \right] \left[ \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n (d_i = d^2) \right]}}$$

em que:

$C_{ij}$ = valor de dissimilaridade entre as linhas  $i$  e  $j$ , obtido a partir da matriz cofenética; e

$D_{ij}$ = valor de dissimilaridade entre as linhas  $i$  e  $j$ , obtido a partir da matriz de dissimilaridade.



Conjugadamente à análise de agrupamento, foi utilizada a técnica de Variáveis Canônicas por meio da dispersão gráfica (Cruz *et al.*, 2004).

Pelo método de Singh (1981), obteve-se a importância relativa das características estudadas.

Os dados foram analisados utilizando-se os recursos computacionais dos programas GENES (Cruz, 2008) e R (R Development Core Team, 2006).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Características Agronômicas

Dentre as características avaliadas, somente Número de Nós (NNO) e Número de Pares de Folhas (NPF) revelaram a interação cultivar x doses de N significativa (Quadro 3), entretanto, realizou-se, para todas as características, o desdobramento dentro de cada dose de N.

Quadro 3 – Análise de variância da interação genótipos x ambientes de seis características agronômicas avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>

FV	GL	Quadrados Médios					
		AP <sup>1/</sup>	DC <sup>2/</sup>	NNO <sup>3/</sup>	CI <sup>4/</sup>	NPF <sup>5/</sup>	AF <sup>6/</sup>
Bloco	2						
Ambiente(A)	1	25,1167 <sup>ns</sup>	648,0187 <sup>**</sup>	15,7686 <sup>**</sup>	0,7442 <sup>**</sup>	15,4083 <sup>**</sup>	33570,75 <sup>**</sup>
Genótipo(G)	19	237,2609 <sup>**</sup>	137,5186 <sup>**</sup>	1,5372 <sup>**</sup>	2,1592 <sup>**</sup>	1,4715 <sup>**</sup>	2524,494 <sup>**</sup>
G x A	19	10,1530 <sup>ns</sup>	25,1514 <sup>ns</sup>	0,3126 <sup>*</sup>	0,0895 <sup>ns</sup>	0,2943 <sup>*</sup>	386,2661 <sup>ns</sup>
Resíduo	78	10,8709	23,9875	0,1539	0,0905	0,1565	317,5327
Total	119						

<sup>1/</sup> Altura da planta; <sup>2/</sup> Diâmetro do caule; <sup>3/</sup> Número de nós; <sup>4/</sup> Comprimento de internódio; <sup>5/</sup> Número de pares de folha; <sup>6/</sup> Área foliar.

<sup>\*</sup> Significativo, no nível de 1% de probabilidade, pelo teste F;

<sup>\*</sup> Significativo, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste F e

<sup>ns</sup> Não significativo.

#### a) Altura da Planta (AP)

Para esta característica, não houve diferença significativa entre as médias gerais das doses de N estudadas (Quadro 3), entretanto, em cada dose, constatou-se a formação de quatro grupos de cultivares, que variam de porte alto a extremamente baixo, mostrando grande variabilidade (Tabela 4).

Nos dois ambientes de cultivo, as maiores médias de altura foram observadas para as cultivares Acaiá Cerrado MG 1474, Icatu Vermelho IAC 4045 e Icatu Precoce IAC 3282, e as menores para as cultivares San Ramon e São Bernardo. Este resultado pode ser atribuído ao fato de as três primeiras cultivares passuírem a característica genética de porte alto, enquanto as duas últimas são geneticamente de porte muito baixo. Resultados semelhantes foram encontrados por Moura *et al.* (2007) para as cultivares Icatu Precoce IAC 3282, San Ramon e São Bernardo, no cultivo em solução nutritiva de seis cultivares de café, em resposta a quatro diferentes combinações de N e K.

Verificando a resposta à adubação nitrogenada (Figura 1), as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Vermelho 4045, Araponga MG1, Icatu Precoce 3282 e Acaiá Cerrado MG 1474 comportaram-se como Eficientes e Responsivas (ER), visto serem as que obtiveram plantas mais altas em condição de baixa dose de N, além de responderem bem, em condição de dose adequada deste elemento. As cultivares Eficientes e Não Responsivas (ENR), Topázio MG 1190 e Pau Brasil MG1, apesar de produzirem bem na dose baixa de N, tiveram menor resposta em dose adequada. Já as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho foram consideradas Ineficientes e Responsivas (IR) e, embora tenham respondido bem na dose adequada de N, não alcançaram a altura dos genótipos ENR e ER, em baixa dose deste elemento. As cultivares Ineficientes e Não Responsivas (INR), como Paraíso MG H 419-1, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, IPR 103, San Ramon, Tupi IAC 1669-33, Oeiras MG 6851 e São Bernardo, produziram plantas baixas em ambas as situações.

Tabela 4 – Médias da Altura da Planta (AP), Diâmetro do Caule (DC), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Número de Pares de Folhas (NPF) e Área Foliar (AF), de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva, com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>.

Cód.	Cultivares	AP (cm)		DC (mm)		NNO		CI (cm)		NPF		AF (cm <sup>2</sup> )	
		+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N
1	Catuai Amarelo IAC 62	31,53 C	30,28 B	40,67 A	45,67 A	10,00 A	9,50 A	3,17 B	3,20 B	9,00 A	8,50 B	145,68 A	104,82 A
2	Paraíso MG H 419-1	30,87 C	28,15 B	39,17 A	40,17 B	9,83 B	9,00 B	3,17 B	3,10 B	8,83 B	8,00 C	143,07 A	101,10 A
3	Icatu Vermelho IAC 4045	40,55 B	42,68 A	39,00 A	44,17 A	10,17 A	9,67 A	3,95 A	4,38 A	9,17 A	8,67 A	107,18 B	84,28 B
4	Obatã IAC 1669/20	31,27 C	28,70 B	45,17 A	51,50 A	10,00 A	8,83 B	3,15 B	3,25 B	9,00 A	7,83 C	166,77 A	115,79 A
5	Caturra Amarelo	31,03 C	28,27 B	45,83 A	50,17 A	10,50 A	9,17 A	2,98 B	3,08 B	9,50 A	8,17 B	140,63 A	99,67 A
6	IPR 102	32,58 C	26,17 B	44,17 A	51,83 A	9,67 B	8,00 C	3,38 B	3,28 B	8,67 B	7,00 D	154,31 A	104,04 A
7	Catuai Vermelho IAC 15	30,87 C	29,55 B	42,00 A	46,17 A	10,83 A	9,83 A	2,87 B	3,00 B	9,83 A	8,83 A	145,32 A	96,93 A
8	Rubi MG 1192	25,08 C	28,95 B	36,67 A	44,33 A	9,67 B	10,00 A	2,53 B	2,90 B	8,67 B	9,00 A	101,41 B	94,62 A
9	IPR 103	29,15 C	27,93 B	40,67 A	48,83 A	9,67 B	8,67 B	3,02 B	3,23 B	8,67 B	7,67 C	135,92 A	109,02 A
10	Araponga MG1	32,02 C	32,22 B	43,83 A	50,00 A	10,33 A	9,33 A	3,13 B	3,45 B	9,17 A	8,33 B	156,32 A	113,71 A
11	Topázio MG 1190	29,57 C	30,97 B	40,33 A	51,00 A	10,50 A	9,67 A	2,82 B	3,22 B	9,33 A	8,67 A	133,49 A	110,84 A
12	San Ramon	14,83 D	14,85 D	29,00 A	28,33 C	8,67 C	8,83 B	1,72 C	1,68 D	7,83 C	7,83 C	58,68 C	55,04 B
13	Icatu Precoce 3282	39,32 B	42,23 A	42,33 A	46,67 A	9,67 B	9,17 A	4,05 A	4,60 A	8,67 B	8,17 B	89,40 B	86,46 B
14	Tupi IAC 1669-33	26,40 C	27,77 B	43,67 A	57,33 A	8,83 C	8,00 C	2,97 B	3,50 B	7,83 C	7,00 D	143,75 A	120,41 A
15	Catucaí 785/15	31,70 C	29,50 B	46,67 A	49,25 A	10,33 A	9,83 A	3,08 B	3,03 B	9,33 A	8,83 A	160,69 A	113,92 A
16	Acaiaí Cerrado MG 1474	45,37 A	43,73 A	43,00 A	45,17 A	10,33 A	9,83 A	4,37 A	4,45 A	9,33 A	8,83 A	113,45 B	83,22 B
17	Oeiras MG 6851	30,25 C	29,13 B	39,67 A	43,50 A	9,50 B	8,67 B	3,17 B	3,37 B	8,50 B	7,67 C	128,11 A	95,07 A
18	São Bernardo	26,62 C	21,02 C	41,25 A	35,67 B	9,83 B	9,17 A	2,70 B	2,30 C	9,00 A	8,17 B	116,09 B	70,05 B
19	Pau Brasil MG1	29,42 C	30,27 B	41,67 A	48,00 A	9,67 B	8,83 B	3,03 B	3,42 B	8,67 B	7,83 C	134,09 A	103,36 A
20	Caturra Vermelho	31,42 C	29,17 B	45,00 A	47,50 A	10,00 A	9,50 A	3,13 B	3,08 B	9,00 A	8,67 A	149,43 A	92,44 A
	Média	30,99 a	30,08 a	41,49 b	46,26 a	9,90 a	9,18 b	3,12 b	3,28 a	8,90 a	8,18 b	131,19 a	97,74 b
	CV <sub>e</sub> (%)	10,80		18,96		4,11		9,41		4,63		15,57	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na vertical, e minúscula, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, no nível de 5% de probabilidade.

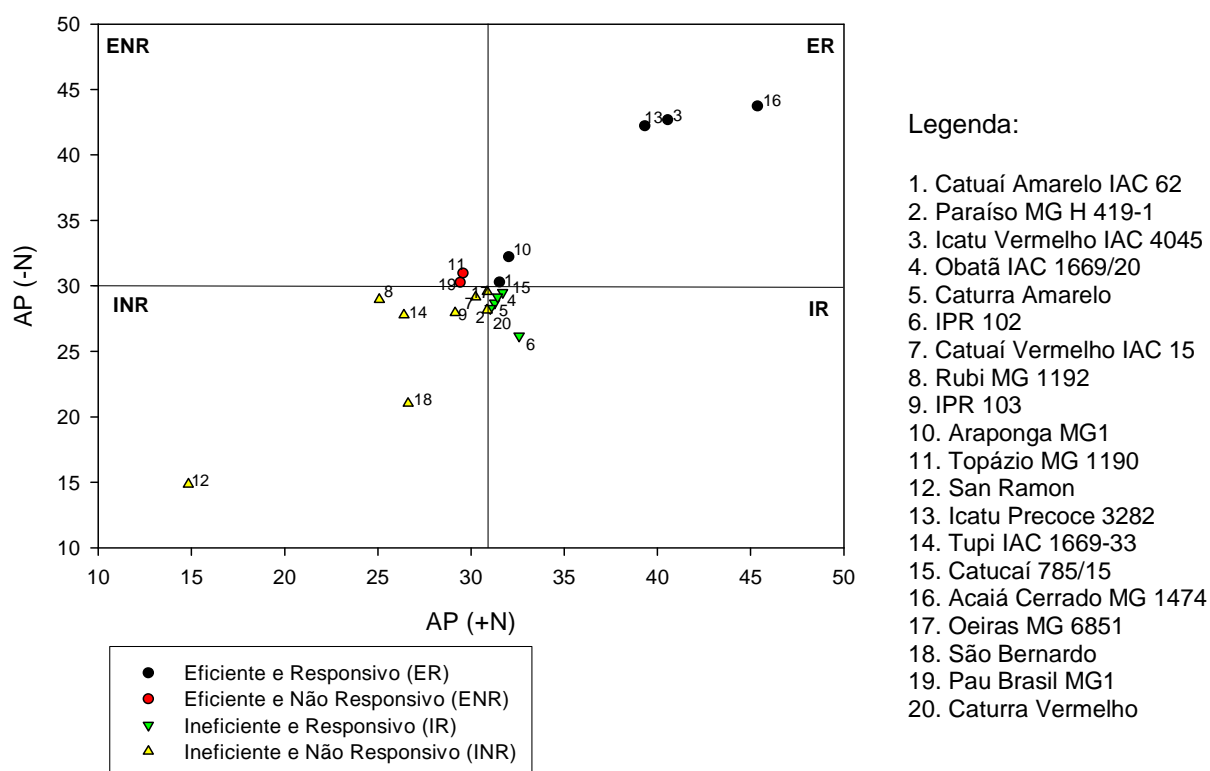


Figura 1 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Altura da Planta (AP).

#### b) Diâmetro do Caule (DC)

Para o DC, observou-se um aumento na média geral desta característica devido ao cultivo em dose baixa de N (Tabela 4).

No cultivo em dose adequada, não houve diferença significativa entre as cultivares. Para a dose baixa, verificou-se a formação de três grupos, em que 85% das cultivares apresentaram os maiores DC. Em contrapartida, a cultivar San Ramon apresentou menor DC e as demais apresentaram valores intermediários.

No que diz respeito à resposta à adubação nitrogenada (Figura 2), as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Araponga MG1, Icatu Precoce 3282, Tupi IAC 1669-33, Pau Brasil MG1 e Caturra Vermelho foram classificadas como ER, por apresentarem os maiores valores de DC em condição de baixo N, além de responderem bem em condição de adequado N. As cultivares IPR 103 e Topázio MG 1190 foram classificadas como ENR, apresentando plantas com

altos valores de DC no cultivo em dose de baixa de N, entretanto, não respondendo em dose adequada deste elemento. Já as cultivares Catuaí Vermelho IAC 15, classificadas como IR, apresentaram plantas de menores DC em condição de baixo N, mas responderam bem em condição de adequado N. As cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Icatu Vermelho IAC 4045, Rubi MG 1192, San Ramon, Oeiras MG 6851 e São Bernardo, consideradas INR, apresentaram os menores valores de DC em condições de baixa e adequada dose de N.

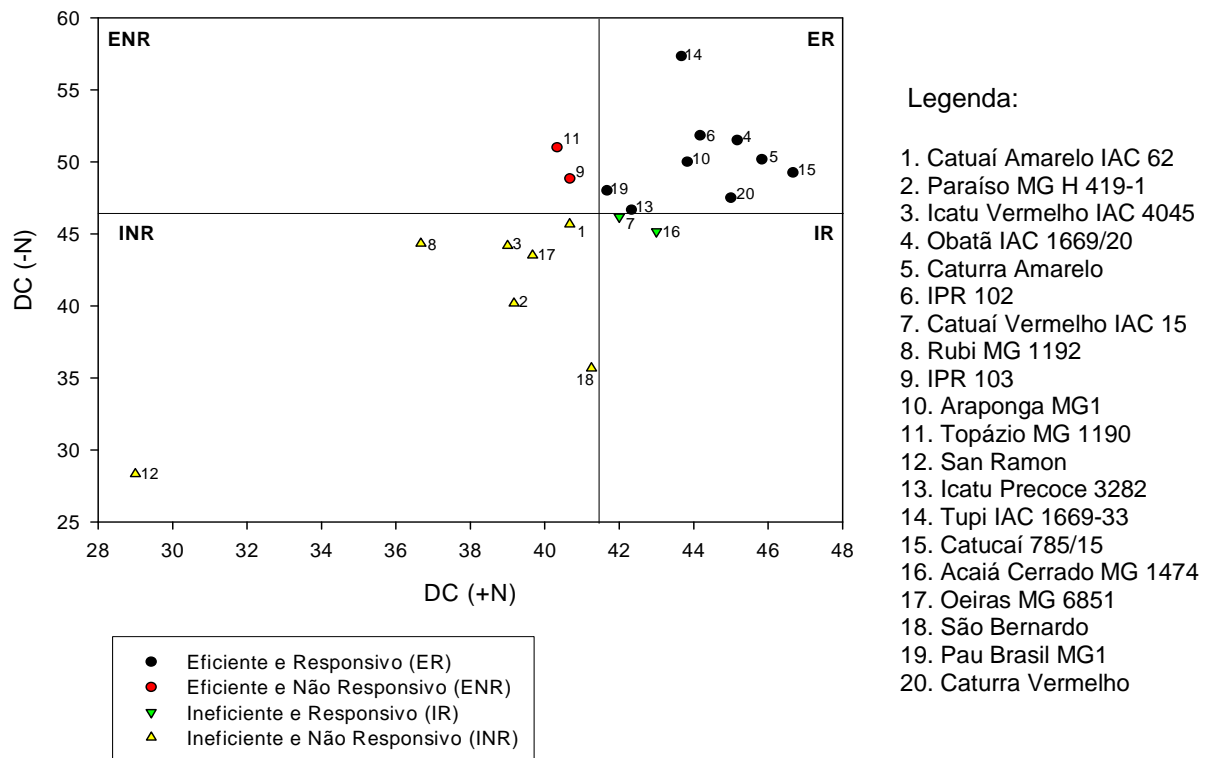


Figura 2 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Diâmetro do Caule (DC)

### c) Número de Nós (NNO)

Observou-se uma redução na média geral desta característica quando do cultivo em dose baixa de N (Tabela 4). Segundo Rena e Maestri (1986), o crescimento relevante é aquele comprometido com a formação de nós e não com a extensão dos entrenós. A redução do número de nós pode reduzir a produção por

diminuir os ramos plagiotrópicos e, conseqüentemente, o número de ramos laterais (Tomaz, 2001).

Em ambas as doses de N, ocorreu a formação de três grupos de cultivares. Na dose adequada, os grupos apresentaram médias de 10,3, 9,69, e 8,75, ficando 50% das cultivares inseridas no primeiro grupo, apresentando os maiores NNO, enquanto as cultivares San Ramon e Tupi IAC 1669-33 foram inseridas no terceiro grupo, com menores NNO (Tabela 4).

Na dose baixa, as médias dos grupos foram de 9,56, 8,81, e 8,00. No primeiro grupo, reuniram-se 60% das cultivares, já as cultivares IPR 102 e Tupi IAC 1669-33 formaram o terceiro grupo.

Classificando as cultivares quanto à resposta à adubação nitrogenada (Figura 3), observou-se que as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Vermelho IAC 4045, Catuaí Vermelho IAC 15, Araçuaia MG1, Topázio MG 1190, Catuaí 785/15, Acaíá Cerrado MG 1474 e Caturra Vermelho comportaram-se como ER, apresentando plantas com maior NNO em condições de baixo N e respondendo bem em condição de dose adequada deste elemento.

A cultivar Rubi MG 1192, foi a única classificada como ENR, uma vez que mesmo apresentando considerável NNO na dose baixa de N, obteve menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Obatã IAC 1669/20 e Caturra Amarelo foram consideradas IR e, embora tenham respondido bem com a dose adequada de N, não alcançaram o NNO dos genótipos eficientes em baixa dose deste elemento. As cultivares INR, como Paraíso MG H 419-1, IPR 102, IPR 103, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Tupi IAC 1669-33, Oeiras MG 6851, São Bernardo e Pau Brasil MG1, produziram plantas com baixo NNO em condições de baixa e adequada dose de N.

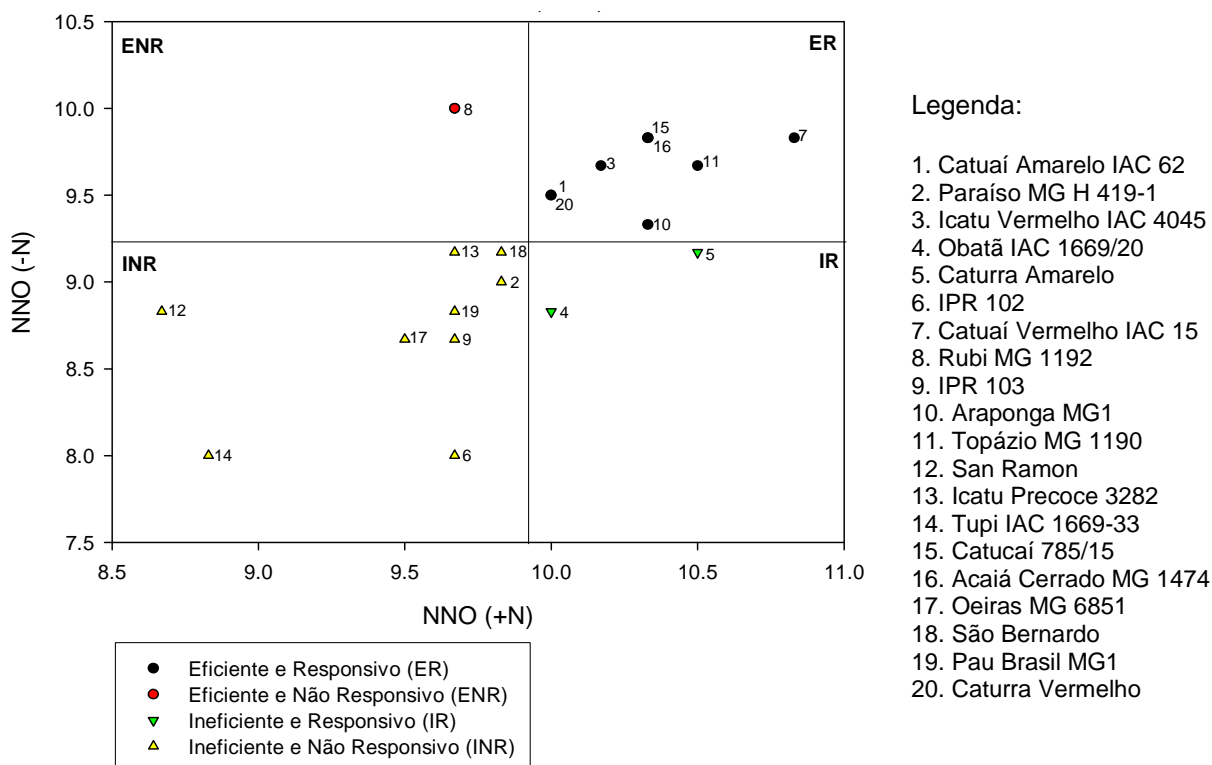


Figura 3 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Número de Nós (NNO).

#### d) Comprimento de Internódio (CI)

Quanto ao CI, verificou-se que ocorreu aumento na média geral dessa característica com a redução de N no meio de cultivo, provavelmente, pelo fato de as cultivares terem apresentado uma redução na média geral de NNO (Tabela 4).

Observou-se ampla variabilidade genética nas doses adequada e baixa de N, com a formação de três e quatro grupos, respectivamente.

Em ambas as doses, o primeiro grupo foi composto pelas cultivares de porte alto Acaíá Cerrado MG 1474, Icatu Precoce IAC 3282 e Icatu Vermelho IAC 4045, apresentando as maiores médias para o CI; enquanto as cultivares de porte baixo, San Ramon e São Bernardo, apresentaram as menores médias. Comportamento semelhante foi verificado para a característica altura de planta, sugerindo uma relação positiva entre essas características.

Avaliando a resposta das cultivares à adubação nitrogenada (Figura 4), as cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, IPR 102, Araponga MG1, Icatu Precoce 3282, Acaíá Cerrado MG 1474 e Oeiras MG 6851 comportaram-se como ER, pois foram as



que obtiveram plantas com maior CI em condições de baixo N, além de responderem bem em condições de dose adequada deste elemento.

As cultivares IPR 103 e Tupi IAC 1669-33 foram classificadas como ENR, uma vez que, mesmo apresentando considerável CI na dose baixa de N, obtiveram menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20 e Caturra Vermelho foram consideradas IR e, embora tenham respondido bem com a dose adequada de N, não alcançaram o CI dos genótipos eficientes em baixa dose deste elemento. As cultivares INR, como Caturra Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, IPR 103, Topázio MG 1190, San Ramon, Catucaí 785/15 e São Bernardo, produziram plantas com pequeno CI em ambas as doses.

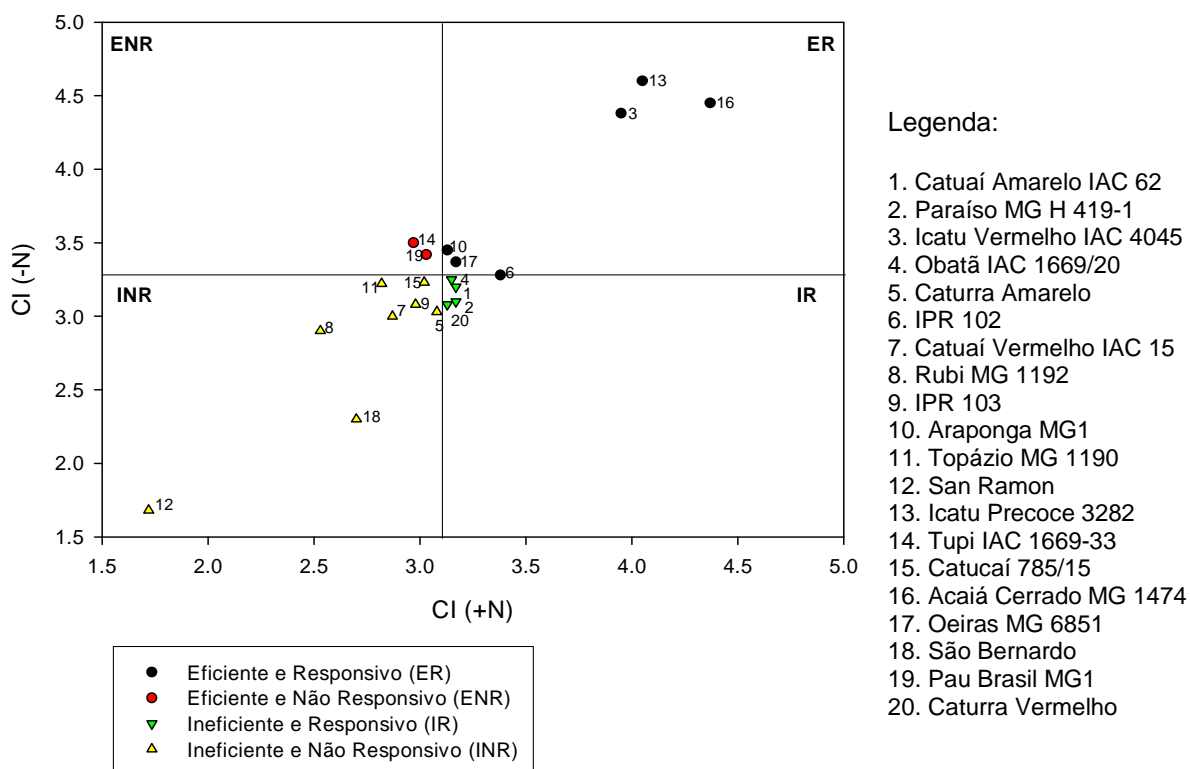


Figura 4. Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Comprimento de Internódio (CI).

#### e) Número de Pares de Folhas (NPF)

As cultivares avaliadas produziram, em média, 8,9 e 8,18 NPF nas doses adequada e baixa, respectivamente, verificando uma redução desta característica

em condição de baixo N (Tabela 4). Comportamento semelhante foi constatado para a característica NNO, uma vez que, em cada nó, foi emitido um par de folhas.

Para Rena e Maestri (1986), a produção de folhas está intimamente associada com o crescimento dos caules, especialmente dos ramos laterais, tendo-se em vista que os primórdios foliares resultam diretamente da atividade da gema apical.

Na dose adequada, ocorreu a formação de três grupos, sendo que 50% das cultivares apresentaram as maiores NPF, com média de 9, 19, enquanto as cultivares San Ramon e Tupi IAC 1669-33 apresentaram menor NPF, com média de 8,75.

Na dose baixa, as cultivares foram classificadas em quatro grupos com médias de 8,79, 8,27, 7,81 e 7,0 respectivamente, ficando 35% das cultivares inseridas no primeiro grupo. Já as cultivares IPR102 e Tupi IAC 1669-33 foram inseridas no quarto grupo.

Em resposta à adubação nitrogenada (Figura 5), semelhante ao ocorrido com a característica NNO, o NPF obteve a mesma classificação para as cultivares, exceto para a cultivar São Bernardo, que foi classificada, para o NNO, como INR, sendo classificada como IR, em termos de NPF.

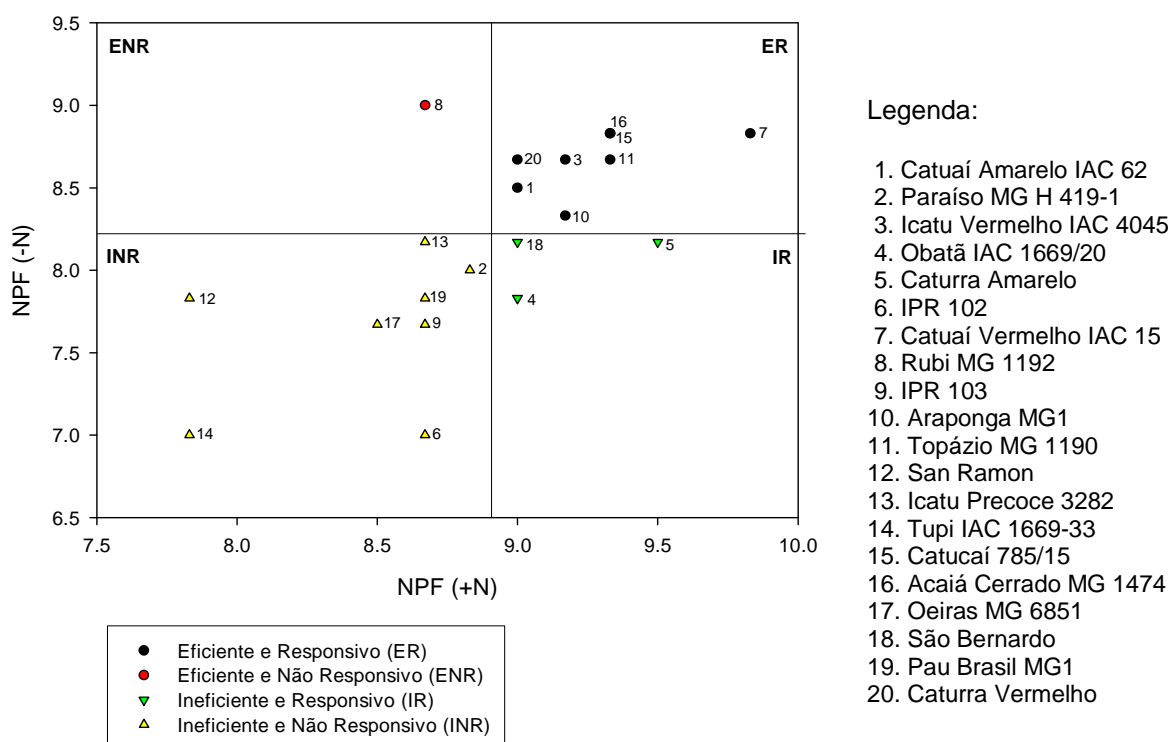


Figura 5 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Número de Pares de Folha (NPF).

#### f) Área Foliar (AF)

Com a redução de N no meio de cultivo, a AF foi mais afetada do que a característica NPF, uma vez que foram constatadas reduções na média geral de 25,5 e 8 %, respectivamente (Tabela 4).

Na dose adequada, formaram-se três grupos de cultivares; no primeiro grupo, foram inseridas 70% das mesmas, apresentando maiores médias para AF, enquanto somente a cultivar San Ramon compôs o terceiro grupo, apresentando menor média para esta característica.

Para o cultivo em dose baixa, constatou-se a formação de dois grupos, com médias de 105,05 e 75,81 cm<sup>2</sup>. No primeiro grupo, ficaram inseridas 75% das cultivares. Já as cultivares San Ramon e São Bernardo apresentaram os menores valores para AF.

Um fato interessante no cultivo em dose baixa é que as cultivares de porte alto Acaiá Cerrado MG 1474, Icatu Precoce 3282 e Icatu Vermelho IAC 4045, mesmo com as maiores NPF, apresentaram as menores médias para AF. Provavelmente, a deficiência de N foi mais prejudicial à expansão das folhas formadas do que à formação de novas folhas, justificando uma menor AF.

A AF é uma característica fortemente influenciada pela disponibilidade de N, por estar relacionada com o processo fotossintético, a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e constituintes da membrana celular (Malavolta e Vitti, 1997).

A resposta à adubação nitrogenada (Figura 6) classificou as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, IPR 102, IPR 103, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Pau Brasil MG1 como ER, apresentando altos valores de AF em baixa dose de N e respondendo bem em dose adequada deste elemento. Nenhuma cultivar foi classificada como ENR. Já as cultivares Catuaí Vermelho IAC 15 e Caturra Vermelho foram consideradas IR, apresentando menor AF que as cultivares consideradas eficientes, além de responderem bem ao cultivo em dose adequada de N. As cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Rubi MG 1192, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851 e São Bernardo foram classificadas como INR, apresentando os menores valores de AF em condições de baixa e adequada dose de N.

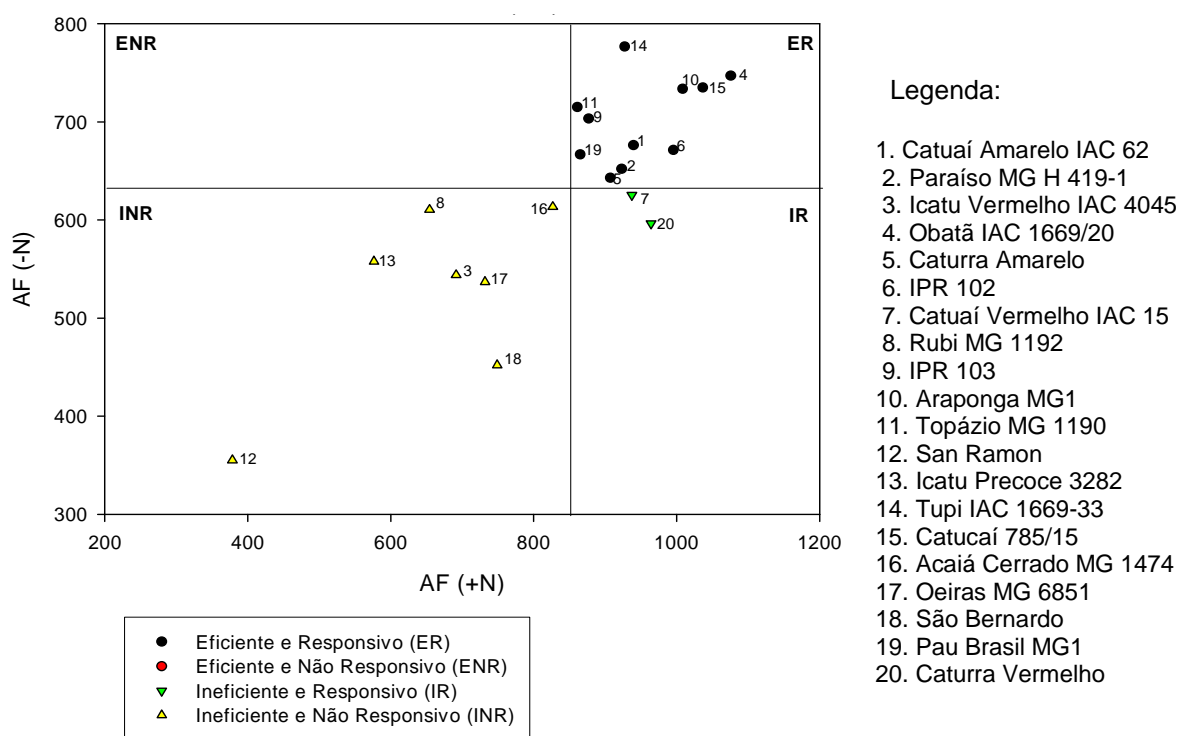


Figura 6 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Área Foliar (AF).

Assim, considerando as características agrônômicas avaliadas no cultivo em dose baixa de N, as variáveis AP, CI e NPF apresentaram maior variabilidade entre as cultivares, levando à formação de quatro grupos. De modo geral, as cultivares de porte alto Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282 e Acaia Cerrado MG 1474 apresentaram as maiores médias para a maioria das características agrônômicas, enquanto as cultivares de porte muito baixo, San Ramon e São Bernardo, apresentaram as menores médias.

Quanto à resposta à adubação, essas cultivares foram classificadas do seguinte modo: Icatu Vermelho IAC 4045 e Acaia Cerrado MG 1474 como ER, enquanto a cultivar Icatu Precoce 3282 foi classificada como ER e INR. As cultivares San Ramon e São Bernardo foram classificadas como INR.

#### 4.2. Produção de Matéria Seca

Dentre as características avaliadas, somente Matéria Seca de Raiz (MSR) e Relação Raiz Parte Aérea (RRPA) apresentaram a interação cultivar x doses de N significativa (Quadro 4), entretanto realizou-se, para todas as características, o desdobramento dentro de cada dose de N.

Quadro 4 – Análise de variância da interação genótipos x ambientes de seis características de produção de matéria seca avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>

FV	GL	Quadrados Médios					
		MSR <sup>1/</sup>	MSC <sup>2/</sup>	MSF <sup>3/</sup>	MSPA <sup>4/</sup>	MST <sup>5/</sup>	RRPA <sup>6/</sup>
Bloco	2						
Ambiente (A)	1	8,0775**	0,1393 <sup>ns</sup>	63,0003**	57,2141**	22,2965**	0,4011**
Genótipo (G)	19	0,7483**	0,8509**	5,8285**	9,6354**	15,0612**	0,0045*
G x A	19	0,3062*	0,1152 <sup>ns</sup>	0,9155 <sup>ns</sup>	1,5045 <sup>ns</sup>	1,9765 <sup>ns</sup>	0,0063**
Resíduo	78	0,1542	0,0979	0,7786	1,3429	2,0136	0,0025
Total	119						

<sup>1/</sup> Matéria seca de raiz; <sup>2/</sup> Matéria seca de caule; <sup>3/</sup> Matéria seca de folha; <sup>4/</sup> Matéria seca de parte aérea; <sup>5/</sup> Matéria seca total; <sup>6/</sup> Relação raiz/parte aérea.

\*\* Significativo, no nível de 1% de probabilidade, pelo teste F;

\* Significativo, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste F e

<sup>ns</sup> Não significativo.

#### a) Matéria Seca de Raiz (MSR)

As cultivares avaliadas de cafeeiro produziram em média 1,55 e 2,07 g de MSR, nas doses adequada e baixa de N, respectivamente (Tabela 5). Na dose adequada, não ocorreu diferença significativa entre as cultivares, enquanto, na dose baixa, houve a formação de três grupos, com médias de 2,90, 2,30, e 1,58 g. As cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1 e Tupi IAC 1669-33 constituíram o primeiro grupo, enquanto o terceiro grupo foi representado por 45% das cultivares.

Em condições de campo, o sistema radicular é considerado fator de grande importância na produção. Um sistema radicular extensivo pode explorar maior volume de solo e absorver mais água e nutrientes e, assim, influenciar a produtividade (Ramos e Lima, 1980; Ramos *et al.*, 1982; Fageria, 1998).

Tabela 5 – Médias da Matéria Seca de Raiz (MSR), Caule (MSC), Folha (MSF), Parte Aérea (MSPA), Total (MST) e Relação Raiz/Parte Aérea (RRPA) de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>.

Cód.	Cultivares	MSR (g)		MSC (g)		MSF (g)		MSPA (g)		MST (g)		RRPA (g.g <sup>-1</sup> )	
		+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N
1	Catuaí Amarelo IAC 62	1,24 A	1,84 C	1,68 B	1,92 A	6,74 A	4,85 A	8,43 A	6,78 A	9,67 A	8,62 B	0,15 A	0,28 B
2	Paraíso MG H 419-1	1,64 A	2,13 B	1,60 B	1,48 B	6,53 A	4,84 A	8,13 A	6,31 A	9,76 A	8,44 B	0,21 A	0,33 A
3	Icatu Vermelho IAC 4045	1,57 A	1,83 C	1,89 A	1,97 A	5,01 B	3,94 B	6,90 A	5,92 A	8,47 A	7,74 B	0,23 A	0,31 A
4	Obatã IAC 1669/20	1,59 A	2,92 A	1,87 A	1,80 A	7,65 A	5,78 A	9,51 A	7,57 A	11,10 A	10,50 A	0,17 A	0,39 A
5	Caturra Amarelo	1,65 A	2,28 B	1,79 A	1,64 B	6,88 A	4,92 A	8,66 A	6,56 A	10,31 A	8,84 B	0,19 A	0,35 A
6	IPR 102	1,83 A	2,52 B	1,79 A	1,52 B	7,07 A	5,29 A	8,86 A	6,82 A	10,69 A	9,34 A	0,21 A	0,37 A
7	Catuaí Vermelho IAC 15	1,52 A	2,16 B	1,66 B	1,50 B	6,93 A	4,67 A	8,59 A	6,17 A	10,11 A	8,33 B	0,18 A	0,35 A
8	Rubi MG 1192	1,31 A	1,99 C	1,14 B	1,56 B	4,77 B	4,78 A	5,91 B	6,34 A	7,22 B	8,33 B	0,24 A	0,32 A
9	IPR 103	1,44 A	2,24 B	1,34 B	1,59 B	6,48 A	5,42 A	7,81 A	7,01 A	9,25 A	9,25 A	0,19 A	0,32 A
10	Araponga MG1	1,78 A	2,75 A	1,96 A	2,01 A	7,60 A	5,69 A	9,56 A	7,70 A	11,34 A	10,46 A	0,19 A	0,36 A
11	Topázio MG 1190	1,68 A	2,48 B	1,42 B	1,79 A	6,22 A	5,54 A	7,64 A	7,33 A	9,32 A	9,81 A	0,22 A	0,34 A
12	San Ramon	0,98 A	0,97 C	0,38 C	0,46 C	2,91 C	2,78 B	3,29 C	3,24 B	4,27 C	4,21 C	0,30 A	0,31 A
13	Icatu Precoce 3282	1,43 A	1,43 C	1,60 B	2,05 A	4,53 B	4,37 B	6,13 B	6,42 A	7,56 B	7,86 B	0,24 A	0,22 B
14	Tupi IAC 1669-33	1,54 A	3,05 A	1,49 B	2,08 A	6,50 A	5,97 A	7,99 A	8,05 A	9,53 A	11,11 A	0,19 A	0,38 A
15	Catucaí 785/15	2,14 A	2,40 B	2,03 A	2,10 A	8,30 A	6,23 A	10,33 A	8,34 A	12,46 A	10,74 A	0,21 A	0,29 B
16	Acaíá Cerrado MG 1474	1,58 A	1,50 C	2,08 A	2,08 A	5,79 A	4,08 B	7,87 A	6,16 A	9,45 A	7,66 B	0,20 A	0,24 B
17	Oeiras MG 6851	1,34 A	1,50 C	1,33 B	1,42 B	6,08 A	4,76 A	7,41 A	6,18 A	8,75 A	7,69 B	0,18 A	0,24 B
18	São Bernardo	1,58 A	1,47 C	1,39 B	0,77 C	5,82 A	3,45 B	7,22 A	4,22 B	8,80 A	5,69 C	0,22 A	0,34 A
19	Pau Brasil MG1	1,52 A	2,18 B	1,60 B	1,65 B	6,65 A	4,27 B	8,25 A	5,92 A	9,77 A	8,10 B	0,18 A	0,39 A
20	Caturra Vermelho	1,63 A	1,71 C	1,67 B	1,64 B	6,80 A	4,65 A	8,47 A	6,30 A	10,10 A	8,01 B	0,19 A	0,27 B
	Média	1,55 b	2,07 a	1,58 a	1,65 a	6,26 a	4,81 b	7,85 a	6,47 b	9,40 a	9,04 b	0,20 b	0,32 a
	CV <sub>e</sub> (%)	21,70		19,33		15,93		16,19		15,82		19,22	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na vertical, e minúscula, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, no nível de 5 % de probabilidade.

Verificando a resposta à adubação nitrogenada quanto à produção de MSR (Figura 7), as cultivares Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1660/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Araçuaçu MG1, Topázio MG 1190 e Catucaí 785/15 comportaram-se como ER, visto serem as que mais produziram MSR em condições de baixo N, além de responderem bem com a dose adequada deste elemento.

As cultivares ENR, como Catucaí Vermelho IAC 15, IPR 103, Tupi IAC 1669-33 e Pau Brasil MG1, apesar de produzirem bem na dose baixa de N, tiveram menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Acaia Cerrado MG 1474, São Bernardo e Caturra Vermelho, consideradas IR, embora tenham respondido bem ao incremento de N, não alcançaram a produção de MSR dos genótipos ENR e ER em baixa dose deste elemento. As cultivares INR, como Catucaí Amarelo IAC 62, Rubi MG 1192, San Ramon, Icatu Precoce 3282 e Oeiras MG 6851, produziram pouca MSR em ambas as situações.

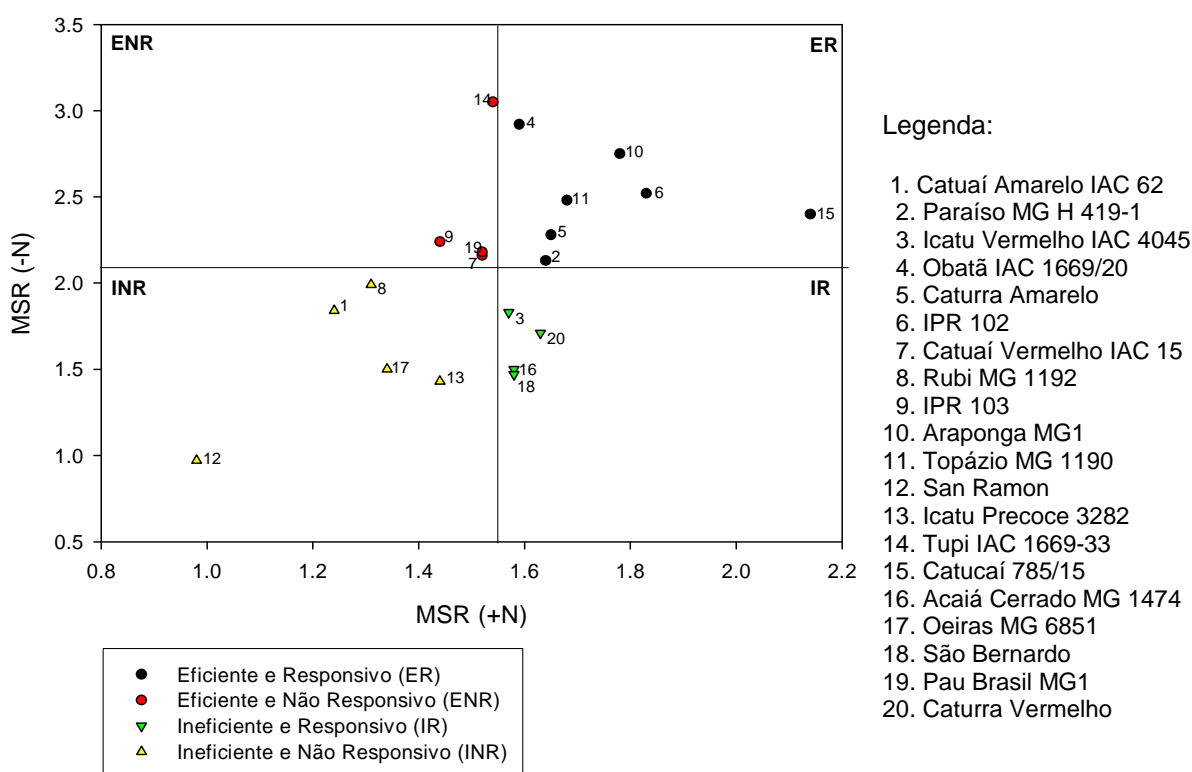


Figura 7 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Matéria Seca de Raiz (MSR).



## b) Matéria Seca de Caule (MSC)

Não houve diferença significativa entre as médias gerais das doses de N estudadas, para a MSC (Tabela 5). Em ambas as doses, as cultivares foram classificadas em três grupos. Na dose adequada, as médias dos grupos foram de 1,92 1,48 e 0,38 g, em que 35% das cultivares formaram o primeiro grupo, enquanto a cultivar San Ramon foi a única inserida no terceiro grupo.

Para a dose baixa, as médias dos grupos foram de 1,98 1,55 e 0,62 g, respectivamente. O primeiro grupo foi constituído por 45% das cultivares, dentre as quais, as cultivares de porte alto, Acaiá Cerrado MG 1474, Icatu Precoce 3282 e Icatu Vermelho IAC 4045. No terceiro grupo, ficaram as cultivares de porte baixo San Ramon e São Bernardo. Comportamento semelhante ao constatado para as características altura de planta e comprimento de internódio (Tabela 4).

Em resposta à adubação nitrogenada (Figura 8), as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Vermelho IAC 4045, Obatã 1669/20, Araponga MG1, Icatu Precoce 3282, Catucaí 785/15 e Acaiá Cerrado MG 1474 comportaram-se como ER, produzindo maiores valores de MSC, em condições de baixa e adequada doses de N. As cultivares ENR, como Topázio MG 1190 e Tupi IAC 1669-33, apesar de produzirem bem na dose baixa de N, tiveram menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Paraíso MG H 419-1, Caturra Amarelo, IPR 102 e Catuaí Vermelho IAC 15, consideradas IR, embora tenham respondido bem com a dose adequada de N, não alcançaram a produção de MSC dos genótipos ENR e ER em baixa dose deste elemento. As cultivares INR, como Rubi MG 1192, IPR 103, San Ramon, Oeiras MG 6851 e São Bernardo, produziram pouca MSC em ambas as situações. As cultivares Pau Brasil MG1 e Caturra Vermelho comportaram-se apenas como Responsivas (R), tendo valor médio idêntico à média geral das cultivares com dose adequada de N.

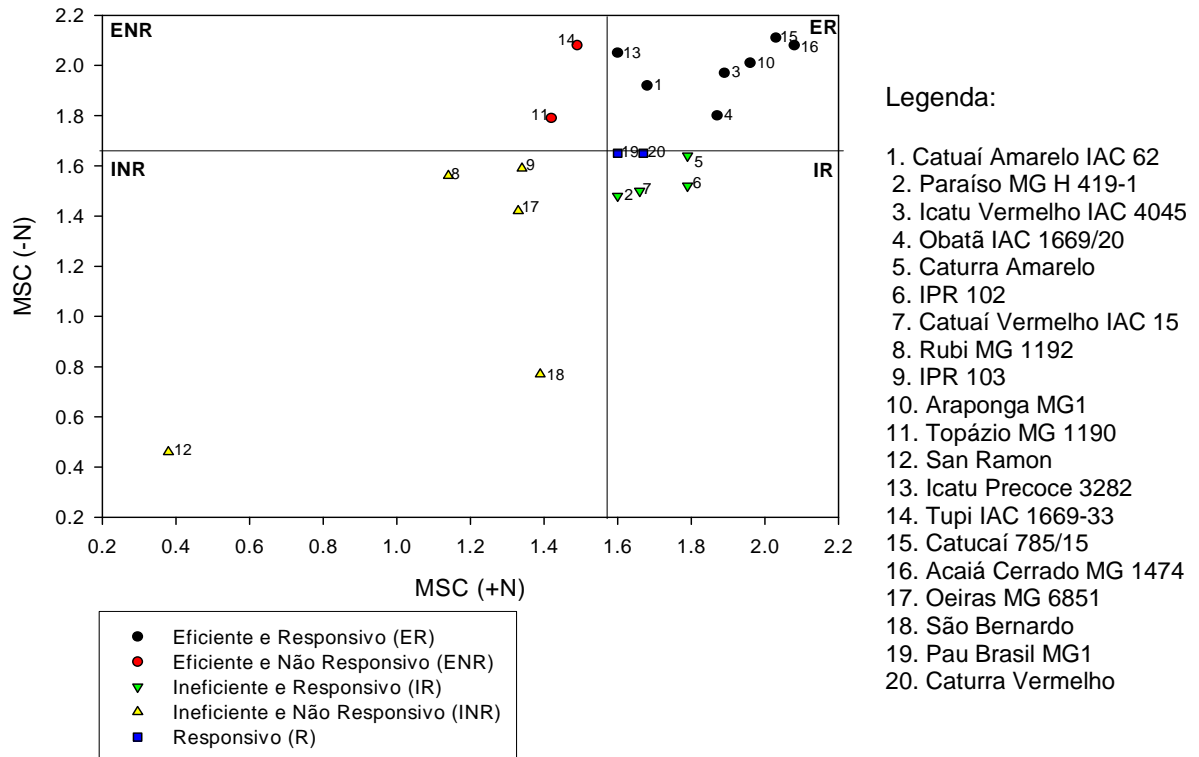


Figura 8 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Matéria Seca de Caule (MSC).

### c) Matéria Seca de Folhas (MSF)

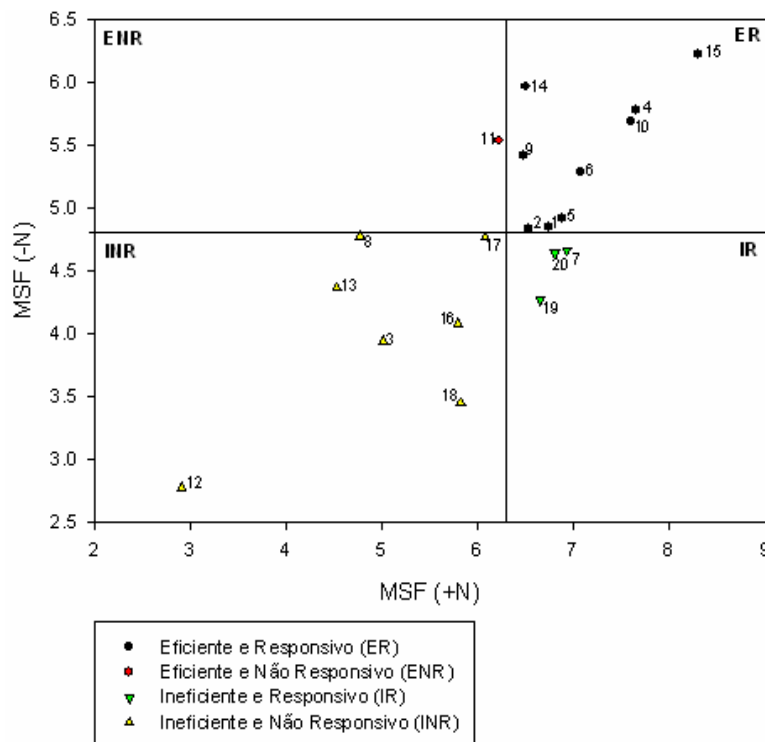
A média geral desta característica reduziu de 6,26 para 4,81 g com a restrição do N no meio de cultivo (Tabela 5). Esta redução esteve associada com a redução média do NPF e da AF (Tabela 4).

Analisando a dose adequada (Tabela 5), houve a formação de três grupos, com médias de 6,75, 4,77 e 2,91 g. No primeiro grupo, ficaram inseridas 80% das cultivares, enquanto, no terceiro grupo, ficou somente a cultivar San Ramon.

Para a dose baixa, as cultivares foram divididas em apenas dois grupos, com médias de 5,24 e 3,82 g. O primeiro grupo foi formado por 70% das cultivares, enquanto o restante das cultivares formou o segundo grupo.

Em relação à resposta à adubação nitrogenada (Figura 9), a classificação das cultivares foi da seguinte forma: as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, IPR 103, Araçuaia MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catuaí 785/15 comportaram-se como ER. A cultivar Topázio

MG 1190 foi a única classificada como ENR, produzindo bem em condição de baixa dose de N e não respondendo à dose adequada deste elemento. Já as cultivares, Catuaí Vermelho IAC 15, Pau Brasil MG1 e Caturra Vermelho, foram consideradas IR, produzindo pouca MSF em dose baixa de N e respondendo bem em condição de dose adequada. As cultivares INR foram Icatu Vermelho IAC 4045, Rubi MG 1192, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851 e São Bernardo por apresentarem os menores valores de MSF em ambas as situações.



Legenda:

1. Catuaí Amarelo IAC 62
2. Paraíso MG H 419-1
3. Icatu Vermelho IAC 4045
4. Obatã IAC 1669/20
5. Caturra Amarelo
6. IPR 102
7. Catuaí Vermelho IAC 15
8. Rubi MG 1192
9. IPR 103
10. Araponga MG1
11. Topázio MG 1190
12. San Ramon
13. Icatu Precoce 3282
14. Tupi IAC 1669-33
15. Catuaí 785/15
16. Acaiá Cerrado MG 1474
17. Oeiras MG 6851
18. São Bernardo
19. Pau Brasil MG1
20. Caturra Vermelho

Figura 9 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Matéria Seca de Folha (MSF).

#### d) Matéria Seca de Parte Aérea (MSPA)

Para esta característica, foi verificada uma redução da média geral em condição de cultivo em dose baixa de N, como verificado para a característica MSF (Tabela 5).

Em condição de dose adequada de N, formaram-se três grupos de cultivares, com médias de 8,33, 6,02 e 3,29 g, em que 85% das cultivares

constituíram o primeiro grupo, enquanto apenas a cultivar San Ramon formou o terceiro grupo. Na dose baixa de N, ocorreram apenas dois grupos, com médias de 6,77 e 3,73 g, sendo que 90% das cultivares foram inseridas no primeiro grupo.

A resposta à adubação nitrogenada (Figura 10) classificou as cultivares da seguinte maneira: As cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 comportaram-se como ER, produzindo mais MSPA em condições de baixo N, além de responderem bem com a dose adequada deste elemento. As cultivares ENR, como IPR 103 e Topázio MG 1190, apesar de produzirem bem na dose baixa de N, tiveram uma menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Paraíso MG H 419-1, Catuaí Vermelho IAC 15, Acaíá Cerrado MG 1474, Pau Brasil MG1 e Caturra Vermelho, consideradas IR, embora tenham respondido bem com a dose adequada de N, não alcançaram à produção de MSPA dos genótipos eficientes em baixa dose deste elemento. Finalmente, as cultivares INR, como Icatu Vermelho IAC 4045, Rubi MG 1192, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Oeiras MG 6851 e São Bernardo, produziram pouca MSPA em adequada e baixa dose de N.

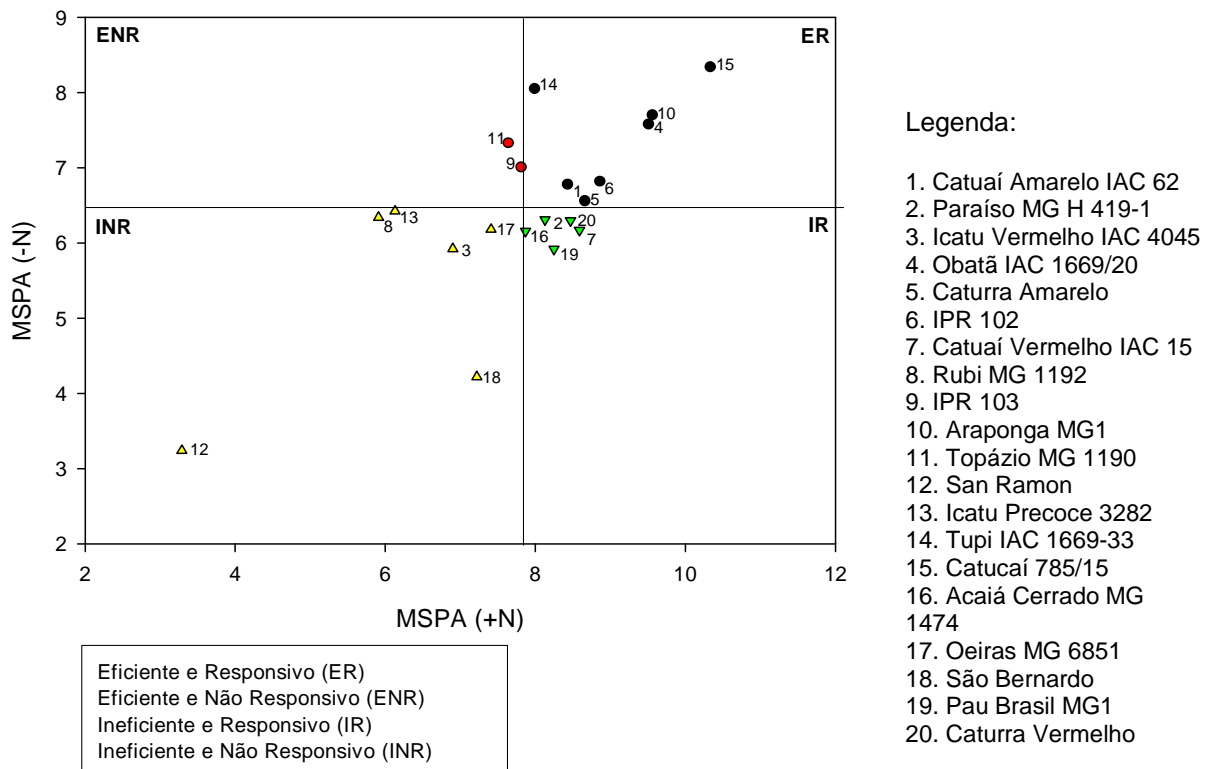


Figura 10 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Matéria Seca Parte Aérea (MSPA).

#### d) Matéria Seca Total (MST)

Foi verificada uma redução na média geral da MST quando do cultivo em dose baixa de N (Tabela 5). Provavelmente, a menor produção de MST das plantas cultivadas nesta dose foi consequência do menor crescimento apresentado pela parte aérea.

Ocorreu a formação de três grupos para ambas as doses de N estudadas: na dose adequada, as médias dos grupos foram de 9,94, 7,39 e 4,27 g, ficando 85% das cultivares inseridas no primeiro grupo, enquanto a cultivar San Ramon foi inserida no terceiro grupo, como constatado para a característica MSPA. Já na dose baixa, com médias de 10,17, 9,06 e 4,95 g, as cultivares Obatã IAC 1669/20, IPR 102, IPR 103, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 foram inseridas no primeiro grupo, enquanto as cultivares San Ramon e Pau Brasil MG1 formaram o terceiro grupo. Na resposta à adubação nitrogenada (Figura 11), verifica-se que a classificação das cultivares foi a mesma apresentada para MSPA, ratificando que a MST tem relação maior com a MSPA do que com a MSR.

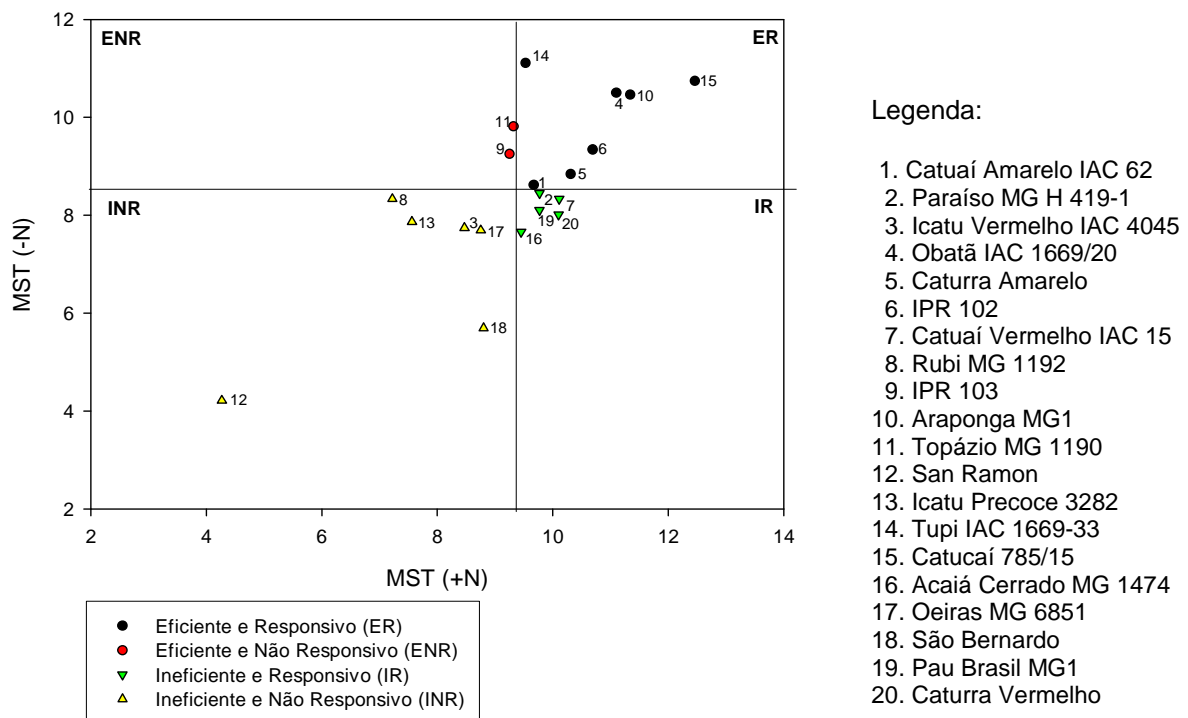


Figura 11 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Matéria Seca Total (MST).

#### e) Relação Raiz Parte Aérea (RRPA)

Foi verificado um aumento na média geral desta característica quando do cultivo em dose adequada de N (Tabela 5), como consequência de um crescimento relativo maior do sistema radicular em relação à parte aérea. Os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados com o acúmulo de carboidratos na ausência de N, tanto na parte aérea como nas raízes, já que esses carboidratos não podem ser usados na formação de novos tecidos (Santos Junior, 2001). O N absorvido tenderia a reagir com os carboidratos do sistema radicular, beneficiando este em detrimento da parte aérea (Brower, 1962).

Na dose adequada, não foi verificada diferença significativa entre as cultivares, enquanto, na dose baixa, ocorreu a formação de dois grupos, com médias de 0,35 e 0,26 g.g<sup>-1</sup>. No primeiro grupo, foram inseridas 70% das cultivares e, no segundo, ficaram as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Precoce 3282, Catucaí 785/15, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851 e Caturra Vermelho.

Em resposta à adubação nitrogenada (Figura 12), as cultivares Paraíso MG H 419-1, IPR 102, Rubi MG 1192, Topázio MG 1190 e São Bernardo foram classificadas como ER, apresentando maiores valores de RRPA em condições de baixo N, além de responderem à dose adequada deste elemento. As cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 15, IPR 103, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Pau Brasil MG1 foram classificadas como ENR, tendo uma menor resposta em dose adequada de N. Já as cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, San Ramon, Icatu Precoce 3282 e Catucaí 785/15 foram classificadas como IR e, embora tenham respondido bem à dose adequada de N, não alcançaram os valores de RRPA dos genótipos eficientes em baixa dose deste elemento. Finalmente, as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851 e Caturra Vermelho foram classificadas como INR, apresentando baixos valores de RRPA em adequada e baixa doses de N.

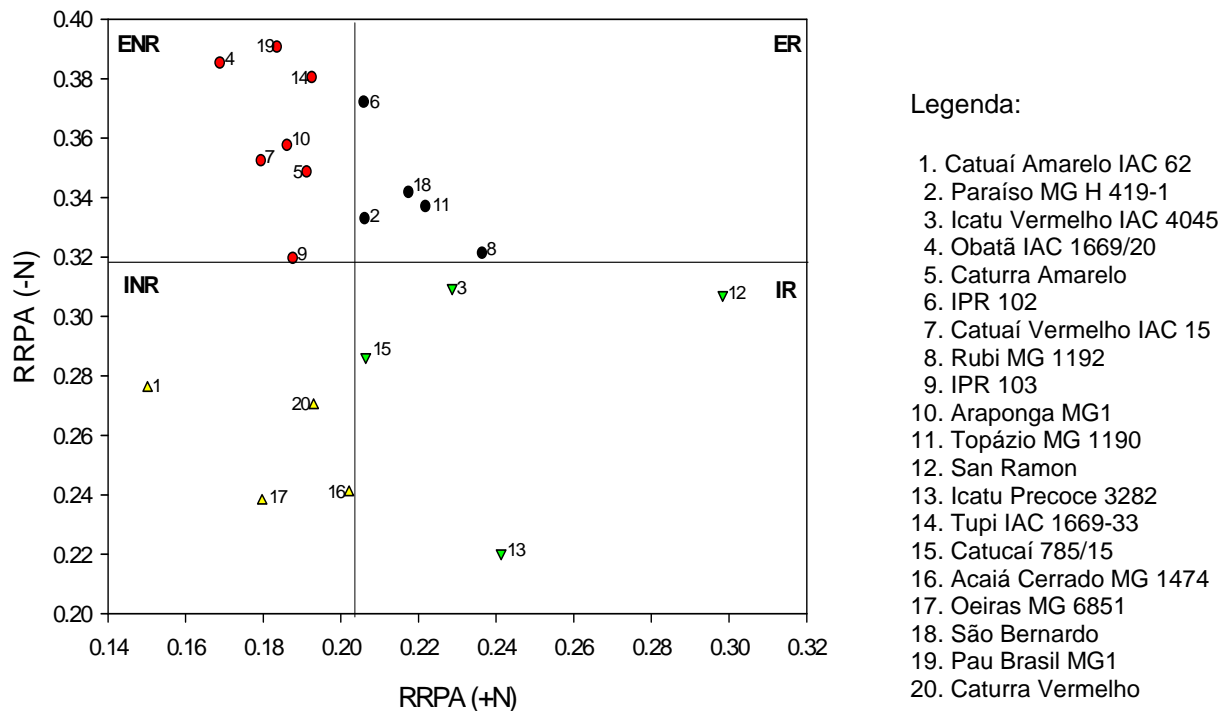


Figura 12 – Resposta à adubação nitrogenada de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>, para a característica Relação Raiz Parte Aérea (RRPA).

Considerando as características de produção de matéria seca, no cultivo em dose baixa de N, MSR, MSC e MST apresentaram maior variabilidade entre as cultivares, com a formação de três grupos. De modo geral, as cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 apresentaram as maiores produções de matéria seca. Já as cultivares San Ramon e São Bernardo apresentaram as menores produções.

Quanto à resposta à adubação, dentre as cultivares de maiores massas, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1 e Catucaí 785/15 foram classificadas como ER, enquanto a cultivar Topázio MG 1190 foi classificada como ENR. A cultivar Tupi IAC 1669-33 foi classificada como ER e ENR. As cultivares de menores massas, San Ramon e São Bernardo, foram classificadas como INR.

#### 4.3. Eficiência nutricional

A eficiência nutricional está relacionada aos processos de aquisição do nutriente, a sua redistribuição interna e sua utilização no metabolismo das plantas

(Duncan e Baligar, 1990). Para todas as características de eficiências avaliadas, foi verificada interação cultivar x doses de N significativas (Quadro 5).

Quadro 5 – Análise de variância da interação genótipos x ambientes de cinco características de eficiência avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>

FV	GL	Quadrados Médios				
		EE <sup>1/</sup>	EA <sup>2/</sup>	ET <sup>3/</sup>	EU <sup>4/</sup>	EPB <sup>5/</sup>
Bloco	2					
Ambiente (A)	1	0,01146**	447764,39**	0,10293**	0,28508**	447764,39**
Genótipo (G)	19	0,00019 <sup>ns</sup>	1458,6363 <sup>ns</sup>	0,00175 <sup>ns</sup>	0,02159**	1458,6363 <sup>ns</sup>
G x A	19	0,00017**	2117,5149**	0,00308**	0,00491*	2117,5149**
Resíduo	78	0,00005	814,5398	0,00086	0,0025	814,5398
Total	119					

<sup>1/</sup> Eficiência de enraizamento; <sup>2/</sup> Eficiência de absorção; <sup>3/</sup> Eficiência de translocação; <sup>4/</sup> Eficiência de utilização; <sup>5/</sup> Eficiência de produção de biomassa.

\*\* Significativo, no nível de 1% de probabilidade, pelo teste F;

\* Significativo, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste F e

<sup>ns</sup> Não significativo.

#### 4.3.1. Eficiência de Enraizamento (EE)

A EE refere-se à quantidade de matéria seca de raiz produzida em relação ao conteúdo de N na planta. Observou-se que a redução na adubação nitrogenada aumentou significativamente a sua média geral (Tabela 6), em decorrência do aumento da média geral da produção de matéria seca de raiz (Tabela 5) e da concomitante diminuição da média geral do conteúdo de N total (Tabela 7). No cultivo em dose adequada de N, não houve diferença significativa entre as cultivares para EE, como constatada para matéria seca de raiz (Tabela 5). Entretanto, na dose baixa, verificou-se a formação de três grupos, sendo as cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1 e Tupi IAC 1669-33 inseridas no primeiro grupo, apresentando as maiores EE, enquanto 45% das cultivares foram inseridas no terceiro grupo, e as demais apresentaram comportamento intermediário.



#### 4.3.2. Eficiência de Absorção (EA)

A EA é representada como o conteúdo de N total em relação à matéria seca de raiz. Verificou-se uma redução significativa na média geral desta característica, quando do cultivo em dose baixa de N (Tabela 6). Nesta dose, não houve diferença significativa entre as cultivares. Em milheto, Alagarswamy e Bidinger (1982) observaram diferenças significativas entre as cultivares na habilidade de utilização de N, para crescimento e produção de grãos, mas não observaram diferenças significativas na absorção de N. Já na dose adequada, ocorreu a formação de dois grupos, sendo que as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã IAC 1669/20, Catuaí Vermelho IAC 15, IPR 103, Oeiras MG 6851 e Pau Brasil MG1 destacaram-se pela maior EA, em virtude, principalmente, da baixa produção de matéria seca de raiz quando do cultivo nesta dose (Tabela 5). O segundo grupo, com 70% das cultivares, apresentou menor EA.

#### 4.3.3. Eficiência de Translocação (ET)

A ET é considerada a relação entre o conteúdo de N na parte aérea e o conteúdo de N total absorvido. Foi verificado que as cultivares apresentaram uma redução na média geral quando cultivadas em dose baixa de N (Tabela 6), o que pode ser ratificado pela redução da média geral apresentada pelos respectivos conteúdos (Tabela 7). Na dose adequada, verificou-se que não ocorreu diferença significativa entre as cultivares. Para a dose baixa, ocorreu a formação de três grupos, em que as cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282, Acaíá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851 e Caturra Vermelho apresentaram as maiores ET, enquanto 45% das cultivares foram inseridas no terceiro grupo, com as menores ET.

#### 4.3.4. Eficiência de Utilização (EU)

A EU é obtida pela produção de matéria seca total elevada ao quadrado por unidade de N total absorvido. As cultivares apresentaram um aumento na média geral quando do cultivo em baixo N (Tabela 6), provavelmente, pela redução (48,29%) mais acentuada no conteúdo de N total (Tabela 7), uma vez que a matéria

seca total apresentou uma redução de (3,83%) na média geral (Tabela 5). Comportamento semelhante foi constatado por Nedel *et al.* (1997), que observaram aumentos na eficiência de utilização de N em genótipos de cevada, com a redução nas doses de N aplicadas. Para a dose adequada de N, não foi verificada diferença significativa entre as cultivares. Na dose baixa, as cultivares foram classificadas em três grupos, sendo que as cultivares Obatã IAC 1660/20, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 formaram o primeiro grupo, enquanto as cultivares San Ramon e São Bernardo formaram o terceiro grupo.

#### 4.3.5. Eficiência de Produção de Biomassa (EPB)

A EPB faz referência à produção de matéria seca de parte aérea/mg de N absorvido pela planta. Constatou-se aumento na média geral com a restrição de N (Tabela 6), provavelmente devido à menor redução (17,58%) da matéria seca de parte aérea (Tabela 5), em relação ao N total absorvido (48,29%) (Tabela 7). Verificou-se que as cultivares produziram de forma diferenciada, nos dois ambientes de cultivo, com a formação de três grupos. No cultivo em dose adequada de N, 85% das cultivares foram inseridas no primeiro grupo, enquanto a cultivar San Ramon foi inserida no terceiro grupo. Para o cultivo em dose baixa, as cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 foram inseridas no primeiro grupo, enquanto a cultivar San Ramon e São Bernardo constituíram o terceiro grupo.

Tabela 6. Médias da Eficiência de Enraizamento (EE), Absorção (EA), Translocação (ET), Utilização (EU) e Produção de Biomassa (EPB) de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de nitrogênio (N) adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>.

Cód	Cultivares	EE (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )		EA (mg.g <sup>-1</sup> )		ET (mg.mg <sup>-1</sup> )		EU (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )		EPB (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )	
		+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N
1	Catuai Amarelo IAC 62	0,0048 A	0,0216 C	289,9774 A	91,7936 A	0,8957 A	0,8052 B	0,2767 A	0,4541 B	0,2344 A	0,3480 B
2	Paraíso MG H 419-1	0,0081 A	0,0279 B	204,6151 B	78,3122 A	0,8625 A	0,7845 C	0,2861 A	0,4355 B	0,2295 A	0,3109 B
3	Icatu Vermelho IAC 4045	0,0098 A	0,0259 C	164,5946 B	75,9302 A	0,8534 A	0,8494 A	0,2817 A	0,4498 B	0,2191 A	0,3078 B
4	Obatã IAC 1669/20	0,0067 A	0,0448 A	238,0598 A	66,0706 A	0,8697 A	0,7504 C	0,3273 A	0,5754 A	0,2762 A	0,3995 A
5	Caturra Amarelo	0,0080 A	0,0322 B	213,4108 B	73,2111 A	0,8673 A	0,7846 C	0,3088 A	0,4773 B	0,2518 A	0,3350 B
6	IPR 102	0,0091 A	0,0338 B	207,8808 B	74,8827 A	0,8582 A	0,7535 C	0,3064 A	0,4631 B	0,2455 A	0,3288 B
7	Catuai Vermelho IAC 15	0,0067 A	0,0296 B	228,5555 A	77,3403 A	0,8731 A	0,7836 C	0,2931 A	0,4298 B	0,2417 A	0,3015 B
8	Rubi MG 1192	0,0071 A	0,0252 C	182,3278 B	81,9461 A	0,8273 A	0,8021 B	0,2148 A	0,4314 B	0,1715 B	0,3112 B
9	IPR 103	0,0069 A	0,0284 B	227,7606 A	81,6665 A	0,8834 A	0,7991 B	0,2714 A	0,4793 B	0,2186 A	0,3448 B
10	Araponga MG1	0,0089 A	0,0401 A	198,9224 B	70,5778 A	0,8586 A	0,7621 C	0,3640 A	0,5711 A	0,3016 A	0,4069 A
11	Topázio MG 1190	0,0090 A	0,0357 B	184,7539 B	72,1115 A	0,8320 A	0,7902 C	0,2792 A	0,5510 A	0,2258 A	0,3894 A
12	San Ramon	0,0063 A	0,0822 C	154,0300 B	118,6491 A	0,8130 A	0,8213 B	0,1205 A	0,1542 C	0,0881 C	0,1110 C
13	Icatu Precoce 3282	0,0083 A	0,0141 C	170,6728 B	108,6796 A	0,8404 A	0,8597 A	0,2315 A	0,4172 B	0,1808 B	0,3252 B
14	Tupi IAC 1669-33	0,0074 A	0,0498 A	211,0039 B	61,9902 A	0,8755 A	0,7446 C	0,2812 A	0,6552 A	0,2257 A	0,4620 A
15	Catucaí 785/15	0,0109 A	0,0300 B	198,5170 B	82,4031 A	0,8508 A	0,8078 B	0,3696 A	0,5951 A	0,2984 A	0,4443 A
16	Acaiaí Cerrado MG 74	0,0081 A	0,0157 C	198,1004 B	107,5135 A	0,8477 A	0,8419 A	0,2856 A	0,3874 B	0,2335 A	0,2975 B
17	Oeiras MG 6851	0,0061 A	0,0142 C	230,4606 A	114,9801 A	0,8694 A	0,8444 A	0,2566 A	0,3606 B	0,2118 A	0,2776 B
18	São Bernardo	0,0085 A	0,0164 C	197,6924 B	98,7748 A	0,8512 A	0,8148 B	0,2581 A	0,2401 C	0,2039 A	0,1629 C

Cont. Tabela 3

Cód	Cultivares	EE (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )		EA (mg.g <sup>-1</sup> )		ET (mg.mg <sup>-1</sup> )		EU (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )		EPB (g <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )	
		+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N
19	Pau Brasil MG1	0,0068 A	0,0329 B	234,9406 A	74,6442 A	0,8731 A	0,7629 C	0,2757 A	0,4228 B	0,2253 A	0,2928 B
20	Caturra Vermelho	0,0078 A	0,0199 C	208,0991 B	89,5008 A	0,8671 A	0,8358 A	0,3009 A	0,4314 B	0,2441 A	0,3198 B
	Média	0,0078 b	0,0310 a	207,2188 a	85,0489 b	0,8585 a	0,7999 b	0,2795 b	0,4491 a	0,2264 b	0,3238 a
	CV <sub>e</sub> (%)	40,330		21,839		3,535		18,406		18,187	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na vertical, e minúscula, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, no nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 7. Conteúdo de nitrogênio (N) na raiz, no caule, na folha, na parte aérea e no total, de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com doses de N adequada (+N): 7,5 mmol.L<sup>-1</sup> e baixa (-N): 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>.

Cód.	Cultivares	Raiz (mg/pl)		Caule (mg/pl)		Folha (mg/pl)		Parte Aérea (mg/pl)		Total (mg/pl)	
		+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N
1	Catuaí Amarelo IAC 62	34,88	31,70	30,25	18,47	272,64	113,52	302,89	131,99	377,77	163,67
2	Paraíso MG H 419-1	45,38	35,64	29,64	15,16	258,57	113,07	288,21	128,24	333,59	163,88
3	Icatu Vermelho IAC 4045	37,48	20,53	31,17	19,03	186,32	94,80	217,49	113,83	254,98	134,36
4	Obatã IAC 1669/20	48,99	47,91	35,27	17,01	293,45	126,89	328,72	143,90	377,71	191,81
5	Caturra Amarelo	45,94	35,28	33,58	15,78	265,89	112,88	299,48	128,66	345,42	163,95
6	IPR 102	53,67	46,91	31,19	16,68	288,91	124,95	320,11	141,63	373,78	188,54
7	Catuaí Vermelho IAC 15	43,98	35,04	29,56	14,65	277,40	111,77	306,96	126,42	350,94	161,46
8	Rubi MG 1192	39,21	31,70	20,23	14,31	183,67	115,43	203,90	129,74	243,10	161,43
9	IPR 103	36,48	36,53	22,52	15,09	257,29	127,75	279,81	142,83	316,29	179,36
10	Araponga MG1	49,86	45,66	32,70	20,00	271,92	125,87	304,61	145,87	354,48	191,53
11	Topázio MG 1190	52,61	36,78	24,48	17,07	234,56	121,26	259,04	138,33	311,65	175,11
12	San Ramon	28,57	20,46	7,79	7,02	114,92	87,90	122,71	94,92	151,29	115,38
13	Icatu Precoce 3282	39,25	21,21	28,12	17,19	179,92	111,20	208,03	128,39	247,29	149,60
14	Tupi IAC 1669-33	40,33	47,91	25,13	19,56	257,93	120,90	283,06	140,46	323,39	188,37
15	Catuaí 785/15	62,79	37,40	35,82	19,75	321,77	137,10	357,59	156,84	420,37	194,25
16	Acaiaí Cerrado MG 1474	47,84	24,22	36,48	19,03	229,13	108,45	265,61	127,49	313,45	151,71
17	Oeiras MG 6851	39,09	26,06	23,89	13,95	235,95	124,44	259,85	138,39	298,93	164,44
18	São Bernardo	45,06	25,63	27,10	9,99	228,88	100,26	255,98	110,26	301,03	135,88
19	Pau Brasil MG1	44,14	35,68	29,73	17,56	273,82	102,20	303,55	119,76	347,69	155,44
20	Caturra Vermelho	45,23	24,74	27,83	15,63	266,49	109,28	294,32	124,92	339,55	149,65
	Média	44,04	33,35	28,12	16,15	244,97	114,50	273,09	130,65	317,13	164,00

Analisando o ambiente cultivado em dose baixa de N, verificou-se que, com base nos vários índices de eficiência estudados, a eficiência nutricional para N foi decorrente de enraizamento, translocação, utilização e produção de biomassa, uma vez que as cultivares não apresentaram diferença significativa para a eficiência de absorção.

As cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 destacaram-se por apresentar maior eficiência para todos os índices estudados, exceto para a eficiência de translocação. Já as cultivares San Ramon e São Bernardo mostraram-se menos eficientes para a maioria dos índices estudados, enquanto as demais cultivares podem ser consideradas intermediárias.

O estudo de resposta à adubação nitrogenada facilita a indicação de genótipos para os sistemas diferenciados de produção quanto ao nível tecnológico aplicado. Dentre as cultivares consideradas eficientes nutricionalmente para N, com base nos índices de eficiência, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 foram classificadas como Eficientes e Responsivas (ER) para a maioria das características, ou seja, estas cultivares foram eficientes para N e responderam bem ao incremento deste elemento, sendo, portanto, promissoras tanto para solos de baixa fertilidade quanto para sistemas de produção, com adição de adubo nitrogenado. Entretanto, é importante a realização de estudos genéticos e fisiológicos mais apurados, bem como avaliações no campo, para uma futura recomendação.

A cultivar Topázio MG 1190, também considerada como eficiente nutricionalmente para N, foi classificada como Eficiente e Não Responsiva (ENR), ou seja, foi eficiente para N, mas não respondeu bem ao incremento deste elemento, sendo promissora para sistemas de produção que não dispõem de recursos para a adubação nitrogenada.

Já as cultivares San Ramon e São Bernardo, consideradas ineficientes nutricionalmente para N, foram classificadas como Ineficientes e Não Responsivas (INR), ou seja, apresentam baixas produções tanto em baixo quanto em adequada doses de N, provavelmente por serem cultivares antigas.

A identificação das cultivares eficientes para N fornece a base para a seleção de progenitores contrastantes que servirão de instrumentos básicos na determinação do controle genético deste caráter, permitindo o estabelecimento da

estratégia de melhoramento mais adequada na obtenção de cultivares superiores de *Coffea arabica*.

De posse das cultivares mais eficientes para N, as recomendações poderão ser feitas aos produtores de café, que produzirão com maior economia e em harmonia com o meio ambiente.

#### 4.4. Parâmetros genéticos

Para todas as características avaliadas, com exceção da Relação Raiz Parte Aérea (RRPA), foram verificados Quadrados Médios, apresentando diferenças significativas em 1% de probabilidade pelo teste F, o que demonstra a ocorrência de variabilidade genética entre as cultivares (Quadro 6).

Quadro 6 – Resumo da Análise de Variância de dezesseis características avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa: 1,0 mmol.L-1

FV	GL	AP <sup>1/</sup>	DC <sup>2/</sup>	NNO <sup>3/</sup>	CI <sup>4/</sup>	NPF <sup>5/</sup>	AF <sup>6/</sup>	MSR <sup>7/</sup>	MSC <sup>8/</sup>	MSPA <sup>9/</sup>	MST <sup>10/</sup>	RRPA <sup>11/</sup>	EE <sup>12/</sup>	EA <sup>13/</sup>	ET <sup>14/</sup>	EU <sup>15/</sup>	EPB <sup>16/</sup>
Bloco	2																
Genótipo (G)	19	134,2581**	117,0208**	1,0042**	1,3182**	1,0254**	781,0516**	0,8849**	0,5385**	4,1753**	8,1843**	0,00769*	0,00035**	817,5895**	0,00365**	0,0398**	0,02017**
Resíduo	38	7,4267	24,6457	0,1265	0,0737	0,1300	100,6235	0,1812	0,0761	0,7539	1,2776	0,00398	0,00009	252,5238	0,00128	0,0054	0,00271
Média Geral		30,0767	46,2625	9,1750	3,2767	8,1833	114,464	2,0691	1,6529	6,4673	8,5364	0,3195	0,02734	85,0489	0,7999	0,4491	0,32385
CVe (%)		9,0608	10,7310	3,8770	8,2828	4,4067	15,5677	20,5757	16,6902	13,4258	13,2412	19,754	34,7114	18,6845	4,4792	16,3267	16,0722

<sup>1/</sup> altura da planta; <sup>2/</sup> diâmetro do caule; <sup>3/</sup> número de nós; <sup>4/</sup> comprimento de internódio; <sup>5/</sup> número de pares de folha; <sup>6/</sup> área foliar; <sup>7/</sup> matéria seca de raiz; <sup>8/</sup> matéria seca de caule; <sup>9/</sup> matéria seca de parte aérea; <sup>10/</sup> matéria seca total; <sup>11/</sup> relação raiz/parte aérea; <sup>12/</sup> eficiência de enraizamento; <sup>13/</sup> eficiência de absorção; <sup>14/</sup> eficiência de translocação; <sup>15/</sup> eficiência de utilização; <sup>16/</sup> eficiência de produção de biomassa.

\*\*Significativo, no nível de 1% de probabilidade, pelo teste F;

\*Significativo, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste F e

<sup>ns</sup> Não significativo.



Novamente com exceção da RRPA, as demais características apresentaram valores de  $\hat{H}^2$  superiores a 64,58%, atingindo 94,47% para Altura da Planta (AP) (Quadro 7). Essas estimativas para as diferentes características avaliadas caracterizam a predominância da variabilidade genotípica em relação à ambiental, indicando possibilidade de sucesso na seleção destas características. Este fato pode ser ratificado pela pequena contribuição da variação de ambiente ( $\hat{\sigma}_A^2$ ) para com a fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) (Quadro 7).

Quanto aos valores do Índice de Variação ( $I_V$ ), a maioria das características apresentou  $I_V$  superior à unidade, com exceção das características RRPA, eficiência de absorção (EA) e eficiência de translocação (ET) (Quadro 3). Tal situação constitui-se favorável ao processo de seleção, confirmando a possibilidade de ganhos genéticos, uma vez que o componente genético foi o fator determinante da variação observada.

Quadro 7. Estimativas das variâncias fenotípicas ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), de ambiente ( $\hat{\sigma}_A^2$ ), da variabilidade genotípica ( $\hat{\Phi}_G$ ), do coeficiente de determinação genotípica ( $\hat{H}^2$ ) e do Índice de Variação ( $I_V$ ) de dezesseis características avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa: 1,0 mmol.L<sup>-1</sup>

Parâmetro	Características <sup>1/</sup>															
	AP	DC	NNO	CI	NPF	AF	MSR	MSC	MSPA	MST	RRPA	EE	EA	ET	EU	EPB
$\hat{\sigma}_f^2$	44,75	39,01	0,33	0,44	0,34	260,3505	0,2948	0,1788	1,3918	2,7281	0,0026	0,000122	272,55	0,0012	0,0133	0,0068
$\hat{\sigma}_A^2$	2,48	8,22	0,42	0,02	0,04	33,5412	0,0604	0,0254	0,2513	0,4259	0,0013	0,000027	84,18	0,0004	0,0018	0,0009
$\hat{\Phi}_G$	42,28	30,79	0,29	0,41	0,30	226,8094	0,2344	0,1534	1,1405	2,3022	0,0013	0,000095	188,37	0,0008	0,0115	0,0059
$\hat{H}^2$ (%)	94,47	78,94	87,40	94,41	87,32	87,12	79,52	85,81	81,94	84,39	48,37	77,70	69,11	64,58	86,50	86,88
$I_V$	2,39	1,12	1,52	2,37	1,51	1,50	1,14	1,42	1,23	1,34	0,56	1,08	0,86	0,78	1,46	1,49

<sup>1/</sup>AP: altura da planta; DC: diâmetro do caule; NNO: número de nós; CI: comprimento de internódio; NPF: número de pares de folha; AF: área foliar; MSR: matéria seca de raiz; MSC: matéria seca de caule; MSPA: matéria seca de parte aérea; MST: matéria seca total; RRPA: relação raiz/parte aérea; EE: eficiência de enraizamento; EA: eficiência de absorção; ET: eficiência de translocação; EU: eficiência de utilização; EPB: eficiência de produção de biomassa.

## 4.5. Análise multivariada

### 4.5.1. Agrupamento hierárquico pelo método UPGMA

O resultado da hierarquização das 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de N baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), pelo método UPGMA, é mostrado na Figura 13.

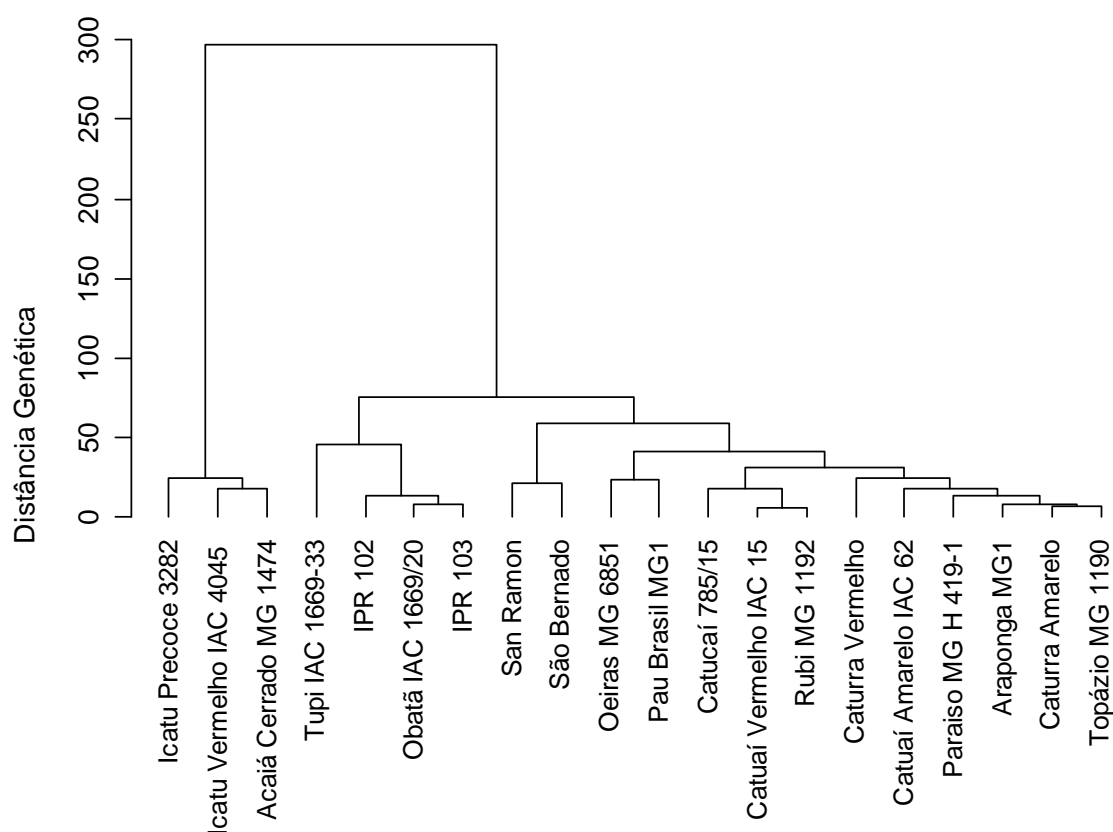


Figura 13 – Dendrograma de dissimilaridades genéticas entre 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ), obtido pelo método UPGMA, com base em onze características quantitativas, utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis.

A eficiência deste método, verificada pela consistência entre a matriz de distância e os agrupamentos, foi obtida por um coeficiente de correlação cofenética (CCC) de 0,91. Na concepção de Sokal e Rohlf (1962), valores acima de 0,80 indicam alta representatividade das reais distâncias entre os genótipos por meio da representação gráfica do dendrograma, tornando o método confiável.

Na determinação dos grupos, as delimitações das mesmas foram estabelecidas de maneira subjetiva, em que se observam pontas de mudança abrupta, tomando-as como delimitadores do número de genótipos para determinado grupo. A grande maioria das cultivares pertencentes ao mesmo grupo apresenta genitores comuns, levando-se à suposição de que as suas recombinações podem propiciar pouca variabilidade e menor ganho genético. Por outro lado, recombinações entre cultivares de diferentes grupos propiciarão maiores variabilidades e ganhos no processo de seleção.

Assim, o grupo I foi o mais numeroso, formado pelas cultivares: Oeiras MG 6851, Pau Brasil MG1, Catucaí 785/15, Catucaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Caturra Vermelho, Catucaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Araponga MG1, Caturra Amarelo e Topázio MG 1190. Dentre estas cultivares, Catucaí 785/15, Araponga MG1 e Topázio MG 1190 foram consideradas as mais eficientes nutricionalmente para N, de acordo com os índices de eficiência (Tabela 6).

O grupo II foi formado pelas cultivares de porte muito baixo San, Ramon e São Bernardo. Estas apresentaram as menores médias para a maioria das características agrônômicas (Tabela 4), e de produções de matéria seca (Tabela 5), além de mostrarem-se menos eficientes para a maioria dos índices estudados (Tabela 6).

As cultivares IPR 103, Obatã IAC 1669/20 e IPR 102 constituíram o grupo III, dentre as quais, a cultivar Obatã IAC 1669/20 foi também considerada uma das mais eficientes nutricionalmente (Tabela 6).

Já o grupo IV foi constituído apenas pela cultivar Tupi IAC 1669-33, também considerada eficiente nutricionalmente (Tabela 6).

Por fim, as cultivares de porte alto, Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282 e Acaiá Cerrado MG 1474, que possuem um genitor comum, a cultivar Mundo Novo, ficaram inseridas no grupo V. Estas cultivares foram consideradas as melhores para a maioria das características agrônômicas (Tabela 4).

#### 4.5.2. Discriminação genotípica com base em Variáveis Canônicas (VC)

No Quadro 7, são apresentadas as variâncias acumuladas pelas Variáveis Canônicas ( $VC_i$ ), para as características avaliadas, em dose baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) de N.

Quadro 7 – Variâncias acumuladas (%) pelas Variáveis Canônicas das dezesseis características avaliadas para as 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ )

	$VC_i$										
	$VC_1$	$VC_2$	$VC_3$	$VC_4$	$VC_5$	$VC_6$	$VC_7$	$VC_8$	$VC_9$	...	$VC_{16}$
Var.											
acum. (%)	68,16	85,17	90,27	92,87	94,93	96,55	97,77	98,45	98,96	...	100,00

Observa-se que as duas primeiras VC explicaram 85,17% da variação total disponível, sendo a  $VC_1$  responsável por 68,16% e a  $VC_2$  por 17,01%, adequando-se, nesse caso, uma representação gráfica bidimensional. Cruz *et al.* (2004) preconizam um valor mínimo de 80% da variação total para alcançar uma boa discriminação dos genótipos por meio da representação gráfica.

Pela análise da Figura 14, pode-se inferir que houve a formação de cinco grupos, de forma análoga à dos grupos formados pelo método hierárquico UPGMA, confirmando a discriminação apresentada pelas cultivares no estudo da diversidade genética.

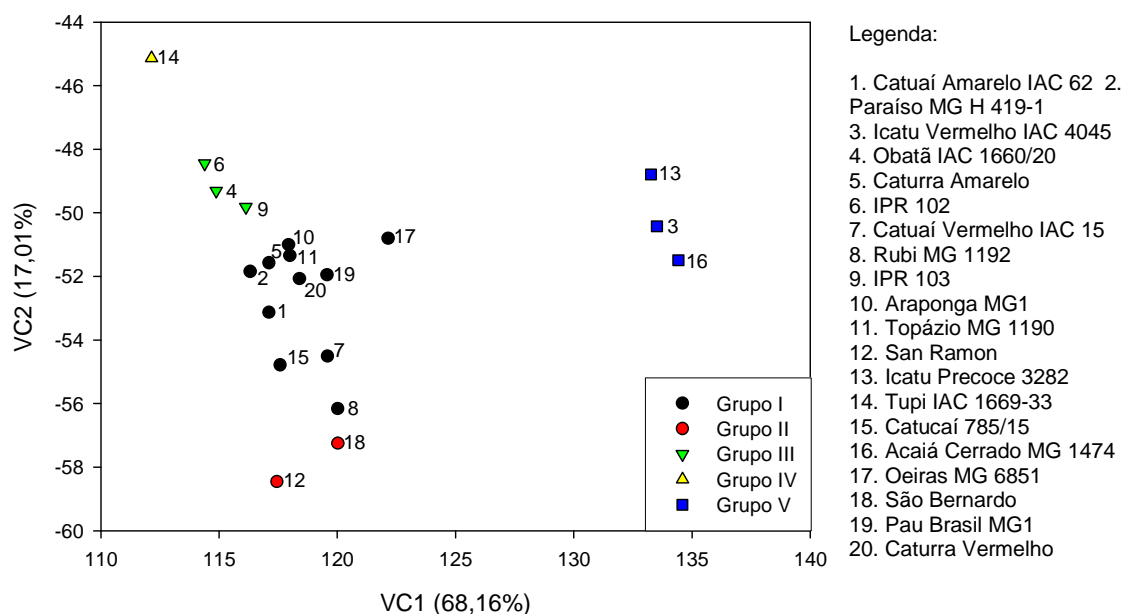


Figura 14 – Dispersão gráfica dos escores em relação aos eixos representativos das variáveis canônicas (VC1 e VC2) relativas a dezesseis características avaliadas as para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ).

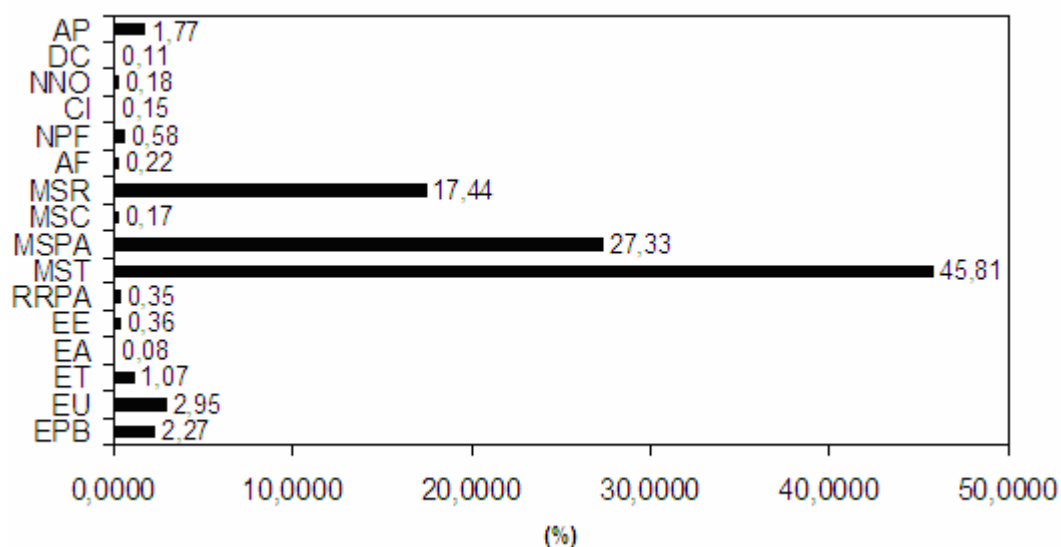
#### 4.5.3. Importância relativa das características estudadas

A contribuição relativa de cada característica, para a discriminação genotípica, obtida com base no método de Singh (1981), é apresentada na Figura 15 para a dose de N estudada.

Constatou-se que, no cultivo em dose baixa de N, a Matéria Seca Total (MST) foi a característica que mais contribuiu para a diversidade presente nas cultivares, apresentando valor percentual de 45,8%, podendo ser usada como parâmetro de seleção na avaliação de cultivares eficientes em relação ao N (Figura 15). Em seguida, constataram-se a Matéria Seca de Parte Aérea (MSPA) e a Matéria Seca de Raiz (MSR), com percentuais de 27,3 e 17,4%, respectivamente.

As características Eficiência de Absorção (EA), Diâmetro do Caule (DC) e Comprimento de Internódio (CI) foram as que apresentaram menores contribuições para a diversidade, sendo, portanto, dispensáveis em avaliações em estudos futuros. Segundo Cruz *et al.* (2004), caracteres dispensáveis em estudo

de divergência genética são aqueles invariantes entre os genótipos estudados e/ou redundantes, por serem correlacionados com outros caracteres.



\*AP: Altura da Planta; DC: Diâmetro do Caule; NNO: Número de Nós; CI: Comprimento de Internódio; NPF: Número de Pares de Folha; AF: Área Foliar; MSR: Matéria Seca de Raiz; MSC: Matéria Seca de Caule; MSPA: Matéria Seca de Parte Aérea; MST: Matéria Seca Total; RRPA: Relação Raiz/Parte Aérea; EE: Eficiência de Enraizamento; EA: Eficiência de Absorção; ET: Eficiência de Translocação; EU: Eficiência de Utilização e EPB: Eficiência de Produção de Biomassa.

Figura 15 – Contribuição relativa das características avaliadas (%), segundo a metodologia de Singh (1981), para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de nitrogênio (N) baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ).

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar a diversidade genética entre cultivares de café, com base nas características agronômicas, produção de matéria seca e índices de eficiência nutricional, por meio de análises univariada e multivariada, em condições de baixa disponibilidade de N, de modo a subsidiar a escolha de cultivares promissoras, para ambientes de baixa fertilidade desse elemento e para estudos genéticos futuros, visando à obtenção de cultivares eficientes para N. Nesse sentido, a EPAMIG/UREZM (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/ Unidade Regional da Zona da Mata) realizou um experimento em solução nutritiva - Hoagland e Arnon (1950) modificada - em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia (DFT) na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, nos anos de 2005 a 2006. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial (20x2), com três repetições, sendo 20 cultivares de café e duas doses de N, adequada ( $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ ) e baixa ( $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ ).

Com base no cultivo em ambiente com baixa disponibilidade de N, as principais conclusões obtidas foram:

- 1) Existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café, cultivadas em ambiente com restrição de N, que podem ser exploradas, em programas de melhoramento, para a obtenção de cultivares eficientes para N;



- 2) As características agronômicas Altura de Planta (AP), Comprimento de Internódio (CI), Número de Pares de Folha (NPF), e as de produção de Matéria Seca de Raiz (MSR), Caule (MSC) e Total (MST) apresentaram maiores variabilidade entre as cultivares estudadas;
- 3) As cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 podem ser consideradas as mais eficientes nutricionalmente para N, e responsivas à adição deste elemento, apresentando-se como promissoras para ambientes de baixa fertilidade e/ou para sistemas de produção com recurso para adubação nitrogenada;
- 4) A cultivar Topázio MG 1190 pode ser considerada eficiente para N e não responsiva, com potencial para sistemas de produção que não dispõem de recursos para adubação nitrogenada;
- 5) As cultivares San Ramon e São Bernardo foram ineficientes para N, e não responsivas;
- 6) Considerando a análise multivariada, o método UPGMA foi eficiente na discriminação das cultivares de café de forma análoga à da técnica de variáveis canônicas no estudo da diversidade genética;
- 7) A Matéria Seca Total (MST) foi a característica de maior importância relativa para a discriminação das cultivares, obtida pela análise multivariada, podendo ser utilizada como parâmetro de seleção na avaliação de cultivares eficientes para N;
- 8) Pelo fato de este estudo ter sido conduzido em solução nutritiva, é necessário, para futuras recomendações, a confirmação da potencialidade dessas cultivares classificadas como eficientes para N, em nível de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrianual (2009) Anuário estatístico da agricultura brasileira. FNP Consultoria/agroinformativos. São Paulo, p. 213-230: café.
- Ahmad, Z.; Gill, M.A.; Qureshi, R.H. (2001) Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8): 1149 - 1171.
- Alagarswamy, G. e Bidinger, F.R. (1982) Nitrogen uptake and utilization by Pearl Millet (*Pennisetum amencanum* L. Leeke) In: International Plant Nutrition Colloquium, 9. Coventry, UK, Proceedings, p. 12-16.
- Amaral, J.F.T. do; Martinez, H.E.P.; Cruz, C.D.; Novais, R.F. de; Mantovani, E.C. (2002) Eficiência nutricional de nitrogênio e fósforo em café arábica. *Anais Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 28, Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, p. 347-348.
- Amaral Júnior, A.T. do (1994) *Análise multivariada e isozimática da divergência genética entre acessos de moranga (Curcubita maxima Duchesne)*. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento) Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 95p.
- Amaral Júnior, A.T. do; Thiébaud, J.T.L. (1999) *Análise multivariada na avaliação da diversidade em recursos genéticos vegetais*. Campos dos Goytacazes: UENF – CCTA, 55p.

- Baligar, V.C.; Fageria, N.K. (1997) Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In Moniz, A.C. *et al.* (Ed.) *Plant soil interactions at low pH*. Brazilian Soil Science Society, p.75-95.
- Bertan, I.; Carvalho, F.I.F. de; Oliveira, A.C. de; Vieira, E.A.; Hartwing, I.; Silva, J.A.G. da; Shimidt, D.A.M.; Vaçério, I.P.; Busato, C.C.; Ribeiro, G. (2006) Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, 12: 279-286.
- Bridson, D. M. (1987) Nomenclatural notes on *Psilanthus*, including *Coffea* sect. *Paracoffea* (Rubiaceae tribe Coffeae). *Kew Bulletin*, 42 (2): 453-460.
- Bridson, D.M. (1994) Additional notes on *Coffea* (Rubiaceae) from Tropical East Africa. *Kew Bulletin*, 49 (2): 331-342.
- Brower, R. (1962) Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 10: 399-408.
- Carvalho, A. (1952). Melhoramento do cafeeiro. IV Café Mundo Novo. *Bragantia*, Campinas, 12, (416): 179-200.
- Carvalho, A. (1981) Pesquisas sobre o melhoramento do cafeeiro. In: Malavolta, E.; Yamada, T.; Guidolin, J. A. (eds) *Nutrição e adubação do cafeeiro*. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato (EUA), p. 11-26.
- Carvalho, A.; Medina Filho, H.P.; Fazuoli, L.C.; Guerreiro Filho, O.; Lima, M.M.A. (1991) Aspectos genéticos do cafeeiro. *Rev. Brasil. Genet.*, 14 (1): 135-183.
- Carvalho, A. (1993) Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no Brasil. Campinas, SP: IAC, 7p. Documentos IAC, 34.
- Carvalho, C.H.S. de; Fazuoli, L.C.; Carvalho, G.R.; Guerreiro Filho, O.; Pereira, A.A.; Almeida, S.R. de; Matiello, J.B.; Bartholo, G.F.; Será, T.; Moura, W. de M.; Mendes, A.N.G.; Rezende, J.C.; Fonseca, A.F.A. da; Ferrão, M.A.G.; Ferão, R.G.; Nacif, A. de P.; Silvarolla, M.B.; Braghini, M.T. (2008). Cultivares de café arábica de porte baixo. In: Carvalho, C.H.S. de (ed). *Cultivares de café*

- *origem, características e recomendações*. Brasília: Embrapa Café. p. 157-226.
- Carvalho, A.; Monaco, L.C. (1964) Natural crosspollination in *C. arabica*. In: International Horticultural Congress, Brussels. Proceedings. Brussels, 16(4): 447-449.
- Carvalho, A.; Monaco, L.C. (1967) Genetic relationship of selected *Coffea* species. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 19(1): 161-165.
- Carvalho, S.P. (1989) Metodologias de avaliação do desempenho de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). Tese (Mestrado em Agronomia) – Lavras-MG - Universidade Federal de Lavras – UFLA, 64p.
- Clark, R.B.; Duncan, R.R. (1991) Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Fiel Crops Resourch*, 27: 219 - 240.
- Cock, W.R.S.; Amaral Júnior, A.T.; Bressan-Smith, R.E.; Monnerat, P.H. (2002) Biometrical analysis of phosphorus use efficiency in lettuce cultivars adapted to high temperatures. *Euphitica*, 126:299-308.
- Cock, W.R.S.; Tardin, F.D.; Amaral Júnior, A.T.; Scapim, C.A.; Amaral, J. F.T. do; Cunha, G.M.; Bressan-Smith, R.E.; Pinto, R.J.B. (2003) Seleção de genótipos de alface eficientes na absorção do fósforo. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, 25(1): 59-64.
- Conab (2008). Companhia nacional de abastecimento. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4cafe08.pdf>>. Acesso em 03 de janeiro, de 2009.
- Correa, J.B.; Garcia, A.W.R.; Costa, P.C. (1983) Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. *Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 10, Poços de Caldas. Rio de Janeiro: IBC/GERC, p. 177-183.
- Cruz, C.D. (1990) *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP/ESALQ, 188p.

- Cruz, C.D. (2008) *Programa Genes diversidade genética*. Viçosa: UFV, 2008, 278p.
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. (2004). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3ª ed. Viçosa: UFV, Imp. Univ. 480p.
- Cruz, C.D.; Carneiro, P.C.S. (2006). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2ª ed. Viçosa: UFV, Imp. Univ. 585p.
- Duncan, R.R.; Baligar, V.C. (1990) Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview In: V.C. Baligar e R.R. Duncan (eds.). *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. San Diego, Academic Press, Pp. 3-35.
- Fageria, N.K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(1): 6-16.
- Falconer, D.S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Trad. Silva, M.A.; Silva, J. C. Viçosa MG: Universidade Federal de Viçosa – UFV, impr. Univ., 279p.
- Fao (2008). Faostat Database Query. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em 20 de fevereiro, de 2008.
- Fazuoli, L.C. (1986). Genética e melhoramento 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. p. 87-113.
- Fazuoli, L.C.; Carvalho, C.H.S. de; Carvalho, G.R.; Guerreiro Filho, O.; Pereira, A.A.; Bartholo, G.F.; Moura, W. de M.; Silvarolla, M.B.; Braghini, M.T. (2008). Cultivares de café arábica de porte alto. In: Carvalho, C.H.S. de (ed). *Cultivares de café – origem, características e recomendações*. Brasília: Embrapa Café. p. 227-254.
- Fonseca, A.F.A. (1999) *Análises biométricas em café conillon (Coffea canephora Pierre)*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 121p.

- Fox, R.H. (1978) Selection for phosphorus efficiency in corn. *Commum. Soil Sci. Plant Anal.*, 9: 13-37.
- França, G.E. de. (1983) *Differences in dry matter yield and the uptake, distribution and use of nitrogen by sorghum genotypes*. Tese (Ph.D), University of Nebraska – Lincoln, 95p.
- Furlani, A.M.C.; Bataglia, O.C.; Lima, M. (1985) Diferenças entre linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva quanto à absorção e utilização de nitrogênio. *Bragantia*, 44 (2): 599-618.
- Furlani, A.M.C.; Bataglia, O.C.; Azzini, L.E. (1986) Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. *R. Bras. Ci. do Solo*, 10:51-59.
- Furlani, A.M.C.; Furlani, P.R. (1988) Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas, Instituto Agrônomo, 34p. Boletim Técnico, 121.
- Furtini Neto, A.E. (1994) *Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus spp.* Tese (doutorado) – Viçosa-MG – Universidade Federal de Viçosa – UFV, 99p.
- Gerloff, G.C.; Gabelman, W.H. (1983) Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: Laüchli, A.; Bielecki, R.L. (Eds.). *Inorganic plant nutrition*. Encyclopedia of Plant Physiology. Berlin, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 15: 453-486.
- Goddard, R.E.; Hollis, C.A. (1984) The genetic basis of forest tree nutrition. In: NAMBIAR, E.K.S. (eds). *Nutrition of plantation forest*. London: Academic Press, p.237-258.
- Gourley, C.J.P.; Allan, D.L.; Russelie, M.P. (1994) Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, 1 58: 29-37.
- Guerreiro Filho, O.; Mendes, A. N. G.; Carvalho, G.R.; Silvarolla, M.B.; Botelho, C.E.; Fazuolli, L.C. (2008). Origem e classificação botânica do cafeeiro. In:

- Carvalho, C.H.S. de (ed). *Cultivares de café – origem, características e recomendações*. Brasília: Embrapa Café. p. 27-34.
- Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; Alvarez V., V.H.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B., Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C. (1999) Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG*. Viçosa, p. 289-302.
- Graham, R.D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker, P.B.; Lauchli, A. *Advances in Plant Nutrition*. New York, Praeger, p. 57-102.
- Hoagland, D.R.; Arnon, D.I. (1950) The water – culture method for growing plants without soil. Berkely: California Agricultural Experiment Station. The College of Agriculture. University of California, 32p. Circular 347.
- Ivoglo, M.G.; Fazuoli, L.C.; Oliveira, A.C.B. de; Gallo, P.B.; Mistro, J.C.; Silvarolla, M.B.; Toma-Braghini, M. (2008) Divergência genética entre progênies de café robusta. *Bragantia*, Campinas, 67 (4): 823-831.
- Jackson, M.L. (1958) *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 498p.
- Kolchinski, E.M.; Schuch, L.O.B. (2003) Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. *R. Bras. Ci. Solo*, (27):1033-1038.
- Lam, H.M., Coschigano, K.T., Oliveira, I.C. (1996) The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, (47): 569-593.
- Lashermes, P.; Combes, M.C.; Robert, J.; Trouslot, P.; D'hont, A.; Anthny, F.; Charrier, A. (1999) Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. Genome. *Mol. Gen. Genet.* (261): 259-266.
- Ledo, J.F.S. (1998) *Diversidade genética e análise dialélica da eficiência nutricional para nitrogênio em alface (Lactuca sativa L.)*. Tese (doutorado) – Viçosa-MG – Universidade Federal de Viçosa – UFV, 95p.

- Li, B.; McKEAND, S.E.; Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, 379 (2): 613-626.
- Majerowicz, N; Pereira, J.M.S.; Médici, L.O.; Bison, O.; Pereira, M.B.; Júnior, U.M.S. (2002) Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. *Revista Brasil. Bot.* 25(2):129-136.
- Malavolta, E. (1980) *Nutrientes e nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 390p.
- Marchetti, M.E.; Caramori, T.B.A.; Campos, A.M.B. (2001) Resposta de duas espécies de trigo ao nitrogênio e ao fósforo em solução nutritiva. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 25 (4): 925-933.
- Mardia, K.V.; Kent, J.T. Bibby, J.M. (1979) *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 521p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. New York: Academic Press, 889p.
- Martinez, H.E.P.; Silva Filho, J.B. (2006) *Introdução ao cultivo hidropônico de plantas*. 3 ed. Universidade Federal de Viçosa, 111p.
- Martins, A.O.; Campostrini, E.; Magalhães, P.C.; Guimarães, L.J.M.; Durães, F.O.M.; Marriel, I.E.; Netto, A.T. (2008) Nitrogen-use efficiency of maize genotypes in contrasting environments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 8:291-298.
- Matiello, J.B.; Santinato, R., Garcia, A.W.R.; Almeida, S.R.; Fernandes, D.R. (2005) Nutrição de cafeeiros. In: BRASIL. MAPA / Procafé / DECAF. *Cultura do café no Brasil*. 2. Ed. Rio de Janeiro, p.89-150.
- Mendes, A.N.G. (1999) Biotecnologia x métodos convencionais de melhoramento. Disponível em: < <http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal.asp> >. Acesso em 15 de dezembro, de 2008.



- Miranda, J.E. C.; Cruz, C.D.; Costa, C.P. (1988) Predição do comportamento de híbridos de pimentão (*Capsium annuum* L.) pela divergência genética dos progenitores. *R. Bras. Genet.*, 11 (4): 929-937.
- Moll, R.H.; Kamprath, E.J.; Jackson, W.A. (1982) Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, (74): 562-564.
- Moura, W.M.; Casali, V.W.D.; Cruz, C.D. e Lima, P.C. (1999) Divergência genética em linhagens de pimentão em relação à eficiência nutricional de fósforo. *Pesq. agropec. bras.*, 34 (2): 217-224.
- Moura, W.M.; Lima, P.C.; Martinez, H.E.P.; Paixão, G.P.; Sano, P.M.; Condé, A.B.T.; Pertel, J. (2007) Avaliação de cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio. *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F: Embrapa – Café, CD-ROM, 4p.
- Nedel, J.L.; Ullrich, S.E. e Pan, W.L. (1997) Nitrogen use by standard height and semi-dwarf barley isotypes. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:147-153.
- Neves, Y.P.; Martinez, H.E.P.; Souza, R.B.; Amaral, J.F.T. (2005) Eficiência de produção de raízes e eficiência de uso na parte aérea de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn por quatro cultivares de cafeeiro arabica. *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 4, Londrina, PR. Brasília, D.F.: Embrapa – Café, CD-ROM, 5p.
- Oaks, A. (1994) Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. *Canadian Journal of Botany*, 72: 739-750.
- Oliveira, V.R.; Casali, V.W.D.; Pereira, P.R.G.; Cruz, C.D.; Pires, N.M. (1999) Tolerância de genótipos de pimentão ao baixo teor de fósforo no solo. *Bragantia*, 58 (1):125-139.
- Pereira, J.B.D. (1999) *Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (Coffea arabica L.)*. Tese (doutorado) – Viçosa-MG – Universidade Federal de Viçosa - UFV, 99p.

- R Development core team. *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Capturado em 13 mar. de 2008. On line. Disponível: <http://www.r-project.org>.
- Raina, S.N.; Mukai, Y.; Yamamoto, M., (1998) In situ identifies the diploid progenitor species of *Coffea arabica* (Rubiaceae). *Theor Appl Genet.*, 97:1204-1209.
- Ramos, L.C.S., Lima, M.M.A. (1980) Avaliação da superfície relativa do sistema radicular de cafeeiros. *Bragantia*, v.39, n.1, p.1-5.
- Ramos, L.C.S., Lima, M.M.A., Carvalho, A. (1982) Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiros. *Bragantia*, 41(9): 91-99.
- Rena, A.B.; Maestri, M. (1986). 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. p. 13-85.
- Ribeiro Junior, J.I. (2001) *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 301p.
- Rocha, M.C.; Gonçalves, L.S.A.; Correa, F.M.; Rodrigues, R.; Silva, S.L.; Abboud, A.C.S.; Carmo, M.G.F. (2009) Descritores quantitativos na determinação da divergência genética entre acessos de tomate do grupo cereja. *Ciência Rural*, 39(3): 664-670.
- Sakiyama, N.S.; Pereira, A.A.; Moura, W.M., Zambolim, L. (2005). Melhoramento do café arábica. In: Borém, A. (ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. p. 203-223.
- Santos Junior, J.D.G. dos (2001) *Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio*. Tese (mestrado) – Piracicaba-SP – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, 79p.

- Saric, M.R. (1987) Progress since the first international symposium: "Genetic aspects of plant mineral nutrition" and perspectives of future research. *Plant and soil*, Beograd, 99 (1):197-209.
- Sauerbeck, D.R. Helal, H.M. (1990) Factors affecting the nutrient efficiency of plants. In: El Bassan, N. *et al.* Genetic aspects of plant mineral nutrition. *Kluwer Academic Publishers*, p. 11-17.
- Sera, T. (2005) *Novas cultivares de café do IAPAR em preparação para lançamentos nos próximos anos*. Londrina, PR, 2p.
- Siddiqi, M.Y.; Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, Monticello, 4(3): 289 - 302.
- Singh, D. (1981) The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Ind. J. Genet. Plant Breed.*, 41(2): 237-245.
- Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. (1962) The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, 11(1): 30-40.
- Sondahl, M.R. and Lauritis, J.A. (1992) Coffee. In: Hammerschlag, F.A. and Litz, R.E. (eds.). *Biotechnology of perennial fruit crops*. Cambridge, UK. C.A.B. International. p.401-420.
- Swiader, J.M., Chyan, Y., Freiji, F.G. (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nut.*, v.17, n.10, p.1687-1699.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2004) Fotossíntese: as reações luminosas. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 139-172.
- Tischner, R. (2000) Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment*, 23: 1005-1024.
- Tomaz, M.A. (2001) *Crescimento e eficiência nutricional de mudas de Coffea arábica L. em cultivo hidropônico, influenciadas pelo porta-enxerto*. Tese (mestrado) – Viçosa – MG – Universidade Federal de Viçosa – UFV, 71p.

- Tomaz, M.A.; Sakiyama, N.S.; Martinez, H.E.P.; Zambolim, L.; Cruz, C.D.; Pereira, A.A. (2003) Efeito de diferentes porta-enxertos na eficiência nutricional de mudas de café em cultivo hidropônico. *Anais Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil e Workshop Internacional de Café e Saúde*, 3, Porto Seguro, BA. Brasília, DF: Embrapa Café, p. 287-288.
- Tomaz, M.A.; Martinez, H.E.P.; Cruz, C.D.; Ferrari, R.B.; Pereira, A.A.; Sakiyama, N.S. (2005) Eficiência de absorção, translocação e utilização de nitrogênio, fósforo e enxofre por plantas de cafeeiros enxertadas, cultivadas em vaso. *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 4, Londrina, PR. Brasília, DF: Embrapa - Café, CD-ROM, 5p.
- Vaast, P.; Zasoski, R.J.; Bledsoe, C.S. (1998) Effects of solution pH, temperature, nitrate/ammonium ratios and inhibitors on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee in short term solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, Moticello, 21(7):1551-1564.
- Van der vossen, H.A.M. (1985) Coffee selection and breeding. In: Clifford, M.N., WILSON, K.C. (eds.) *Coffee botany biochemistry and production of beans and beverage*. Westport: The A VI, p. 48-96.
- Vencovsky, R. (1987). Herança quantitativa. In: Paterniani, E. (ed.) *Melhoramento e produção de milho*. Piracicaba: Fundação Cargil. p. 137-214.