



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**INTERAÇÃO GENÓTIPO E AMBIENTE NA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE
SENSORIAL DE CAFÉS ESPECIAIS EM
DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO**

LAVRAS – MG

2013

DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**INTERAÇÃO GENÓTIPO E AMBIENTE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
E QUALIDADE SENSORIAL DE CAFÉS ESPECIAIS EM DIFERENTES
FORMAS DE PROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Flávio Meira Borém

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Ribeiro, Diego Egídio.

Interação genótipo e ambiente na composição química e
qualidade sensorial de cafês especiais em diferentes formas de
processamento / Diego Egídio Ribeiro. – Lavras : UFLA, 2013.
62 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.
Orientador: Flávio Meira Borém.
Bibliografia.

1. Altitude. 2. *Coffea arabica* L. 3. Escalonamento
multidimensional. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.736

DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**INTERAÇÃO GENÓTIPO E AMBIENTE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
E QUALIDADE SENSORIAL DE CAFÉS ESPECIAIS EM DIFERENTES
FORMAS DE PROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2013

Prof. Dr. Antônio Chalfun Júnior

UFLA

Pesquisadora Dra. Helena Maria Ramos Alves

Embrapa

Prof. Dr. Marcelo Ângelo Cirillo

UFLA

Pesquisador Dr. Marcelo Ribeiro Malta

Epamig

Prof. Dr. Flávio Meira Borém – UFLA
(Orientador)

LAVRAS – MG

2013

Ao meu avô Gil (in memoriam) que, com toda sua simplicidade e paixão pelo trabalho com a terra, muito contribuiu na escolha da minha formação profissional...

Ao meu pai, Osmair e, em especial, à minha mãe, Maria de Fátima, pelo eterno e precioso vínculo em minha vida... O amor, o incentivo, o carinho e o apoio de vocês são fundamentais para mim...

Aos meus irmãos, Andiará e Bruno, pela amizade, carinho, respeito e união...

Aos meus sobrinhos, pela continuidade e especial existência em nossas vidas...

Aos demais familiares e amigos...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela nossa sublime convivência.

À minha família, especialmente a minha mãe, Maria de Fátima, pelo amor, carinho, confiança e incentivo.

Aos meus irmãos Andiará e Bruno, assim como ao meu tio Petrônio, pela mútua admiração e respeito, amizade, carinho e apoio.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da UFLA, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Flávio M. Borém, pela oportunidade, orientação, incentivo, amizade, dedicação e ensinamentos, que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e o meu desenvolvimento profissional.

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em especial à Dra. Vanny Ferraz, pelas colaborações essenciais nas análises químicas.

Aos professores Dr. Marcelo A. Cirillo e Dr. Antônio Chalfun Júnior, bem como ao pesquisador Dr. Marcelo R. Malta, pela participação na banca examinadora.

À pesquisadora Dra. Helena Maria R. Alves, pelos conhecimentos repassados, que foram de grande valia para a realização deste trabalho e por se dispor a participar como membro na banca examinadora.

À Mariele V. B. Prado, pelas valiosas contribuições nas análises estatísticas e a oportunidade de trabalharmos juntos.

A toda a equipe do projeto coordenado pelo Prof. Dr. Flávio M. Borém, do qual este trabalho compôs algumas das metas, pela preciosa ajuda na condução dos experimentos.

Aos integrantes, ex-integrantes e parceiros do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícola da UFLA (Ivan, Pedro, Gilberto, Juliana, Fabiana, Valquíria, Letycia, Francile, Renan, Samuel, Paula, Diego, Júlia, Isabella, Camila, Caio, Carlos Henrique, Ricardo, Gerson Giomo, Jaques Carneiro, Paulo César, Joel Shuler, José Henrique, Luisa, Daiane, Marcos Paulo, Lucas, Murilo, Eder, Guilherme, Afonso, Valdiney, Randal, Danilo e Janaína), pela contribuição, convivência, aprendizado e amizade conquistada ao longo deste trabalho.

À Associação dos Produtores de Café da Mantiqueira (APROCAM), à Cooperativa Regional dos Cafeicultores do Vale do Rio Verde (COOCARIVE) e à Cooperativa Regional Agropecuária de Santa Rita do Sapucaí (COOPERRITA), pela colaboração essencial nas campanhas de campo.

Ao proprietário da Fazenda Serrado, José Antônio C. Pereira e a seus funcionários, pelo apoio e a estrutura cedida para a condução dos experimentos.

Aos amigos sempre presentes, Lígia, Marcela, Mari, Vitor, Gustavo, Cleber, Edgar, Carlos, Marcelo, Anderson, Leandro e, em especial, a Larissa, pelo carinho, companheirismo e incentivo.

SUMÁRIO

1 RESUMO	i
1 ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Cafés especiais: segmentação significativa do mercado	3
2.2 A interação genótipo × ambiente: impactos na qualidade da bebida	4
2.3 Colheita e qualidade	6
2.4 Pós-colheita e qualidade	8
2.5 Aspectos sensoriais	11
2.6 A química do café: composição e importância para a qualidade sensorial....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização do experimento	19
3.2 Colheita e processamento do café	21
3.3 Armazenamento e beneficiamento das amostras	23
3.4 Teor de água	23
3.5 Análise sensorial	23
3.5.1 Análises químicas	25
3.5.2 Preparo das amostras	26
3.5.3 Extração e análise dos ácidos clorogênicos, cafeína e trigonelina	26
3.5.4 Extração e análise da sacarose	27
3.6 Análises estatísticas	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXOS	55

RESUMO

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, analisar o efeito do genótipo, da altitude, da vertente e das formas de processamento nos teores de trigonelina, cafeína, sacarose, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA, presentes no grão cru, durante três safras consecutivas. Especificamente, buscou-se também verificar a relação entre os teores dos compostos químicos analisados com a qualidade sensorial da bebida de cafês especiais. Foram coletadas amostras de café (*Coffea arabica* L.), ao longo de três safras agrícolas (2009/10, 2010/11 e 2011/12), em lavouras comerciais de propriedades localizadas no município de Carmo de Minas, Minas Gerais, Brasil. O delineamento experimental foi baseado no estudo da interação entre variáveis ambientais, genéticas e de processamento. O ambiente de cultivo do café foi estratificado em três classes de altitude (inferior a 1.000 m, entre 1.000 e 1.200 m e superior a 1.200 m) e dois grupos de vertentes, sol (NE, N, NO e O) e sombra (L, SE, S e SO), resultando na combinação de seis variáveis ambientais. Foram coletados frutos de dois genótipos: Bourbon Amarelo (frutos amarelos) e Acaiá (frutos vermelhos). Para todas as combinações envolvendo ambiente e genótipo, foram coletadas três repetições e processadas nas duas formas distintas (via seca e úmida), totalizando, assim, 72 amostras por safra. Os cafês foram colhidos, processados, secados, armazenados e, posteriormente, analisados química (cafeína, trigonelina, sacarose, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA) e sensorialmente. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com técnicas específicas estabelecidas pela tecnologia de pós-colheita do café, perante rigorosos padrões de controle de qualidade. A nota total da bebida do café variou significativamente para a interação entre genótipo e altitude. As demais interações de segunda, terceira e quarta ordem não apresentaram significância ($P < 0,05$) para todas as variáveis analisadas. Foram encontradas diferenças significativas nos teores médios de trigonelina, 3-CQA e cafeína, em função da altitude, no teor médio de sacarose e na nota total da bebida do café, em função do efeito isolado do processamento e do genótipo. Por meio do escalonamento multidimensional, em conjunto com a técnica de Biplots, verificou-se que a composição química contribuiu de maneira expressiva na formação de agrupamentos em função da nota total da bebida do café, da altitude, do genótipo e do processamento pós-colheita. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a relação da composição química do grão cru com a qualidade sensorial da bebida do café, decorrente da interação entre genótipo e ambiente, foi distinta quanto ao tipo de processamento. O agrupamento formado nos cafês processados por via seca apresentou o efeito conjunto dos compostos trigonelina, 5-CQA e 3-CQA, com a nota total da bebida. Por outro lado, os cafês processados por via úmida apresentaram grupos distintos em função do

efeito conjunto de todos os compostos analisados com a nota total da bebida, exceto o isômero do ácido clorogênico 5-CQA.

Palavras-chave: Altitude. *Coffea arabica* L. Escalonamento multidimensional.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the effect of genotype, altitude, slope exposure and forms of processing on the levels of trigonelline, caffeine, sucrose, 3-CQA, 4-CQA and 5-CQA, present in green coffee beans over three consecutive crop seasons. Specifically, the aim was also to investigate the relation between the levels of the chemical compounds analyzed with the sensory quality of the specialty coffee beverage. Samples of coffee (*Coffea arabica* L.) were collected over three agricultural crop seasons (2009/10, 2010/11 and 2011/12) in commercial fields from properties located in the municipality of Carmo de Minas, Minas Gerais, Brazil. The experiment design was based on the study of the interaction among environmental variables, genetic variables and coffee processing methods. The coffee growing area was stratified into three classes of altitude (less than 1,000 m, from 1,000 to 1,200 m and greater than 1,200 m) and two groups of slope exposure, sun (NE, N, NW and W) and shade (E, SE, S and SW), resulting in the combination of six environmental variables. Fruits from two genotypes were collected: Yellow Bourbon (yellow fruits) and Acaiá (red fruits). For all the combinations involving environment and genotype, three replications were collected and processed in two different methods (dry and wet processing), for a total of 72 samples per crop season. The coffee fruits were collected, processed, dried, stored and later analyzed chemically (caffeine, trigonelline, sucrose, 3-CQA, 4-CQA and 5-CQA) and sensorially. All procedures were performed according to specific techniques established by post-harvest coffee technology under rigorous quality control standards. The total score of the coffee beverage varied significantly for the interaction among genotype and altitude. The other interactions of second, third and fourth order did not show statistical significance ($P < 0.05$) for the variables analyzed. Significant differences were found in the average contents of trigonelline, 3-CQA and caffeine as a function of altitude; and in the average content of sucrose and total score of the coffee beverage as a function of the isolated effect of processing and of genotype. Through multidimensional scaling, together with the Biplots technique, it was found that the chemical composition contributed expressively to the formation of groups as a result of the total score of the coffee beverage, altitude, genotype and post-harvest processing. From the results obtained, it may be concluded that the relation of the chemical composition of the green coffee bean with the sensory quality of the coffee beverage, resulting from the interaction among genotype and environment, varied as a function of the processing. The grouping formed by the coffees processed by the dry method exhibited the joint effect of the trigonelline compounds, 5-CQA and 3-CQA, with the total score of the

beverage. However, the wet processed coffees exhibited distinct groups as a function of the joint effect of all the compounds analyzed with the total score of the beverage, except for the chlorogenic acid isomer 5-CQA.

Key words: Altitude. *Coffea arabica* L. Multidimensional scaling.

1 INTRODUÇÃO

A história recente da cafeicultura brasileira tem demonstrado que o setor produtivo evoluiu rumo à diferenciação de seu produto, ampliando a visão para o mercado de cafés especiais. No entanto, explorar a potencialidade dos cafés de um determinado país, estado ou região, visando atender à crescente demanda por este novo segmento, exige, sobretudo, compreender os fenômenos que cercam a expressão da qualidade.

Trata-se de eventos de grande complexidade, uma vez que a qualidade da bebida, representada pelo sabor e o aroma formados no café torrado, está diretamente associada à composição química do grão cru. Por outro lado, sabe-se que alguns dos compostos químicos presentes no grão cru são influenciados por diversos fatores, desde a escolha da espécie e/ou da variedade para o plantio, até o preparo da bebida. Entre esses fatores, o genótipo, o ambiente, assim como o processamento são considerados fundamentais na obtenção de um produto final com qualidade (AVELINO et al., 2002; 2005; BORÉM, 2008; DECAZY et al., 2003).

Diversos autores analisaram a composição química do café e suas variações qualitativas e quantitativas, decorrentes das espécies e variedades estudadas, dos efeitos isolados do processamento bem como do ambiente de produção (AVELINO et al., 2005; CAMPA et al., 2005; DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; KY et al., 2001; MONTEIRO; FARAH, 2012). Em outros trabalhos, na tentativa de complementar a classificação sensorial, buscou-se relacionar componentes físico-químicos do grão cru com a qualidade do café, destacando, entre eles, os isômeros do ácido clorogênico (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, trigonelina e

sacarose (FARAH et al., 2006; FRANCA; MENDONÇA; OLIVEIRA, 2005; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; SILVA et al., 2005).

No entanto, estudos que exploram a combinação de determinados compostos químicos presentes no grão cru, resultantes das interações entre fatores genéticos, ambientais e tecnológicos envolvidos nos processos de produção, e sua relação com os descritores de qualidade, ainda carecem de análises mais detalhadas. Afinal, quais são os possíveis efeitos envolvendo o genótipo, o ambiente e o processamento na relação de compostos químicos com a qualidade da bebida do café especial?

Uma resposta para esta questão poderia ser: em cafés especiais, o efeito conjunto de determinados compostos químicos presentes no grão cru com a qualidade sensorial da bebida depende diretamente da interação destes fatores.

Entre os numerosos relatos encontrados na literatura, é consensual o efeito isolado do genótipo, de fatores ambientais e do processamento pós-colheita sobre a composição química e qualidade sensorial da bebida do café.

Dessa forma, objetivou-se, com a realização deste trabalho, analisar o efeito do genótipo, da altitude, da vertente e das formas de processamento nos teores de trigonelina, cafeína, sacarose, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA, presentes no grão cru, durante três safras consecutivas. Especificamente, buscou-se também verificar a relação entre os teores dos compostos químicos analisados com a qualidade sensorial da bebida de cafés especiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafés especiais: segmentação significativa do mercado

A história recente do café relata mudanças nos padrões de consumo, indicando novas dinâmicas associadas à diferenciação qualitativa desse produto. Tamanho é este impacto que a demanda pelos grãos especiais cresce em torno de 15% ao ano, contra o crescimento de cerca de 2% do café *commodity*. O segmento representa, hoje, cerca de 12% do mercado internacional da bebida. O valor de venda atual, para alguns cafés diferenciados, tem sobrepreço que varia entre 30% e 40% em relação ao café cultivado de modo convencional. Em alguns casos, pode ultrapassar a barreira dos 100% (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION, BSCA, 2012).

Os números do mercado interno mostram que o café especial está caindo no gosto do brasileiro. Segundo Associação Brasileira de Cafés Especiais – BSCA (2012), em 2008, das 17 milhões de sacas de café consumidas no país, apenas 500 mil eram especiais. Já em 2011, das 20 milhões de sacas consumidas, um milhão era especial.

A definição de café especial começa na origem do café. Amplia-se nas etapas de produção, incluindo a escolha da variedade, até a comercialização. Além disso, a especialidade do café está relacionada com a ausência de qualquer tipo de defeito, bem como o alto padrão de qualidade e elevado potencial de expressão de aroma e sabor após a torra. Por fim, café especial é definido na xícara em que, como bebida, deve apresentar caráter distinto e ser notavelmente bom (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMÉRICA, SCAA, 2012).

É tratado, ainda, como sinônimo de café fino ou de qualidade superior que apresente alguma característica que o diferencie dos outros, como o sabor floral, cítrico ou achocolatado, entre outros, o que contribui para agregar valor ao produto (PAIVA, 2005).

Diante disso, pode-se considerar a qualidade e a complexidade da bebida como principais particularidades do café especial, o qual é tanto mais valorizado quanto mais rara e exótica for a sensação de prazer e a percepção sensorial proporcionada ao consumidor.

2.2 A interação genótipo × ambiente: impactos na qualidade da bebida

Em todo o mundo são comercializados dois tipos principais de café produzidos por duas espécies distintas: canéfora (*Coffea canephora* Pierre) e arábica (*Coffea arabica* L.), sendo esta a espécie mais importante da família Rubiaceae, que inclui cerca de 400 gêneros e 500 espécies. São árvores e arbustos encontrados, principalmente, nas regiões mais baixas da floresta tropical (DE GRAFF, 1986).

É, também, comumente considerada a superioridade na qualidade da bebida do café arábica em relação ao canéfora conduzindo-o, assim, para a valorização significativa do mercado.

Dentre os materiais de *C. arabica* L. mais estudados, a cultivar Bourbon se destaca por apresentar elevado potencial de expressão da qualidade sensorial em regiões de melhor aptidão climática, sendo, por isso, altamente valorizada nos mercados de cafés especiais. No entanto, visando identificar genótipos promissores de cafeeiro ‘Bourbon’ para a produção de cafés de qualidade superior, Ferreira et al. (2012) encontraram diferença no potencial para a

expressão da qualidade sensorial entre os Bourbons, assim como nos materiais utilizados como testemunha. Esses resultados permitem inferir que diferentes genótipos de cafeeiro podem apresentar qualidades distintas, sendo mais ou menos influenciados pelo o ambiente.

Do mesmo modo, acredita-se que a variabilidade genética existente entre as cultivares da espécie *C. arabica* L., em interação com o ambiente, interfere quantitativa e qualitativamente em alguns componentes químicos, físico-químicos e bioquímicos dos grãos de café (MALTA; SANTOS; SILVA, 2002; MALTA; CHAGAS, 2009). Logo, pode-se considerar que as variações na composição química e na qualidade sensorial do café são decorrentes de eventos que envolvem a interação genótipo e ambiente e podem estar interligados, permitindo, dessa forma, estabelecer relações.

Dentre os fatores ambientais considerados mais impactantes na qualidade sensorial do café, altitude e precipitação têm sido os mais estudados (AVELINO et al., 2005; DECAZY et al., 2003; GUYOT et al., 1996).

Segundo Guyot et al. (1996), para as variedades de café arábica Bourbon e Catuaí, a altitude e o sombreamento são fatores que influenciam positivamente a qualidade sensorial da bebida. Sabe-se, ainda, que altitudes elevadas e precipitação anual inferior a 1.500 mm favorecem a produção com qualidade superior (DECAZY et al., 2003).

Solares et al. (2000), estudando a influência das variedades Bourbon, Caturra e Catuaí, cultivadas em três níveis de altitude: abaixo de 1.220 m, entre 1.220 m a 1.460 m e acima de 1.460 m, concluíram ser evidente a influência que o fator altitude exerce sobre a qualidade da bebida do café, independente da variedade cultivada. Os autores observaram que as propriedades organolépticas, como corpo, aroma e suavidade, acentuam-se à medida que a altitude se eleva,

ao passo que, para a variável acidez, essa evidência não é tão perceptível. Entretanto, os resultados encontrados devem ser adotados somente para as variedades estudadas dentro das condições analisadas.

A partir dessas evidências, estudos foram realizados buscando relacionar a qualidade sensorial do café com outras características ambientais. Avelino et al. (2005), analisando o efeito das vertentes em diferentes regiões da Costa Rica, concluíram que cafés cultivados na face exposta ao leste apresentam qualidade superior da bebida. Porém, diante das condições analisadas, não foram estudadas as interações envolvendo genótipo, altitude e vertente.

Barbosa et al. (2012), estudando a qualidade do café e suas interações com fatores ambientais, em Minas Gerais, Brasil, concluíram que quanto maior a altitude, maior foi a pontuação da amostra premiada em concurso realizado neste estado, sendo esta relação mais frequente em latitudes elevadas.

Nota-se que, mesmo diante de pesquisas com resultados expressivos envolvendo a interação genótipo e ambiente na qualidade sensorial do café, existe a necessidade de análises mais detalhadas envolvendo esta interação.

2.3 Colheita e qualidade

A colheita do café pode ser mecanizada, semimecanizada ou manual, sendo, geralmente, realizada de duas formas: derriça completa, em que os frutos são derriçados do cafeeiro sobre o pano colocado no chão ou diretamente sobre o chão, e a colheita seletiva, sendo colhidos somente os frutos maduros (BORÉM, 2008).

A colheita por derriça completa se constitui, basicamente, de frutos em diferentes estádios de maturação, além de outros materiais e impurezas, como folhas, ramos, terra, paus e pedras. Segundo Pezzopane et al. (2003), a explicação encontrada para a desuniformidade na maturação dos frutos pode estar relacionada com as fases reprodutivas do cafeeiro, pois tratam-se de processos de desenvolvimento com duração variável e marcados por alterações morfológicas, anatômicas e bioquímicas. Estas observações são recorrentes em regiões montanhosas, onde é possível notar variações no crescimento e no desenvolvimento de cafeeiros dentre e entre lavouras implantadas nestas condições. Como consequência, a produção e a qualidade desses cafés são diversificadas.

Variáveis macro e microclimáticas, como temperatura do ar, radiação, precipitação pluviométrica, estão entre os fatores que mais afetam o desenvolvimento de cafeeiros, e o grau de influência desses fatores varia com a fenologia (CAMARGO, 2007).

Sabe-se que a floração tem implicações diretas na uniformidade da maturação dos frutos de café (RENA; MAESTRI, 1986), a qual, por sua vez, poderá ter grande influência na qualidade final do produto. Isso porque o cafeeiro, por ter mais de uma floração, caracteriza-se por apresentar, em uma mesma planta, ao longo de toda a colheita, frutos em diferentes estádios de maturação. Assim, colheitas realizadas tardiamente podem apresentar, em sua maioria, frutos secos e passíveis de fermentações indesejáveis. Já nas colheitas antecipadas, os frutos verdes colhidos poderão resultar em defeitos verdes e verde-pretos. Para ambas as situações, ocorrendo a depreciação do aspecto, do tipo e da bebida, a produção de cafés especiais estará comprometida.

Por outro lado, colheitas realizadas de maneira seletiva podem reduzir estes riscos, aumentando, com isso, a possibilidade de produzir com qualidade.

Isso porque são colhidos frutos em estágio “cereja”, considerado o ponto ideal de maturação para a colheita (CORTEZ, 2001).

Na literatura, são encontrados vários trabalhos que descrevem, em escala, as fases fenológicas reprodutivas do cafeeiro. Para Pezzopane et al. (2003), frutos em estágio “cereja” são descritos como maduros fisiologicamente e recebem a numeração 9, em escala variando de 0 a 11. De outro modo, Morais et al. (2008) descreveram detalhadamente o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro designando M₃ para frutos neste estágio que, segundo Cortez (2001) e Fagan et al. (2011), refere-se ao momento em que o fruto se apresenta com todos os seus constituintes no auge de desenvolvimento e com sua composição química repleta e equilibrada, estando, assim, com o máximo de seu potencial para a expressão da qualidade.

Carvalho et al. (1970) também mostraram que a fração de frutos em estágio 9 ou M₃, conforme citado, foi a que apresentou menores frequências de defeito (grãos pretos, verdes e ardidos). Resultados assim reforçam a necessidade de colher frutos neste estágio de maturação, para se obter bebidas com qualidade, oferecendo, inclusive, indicativos importantes para a produção de cafés especiais, tais como colheita seletiva e separação hidráulica de frutos, dentre outros.

2.4 Pós-colheita e qualidade

Após a colheita, o café deverá ser submetido ao processo de separação de impurezas, seja por peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza. Em seguida, deverá ser lavado e separado por diferença de densidade, na qual os frutos mais densos são separados da porção menos densa (BORÉM, 2008).

Conforme Brando (2004), o café colhido deve seguir imediatamente para o processamento, não podendo ser armazenado por períodos superiores a 8 horas, devido os riscos de ocorrerem fermentações indesejáveis e a formação do defeito ardido, podendo, assim, inviabilizar a produção de cafés especiais.

Os principais métodos utilizados para o processamento do café são via seca e via úmida. O processamento por via seca consiste em secar os frutos na sua forma integral, ou seja, com exocarpo (casca), mesocarpo (polpa e mucilagem) e endocarpo (pergaminho), originando o conhecido café em coco ou natural. Já o processamento por via úmida pode ser realizado de diferentes formas: removendo-se a casca e parte da mucilagem mecanicamente, dando origem ao café descascado; removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por fermentação biológica, originando o café despulpado ou removendo-se a casca e a mucilagem mecanicamente, dando origem ao café desmucilado (BORÉM, 2008).

Em ambos os processos, o principal objetivo é secar o café rapidamente, removendo-se a água dos grãos até níveis seguros para o seu adequado beneficiamento e armazenamento, aproximadamente 11% (bu), evitando-se possíveis comprometimentos na qualidade da bebida (BORÉM, 2008).

Segundo Pereira et al. (2003), o tipo de processamento do café é variável entre os produtores, dependendo, principalmente, dos aspectos climáticos, tecnológicos, econômicos e exigências do mercado consumidor.

É comumente aceito que os cafés obtidos a partir das diferentes formas de processamento apresentam características distintas na qualidade (ILLY e VIANI, 1995). De modo geral, os cafés naturais apresentam mais corpo e os cafés despulpados, acidez mais desejável. No entanto, considerando que a qualidade sensorial do café se origina na interação genótipo e ambiente e se

define no processamento, pode-se inferir a ocorrência de eventos anteriores à colheita capazes de, junto com as operações seguintes, como o processamento, conferir atributos distintos para a qualidade sensorial.

Ainda assim, são encontrados, frequentemente, na literatura relatos que descrevem os cafés produzidos pela via seca com qualidade comparativamente inferior aos cafés produzidos por via úmida (PEREIRA; VILELLA; ANDRADE, 2002; VILELLA, 2002; VINCENT, 1987; WILBAUX, 1963). Porém, essa diferença não deve ser atribuída somente à forma de processamento, mas também à ocorrência de fermentações indesejáveis que, frequentemente, estão associadas ao processamento por via seca, bem como à ausência de cuidados no momento da colheita e secagem do café natural (BORÉM, 2008).

De acordo com Leloup et al. (2004), o tipo de processamento altera a composição do café cru, bem como suas características sensoriais. Em estudos recentes conduzidos por Bytof et al. (2005) foi demonstrado que, durante o processamento pós-colheita, diversos processos metabólicos ocorrem no interior dos grãos do café, alterando significativamente a composição química do grão cru.

Algumas análises quantitativas de açúcares de baixo peso molecular presentes em grãos crus de café arábica processados por via seca e por via úmida revelaram correlação estreita entre o tipo de tratamento pós-colheita e os conteúdos de glicose e frutose. Cafés processados por via úmida apresentaram menores quantidades de ambas as hexoses, quando comparados com cafés processados por via seca (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006).

Analisando-se os teores de ácidos clorogênicos, cafeína, trigonelina e sacarose por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em amostras de café arábica processadas por via úmida, Duarte, Pereira e Farah

(2010) encontraram diferença para quase todos os compostos, exceto para a cafeína. Além disso, estes autores ressaltaram a necessidade de estudos mais detalhados das implicações da composição química do grão cru na qualidade da bebida do café.

2.5 Aspectos sensoriais

A qualidade do café é descrita por meio da avaliação de suas características físicas e sensoriais baseadas na classificação por peneira, tipo, pelo aspecto visual e análise da bebida (BRASIL, 2003).

Os atributos sensoriais do café compreendem o aroma, a acidez, o amargor, o corpo, o sabor e a impressão global da bebida. Pela sua intensidade e balanço, avalia-se a qualidade do café (PUERTA-QUINTERO, 1999). Esta avaliação é feita, segundo Mônaco (1958), por meio dos órgãos dos sentidos, especialmente gosto, olfato e tato. Embora possa se apresentar como uma avaliação subjetiva, a análise sensorial é o método mais utilizado para a caracterização da qualidade de bebida do café e, ainda que seja passível de erros, não se encontrou, até o presente momento, outra opção, em vista da complexidade dos fatores que envolvem a manifestação de aromas e sabores.

Segundo Cantergiani et al. (1999), o sabor é o atributo mais importante para a avaliação da qualidade do café e também um dos principais responsáveis pela preferência do consumidor. Portanto, é necessário que o degustador de café tenha sensibilidade olfativa e gustativa, para poder diferenciar nuances especiais formadas na bebida, identificando com precisão a sua qualidade (ILLY, 2002).

No Brasil, o café é classificado, tradicionalmente, pela prova de xícara, seguindo as recomendações da Instrução Normativa nº 08 do MAPA (BRASIL,

2003). Mas, essa é uma análise subjetiva e restrita, podendo, ainda, variar de degustador para degustador. Isso porque os procedimentos para a sua realização são menos criteriosos que outros, principalmente quanto à torra do café, fazendo com que esse tipo de avaliação sensorial seja empregado exclusivamente para o café *commodity*, classificando-o em bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio e rio zona.

Para a avaliação de cafés especiais, têm sido adotados, com maior frequência, métodos de análises sensoriais descritivas, pelos quais os degustadores conferem notas a cada atributo sensorial da bebida. Entre esses métodos destacam-se o da Specialty Coffee Association of América (SCAA) e o da Brazil Specialty Coffee Association (BSCA).

O método SCAA se baseia em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por provadores treinados e qualificados como Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA Certified Cupping Judges), utilizando a escala não estruturada de 0 a 10 para a avaliação dos seguintes atributos: fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual (finalização), doçura, uniformidade, xícara limpa (ausência de defeitos), equilíbrio (harmonia) e avaliação global (HOWELL, 1998). Essa metodologia preconiza a utilização de procedimentos padronizados (protocolo) para a sua realização, incluindo avaliações objetivas para a percepção de uniformidade, doçura e defeitos (ALVES, 2007; LINGLE, 1993).

De acordo com Lingle (2001), a análise sensorial dos cafés especiais é realizada por etapas ou estágios. No estágio olfativo, são avaliados os compostos orgânicos voláteis, sejam eles substâncias que ocorrem naturalmente ou aquelas que são formadas depois do processo de torra. No estágio gustativo avaliam-se as substâncias solúveis em água, principalmente compostos químicos orgânicos ou inorgânicos.

No método da BSCA utiliza-se a metodologia do “Cup of Excellence” (CoE) indicada por Howell (1998), na qual cada provador atribuiu notas de 0 a 8 aos atributos sensoriais corpo, aroma, acidez, doçura, balanço, bebida limpa e sabor característico, de acordo com suas intensidades na amostra.

Portanto, são considerados especiais os cafés que, mediante avaliação sensorial pelo método da SCAA ou BSCA, apresentam nota final igual ou superior a 80 pontos.

2.6 A química do café: composição e importância para a qualidade sensorial

Além dos fatores genéticos, ambientais e daqueles relacionados à condução e ao manejo da lavoura cafeeira, acredita-se que as diferenças na qualidade de bebida dos cafés sejam provenientes de diversas alterações físico-químicas, fisiológicas e bioquímicas, que ocorrem nos grãos durante o processamento pós-colheita.

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos na tentativa de relacionar os componentes físico-químicos do grão e a qualidade do café, com o objetivo de auxiliar a classificação sensorial (FARAH et al., 2006; FRANCA; MENDONÇA; OLIVEIRA, 2005; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; SILVA et al., 2005).

A quantificação de sólidos solúveis é importante na determinação da qualidade da bebida. Maior quantidade de sólidos solúveis é desejável, tanto do ponto de vista do rendimento industrial como pela sua contribuição para assegurar o corpo da bebida (LOPES, 2000). Carvalho Júnior (2002) relata que, para frutos em geral, é atribuída uma relação direta dos sólidos solúveis com

ácidos e açúcares. Porém, os grãos de café têm várias outras substâncias solúveis que podem influenciar esta variável.

Outros constituintes importantes de grãos crus de café são a sacarose e uma série de polissacarídeos, como arabinogalactana, galactomanana e celulose. Os açúcares estão associados com a qualidade, como citam Shankaranarayana et al. (1974), por estarem, juntamente com os aminoácidos e as proteínas, correlacionados com a origem de vários compostos voláteis em cafés torrados.

Segundo Amorim (1972), os açúcares não afetam, de modo geral, a qualidade do café. No entanto, deve-se ressaltar que os açúcares participam de importantes reações químicas que ocorrem durante a torração, como a reação de Maillard e/ou caramelização, que serão responsáveis pela formação da cor, do sabor e do aroma peculiares da bebida do café (OLIVEIRA et al., 2008).

O teor de açúcares totais, redutores e não redutores é influenciado pelo estágio de maturação dos frutos, pelo ataque de microrganismos, pelo local de cultivo e pela presença de defeitos e de injúrias mecânicas (CARVALHO; CHALFOUN; CHAGAS, 1989; PEREIRA, 1997). Pimenta, Costa e Chagas (2000) observaram que ocorreu um aumento gradativo nos teores de açúcares redutores à medida que a maturação dos frutos foi se intensificando, atingindo o valor máximo nos frutos de café em estágio de maturação “cereja”.

Em grãos crus de café, o conteúdo de glicose e frutose é variável, dependendo da forma de processamento (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006). Conforme Bytof et al. (2005), determinados compostos químicos são acumulados, durante o processamento por via seca, em teores mais elevados comparativamente ao processamento por via úmida, evidenciando, claramente, que diferentes reações metabólicas ocorrem nos frutos do café durante a pós-

colheita, sendo sua intensidade e abrangência dependentes do processamento usado.

Segundo a Organização Internacional do Café, OIC (1991), a doçura é uma das características de sabor mais desejáveis nos cafés gourmets e a presença de determinados compostos orgânicos no café cru, como os açúcares, pode servir de padrão na avaliação da qualidade. Porém, são encontrados, na literatura, relatos divergentes a respeito do composto e de sua concentração nos grãos crus que é capaz de influenciar ou não a qualidade de bebida do café.

Com relação ao conteúdo de açúcares presentes no grão cru, a sacarose, o mais encontrado no café arábica, pode apresentar teores variando entre 5,9% e 9,9%, em função do processamento e da origem (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006).

Do ponto de vista químico, a acidez dos grãos de café é ocasionada, predominantemente, por ácidos não voláteis (oxálico, málico, cítrico, tartárico e pirúvico) e ácidos voláteis (acético, propiônico, valérico e butírico), sendo esses ácidos originários de diversas rotas bioquímicas, bem como da fermentação microbiana dos açúcares existentes na polpa e na mucilagem dos frutos (FELDMAN; RYDER; KUNG, 1969).

Compreendendo um grupo heterogêneo de substâncias, os compostos fenólicos, presentes em grandes proporções nos frutos de café, são considerados um dos responsáveis pela adstringência do café e contribuem de maneira significativa para caracterizar a bebida (DART; NURSTEN, 1985). O grão de café tem vários tipos de compostos fenólicos e os mais importantes, devido à quantidade encontrada no grão, são os ácidos clorogênicos (FARAH; DONANGELO, 2006; MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000). Sua classificação baseia-se, com pelo menos três isômeros, em ácidos

cafeoilquínicos (CQA), dicafeoilquínicos ácidos (diCQA) e feruloilquínicos (FQA) (CLIFFORD, 1985).

Segundo Trugo e Macrae (1994), os ácidos clorogênicos (CGAs) são formados, principalmente, pela esterificação do ácido quínico com o ácido cafeico, o felúrico ou o p-cumárico, sendo conhecidos por serem responsáveis pela pigmentação e a formação do aroma, além da adstringência do café (DE MARIA; TRUGO; MOREIRA, 1995; TRUGO; MACRAE, 1984).

O conteúdo total de CGA varia conforme a espécie e a variedade do café analisada (CAMPA et al., 2005; FUJIOKA; SHIBAMOTO, 2008), assim como a técnica de extração e o método de análise (MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000). Utilizando-se a técnica de CLAE, Stegen; Duijn (1980) encontraram valores de ácidos clorogênicos na faixa de 5,5% - 6,5% e 9,0% -10%, para cafés arábica e robusta, respectivamente. Perrone et al. (2008) encontraram teores totais de CGA iguais a 6,3% e a 5,5%, nas cultivares Mundo Novo e Catuaí Vermelho, respectivamente.

Segundo Fujioka e Shibamoto (2008), entre os CGA analisados, o isômero 5-CQA foi o que apresentou maior concentração, variando de 36% a 42% do total de CGA, em amostras comerciais de café. Os autores encontraram relativa ordem decrescente para conteúdo dos isômeros de CGA, sendo: 5-CQA > 4-CQA > 3-CQA > 5-FQA > 4-FQA > 3-FQA > 3,4-diCQA > 4,5-diCQA, 3,5-diCQA.

Existem indícios da ocorrência de maior concentração de polifenóis, como o caso de CGA, em cafés de pior qualidade (CARVALHO; CHALFOUN; CHAGAS, 1989), o que tem sido atribuído ao estágio de maturação dos frutos, especialmente em razão de elevadas porcentagens de frutos verdes (PIMENTA; COSTA; CHAGAS, 2000; PIMENTA, 2001). Em alguns estudos, relacionaram-

se determinados isômeros de CGA com a qualidade sensorial do café. Farah (2004), estudando a distribuição nos grãos, a importância na qualidade da bebida e a biodisponibilidade dos CGAs do café, encontrou os maiores teores de 5-CQA em cafés com qualidade de bebida inferior.

Considerado um composto importante para o sabor do café, a cafeína, um derivado da xantina, apresenta sabor amargo e característico (TRUGO; MACRAE, 1984). Tem sido também alvo de várias investigações, principalmente a respeito de seus efeitos farmacológicos (RIBEIRO-ALVES; TRUGO; DONANGELO, 2003).

As variações do conteúdo de cafeína no grão cru ocorrem muito em função das espécies e das variedades estudadas, sendo possível, também, observar diferenças decorrentes do método analítico utilizado (CAMPA et al., 2005). Ky et al. (2001) relatam a maior presença de cafeína na espécie *C. canephora*, comparativamente a *C. arabica*. Valores médios entre 0,9% e 1,3% foram citados para o café arábica (CLIFFORD, 1985).

Segundo Illy e Viani (1995), a quantidade de cafeína presente no café é responsável por 10% de seu amargor, no entanto, o teor de cafeína não tem efeito direto na qualidade sensorial. Por outro lado, Franca, Mendonça e Oliveira, (2005) e Farah et al. (2006) encontraram maiores teores de cafeína em amostras de café arábica de alta qualidade, quando comparadas com as demais. Portanto, assim como para outros compostos, são encontrados relatos científicos discordantes quanto à influência da cafeína na qualidade sensorial do café.

A trigonelina, um derivado da piridina, é conhecida por contribuir indiretamente na formação de aromas desejáveis, durante a torração do café (FELDMAN; RYDER; KUNG, 1969; MACRAE, 1985). Os teores de trigonelina são variáveis conforme a espécie, apresentando, em geral, maiores

valores em *C. arabica* (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999), a variedade (GUYOT et al., 1996), assim como para determinados fatores ambientais (AVELINO et al., 2005).

Na tentativa de relacionar a qualidade de bebida com o teor de trigonelina, Farah et al. (2006), trabalhando com amostras de cafés de diferentes qualidades, observaram que a redução da qualidade está associada à redução dos níveis de trigonelina.

Em busca da identificação dos compostos totais ou individuais e a compreensão de sua relação com a qualidade sensorial, várias técnicas têm sido utilizadas, de maneira isolada ou conjunta, tais como espectroscopia nas regiões do infravermelho, cromatografia gasosa, cromatografia gasosa de alta resolução acoplada à espectrometria de massa e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Segundo Chirinos et al. (2008), a CLAE apresenta a vantagem de ser um método versátil e preciso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

O presente estudo compôs algumas das metas propostas no projeto intitulado: Protocolo de identidade, qualidade e rastreabilidade para embasamento da indicação geográfica dos cafês da Mantiqueira. Especificamente, este projeto buscou obter a indicação geográfica, na modalidade denominação de origem, dos cafês da microrregião da serra da Mantiqueira. Para tanto, considerando a grande extensão de abrangência do projeto e a complexidade da paisagem da serra da Mantiqueira, no estado de Minas Gerais, selecionou-se uma área piloto para estudos detalhados, incluindo a coleta de amostras.

O município de Carmo de Minas (-22°6', 45°8') representa satisfatoriamente o ambiente característico da região da serra da Mantiqueira, quanto à pluviosidade, à temperatura, à altitude, à declividade e à área de produção de café, tendo, por essa razão, sido selecionado como área de estudo.

Para o presente estudo, foram coletadas amostras de café (*Coffea arabica* L.), ao longo de três safras agrícolas (2009/10, 2010/11 e 2011/12), em lavouras comerciais de propriedades localizadas no município de Carmo de Minas, Minas Gerais, Brasil (Figura 1).

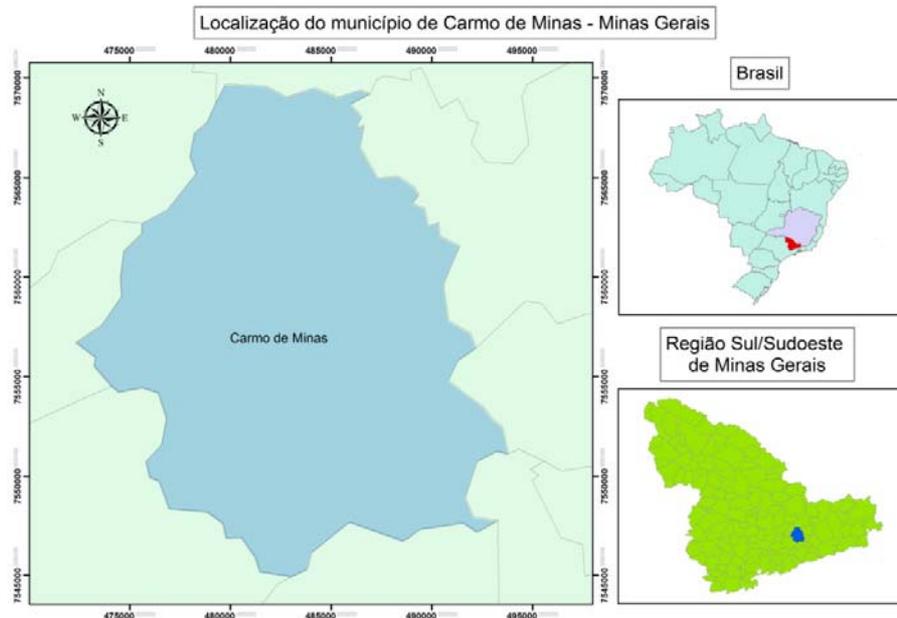


Figura 1 Localização do município de Carmo de Minas, na região sul/sudoeste do estado de Minas Gerais e no Brasil.

O delineamento experimental (Tabela 1) foi baseado no estudo da interação entre variáveis ambientais, genéticas e de processamento. O ambiente de cultivo do café foi estratificado em três classes de altitude (inferior a 1.000 m, entre 1.000 e 1.200 m e superior a 1.200 m) e dois grupos de vertentes, sol (NE, N, NO e O) e sombra (L, SE, S e SO), resultando na combinação de seis variáveis ambientais. Para cada um dos ambientes foram coletados frutos representativos de dois genótipos: Bourbon Amarelo (frutos amarelos) e Acaiá (frutos vermelhos). Para todas as combinações envolvendo ambiente e genótipo, foram coletadas três repetições e processadas nas duas formas distintas (via seca e úmida), totalizando, assim, 72 amostras por safra.

Tabela 1 Delineamento experimental (24 tratamentos com três repetições de campo).

Ambiente		Genótipo	Processamento
Altitude (m)	Vertente		
<1000	Sol	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida
	Sombra	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida
1000-1200	Sol	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida
	Sombra	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida
>1200	Sol	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida
	Sombra	Bourbon Amarelo	Via seca Via úmida
		Acaiá	Via seca Via úmida

3.2 Colheita e processamento do café

A colheita foi realizada manual e seletivamente, coletando-se somente os frutos maduros. Em seguida, os frutos foram separados por diferença de densidade, aproveitando-se somente aqueles mais densos. Após a separação hidráulica, uma nova seleção manual foi realizada para garantir que as amostras fossem constituídas somente por frutos maduros. Cerca de 14 L de frutos

selecionados foram dispostos em telas para secagem ao sol, obtendo-se, assim, as amostras de café natural (via seca). Para a obtenção do café via úmida, optou-se pelo processo “cereja” desmucilado, removendo-se mecanicamente a mucilagem remanescente após a operação de descascamento dos frutos. Aproximadamente 20 L de frutos maduros, previamente selecionados, foram descascados e desmucilados. Em seguida, em torno de 7 L de café desmucilado foram dispostos em telas para secagem ao sol. A secagem iniciou-se imediatamente após o processamento.

As amostras foram secadas em telas de 1 m², com moldura de madeira e malha de 2,00 x 1,00 mm, fabricadas em fios de polietileno, dispostas sobre terreiro suspenso e distribuídas uniformemente, respeitando-se os limites de 14 L. m⁻², para o café natural e 7 L. m⁻², para o café desmucilado. Todas as amostras foram revolvidas vinte vezes por dia. Na primeira noite, após sua distribuição nas telas, o café permaneceu descoberto. Já nas noites seguintes, as amostras foram cobertas com pano de ráfia. A secagem ocorreu em camadas finas, até que o café atingisse a meia-seca. Em seguida, foi aumentada, progressivamente, a espessura da camada das amostras de café, até que o mesmo atingisse o teor de água de 11% (bu). Eventualmente, nos períodos em que as condições climáticas não permitiram a secagem ao sol, as amostras foram transferidas para secadores em camadas fixas, com ar aquecido entre 35 °C e 40 °C, garantindo, assim, a continuidade segura do processo de secagem. Nesse caso, toda a secagem foi realizada no Setor de Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), revolvendo-se as amostras a cada 30 minutos. Todos os procedimentos de colheita, processamento e secagem foram realizados segundo Borém (2008).

3.3 Armazenamento e beneficiamento das amostras

Após a secagem, as amostras foram embaladas em sacos de papel e revestidas com sacos plásticos, identificadas e armazenadas no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (UFLA), em câmara com temperatura controlada, a 10 °C e umidade relativa de 60%, por um período de 30 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas separando-se os grãos quanto à forma e o tamanho. Foram utilizados somente os grãos chatos das peneiras 16 a 18/64 de polegada, eliminando-se os grãos chatos retidos na peneira 19/64 de polegada e os grãos moca retidos na peneira com crivo oblongo de 11 x ¾ de polegada. Posteriormente, todos os defeitos foram retirados, visando à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas ao material genético, ao processamento ou ao ambiente de cultivo.

3.4 Teor de água

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado pelo método de estufa, a 105±1 °C, por 16±0,5 horas, conforme o padrão internacional da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem em base úmida (% bu).

3.5 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada por provadores treinados e qualificados como juízes certificados de cafés especiais, utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (LINGLE, 2001). Nessa

avaliação foram atribuídas notas, no intervalo de 0 a 10 pontos, para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global.

A torra do café foi leve a moderadamente leve, de acordo com o protocolo de análise sensorial da SCAA, cuja coloração deve corresponder a 58 pontos da escala Agtron para o grão inteiro e 63 pontos para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra, sendo a torração realizada dentro do prazo máximo de 24 horas antes da degustação e o ponto de torra determinado visualmente, utilizando-se um sistema de classificação de cor por meio de discos padronizados (SCAA/Agtron Roast Color Classification System). Durante a torração, fatores que afetam o ponto de torra, como temperatura e tempo de torra, foram monitorados por termômetros e cronômetros, respectivamente, respeitando-se a faixa de tempo entre 8 minutos e 12 minutos. Após a torração, as amostras foram novamente selecionadas, eliminando-se todos os grãos com coloração amarelada que destoaram da coloração padrão da amostra.

Em cada avaliação, foram degustadas cinco xícaras de café representativas das interações entre genótipo e ambiente, realizando-se, assim, uma sessão de análise sensorial para cada amostra. Contudo, cada processamento foi avaliado separadamente e os resultados da avaliação sensorial foram estabelecidos a partir de uma escala que representa os níveis de qualidade, com intervalos de 0,25 pontos (Tabela 2).

Tabela 2 Classes de qualidade e valores mínimos, intermediários e máximos atribuídos a cada atributo.

Bom	Muito bom	Excelente	Excepcional
6,00	7,00	8,00	9,00
6,25	7,25	8,25	9,25
6,50	7,50	8,50	9,50
6,75	7,75	8,75	9,75

A faixa inferior da escala, não apresentada e que se situa entre 2 e 6, é aplicável aos cafés comerciais cujo foco de avaliação são os defeitos da bebida e suas intensidades. Os resultados finais da avaliação sensorial foram expressos de acordo com a escala de classificação da SCAA, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 Escala de classificação para análise sensorial de cafés especiais, conforme protocolo SCAA.

Pontuação total	Descrição especial	Classificação
95-100	Exemplar	Especialidade <i>super premium</i>
90-94	Excepcional	Especialidade <i>premium</i>
85-89	Excelente	Especialidade
80-84	Muito bom	Especial
75-79	Bom	Qualidade boa normal
70-74	Fraco	Qualidade média
60-70		Nota <i>exchange</i>
50-60		Comercial
40-50		Nota baixa
<40		Sem nota

3.6 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas no grão cru de café, sendo determinados, simultaneamente, os teores de cafeína, trigonelina e, para os ácidos clorogênicos (CGA), os isômeros dos ácidos cafeoilquínicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), segundo metodologia adaptada de Farah et al. (2005). Para a

sacarose, a determinação foi realizada em outra análise, conforme metodologia adaptada de Trugo, Farah e Cabral (1995).

3.6.1 Preparo das amostras

Para a realização das análises químicas, os grãos crus foram moídos em moinho analítico Ika, Modelo A11 Basic, na presença de, aproximadamente, 10 mL de nitrogênio líquido, visando, assim, facilitar o processo de moagem. Todo o procedimento de moagem e pesagem das amostras foi executado no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Posteriormente, no Laboratório de Cromatografia, no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais, para a extração de óleos e de outras substâncias apolares, foi adicionado 1,0 mL de hexano em, aproximadamente, 100 mg de amostras de café cru moídas e pesadas em um tubo de microcentrífuga de 2 mL. Em seguida, os tubos foram colocados em um banho ultrassônico, por 10 minutos e centrifugados, a 6.000 rpm, por 5 minutos.

3.6.2 Extração e análise dos ácidos clorogênicos, cafeína e trigonelina

Para a extração dos compostos, 100 mg das amostras de café cru moído e desengordurado, contidas em tubos de microcentrífuga de 2 mL, foram suspensas em 1,0 mL de metanol de grau CLAE a 60%, preparado em água ultrapura 18,2 MΩ. Os tubos foram colocados em um banho ultrassônico, por 15 minutos. Após centrifugação por 3 minutos, a 6.000 rpm, em novos tubos de microcentrífuga de 2 mL, a solução sobrenadante foi diluída a 1:10, com água ultrapura. Após filtração em membrana de 0,20 μm, 20 μl das amostras foram

injetados no cromatógrafo a líquido, no Laboratório de Cromatografia, no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais.

As concentrações de cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA) foram determinadas simultaneamente, utilizando-se CLAE. O sistema consistiu de duas bombas LC-20AT e detector UV-Vis SPD-20A (Shimadzu, Kyoto, Japão). As amostras e as soluções padrões foram analisadas em uma coluna Nucleodur 100-5C18, 250 mm x 3,0 mm, 5 µl (Macharey-Nagel). As análises foram feitas por eluição isocrática de metanol para CLAE/10 mM de ácido cítrico pH 2,5 (25:75), em temperatura ambiente e fluxo de 0,7 mL.min⁻¹. O software Labsolutions (Shimadzu) foi utilizado para o processamento dos dados.

Os resultados foram definidos pela relação entre as áreas dos picos de cafeína, trigonelina e 5-CQA com a dos respectivos padrões de concentrações conhecidas. A quantificação dos demais isômeros 3-CQA e 4-CQA foi realizada utilizando-se a área de 5-CQA padrão, combinada com coeficientes de extinção molar, conforme metodologia adaptada de Farah et al. (2005). Os teores finais de cafeína, trigonelina, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA foram dados em porcentagem de matéria seca (% ms).

3.6.3 Extração e análise da sacarose

Para a extração de açúcares, 100 mg das amostras de café cru moído e desengordurado, contidas em tubos de microcentrífuga de 2 mL, foram suspensas em 1,0 mL de água ultrapura 18,2 MΩ (tampão fosfato pH 7,0). Os tubos foram colocados em um banho ultrassônico aquecido a 60 °C, por 15 minutos. Uma alíquota de 500 µl do extrato foi transferida para outro tubo de

microcentrífuga de 1,5 ml e, logo após disso, foram centrifugados, a 5.500 rpm, por 5 minutos. O sobrenadante foi diretamente injetado no cromatógrafo a líquido do Laboratório de Cromatografia no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. Para a curva de calibração, uma solução estoque contendo 60,0 mg de sacarose (Sigma $\geq 99\%$) foi preparada em 5 mL de água. As soluções padrões diluídas (10% a 100% da solução estoque) foram utilizadas para a construção da curva de calibração.

A concentração de sacarose foi determinada utilizando-se CLAE. O cromatógrafo a líquido utilizado consistiu de uma bomba ProStar (Varian), detector por índice de refração RID-410 (Waters), válvula de injeção Rheodyne e sistema de aquisição de dados PC/Chrom (S&A Scientific). As amostras e as soluções padrões foram analisados em coluna Dextropak 100 mm x 8 mm (Waters), inserida em um sistema de compressão radial RCM-100 (Waters), tendo filtro de linha (0,22 μm) e pré-coluna C18 (50 x 4,6 mm) em série. A fase móvel utilizada foi água Milli-Q em temperatura ambiente e fluxo de 1,0 mL.min⁻¹. O volume de injeção foi de 20 μL .

O resultado foi definido pela relação entre a área do pico de sacarose da amostra com a do respectivo padrão de concentração conhecida. O teor final de sacarose foi dado em porcentagem de matéria seca (% ms).

3.7 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012) sendo considerados os valores médios das safras a partir das análises química e sensorial.

Após a verificação das premissas da normalidade e da homocedasticidade, os resultados dos teores de trigonelina, cafeína, sacarose, ácidos clorogênicos e das pontuações finais (nota) obtidas na análise sensorial foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, para as diferenças significativas detectadas no teste F, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de significância.

Para o estudo do efeito conjunto de genótipo, ambiente e processamento na composição química do grão cru e na qualidade sensorial da bebida do café, foi aplicado o escalonamento multidimensional (MDS) associado à técnica de Biplots, com o objetivo de tornar os dados mais acessíveis à inspeção visual e à exploração menos limitada. Este tipo análise permite, ainda, rearranjar a distribuição das variáveis, de modo a detectar as menores dimensões significativas para explicar as suas similaridades ou dissimilaridades (TORGENSON, 1952). No entanto, optou-se por manter todas as variáveis com o propósito de analisar a relação dos compostos trigonelina, cafeína, sacarose, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA, presentes no grão cru, com a qualidade sensorial da bebida do café por meio da variável nota.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, em função da interação altitude, processamento, genótipo e vertente, encontram-se na Tabela 5. Os valores médios encontrados para trigonelina variaram de 0,81 a 1,18; para 3-CQA, de 0,47 a 0,64; para 4-CQA, de 0,69 a 0,84; para 5-CQA, de 5,67 a 6,87; para cafeína, de 1,06 a 1,42 e para sacarose, de 5,31 a 8,95, estando todos de acordo com os descritos na literatura (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; KY et al., 2001; MONTEIRO; FARAH, 2012). No entanto, verifica-se que não foi encontrada significância ($P < 0,05$) para a interação de quarta ordem.

Por outro lado, os valores médios da nota total da bebida do café variaram significativamente para a interação genótipo \times altitude (Tabelas 6 e 7). Já as demais interações de segunda e terceira ordem não apresentaram diferenças significativas (Anexo 1A – 9A).

Analisando-se os dados da Tabela 6, verifica-se que a nota média total da bebida do genótipo Bourbon Amarelo é superior à do Acaiá, nas faixas de altitude acima de 1.000 m. Os genótipos estudados apresentaram a mesma qualidade sensorial da bebida quando cultivados em altitudes abaixo de 1.000 m. Já para o desdobramento da variável altitude dentro de genótipo, nota-se que a qualidade sensorial do Acaiá não diferiu significativamente nas três faixas de altitude estudadas. Porém, para o genótipo Bourbon Amarelo, nota-se maior expressão da qualidade, quando cultivado acima de 1.200 m, com nota total média igual a 89,93 (Tabela 7).

Tabela 5 Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida, resultantes da interação entre altitude (m), processamento, genótipo e vertente.

Altitude × Processamento × Genótipo × Vertente				Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Via úmida	Acaiá	Sol	1,00	0,64	0,74	6,13	1,37	6,64	84,75
			Sombra	1,05	0,61	0,81	6,10	1,31	5,88	83,15
		Bourbon	Sol	1,05	0,58	0,73	6,26	1,42	7,30	90,52
			Sombra	1,18	0,63	0,72	6,17	1,35	6,62	88,82
		Acaiá	Sol	1,04	0,61	0,73	6,03	1,34	7,45	84,81
			Sombra	0,95	0,64	0,72	5,96	1,34	6,81	86,11
	Via seca	Bourbon	Sol	1,02	0,60	0,77	6,08	1,30	7,71	90,13
			Sombra	1,02	0,62	0,73	6,22	1,23	8,95	90,25
		Acaiá	Sol	1,00	0,63	0,74	6,14	1,17	5,31	82,11
			Sombra	0,91	0,52	0,84	6,56	1,32	5,76	82,95
		Bourbon	Sol	0,96	0,57	0,76	5,91	1,30	6,64	84,81
			Sombra	1,00	0,54	0,78	6,48	1,32	7,33	85,96
1000-1200	Via úmida	Acaiá	Sol	0,90	0,61	0,69	6,30	1,22	6,96	84,14
			Sombra	0,97	0,53	0,76	5,84	1,35	7,41	83,71
		Bourbon	Sol	1,01	0,47	0,71	5,81	1,28	6,80	86,25
			Sombra	0,98	0,56	0,74	5,93	1,28	7,88	86,08
		Acaiá	Sol	0,91	0,51	0,70	6,16	1,31	5,68	82,00
			Sombra	0,86	0,53	0,74	5,96	1,20	6,15	82,68
	Via seca	Bourbon	Sol	0,81	0,49	0,77	5,72	1,25	6,46	83,14
			Sombra	0,98	0,58	0,74	6,87	1,18	7,29	84,42
		Acaiá	Sol	0,93	0,50	0,69	5,82	1,26	7,03	83,56
			Sombra	0,95	0,47	0,73	5,67	1,30	7,44	82,72
		Bourbon	Sol	0,85	0,49	0,74	5,70	1,06	7,36	83,79
			Sombra	0,99	0,51	0,72	5,80	1,28	7,18	85,35
<i>P valor*</i>				0,55	0,54	0,96	0,60	0,82	0,47	0,78

Tabela 6 Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, resultantes do desdobramento da variável genótipo dentro de altitude (m).

Altitude × Genótipo		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Acaiá	1,01	0,63	0,75	6,05	1,34	6,70	84,70 a
	Bourbon Amarelo	1,07	0,61	0,73	6,18	1,33	7,64	89,93 b
1000-1200	Acaiá	0,94	0,57	0,76	6,21	1,26	6,36	83,23 a
	Bourbon Amarelo	0,99	0,54	0,75	6,03	1,29	7,16	85,77 b
< 1000	Acaiá	0,91	0,50	0,72	5,90	1,27	6,57	82,74 a
	Bourbon Amarelo	0,91	0,52	0,74	6,02	1,19	7,07	84,17 a
<i>P valor*</i>		0,39	0,40	0,60	0,70	0,36	0,71	0,00

* Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (5% de significância).

Tabela 7 Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, resultantes do desdobramento da variável altitude (m) dentro de genótipo.

Genótipo × Altitude		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Acaiá	>1200	1,01	0,63	0,75	6,05	1,34	6,70	84,70 a
	1000-1200	0,94	0,57	0,76	6,21	1,26	6,36	83,23 a
	< 1000	0,91	0,50	0,72	5,90	1,27	6,57	82,74 a
Bourbon	>1200	1,07	0,61	0,73	6,18	1,33	7,64	89,93 b
	1000-1200	0,99	0,54	0,75	6,03	1,29	7,16	85,77 a
Amarelo	< 1000	0,91	0,52	0,74	6,02	1,19	7,07	84,17 a
<i>P valor*</i>		0,39	0,40	0,60	0,70	0,36	0,71	0,00

* Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (5% de significância).

Além do efeito significativo da interação genótipo × altitude na qualidade da bebida, também foram encontradas diferenças significativas nos teores médios de trigonelina, 3-CQA e cafeína, em função da altitude e nos valores médios dos teores de sacarose e nota total da bebida do café, em função do efeito isolado do processamento e do genótipo. Convém ressaltar que não foram encontradas diferenças significativas para o efeito isolado da vertente, para todas as variáveis analisadas (Tabela 8).

Os maiores teores médios de trigonelina (1,04% ms) foram encontrados nas altitudes acima de 1.200 m. Para os ácidos clorogênicos estudados neste trabalho (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), o único isômero que apresentou diferença significativa foi o 3-CQA, para o qual o maior teor médio foi encontrado em cafés produzidos acima de 1.200 m (0,62% ms). Entretanto, para cafeína, somente os teores médios das amostras coletadas acima de 1.200 m (1,33% ms) e abaixo de 1,000 m (1,23% ms) diferiram significativamente entre si (Tabela 8).

Fatores ambientais, como temperaturas mais baixas recorrentes em maiores altitudes, associados a eventos fisiológicos, como períodos mais longos de enchimento dos grãos, são relatados na literatura e fornecem indícios para explicar as diferenças encontradas para as variáveis químicas (FAGAN et al., 2011; GEROMEL et al., 2008; VAAST et al., 2006). O efeito da temperatura é notado, principalmente, entre as fases de granação e maturação dos frutos do cafeeiro e, segundo Laviola et al. (2007), o prolongamento dessas fases, causado por temperaturas mais amenas, está diretamente relacionado com o maior acúmulo relativo de matéria seca em grãos de café.

No entanto, ainda que variações na qualidade do café já tenham sido descritas em função do genótipo e da altitude (AVELINO et al., 2002; 2005; DECAZY et al., 2003), sua correlação com o efeito conjunto de variáveis químicas carece de maiores estudos.

Tabela 8 Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, resultantes da altitude (m), processamento, genótipo e vertente.

		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Altitude	>1200	1,04 a	0,62 a	0,74	6,12	1,33 a	7,17	87,32 a
	1000 -1200	0,97 b	0,56 b	0,75	6,12	1,28 ab	6,76	84,50 b
	< 1000	0,91 b	0,51 b	0,73	5,96	1,23 b	6,82	83,46 b
<i>P valor*</i>		0,00	0,00	0,53	0,68	0,01	0,28	0,00
Processamento	Via úmida	0,98	0,57	0,76	6,20	1,29	6,42 b	84,61 b
	Via seca	0,97	0,55	0,73	5,93	1,27	7,41 a	85,57 a
<i>P valor*</i>		0,83	0,23	0,07	0,10	0,52	0,00	0,02
Genótipo	Acaia	0,96	0,57	0,74	6,06	1,29	6,54 b	83,56 b
	Bourbon Amarelo	0,99	0,56	0,74	6,08	1,27	7,29 a	86,63 a
<i>P valor*</i>		0,22	0,43	0,95	0,89	0,58	0,00	0,00
Vertente	Sol	0,96	0,56	0,73	6,00	1,27	6,78	84,84
	Sombra	0,99	0,56	0,75	6,13	1,29	7,06	85,34
<i>P valor*</i>		0,20	0,75	0,21	0,45	0,66	0,22	0,67

* Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey (5% de significância).

Os maiores valores médios dos teores de sacarose (7,41% ms) foram encontrados nos cafés processados por via seca, independente do genótipo, da altitude ou da vertente estudada (Tabela 8). Dentre os fatores tecnológicos envolvidos no processo de produção do café, considera-se que o tipo de processamento altera significativamente o conteúdo de açúcares nos grãos crus (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006).

Bytof et al. (2005) sugerem que, durante o processamento pós-colheita, diversos processos metabólicos ocorrem no interior dos grãos do café, alterando significativamente a composição química do grão cru. Dessa forma, a diferença encontrada no presente estudo reforça tais relatos e, possivelmente, demonstra o efeito isolado do processamento do café, alterando de maneira significativa o teor de sacarose.

A qualidade também apresentou diferença significativa em função do processamento do café (Tabela 8). Os maiores valores médios da nota total da bebida do café foram encontrados no processamento por via seca (85,57).

Na literatura são encontrados relatos que descrevem os cafés produzidos por via seca com qualidade comparativamente inferior à dos cafés produzidos por via úmida (PEREIRA; VILELLA; ANDRADE, 2002; VILELLA, 2002; VINCENT, 1987; WILBAUX, 1963). No entanto, as variações na qualidade do café têm sido discutidas, principalmente, em função da presença ou da ausência de defeitos na bebida. Nesse caso, a ausência de cuidados na colheita e na secagem resulta, com maior probabilidade, em cafés naturais com fermentações indesejáveis e qualidade inferior (Borém, 2008).

No presente trabalho, a qualidade do café foi avaliada a partir dos atributos sensoriais positivos, sem a presença de qualquer defeito na bebida. Nessas condições, os resultados encontrados neste estudo contradizem o que

tradicionalmente é descrito na literatura, uma vez que a nota média total da bebida dos cafés naturais foi superior à dos cafés desmucilados. No entanto, por se tratar de cafés com perfis sensoriais distintos, optou-se por estudar o efeito conjunto dos compostos químicos com a qualidade da bebida para cada tipo de processamento.

Para o fator genótipo (Tabela 8), os maiores teores médios de sacarose foram encontrados no Bourbon Amarelo (7,29% ms). Os principais relatos encontrados na literatura que descrevem o efeito isolado do genótipo na composição química do café referem-se, principalmente, a diferentes espécies do gênero *Coffea* (CAMPA et al., 2004; 2005; KY et al., 2001). Variações no teor de sacarose entre variedades distintas de café arábica podem estar relacionadas com diferenças na expressão gênica, tanto na síntese como na degradação deste composto. Análises moleculares são necessárias para melhor entendimento das variações no teor de sacarose encontradas para os genótipos neste estudo.

Os resultados obtidos a partir da análise univariada limitam a compreensão global de estudos nos quais se busca entender fenômenos com interações conjuntas de fatores genéticos, ambientais e de processamento pós-colheita na composição química e na expressão da qualidade sensorial da bebida do café.

Por meio dos Biplots (Figuras 2 a 4), verificou-se que a composição química contribuiu de maneira expressiva na formação de agrupamentos, em função da nota total da bebida do café, da altitude, do genótipo e do processamento pós-colheita. O Biplot construído representou cada objeto (genótipo, altitude, vertente e processamento) por um ponto e cada variável dependente (química e sensorial) por um vetor com escalas representativas dos valores médios (Figura 2).

O Biplot com MDS dos genótipos, das classes de altitude, dos grupos de vertentes e dos tipos de processamento para as variáveis trigonelina, 3-CQA, 4-CQA, 5-CQA, cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, encontra-se na Figura 2. Verifica-se a formação de três grupos distintos, sendo eles: grupo I (GI), formado pelo genótipo Bourbon Amarelo cultivado em altitudes acima de 1.200 m; grupo III (GIII), formado pelo genótipo Acaiá processado por via úmida e o grupo II (GII), composto por objetos que representam a interação de todas as variáveis independentes estudadas, exceto quando a interação inclui a combinação Bourbon Amarelo acima de 1.200 m e Acaiá processado por via úmida. Esse grupo representa uma zona de confundimento, visto que ocorrem objetos próximos à origem com notas em torno de 85 pontos, objetos à direita da origem e à esquerda da origem, com qualidade sensorial bastante distinta entre si.

A variável nota, em conjunto com a média das demais variáveis dependentes, contribuiu para esta distinção. Analisando-se o ajuste das variáveis químicas, verifica-se que os maiores teores de sacarose e trigonelina contribuíram de maneira expressiva para a formação do GI. Por outro lado, os menores teores de trigonelina e de sacarose e maiores de 4-CQA foram os principais contribuintes para a formação do GIII. As demais variáveis, 3-CQA, 5-CQA e cafeína, apresentaram alta similaridade entre si, com pouca colaboração na formação desses dois grupos.

O genótipo Bourbon Amarelo cultivado acima de 1.200 m de altitude, independente da vertente ou tipo de processamento aplicado (GI), apresentou tendência a teores mais elevados de sacarose e trigonelina e o maior potencial para a expressão da qualidade sensorial da bebida do café, com nota total aproximadamente igual a 90 pontos (Figura 2).

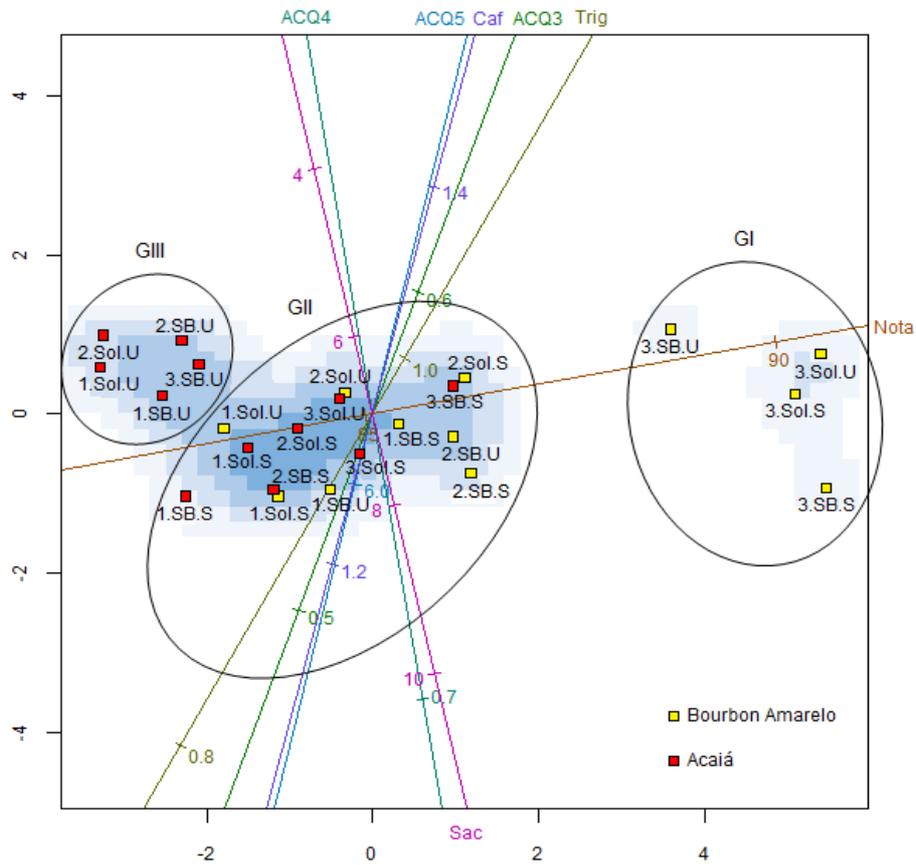


Figura 2 Biplot com escalonamento multidimensional dos genótipos Acaia e Bourbon Amarelo, cultivados nas altitudes (1. <1.000 m, 2. 1.000-1.200 m e 3. >1.200 m), em combinação com as vertentes sol (Sol) e sombra (SB) e processados pelas vias seca (S) e úmida (U), para as variáveis trigonelina (Trig), 3-CQA (ACQ3), 4-CQA (ACQ4), 5-CQA (ACQ5), cafeína (Caf), sacarose (Sac) e nota total da bebida do café (Nota), sendo GI (Grupo I), GII (Grupo II) e GIII (Grupo III).

Ainda na Figura 2, observa-se que o genótipo Acaia processado por via úmida (GIII), exceto quando cultivado acima de 1.200 m de altitude na vertente

sol, apresentou tendência a menores teores de sacarose e de trigonelina, maiores de 4-CQA e qualidade sensorial da bebida com notas inferiores a 85 pontos.

O efeito conjunto das variáveis caracterizadas pelos compostos químicos e qualidade sensorial da bebida do café foi encontrado para as interações genótipo \times altitude (GI) e genótipo \times processamento (GIII). A partir dessa compreensão, aplicou-se o MDS para as vias úmida e seca, com o propósito de analisar as interações entre fatores ambientais e genéticos na composição química e na qualidade sensorial, considerando, assim, as características dos cafês obtidos a partir de diferentes processos. Dessa forma, os Biplots construídos apresentaram objetos caracterizados pela combinação de genótipo, altitude e vertente, além dos vetores com escalas representativas dos valores médios encontrados para as variáveis química e sensorial (Figuras 3 e 4).

A Figura 3 refere-se ao Biplot com MDS dos genótipos, das classes de altitude, dos grupos de vertentes e do processamento por via úmida, para as variáveis trigonelina, 3-CQA, 4-CQA, 5-CQA, cafeína, sacarose e nota total da bebida do café.

As maiores notas, os maiores teores de cafeína, trigonelina e 3-CQA e os menores de 4-CQA contribuíram de maneira expressiva para a formação do GI. Já as menores notas, junto com os menores teores de sacarose e maiores de 4-CQA, também apresentaram tal relevância para a formação do GIII. A variável 5-CQA contribuiu pouco para a formação do agrupamento.

O genótipo Bourbon Amarelo cultivado acima de 1.200 m e processado por via úmida (GI) apresentou tendência a maiores teores de cafeína, trigonelina e 3-CQA, e menores de 4-CQA. Exibiu nota média total em torno de 90 pontos, demonstrando, assim, grande potencial para a expressão da qualidade sensorial da bebida.

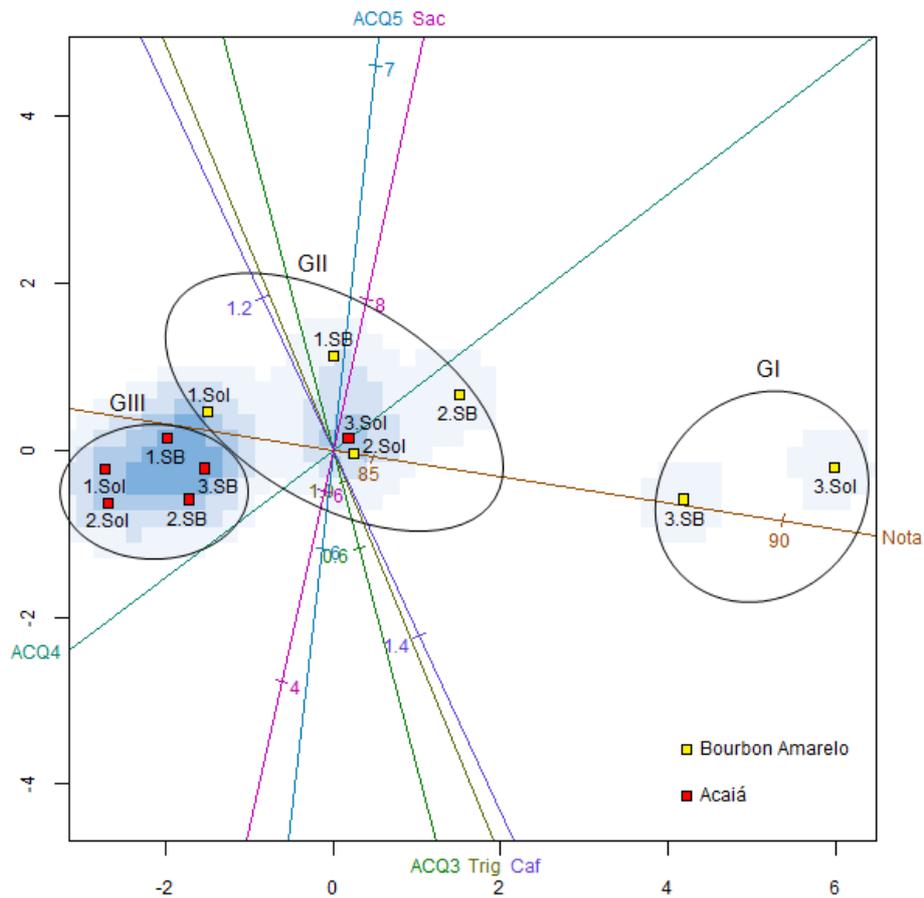


Figura 3 Biplot com escalonamento multidimensional dos genótipos Acaia e Bourbon Amarelo, cultivados nas altitudes (1. <1.000 m, 2. 1.000-1.200 m e 3. >1.200 m) em combinação com as vertentes sol (Sol) e sombra (SB) e processados por via úmida (U) para as variáveis trigonelina (Trig), 3-CQA (ACQ3), 4-CQA (ACQ4), 5-CQA (ACQ5), cafeína (Caf), sacarose (Sac) e nota total da bebida do café (Nota), sendo GI (Grupo I), GII (Grupo II) e GIII (Grupo III).

Para o processamento via úmida, o genótipo Acaia, exceto quando cultivado acima de 1.200 m de altitude na vertente sol (GIII), apresentou

tendência a maiores teores de 4-CQA, menores de sacarose e qualidade sensorial com notas à esquerda da origem e, portanto, inferiores à média.

O genótipo Bourbon Amarelo cultivado abaixo de 1.200 m de altitude, independente da vertente, apresentou qualidade sensorial da bebida similar à do Acaíá cultivado acima de 1.200 m de altitude na vertente sol (GII), quando submetido ao processamento via úmida (Figura 3).

O Biplot com MDS dos genótipos, das classes de altitude, dos grupos de vertentes e do processamento por via seca para as variáveis trigonelina, 3-CQA, 4-CQA, 5-CQA, cafeína, sacarose e nota total da bebida do café, encontra-se na Figura 4.

Os maiores teores de trigonelina, 5-CQA e 3-CQA, em conjunto com as maiores notas, foram os principais responsáveis pela formação do GI. Por outro lado, os menores teores desses mesmos compostos e as menores notas contribuíram de maneira expressiva para a formação do GIII, compondo, assim, dois grupos contrastantes. As demais variáveis 4-CQA, cafeína e sacarose, apresentaram alta similaridade entre si com pouca contribuição para a formação do agrupamento.

O genótipo Bourbon Amarelo cultivado acima de 1.200 m e processado por via seca (GI) apresentou tendência a maiores teores de trigonelina, 5-CQA, 3-CQA e a notável expressão da qualidade sensorial da bebida do café, com nota total em torno de 90 pontos (Figura 4).

Para o processamento via seca, o genótipo Bourbon Amarelo cultivado abaixo de 1.200 m de altitude apresentou qualidade sensorial da bebida similar à do Acaíá cultivado acima de 1.200 m de altitude nas vertentes sol e sombra (GII).

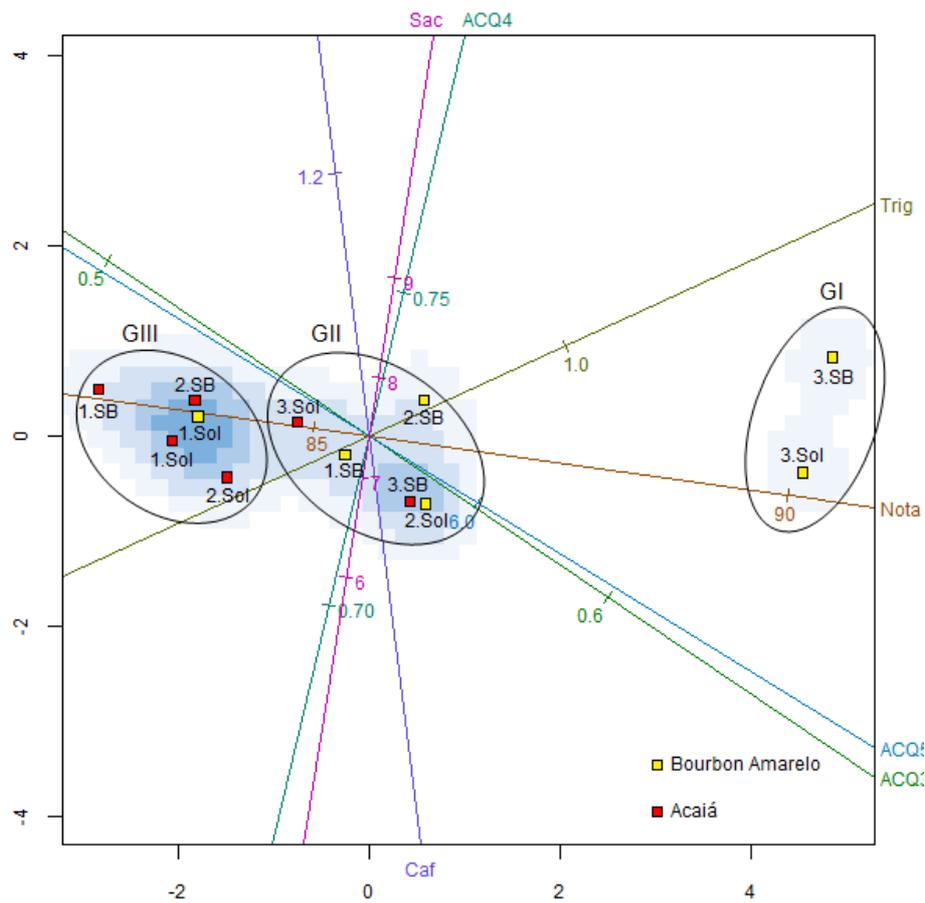


Figura 4 Biplot com escalonamento multidimensional dos genótipos Acaia e Bourbon Amarelo, cultivados nas altitudes (1. <1.000 m, 2. 1.000-1.200 m e 3. >1.200 m) em combinação com as vertentes sol (Sol) e sombra (SB) e processados por via seca (S) para as variáveis trigonelina (Trig), 3-CQA (ACQ3), 4-CQA (ACQ4), 5-CQA (ACQ5), cafeína (Caf), sacarose (Sac) e nota total da bebida do café (Nota), sendo GI (Grupo I), GII (Grupo II) e GIII (Grupo III).

No café natural produzido a partir do genótipo Acaia cultivado abaixo de 1.200 m, assim como do genótipo Bourbon Amarelo abaixo de 1.000 m, na vertente sol (GIII), encontrou-se tendência a menores teores de trigonelina, 5-CQA, 3-CQA e qualidade sensorial com notas inferiores a 85 pontos (Figura 4).

Nota-se que a relação da composição química do grão cru com a qualidade sensorial da bebida do café decorrente da interação genótipo × ambiente foi distinta quanto ao tipo de processamento. O agrupamento formado nos cafés naturais apresentou o efeito conjunto dos compostos trigonelina, 5-CQA e 3-CQA com a nota total da bebida. Por outro lado, os cafés descascados e desmucilados apresentaram grupos distintos em função do efeito conjunto de todos os compostos analisados com a nota total da bebida, exceto o isômero do ácido clorogênico 5-CQA.

Essas diferenças reforçam as hipóteses de que o metabolismo do grão permanece ativo após a colheita dos frutos e que, como proposto por Bytof et al. (2005), a extensão desses processos metabólicos depende do tipo de processamento aplicado. Outra possível causa refere-se ao estímulo promovido no metabolismo da germinação por parte do processamento via úmida (BYTOF et al., 2007).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições em que este trabalho foi realizado permitiram concluir que:

- o genótipo Bourbon Amarelo cultivado acima de 1.200 m de altitude e processado por via úmida apresentou, no grão cru, tendência a maiores teores de cafeína, trigonelina, 3-CQA, menores de 4-CQA e qualidade sensorial da bebida com nota média total em torno de 90 pontos;
- o genótipo Acaiá processado por via úmida, exceto quando cultivado acima de 1.200 m de altitude na vertente sol, apresentou, no grão cru, tendência a maiores teores de 4-CQA, menores de sacarose e qualidade sensorial da bebida com notas inferiores a 85 pontos;
- o genótipo Bourbon Amarelo cultivado acima de 1.200 m de altitude e processado por via seca apresentou, no grão cru, tendência a maiores teores de trigonelina, 5-CQA, 3-CQA e qualidade sensorial da bebida com nota média total em torno de 90 pontos;
- o café natural produzido a partir do genótipo Acaiá cultivado abaixo de 1.200 m de altitude, assim como do Bourbon Amarelo abaixo de 1.000 m na vertente sol, apresentou, no grão cru, tendência a menores teores de trigonelina, 5-CQA, 3-CQA e qualidade sensorial da bebida com notas inferiores a 85 pontos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. Metodologia tradicional de avaliação de qualidade de café vs. métodos eletrônicos alternativos. In: SALVA, T de. J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 389-410.
- AMORIM, H. V. **Relação entre alguns compostos orgânicos de grão do café verde com qualidade da bebida**. 1972. 136 p. Tese (Doutorado em Bioquímica)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1972.
- AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude *terroirs* of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of Science Food and Agriculture**, Sussex, v. 85, p. 1869-1876, 2005.
- AVELINO, J. et al. **Ver une identification de cafés-terroir au Honduras**. Montpellier Cedex: Plantations Recherche Developpement, 2002. 11 p.
- BARBOSA, J. N. et al. Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, n. 4, v. 5, p. 181-190, 2012.
- BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 631.
- BRANDO, C. H. J. Harvesting and green coffee processing. In: WINTGENS, J. N. (Ed.). **Coffee: growing, processing, sustainable production**. 2. ed. rev. New Jersey: J. Wiley Professional, 2004. p. 605-714.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 08, de 11 de junho de 2003**. Aprova o regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Ministério de Estado, Interino da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em:
<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 8 ago. 2012.
- BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **O que são cafés especiais**. Disponível em: <http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Mercado de cafés especiais no Brasil dobra em três anos**. Disponível em:
<<http://bsca.com.br/noticia.php?id=118>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Heidelberg, v. 220, n. 3, p. 245-250, 2005.

BYTOF, G. et al. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post harvest treatment. **Annals of Botany**, v. 100, n. 1, p. 61–66, July 2007.

CAMARGO, A. P. Arborização de cafezais. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 25-27, 2007.

CAMPA, C. et al. Qualitative relationship between caffeine and chlorogenic acid contents among wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, Oxford, v. 93, n. 1, p. 135–139, Nov. 2005.

CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, Oxford, v. 88, n. 1, p. 39–43, Nov. 2004.

CANTERGIANI, E. et al. Characterization of mouldy/earthy defect in green mexican coffee. In: COLLOQUIUM OF INTERNATIONAL COFFEE SCIENCE ASSOCIATION, 18., 1999, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki: ASIC, 1999.

CARVALHO, A. et al. Ocorrência dos principais defeitos do café em várias fases de maturação dos frutos. **Bragantia**, Campinas, v. 29, n. 20, p. 207-220, 1970.

CARVALHO JÚNIOR, C. de. **Efeito de sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 2002. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CARVALHO, V. D. de; CHALFOUN, S. M.; CHAGAS, S. J. R. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1989. p. 25-26.

CHIRINOS, R. et al. Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant capacity contribution. **Food Chemistry**, Oxford, v. 106, p. 1285-1298, 2008.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and productions of beans and beverage**. New York: Croom Helm, 1985. p. 305-374.

CORTEZ, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

DART, S. K.; NURSTEN, H. E. Volatile components. In: MACRAE, R.; CLARKE, R. J. (Ed.). **Coffee chemistry**. London: Elsevier Applied Science, 1985. v. 1.

DE GRAAFF, J. **The economics of coffee**. Wageningen: Pudoc Wageningen, 1986.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C. Compostos voláteis do café torrado. Parte I: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 209-217, 1999.

DE MARIA, C. A. B.; TRUGO, L. C.; MOREIRA, R. F. A. Simultaneous determination of total chlorogenic acid, trigonelline and caffeine in green coffee samples by high performance gel filtration chromatography. **Food Chemistry**, Oxford, v. 52, n. 4, p. 447-449, 1995.

DECAZY, F. et al. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 7, p. 2356-2361, 2003.

DUARTE, G. S.; PEREIRA, A. A.; FARAH, A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. **Food Chemistry**, Oxford, v. 118, p. 851-855, 2010.

FAGAN, E. B. et al. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea sp*) na qualidade da bebida. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 729-738, 2011.

FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 23-36, 2006.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FARAH A. **Distribuição nos grãos, importância na qualidade da bebida e biodisponibilidade dos ácidos clorogênicos do café**. 2004. Dissertation (Ph.D.)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

FARAH, A. et al. Formation of chlorogenic acids lactones in roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 5, p. 1105–1113, 2005.

FELDMAN, J. R.; RYDER, W. S.; KUNG, J. T. Importance of non volatile compounds to the flavor of coffee. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 17, n. 6, p. 733-739, 1969.

FERREIRA, D. A. et al. Análise sensorial de diferentes genótipos de cafeeiros Bourbon. **Interciencia**, v. 37, p. 390– 394, 2012.

FRANCA, A. S.; MENDONÇA, J. C. F.; OLIVEIRA, S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT - Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 7, p. 709–715, 2005.

FUJIOKA, K.; SHIBAMOTO, T. Chlorogenic acid and caffeine contents. **Food Chemistry**, Oxford, v. 106, p. 217–212, 2008.

GEROMEL, C. et al. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 5-6, p. 569-579, 2008.

GUYOT, B. et al. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. **Plantation Recherche, Développement**, Versalhes, v. 3, n. 4, p. 272-280, 1996.

HOWELL, G. SCAA Universal Cupping Form & How to use it. In: ANNUAL CONFERENCE & EXHIBITION "PEAK OF PERFECTION": presentation handouts, 10., 1998, Denver. **Proceedings...** Denver: [s. n.], 1998.

ILLY, E. A. A saborosa complexidade do café. **Scientific American**, New York, v. 286, n. 6, p. 48-53, June 2002.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. London: Academic, 1995. 253 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee: determination of loss mass at 105 °C**, ISO 6673:2003. New York, 1999.

KY, C. L. et al. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. **Food Chemistry**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 223-230, 2001.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **Food Research Technology**, Mysore, v. 223, p. 195-201, Dec. 2006.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, 2007.

LELOUP, V. et al. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. CD ROM.

LINGLE, T. R. **The basics of cupping coffee**. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 1993. 43 p.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: a systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. 3. ed. Long Beach: Speciality Coffee Association of America, 2001. 47 p.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2000. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MACRAE, R. Nitrogenous compounds. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1985. Cap. 4, p. 115-152.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. de R.; OLIVEIRA, W. M. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes tipos de processamento (natural, descascado e desmucilado). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003. Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2003. p. 259.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região Sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

MALTA, M. R.; SANTOS, M. L.; SILVA, F. A. M. Qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1385-1390, 2002.

MÔNACO, L. C. Qualidade da bebida. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 25, jun. 1958. Suplemento Agrícola, v. 4, n. 176, p. 5, c. 3-4.

MONTEIRO, M. C.; FARAH, A. Chlorogenic acids in Brazilian *Coffea arabica* cultivars from various consecutive crops. **Food Chemistry**, Oxford, 134, p. 611-614, 2012.

MORAIS, H. et al. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 257-260, 2008.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE MARIA, C. A. B. Compostos voláteis do café torrado. Parte II Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 195-203, 2000.

OLIVEIRA, L. S. et al. Characterization of SPME/GC-MS headspace profiles of coffee under two different processing temperatures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Proceedings...** Campinas: [s.n], 2008. 1 CD-ROM.

ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ. **Estudios de investigación de evaluación sensorial sobre la calidad del café cultivado en la región de Patrocinio en el Estado de Minas Gerais en Brasil**. Londres, 1991. 28 p. (Reporte de Evaluación Sensorial).

PAIVA, E. F. F. **Análise sensorial dos cafés especiais do Estado de Minas Gerais**. 2005. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PEREIRA, R. G. F. A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) “Estritamente Mole”**. 1997. 96 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

PEREIRA, R. G. F. A. et al. Constituintes químicos de cafés despulpados, descascados, desmucilados e natural. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa – Café, 2003. p. 164-165.

PEREIRA, R. G. F. A.; VILELLA, T. C.; ANDRADE, E. T. Composição química de grãos de café (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes tipos de pré-processamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2002, Vitória. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2002. p. 826-831.

PERRONE, D. et al. Comprehensive analysis of major and minor chlorogenic acids and lactones in economically relevant Brazilian coffee cultivars. **Food Chemistry**, Oxford, v. 106, n. 2, p. 859-867, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.) colhidos em diferentes estágios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 23-30, 2000. Especial Café.

PIMENTA, C. J. **Época de colheita e tempo de permanência dos frutos a espera da secagem, na qualidade do café**. 2001. 145 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PUERTA-QUINTERO, G. I. P. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. **Cenicafé**, Caldas, v. 50, n. 1, p. 78-88, ene./mar. 1999.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. R. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. (Ed.). **Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa Potassa Fosfato, 1986. p. 13-85.

RIBEIRO-ALVES, M. A.; TRUGO, L. C.; DONANGELO, C. M. Use of oral contraceptives blunts the calciuric effect of caffeine in young adult women. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 2, n. 133, p. 393-398, 2003.

SHANKARANARAYANA, M. L. et al. Complex nature of coffee aroma. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 38, n. 4, p. 84-92, Apr. 1974.

SILVA, E. A. et al. The influence of water management and environmental conditions on the chemical composition and beverage quality of coffee beans. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 229-238, 2005.

SOLARES, P. F. et al. Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas y físicas del café. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 19., 2000, San José. **Anais...** San José: IICA-Promecage, 2000. p. 493-499.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Backgrounder:** what's special about specialty coffee? Disponível em: <http://www.javadavescoffee.com/PDF_Documents/Press-What-is-Specialty-Coffee.pdf>. Acesso em: 20 out. 2012.

STEGEN, G. H. D. van der; DUIJN, J. van. Analysis of chlorogenic acids in coffee. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 9., 1980, Londres. **Proceedings...** Paris: Association Scientifique Internationale du Café, 1980. p. 107.

TORGERSON, W. S.; Multidimensional scaling: I. Theory and method. **Psychometrika**, Greensboro, v. 17, p. 401-419, 1952.

TRUGO, L. C.; FARAH, A.; CABRAL, L. Oligosaccharides distribution in Brazilian soybean cultivars. **Food Chemistry**, Oxford, v. 52, n. 4, p. 385-387, 1995.

TRUGO, L. C.; MACRAE, R. Chlorogenic acid composition of instant coffee. **Analyst**, v. 109, n. 3, p. 263-270, 1984.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of Science Food and Agriculture**, Sussex, v. 86, n. 1, p. 197-204, 2006.

VILLELA, T. C. **Qualidade de café despulpado, desmucilado, descascado e natural, durante o processo de secagem**. 2002. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2002.

VINCENT, J. C. Green coffee processing. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Technology**. London: Elsevier, 1987. p. 1–33.

WILBAUX, R. **Agricultural engineering radiation research**: survey report. Rome: American Society of Agricultural Engineers, 1963. 39 p.

ANEXO

ANEXO A

Página

TABELA 1A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre altitude (m) e processamento.....	57
TABELA 2A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre altitude (m) e Vertente.....	57
TABELA 3A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre processamento e genótipo.....	58
TABELA 4A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre processamento e vertente.....	58
TABELA 5A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre genótipo e vertente.....	59
TABELA 6A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre altitude (m), processamento e genótipo.....	59
TABELA 7A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre altitude (m), processamento e vertente.....	60

TABELA 8A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre altitude (m), genótipo e vertente.....	61
TABELA 9A	Teores médios (% ms) de trigonelina, ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA), cafeína, sacarose e nota total da bebida para a interação entre processamento, genótipo e vertente.....	62

TABELA 1A

Altitude × Processamento		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Via úmida	1,07	0,62	0,75	6,16	1,36	6,61	86,81
	Via seca	1,01	0,62	0,74	6,07	1,30	7,73	87,82
1000 -1200	Via úmida	0,97	0,57	0,78	6,27	1,28	6,26	83,95
	Via seca	0,96	0,55	0,73	5,97	1,28	7,26	85,05
< 1000	Via úmida	0,89	0,53	0,74	6,18	1,23	6,40	83,06
	Via seca	0,93	0,50	0,72	5,75	1,22	7,25	83,85
<i>P valor*</i>		0,27	0,63	0,51	0,70	0,68	0,89	0,96

TABELA 2A

Altitude × Vertente		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Sol	1,03	0,61	0,74	6,12	1,36	7,27	87,55
	Sombra	1,05	0,63	0,74	6,11	1,31	7,07	87,08
1000 -1200	Sol	0,97	0,57	0,73	6,04	1,24	6,42	84,33
	Sombra	0,96	0,54	0,78	6,20	1,31	7,09	84,68
< 1000	Sol	0,88	0,50	0,72	5,85	1,22	6,63	83,12
	Sombra	0,94	0,53	0,73	6,08	1,24	7,01	83,79
<i>P valor*</i>		0,37	0,29	0,37	0,84	0,23	0,28	0,52

TABELA 3A

Processamento × Genótipo		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Via úmida	Acaiá	0,95	0,57	0,76	6,17	1,28	5,90	82,94
	Bourbon Amarelo	1,00	0,57	0,75	6,23	1,30	6,94	86,28
Via seca	Acaiá	0,96	0,56	0,72	5,94	1,30	7,18	84,17
	Bourbon Amarelo	0,98	0,54	0,73	5,92	1,24	7,65	86,97
<i>P valor*</i>		0,63	0,72	0,37	0,82	0,14	0,21	0,53

TABELA 4A

Processamento × Vertente		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Via úmida	Sol	0,95	0,57	0,74	6,05	1,30	6,34	84,55
	Sombra	1,00	0,57	0,77	6,36	1,28	6,50	84,66
Via seca	Sol	0,96	0,55	0,72	5,96	1,24	7,22	85,44
	Sombra	0,98	0,56	0,73	5,91	1,30	7,61	85,70
<i>P valor*</i>		0,61	0,74	0,57	0,29	0,21	0,62	0,86

TABELA 5A

Genótipo × Vertente		Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Acaiá	Sol	0,96	0,58	0,72	6,10	1,28	6,51	83,56
	Sombra	0,95	0,56	0,77	6,02	1,30	6,58	83,55
Bourbon	Sol	0,95	0,55	0,75	5,91	1,27	7,04	86,44
Amarelo	Sombra	1,02	0,58	0,74	6,24	1,27	7,54	86,81
<i>P valor*</i>		0,06	0,02	0,08	0,22	0,74	0,35	0,65

TABELA 6A

Altitude × Processamento × Genótipo			Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Via úmida	Acaiá	1,02	0,63	0,78	6,11	1,34	6,26	83,95
		Bourbon Amarelo	1,11	0,60	0,72	6,21	1,38	6,96	89,67
	Via seca	Acaiá	1,00	0,62	0,72	6,00	1,34	7,13	85,46
		Bourbon Amarelo	1,02	0,61	0,75	6,15	1,27	8,33	90,19
1000-1200	Via úmida	Acaiá	0,95	0,58	0,79	6,35	1,24	5,53	82,53
		Bourbon Amarelo	0,98	0,56	0,77	6,20	1,31	6,98	85,38
	Via seca	Acaiá	0,93	0,57	0,73	6,07	1,28	7,18	83,93
		Bourbon Amarelo	1,00	0,52	0,73	5,87	1,28	7,34	86,17
< 1000	Via úmida	Acaiá	0,88	0,52	0,72	6,06	1,25	5,92	82,34
		Bourbon Amarelo	0,89	0,54	0,75	6,30	1,22	6,87	83,78
	Via seca	Acaiá	0,94	0,49	0,71	5,75	1,28	7,23	83,14
		Bourbon Amarelo	0,92	0,50	0,73	5,75	1,17	7,27	84,57
<i>P valor*</i>			0,62	0,83	0,58	0,94	0,94	0,23	0,89

TABELA 7A

Altitude × Processamento × Vertente			Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Via úmida	Sol	1,02	0,61	0,74	6,19	1,39	6,97	87,64
		Sombra	1,12	0,62	0,76	6,13	1,33	6,25	85,99
	Via seca	Sol	1,03	0,60	0,75	6,05	1,32	7,58	87,47
		Sombra	0,98	0,63	0,72	6,09	1,29	7,88	88,18
1000-1200	Via úmida	Sol	0,98	0,60	0,75	6,03	1,23	5,97	83,46
		Sombra	0,95	0,53	0,81	6,52	1,32	6,54	84,45
	Via seca	Sol	0,95	0,54	0,70	6,05	1,25	6,88	85,20
		Sombra	0,97	0,55	0,75	5,89	1,31	7,64	84,90
< 1000	Via úmida	Sol	0,86	0,50	0,73	5,94	1,28	6,07	82,57
		Sombra	0,92	0,56	0,74	6,41	1,19	6,72	83,55
	Via seca	Sol	0,89	0,50	0,71	5,76	1,16	7,19	83,67
		Sombra	0,97	0,49	0,72	5,74	1,29	7,31	84,03
<i>P valor*</i>			0,27	0,24	0,77	0,62	0,23	0,38	0,17

TABELA 8A

Altitude × Genótipo × Vertente			Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
>1200	Acaiá	Sol	1,02	0,62	0,74	6,08	1,35	7,04	84,78
		Sombra	1,00	0,63	0,76	6,03	1,32	6,35	84,63
	Bourbon	Sol	1,03	0,59	0,75	6,17	1,36	7,50	90,32
	Amarelo	Sombra	1,10	0,62	0,72	6,19	1,29	7,78	89,53
1000-1200	Acaiá	Sol	0,95	0,62	0,72	6,22	1,19	6,13	83,13
		Sombra	0,94	0,53	0,80	6,20	1,33	6,58	83,33
	Bourbon	Sol	0,99	0,52	0,74	5,86	1,29	6,72	85,53
	Amarelo	Sombra	0,99	0,55	0,76	6,20	1,30	7,60	86,02
< 1000	Acaiá	Sol	0,92	0,50	0,70	5,99	1,28	6,35	82,78
		Sombra	0,90	0,50	0,73	5,82	1,25	6,80	82,70
	Bourbon	Sol	0,83	0,49	0,75	5,71	1,15	6,91	83,46
	Amarelo	Sombra	0,98	0,55	0,73	6,34	1,23	7,23	84,88
<i>P valor*</i>			0,20	0,45	0,98	0,67	0,23	0,61	0,58

TABELA 9A

Processamento × Genótipo × Vertente			Trigonelina	3-CQA	4-CQA	5-CQA	Cafeína	Sacarose	Nota
Via úmida	Acaiá	Sol	0,97	0,59	0,73	6,14	1,28	5,88	82,95
		Sombra	0,94	0,56	0,80	6,21	1,27	5,93	82,93
	Amarelo	Bourbon Sol	0,94	0,55	0,75	5,96	1,33	6,80	86,16
		Sombra	1,05	0,58	0,75	6,50	1,28	7,08	86,40
Via seca	Acaiá	Sol	0,96	0,57	0,71	6,05	1,27	7,14	84,17
		Sombra	0,96	0,55	0,73	5,83	1,33	7,22	84,18
	Amarelo	Bourbon Sol	0,96	0,52	0,74	5,86	1,21	7,29	86,72
		Sombra	1,00	0,57	0,73	5,99	1,26	8,00	87,23
<i>P valor*</i>			0,25	0,97	0,60	0,84	0,81	0,65	0,90