

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**QUALIDADE E ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS DO CAFÉ
ARÁBICA SUBMETIDO A ALTERNÂNCIA DA TEMPERATURA
NA SECAGEM**

PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia (Energia
na Agricultura)

BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**QUALIDADE E ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS DO CAFÉ
ARÁBICA SUBMETIDO A ALTERNÂNCIA DA TEMPERATURA
NA SECAGEM**

PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Martin Biaggioni
Co-Orientador: Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia (Energia
na Agricultura)

BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

O48q Oliveira, Pedro Damasceno de, 1983-
Qualidade e alterações estruturais no café Arábica submetido a alternância da temperatura na secagem / Pedro Damasceno de Oliveira. - Botucatu : [s.n.], 2015
vii, 135 f. : ils., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015

Orientador: Marco Antonio Martin Biaggioni

Coorientador: Flávio Meira Borém

Inclui bibliografia

1. Café - Secagem. 2. Café - Aspectos fisiológicos. 3. Microscopia eletrônica. 4. Avaliação sensorial. I. Biaggioni, Marco Antonio Martin. II. Borém, Flávio Meira. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

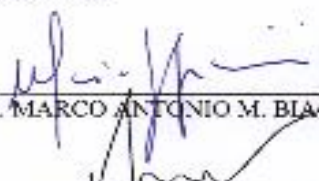
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "QUALIDADE E ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS DO CAFÉ ARÁBICA
SUBMETIDO A ALTERNÂNCIA DA TEMPERATURA NA SECAGEM"

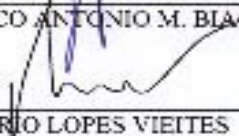
ALUNO: PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCO ANTONIO M. BIAGGIONI


Aprovado pela Comissão Examinadora



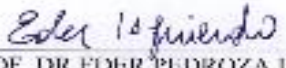
PROF. DR. MARCO ANTONIO M. BIAGGIONI



PROF. DR. ROGÉRIO LOPES VIEITES



PROF. DR. RENI SAATH



PROF. DR. EDER PEDROZA ISQUIERDO



PROF. DR. ROGÉRIO LOPES SORATTO

Data da Realização: 24 de fevereiro de 2015.

À minha mãe, Laura Gilda
À minha tia-mãe, Maria Gislaine
À minha esposa, Mariana

DEDICO

À Deus, por ter me dado forças e fé
À todos meus familiares e amigos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por toda força dada nos momentos mais difíceis.

À minha mãe Laura Gilda, pelo amor, carinho, incentivo e dedicação. Mulher forte e determinada. Te amo minha mãe.

À minha tia Gislaine, pela dedicação, amor, carinho e respeito. Sempre a meu lado. Te amo.

À minha esposa Mariana pelo amor, incentivo e companheirismo. Me suportando nas horas mais difíceis. Te amo muito.

Ao professor Marco Antônio Martin Biaggioni, pela valiosa orientação, incentivo e dedicação no decorrer do curso, contribuindo para meu amadurecimento e formação profissional.

Ao professor Flávio Meira Borém, pela amizade, incentivo e orientação durante todos esses anos.

Ao doutorando Eder Pedroza Isquierdo, pela presença constante, amizade, respeito e ajuda fundamental durante a realização do trabalho.

Aos colegas Guilherme, “Big Bag”, Caio e Lourenço, pela boa vontade e ajudas prestadas.

Aos amigos de Lavras, pela amizade e convivência durante estes anos.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo e amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudos.

Às secretárias do curso de Pós- Graduação em Energia na Agricultura, pela educação e boa vontade no atendimento aos estudantes.

Ao programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura pela disponibilidade de estrutura e equipamentos para a realização dos trabalhos.

Aos Jack Robson e José Naves, pela valorosa ajuda durante o experimento, preparo da matéria-prima, auxílio na montagem do experimento e empréstimos de equipamentos e estruturas.

A Universidade Estadual Paulista e a Universidade Federal de Lavras por cederem suas estruturas físicas e humanas para a realização do projeto.

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1.INTRODUÇÃO GERAL	5
2. REFERENCIAL TEÓRIO	7
2.1 Cafés Especiais	7
2.2 Colheita e processamento do café	8
2.3 Água nos grãos	10
2.4 Constituição dos grãos agrícolas	11
2.5 Secagem do Café	15
2.5.1 Teoria de secagem	15
2.5.2 Taxa de secagem	16
2.6 Avaliação da qualidade	17
2.6.1 Análise Sensorial	17
2.6.2 Análises fisiológicas e físico-químicas	19
2.6.2.1 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio	19
2.6.2.2 Teste de germinação	19
2.6.2.3 Acidez graxa	20
REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 1	30
RESUMO	31
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.1 Procedimentos experimentais	35
2.2 Processamento via seca	37
2.3 Processamento via úmida	38
2.4 Secagem em terreiro	38
2.5 Secagem em secador	38
2.6 Caracterização da qualidade do café	41
2.6.1 Análise sensorial	41
2.6.2 Análises fisiológicas e físico-químicas	42

2.6.2.1 Teste de Germinação	42
2.6.2.2 Condutividade elétrica	42
2.6.2.3 Lixiviação de potássio	43
2.6.3 Acidez graxa	43
2.7 Análise estatística	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
3.1 Caracterização das condições de secagem	44
3.2 Análise sensorial	46
3.3 Análises fisiológicas e físico-químicas	49
3.3.1 Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e germinação	49
3.4 Acidez graxa	52
COMCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO 2	60
RESUMO	61
1 INTRODUÇÃO	62
2 MATERIAIS E MÉTODOS	68
2.1 Procedimentos experimentais	68
2.2 Processamento via seca	68
2.3 Processamento via úmida	69
2.4 Secagem em terreiro	69
2.5 Secagem em secador	70
2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	72
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
3.1 Caracterização das condições de secagem	73
3.2 Curvas de Secagem	74
3.3 Estudos ultraestruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas de secagem e processamento	77
COMCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94
CAPÍTULO 3	98
RESUMO	99

1 INTRODUÇÃO	100
2 MATERIAIS E MÉTODOS	104
2.1 Procedimentos experimentais	104
2.2 Processamento via seca	106
2.3 Processamento via úmida	107
2.4 Secagem em terreiro	107
2.5 Secagem em secador	108
2.6 Armazenamento	110
2.7 Caracterização da qualidade do café	111
2.7.1 Análise sensorial	111
2.7.2 Análises fisiológicas e físico-químicas	112
2.7.2.1 Teste de Germinação	112
2.7.2.2 Condutividade elétrica	112
2.7.2.3 Lixiviação de potássio	113
2.7.3 Acidez graxa	113
2.8 Análise estatística	114
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	114
3.1 Caracterização das condições de secagem	114
3.2 Análise sensorial	116
3.3 Análises fisiológicas e físico-químicas	118
3.3.1 Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e germinação	118
3.4 Acidez graxa	121
COMCLUSÕES	124
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE	132

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar, ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas, a qualidade sensorial, físico-química e fisiológica dos grãos de café processados, secados e armazenados no tempo doze meses. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e sete métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 45°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 50°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 45°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 40°C até atingir 11% de teor de água. O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de três secadores de camada fixa, o qual permitiu o controle da temperatura e fluxo de secagem. O local de armazenamento não contemplou controle da atmosfera. Após a aplicação dos tratamentos, os cafés foram degustados segundo o sistema de avaliação proposto pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). Além da análise sensorial foram feitas as análises da composição físico-química, qualidade fisiológica e estudos ultra-estruturais dos grãos de café. As análises físico-químicas e fisiológicas foram: acidez graxa, lixiviação de potássio, condutividade elétrica e germinação. O estudo da ultra-estrutura dos grãos de café foi obtido pela microscopia eletrônica de varredura da parede celular e da membrana plasmática do grão de café cru. Foram obtidos resultados interessantes, mostrando que o café despulpado é mais tolerante à secagem do que o café natural, independente da forma com que foi seco, apresentando melhor qualidade fisiológica, sensorial e físico-química, após 3 meses de armazenamento. E ainda pode-se observar que a elevação da temperatura de secagem promoveu danos aos grãos, os quais reduzem sensivelmente a

qualidade da bebida, confirmando pesquisas já existentes. Com relação ao estudo das ultra-estruturas dos grãos de café, observou-se que a temperatura de secagem 40/35°C na secagem dos cafés despulpados obteve resultados semelhantes a esses cafés secados com temperatura 35/40°C, com pequena contração das células, sem sinais evidentes de ruptura. Pôde-se observar também que a utilização da temperatura de secagem 35/50°C foi a que mais causou danos às estruturas das células, independentemente do tipo de processamento. Verificou-se que os cafés naturais apresentaram mais desestruturação dos componentes celulares do que os cafés despulpados. Após 12 meses de armazenamento, percebeu-se que os cafés naturais tiveram uma qualidade sensorial melhor quando comparados com os cafés despulpados. No entanto isso não ocorreu para as análises fisiológicas e físico-químicas.

Palavras-chave: *Coffea Arabica* L. Análises fisiológicas. Microscopia. Análise sensorial. Métodos de Secagem.

QUALITY AND STRUCTURAL CHANGES OF ARABIC COFFEE SUBMITTED TO ROTATING TEMPERATURE IN THE DRYING. Botucatu, 2015. 127p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

Adviser: MARCO ANTÔNIO MARTIN BIAGGIONI

Co-Adviser: FLÁVIO MEIRA BORÉM

SUMMARY

The objective of the present work to evaluate, at the end of the drying process with alternating temperatures, sensory quality, physico-chemical and physiological of processed coffee beans, dried and stored in time twelve months. The experiment was conducted with two types of processing: dry and wet; and seven drying methods: drying on ground and mechanical drying with air heated to 50°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 35°C up to 11% water content; drying fixed bed heated air dryers at 45°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 35°C until 11% water content; and drying in fixed bed dryer with air heated to 40°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 35°C until 11% water content; Drying in fixed bed dryer with air heated to 35°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 50°C until 11% water content; Drying in fixed bed dryer with air heated to 35°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 45°C until 11% water content; Drying in fixed bed dryer with air heated to 35°C until the coffee reaches 30% water content, continuing to the drying air heated to 40°C until 11% water content. The mechanical drying system used consisted of three fixed bed dryers, which allowed the temperature control and drying stream. The storage area has not taken control of the atmosphere. After the treatments, the coffees were sampled according to the evaluation system proposed by the American Specialty Coffee Association (SCAA). In addition to the sensory analysis were made analyzes of physical and chemical composition, physiological quality and ultrastructural studies of coffee beans. The physico-chemical and physiological analyzes were: fatty

acidity, potassium leaching, electrical conductivity and germination. The study of ultrastructure of coffee beans was obtained by scanning electron microscopy the cell wall and the plasma membrane of the raw coffee beans. Interesting results were obtained, showing that the pulped coffee is more tolerant to drying than natural coffee, regardless of the form in which it was dry, with better quality physiological, sensory and physicochemical, after 3 months of storage. And yet it can be seen that the drying temperature elevation promoted damage to grain, which significantly reduce the quality of the beverage, confirming existing research. Regarding the study of the coffee beans ultrastructures, it was observed that the drying temperature 40/35°C in drying the pulped coffees obtained results similar to those dried coffees temperature 35/40°C, with a small contraction of the cells without apparent signs of breakage. It might also be noted that the use of the drying temperature 35/50°C that was caused more damage to cell structures, regardless of the type of processing. It was found that the natural coffee showed more disintegration of cellular components of the pulped coffees. After 12 months of storage, it was realized that natural coffees have better sensory quality when compared with the pulped coffee. However this did not happen to the physiological and physical-chemical analysis.

Keywords: *Coffea Arabica* L. Physiological analysis. Microscopy. Sensory analysis. Drying Methods.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos diversos segmentos produtivos, a busca por qualidade é uma das maiores preocupações. O café é um dos poucos produtos cujo valor cresce com a melhoria da qualidade. A qualidade da bebida do café é determinada pelo sabor e aroma, que estão associados às substâncias químicas existentes nos grãos (BORÉM, 2008). Fatores genéticos, ambientais, culturais e os métodos de colheita são importantes por afetarem diretamente a qualidade da bebida do café. Na pós-colheita, os parâmetros de secagem como temperatura e taxas de secagem elevadas e métodos de armazenamento, apresentam também contribuições expressivas sobre a qualidade final do produto (ALPIZAR; BERTRAND, 2004).

Algumas regiões destacam-se pela elevada qualidade sensorial dos cafés produzidos, a região da Mogiana Paulista, Serra da Mantiqueira Paulista e o Sul e Oeste do Estado de São Paulo, são consideradas umas das mais importantes regiões produtoras de café especiais do Brasil.

A atual realidade dos mercados nacional e internacional de café aponta para a crescente demanda por cafés especiais, de sabor e aroma diferenciados e com características marcantes na doçura, acidez e corpo, e por produtos cujas qualidades ou características estejam intimamente relacionadas ao tipo de processamento e método de secagem.

Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via úmida, podem ser produzidos três tipos de café. Os cafés descascados, dos quais a mucilagem remanescente do descascamento não é removida dos grãos; os cafés despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente e a mucilagem remanescente é removida por fermentação; e os desmucilados, aqueles em que a mucilagem é removida mecanicamente. No processamento via seca, os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo (BORÉM, 2008).

A acidez em grãos de café tem sido apontada como um bom indicativo da qualidade do produto. Os valores de acidez graxal do café processado por via seca são descritos significativamente maiores quando comparados aos valores

obtidos para os cafés descascado, desmucilado e despulpado (LEITE, 1991; VILLELA, 2002).

O método de avaliação sensorial da Specialty Coffee Association of America (SCAA) tem se destacado para avaliação da qualidade da bebida dos cafés especiais. Esse método baseia-se em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por uma equipe de julgadores selecionada e treinada, fazendo uso da escala não estruturada de 6 a 10 para a avaliação da fragrância/aroma, ausência de defeitos, acidez, amargor, doçura, sabor, sabor residual, adstringência e corpo da bebida, com avaliação final da qualidade global e qualidade do café conforme terminologia apresentada por Lingle (1986).

A avaliação fisiológica dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Selmar et al. (2004) e Bytof et al. (2007) observaram alterações bioquímicas durante o processamento relacionadas ao metabolismo da germinação, cuja extensão depende do tratamento, se via úmida ou via seca. Esses autores, no entanto, não fizeram correlação com métodos de secagem. A secagem do café, se mal conduzida, pode intensificar a degradação de membranas celulares, o que pode ser indicada com consistência pelos testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica (AMORIM, 1978; PRETE, 1992). Os grãos com membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas lixiviam maior quantidade de solutos, apresentando maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio (KRZYZANOWSKY et al., 1991), indicando perda de qualidade (PRETE, 1992; PIMENTA et al., 2000). Marques et al. (2008) e Borém et al. (2008b), mostraram maiores danos no sistema de membranas celulares dos grãos com o aumento da temperatura de secagem.

Altas taxas de secagem provocadas por elevadas temperaturas podem causar prejuízos à qualidade do café devido aos danos causados às membranas celulares (MARQUES et al., 2008; BORÉM et al., 2008b). No entanto, Borém et al. (2008b) verificaram que as membranas celulares dos grãos foram danificadas somente entre os teores de água de 30% a 20% (bu), quando o café natural e despulpado foram secados com temperatura de 60°C. Sendo assim, uma tecnologia de secagem que envolva a utilização de altas temperaturas no início da secagem seguida por temperaturas mais baixas, pode se tornar promissora, tendo em vista o menor tempo de

exposição do produto à secagem, e auxiliariam no processo de produção e manutenção da qualidade do café.

A análise fisiológica do café durante a pós-colheita poderá auxiliar na elucidação dos eventos que ocorrem nos grãos durante essas etapas, as quais resultarão em diferentes composições químicas e, portanto, em diferentes qualidades de bebida.

Os trabalhos relacionados à integridade das estruturas dos grãos de café são escassos. Há consenso entre os pesquisadores que temperaturas elevadas na massa de café são prejudiciais à qualidade. Em muitas situações o produto perde a qualidade devido a danos latentes resultantes da secagem, ou estima-se, dessa forma, como determinada temperatura interage com o tipo de processamento do café e quais as consequências nas estruturas celulares.

Neste contexto, objetivou-se analisar os efeitos imediatos e latentes de diferentes métodos de processamento e de secagem com temperaturas alternadas na manutenção da qualidade fisiológica e físico-química, analisando a sua inter-relação com a bebida do café e com a manutenção da integridade das ultra-estruturas das paredes celulares e das membranas plasmáticas ao final do processo de secagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafés especiais

A demanda pelos grãos especiais cresce em torno de 15% ao ano, contra um 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 um sobre preço que varia entre 30% a 40% a mais em relação ao café cultivado de modo convencional. Em alguns casos, pode ultrapassar a barreira dos 100% (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA, 2013).

Os números do mercado interno mostram um aumento do consumo de cafés especiais. Segundo a BSCA (2013), em 2008, das 17 milhões de

sacas de café consumidas no país, apenas 500 mil eram especiais. Em 2011, das 20 milhões de sacas consumidas por aqui, um milhão era de café especial.

Os cafés especiais não podem apresentar qualquer tipo de defeito na bebida, obtendo, no mínimo, 80 pontos na escala de classificação de cafés especiais da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), o que equivale a um café de bebida mole, de acordo com a Instrução Normativa nº 8 (BRASIL, 2003), além de apresentar qualidade diferenciada e elevado potencial de expressão de aroma e sabor (GIOMO; BORÉM, 2011).

A definição de café especial está intimamente ligada ao prazer que a bebida pode proporcionar ao consumidor, por meio de algum atributo específico, processo de produção ou serviço a ele associado. Portanto, diferencia-se dos cafés comuns por características como qualidade superior da bebida, aspecto dos grãos, forma de colheita, tipo de preparo, história, origem dos plantios, cultivares e quantidades limitadas, entre outras. A qualidade e a complexidade da bebida é, certamente, o principal diferencial de um 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 (GIOMO; BORÉM, 2011). Segundo Paiva (2005), um café especial é sinônimo de café fino ou de qualidade superior que apresente alguma característica que o diferencie dos outros, como o sabor remanescente floral, cítrico ou achocolatado, entre outros, o que contribui para agregar valor ao produto.

2.2 Colheita e processamento do café

A colheita do café pode ser mecanizada, semi-mecanizada ou manual, sendo esta, geralmente, realizada de duas formas: derriça completa ou colheita seletiva. Na derriça completa, método predominante no Brasil, os frutos são derriçados do cafeeiro sobre pano colocado no chão ou diretamente no chão, obtendo-se um produto bastante heterogêneo, constituído de frutos maduros (cereja), imaturos (verdes) e sobremaduros (passa e seco), além de outros materiais e impurezas, como folhas, ramos, paus, terra, pedras, etc. Já na colheita seletiva, são colhidos apenas os frutos maduros (BORÉM, 2008).

O café, após ser colhido, deve seguir imediatamente para o processamento, não podendo ser armazenado por períodos superiores a 8 horas, devido aos riscos de ocorrerem fermentações indesejáveis e a formação do defeito ardido (BRANDO, 2004).

Após a colheita, o café poderá passar pelo processo de abanação e peneiramento, manual ou mecânico, que tem a finalidade de retirar as impurezas menos densas (folhas, gravetos e outras impurezas), maiores e menores que os frutos. Em seguida, independente do método de processamento adotado, é recomendado que o café seja submetido à separação hidráulica em lavadores, na qual os frutos mais densos (maduros e verdes) são separados da porção menos densa (sobremaduros, brocados, chochos, etc) (BORÉM, 2008).

São utilizados, basicamente, dois métodos para o processamento do café, a via seca e a 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 que é conhecido como café em coco ou natural. Já o processamento por via úmida, que origina os cafés em pergaminho, 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).

A etapa de processamento do café tem por finalidade promover a separação dos frutos em lotes mais homogêneos. Tal separação pode ser feita pelo estágio de maturação, teor de água, tamanho e densidade, dentre outros, o que facilita as operações posteriores, principalmente a secagem, evitando-se possíveis comprometimentos na qualidade da bebida (BORÉM, 2008)

O tipo de processamento do café é variável entre os produtores, dependendo, principalmente, dos aspectos climáticos, tecnológicos, econômicos e exigências do mercado consumidor quanto às características do produto (BORÉM, 2008).

Cafés processados por via úmida e por via seca apresentam características sensoriais distintas. Os cafés naturais originam bebidas mais encorpadas,

mais doces e com menor acidez, sendo ingrediente essencial para ligas de café expresso. Porém, encontram-se, na literatura, trabalhos que associam os cafés processados por via úmida a bebidas superiores, em comparação com os cafés processados por via seca (ILLY; VIANI, 1995; VILLELA, 2002; VINCENT, 1987; WILBAUX, 1963). 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 da secagem do café natural. Por outro lado, a colheita do café com baixa proporção de frutos verdes, seguida pela separação hidráulica e por uma secagem cuidadosa, sem a ocorrência de fermentações, permite a produção de cafés naturais de excelente qualidade (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 conduzidos por Bytof et al. (2005) foi demonstrado que, durante a pós-colheita, diversos processos metabólicos ocorrem no interior dos grãos do café, alterando significativamente a composição química do grão cru.

2.3 Água nos grãos

A quantidade de água contida na semente influi diretamente:

- Na colheita e no beneficiamento: determina o ponto de maturação da semente e, conseqüentemente, o ponto de colheita.
- No armazenamento: altos teores de umidade deterioram as sementes, provocando a perda de seu vigor e do poder germinativo.
- Na comercialização: interfere diretamente no peso.
- Na embalagem: se houver grau de umidade inadequado; em nossas condições climáticas, haverá prejuízo da conservação das sementes em qualquer tipo de embalagem, principalmente nas herméticas.
- No controle de insetos e microrganismos patogênicos: altos graus de umidade favorecem o ataque de insetos e microrganismos.

Para Borém (2001), o grau de umidade dos grãos agrícolas é o principal parâmetro para um armazenamento seguro. No armazenamento a quantidade

de água deve ser tal que o processo respiratório seja mínimo, (porque quanto maior a taxa respiratória do grão, mais rápido seu envelhecimento) e o desenvolvimento de insetos e microrganismos ausente.

Vários parâmetros como: composição química de cada espécie, tipo de armazenamento, condições climáticas dos armazéns, entre outros, influenciam os teores de água para o armazenamento seguro das espécies.

Na Tabela 1 encontram-se dados que exemplifica diferentes teores de água, para diversas espécies e a sua relação com o tempo de armazenamento.

Tabela 1 - Teores de água, para diversas espécies e a sua relação com o tempo de armazenamento.

Espécie	Teor de Água (%)	
	Até 1 ano	Longo Período
Arroz	14	12
Trigo	13	12
Milho	13	13
Sorgo	12	12
Aveia	13	12
Cevada	13	12
Amendoim	8	*
Girassol	8	*
Café	11	*
Feijão	11	*
Soja	12	11

2.4 Constituição dos grãos agrícolas

O grão é constituído por duas partes, a primeira chamada de matéria seca: proteína, lipídeos, carboidratos, fibras, minerais, vitaminas etc (a análise da quantidade de matéria seca, serve para se comparar com segurança os dados das análises químicas), e a segunda, por uma determinada quantidade de água contida na semente e chamada de grau de umidade.

Essa umidade das sementes é função da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente. Sendo um material higroscópico, a semente pode absorver ou ceder umidade para o ambiente, até que seja atingido o ponto de equilíbrio higroscópico.

Para quantificarmos a quantidade de água, calculamos o teor de umidade, ou grau de umidade do grão.

Alguns fisiologistas de grãos e cereais classificam a água retida nos grãos em quatro tipos (Figura 1), variando em função da natureza das ligações físico-químicas existentes entre os compostos e a molécula de água e a predominância dos compostos polares e apolares.

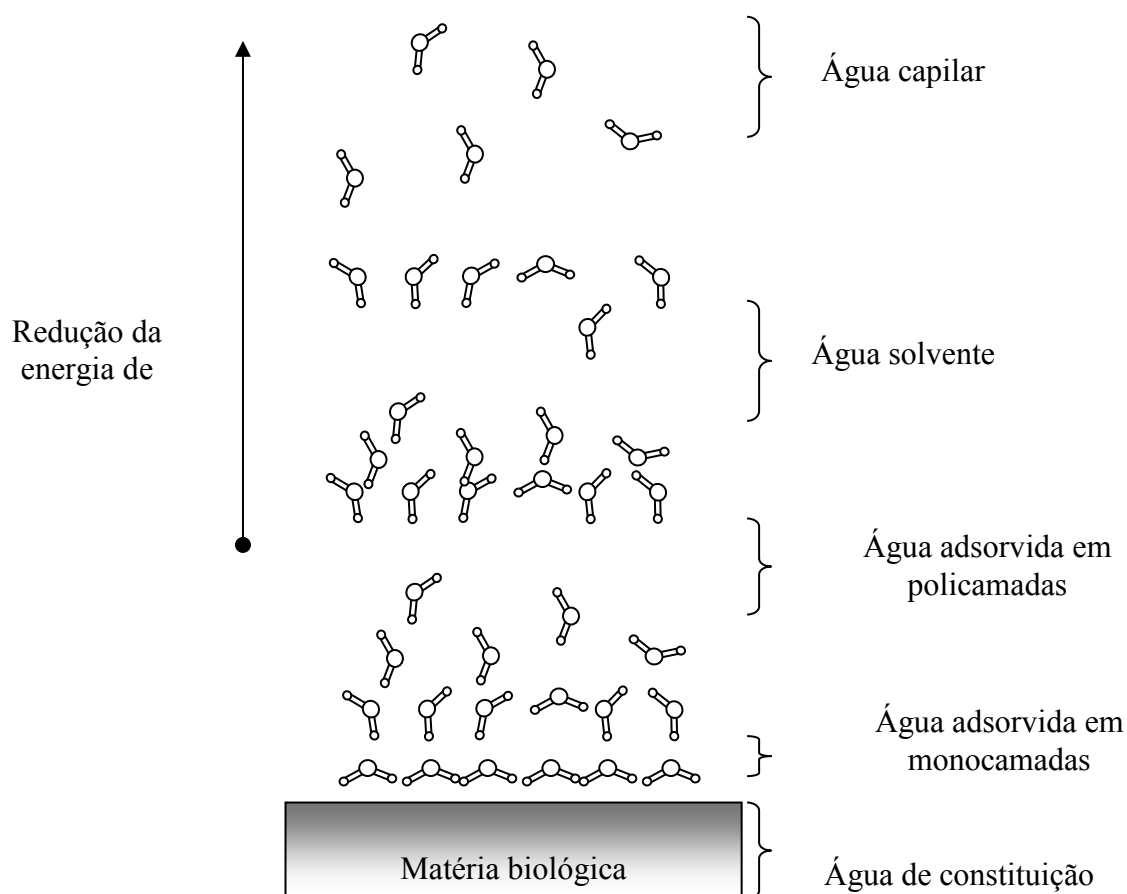


Figura 1 Representação esquemática dos diferentes tipos de água. Fonte: Borém (2004)

Essa água que será quantificada se encontra interagindo com o grão de 3 formas diferentes:

- Água adsorvida: é a água que se encontra aderida superficialmente na superfície interna sólida do grão. Para os autores, essa água se encontra em uma faixa de teor de 0 a 25%. Essa água fica aderida ao grão por forças moleculares ou intermoleculares, também conhecidas como forças de Van der Waals.
- Água absorvida: essa água se encontra no interior do grão e passa a ter um papel de solvente do meio. Como o primeiro tipo de água, também é classificada como água livre e é relativamente fácil de ser retirada do grão.
- Água de constituição: Ao contrário das duas primeiras, essa água é dita fortemente ligada ao material sólido do grão, aqui, ela está quimicamente unida às macromoléculas através de ligações iônicas. No momento da secagem, segundo Carvalho (1994), dependendo da exposição do grão a uma determinada temperatura, pode ocorrer a decomposição de compostos da semente, da qual resulte entre outros produtos, a formação da água. Neste ponto o material já entrou em oxidação.

As três formas de umidade nos grãos, de interesse na secagem são:

- Umidade superficial, simplesmente aderida externamente;
- Umidade intersticial, sem função biológica, existe livre entre as moléculas dos grãos. É mantida por forças capilares e pelo diferencial da pressão osmótica.
- Umidade de constituição, existente nas moléculas dos grãos e que se encontra quimicamente ligada, possuindo função biológica.

A Figura 2 apresenta um grão de forma esquematizada, nele indicada a localização das três formas de umidade.

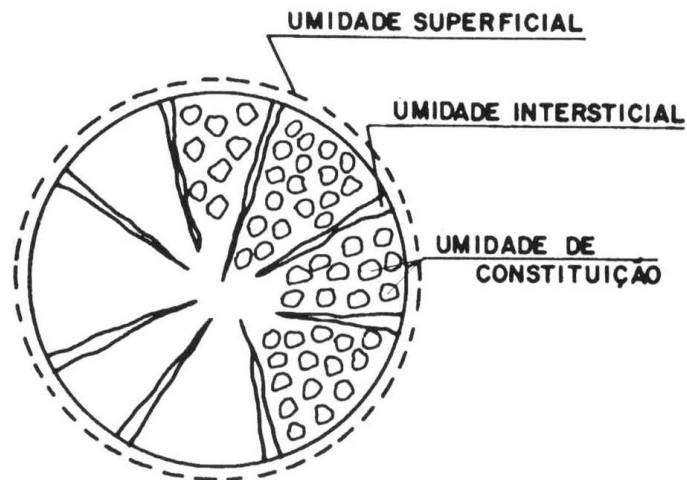


Figura 2 Umidade existente nos grãos indicada de forma simplificada água. Fonte: Weber (1995)

Na secagem, a umidade retirada dos grãos diz respeito à umidade superficial e à umidade intersticial. Estas umidades representam um percentual de 13 até 27 %. A umidade de constituição fica em até 13%. Enquanto a umidade nos grãos é variável, pois altera com a temperatura e a umidade relativa do ar, a parte seca do grão permanece constante.

Aprofundando um pouco mais na questão da umidade dos grãos, segue outro exemplo na Figura 3, simbolizando num grão, a umidade e seus percentuais.

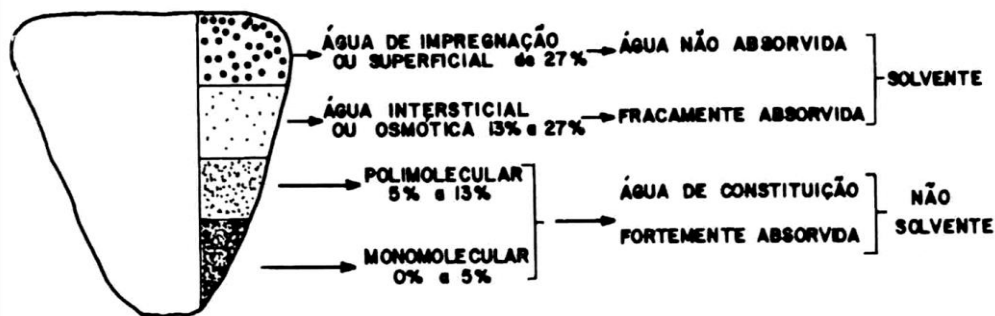


Figura 3 Tipos de água nos grãos de forma detalhada

A umidade interna é retirada dos grãos através do aquecimento até o ponto em que se dá um diferencial de pressão, suficiente para a passagem da umidade interna para a periferia do grão. A retirada da umidade superficial, por evaporação, é fácil e rápida, não se dando o mesmo com a umidade intersticial, que atravessa os tecidos do grão, pela diferença da pressão osmótica e pela capilaridade.

2.5 Secagem do café

Os frutos do café, geralmente, são colhidos com teor de água variando entre 30% e 65% (bu), dependendo do seu estágio de maturação, estando sujeitos à rápida deterioração. Portanto, antes de ser armazenado, o café deverá ser necessariamente, seco. Apesar de existirem outras formas de preservação utilizadas para outros alimentos, a secagem é o método mais utilizado para o café. Entre as várias etapas da pós-colheita do café, a secagem é a etapa de maior relevância, tanto do ponto de vista do consumo de energia e formação dos custos de processamento, como do ponto de vista da manutenção da qualidade do café (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008).

A preservação da qualidade do café pela secagem baseia-se no fundamento de que com a redução da quantidade de água disponível há uma redução da atividade de água e, conseqüentemente, da velocidade das reações químicas, bioquímicas e do desenvolvimento de microrganismos, contribuindo para um armazenamento seguro por períodos maiores (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974).

2.5.1 Teoria de secagem

A secagem pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água contida no grão por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Durante a secagem, a redução do teor de água ocorre por uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto a ser seco e o ar que o envolve. Para que ocorra secagem é necessário que a pressão parcial de vapor d'água em sua superfície seja maior do que no ar de secagem (PABIS; JAYAS; CENKOWSK, 1998).

O fenômeno de migração de água do interior de grãos ainda não é bem conhecido. Numerosos mecanismos térmicos e físicos têm sido propostos para

descrever o transporte de água em produtos capilares porosos higroscópicos (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Em determinados produtos, o processo de secagem, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente (BORÉM, 2008).

O período de velocidade constante ocorre nas primeiras horas de secagem, quando o café se encontra com teor de água elevado. Nesse período, a temperatura do produto mantém igual a do ar de secagem saturado e as transferências de calor e massa se compensam, ou seja, a energia perdida na forma de calor sensível é recuperada na forma de calor latente de vaporização. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa interna de deslocamento de água para a superfície do produto é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água retida por capilaridade (BORÉM, 2008).

No período de velocidade decrescente de secagem, a taxa interna de transporte de água é menor do que a evaporação superficial. Dessa forma, a transferência de calor do ar para o produto não é compensada e, conseqüentemente, a temperatura do grão aumenta, tendendo a atingir a temperatura do ar de secagem. Nesta fase ocorrem os maiores riscos de perda de qualidade por danos térmicos (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992).

2.5.2 Taxa de secagem

A taxa de secagem pode ser definida como relação entre a quantidade de água que é perdida pelo produto em certo período de tempo. É influenciada por vários fatores, principalmente pelo método de secagem, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, umidade inicial do produto e tempo de exposição do produto à temperatura de secagem, entre outros. A falta do controle desses fatores pode comprometer a qualidade do produto final (BORÉM, 2008).

Isquierdo et al. (2013), estudando o efeito da taxa de secagem em função da utilização de ar de secagem com diferentes umidades relativas na

qualidade do café natural, concluíram que, para baixas temperaturas, 35°C e 40°C, a elevação da taxa de secagem provocada pela redução da umidade relativa do ar de secagem tem efeito negativo na qualidade sensorial do café natural.

A tecnologia disponível atualmente para secagem de café só permite que a taxa de secagem seja aumentada com o aumento da temperatura e do fluxo de ar, porém, em diversas pesquisas tem sido demonstrado que, quando se visa à produção de cafés de qualidade superior, a temperatura da massa de café não pode ultrapassar 40 °C (BORÉM et al., 2006; BORÉM; MARQUES; ALVES, 2008; ISQUIERDO et al., 2013; OLIVEIRA, 2010; SAATH et al., 2010; TAVEIRA, 2012).

2.6 Avaliação da qualidade do café

2.6.1 Análise sensorial

A análise sensorial do café é realizada por meio dos órgãos do sentido, tato, olfato e principalmente paladar. Apesar de parecer uma avaliação subjetiva, é o método mais utilizado para a caracterização da qualidade de bebida do café e, ainda que seja passível de erros, não há, até o presente momento, outra opção, por se tratar de uma análise extremamente complexa, envolvendo a manifestação de aromas e sabores na bebida (BORÉM, 2008).

A qualidade do café é determinada, principalmente, pelo seu sabor e aroma, formados durante a torração a partir de compostos químicos presentes no grão cru. Porém, a presença desses precursores no grão cru depende de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos, como os métodos de processamento e secagem (FARAH et al., 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003).

Dentre as metodologias disponíveis para a avaliação sensorial do café, é, tradicionalmente, utilizada no Brasil, a prova de xícara, seguindo as recomendações da Instrução Normativa nº 08 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (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 o de outras metodologias, principalmente quanto à torra do café, fazendo com que esse tipo de avaliação seja empregado exclusivamente

para o café commodity, classificando-o em bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio e rio zona (BORÉM, 2008).

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.

Dentre as metodologias disponíveis para análise sensorial, considera-se a mais adequada a proposta por Lingle (2011), adotada pela SCAA, que considera como especiais os cafés que apresentam nota final igual ou acima de 80 pontos. Nessa avaliação sensorial, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada por fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez, corpo, equilíbrio e impressão global, pontuados segundo a sua qualidade em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 pontos, e uma objetiva, representada pela uniformidade, xícara limpa e doçura, pontuados em uma escala de 0 a 10 pontos. A nota final de cada amostra é representada pela soma de todos os atributos; para cada amostra são avaliadas cinco xícaras (BORÉM, 2008).

Na avaliação de cafés especiais a nota global da bebida é soma de todas as características avaliadas pela metodologia SCAA. No Brasil, ainda se classifica nossos cafés de acordo com a Classificação Oficial Brasileira (COB). Para facilitar o entendimento, segue tabela (Tabela 2) de comparação entre as duas metodologias referentes à classificação sensorial.

Tabela 2 Classificação sensorial metodologia COB e SCAA

COB	SCAA
Estritamente mole	Acima de 86 pontos
Mole	80 – 85 pontos
Apenas mole	76 – 79 pontos
Duro	70 – 75 pontos
Riado	Sem referência
Rio	Sem referência
Riozona	Sem referência

2.6.2 Análises fisiológicas e físico-químicas

2.6.2.1 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio

Durante a secagem do café, se mal conduzida, podem ocorrer alterações fisiológicas que comprometem a qualidade da bebida. O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, tem sido utilizado para indicar possíveis danos ao sistema de membranas celulares (ANGÉLICO et al., 2011; BORÉM et al., 2008; CORADI et al., 2007; ISQUIERDO et al., 2011, 2012; MARQUES et al., 2008; NOBRE et al., 2011; REINATO et al., 2012; RIBEIRO et al., 2011; SAATH et al., 2012; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009).

Grãos com membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas, em consequência de altas taxas de secagem provocadas por elevadas temperaturas, lixiviam maior quantidade de solutos, quando são imersos em água, apresentando maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio (KRZYZANOWSKY; FRANÇA NETO; HENNING, 1991; PRETE, 1992), indicando perda de qualidade.

2.6.2.2 Teste de germinação

A preocupação com a viabilidade das sementes do cafeeiro é antiga. O aparecimento de injúrias em sementes de café, no processamento e na secagem, tem sido apontado como uma das principais causas de perda de qualidade fisiológica (ZONTA, 2007). Segundo o autor, durante o processo de secagem, as sementes sofrem mudanças físicas, provocadas por gradientes de temperatura e umidade, que ocasionam a redução da porcentagem e da velocidade da germinação, além de aumentar o percentual de plântulas anormais. Diante disso, alguns trabalhos de pesquisa têm sido realizados buscando relacionar a perda da qualidade fisiológica com a redução da qualidade sensorial em grãos de café (OLIVEIRA, 2010; TAVEIRA, 2009).

2.6.2.3 Acidez graxa

A acidez em grãos de café tem sido apontada como um bom indicativo da qualidade do produto. Os valores de acidez graxa do café processado por via seca são descritos significativamente maiores quando comparados aos valores obtidos para os cafés descascado, desmucilado e despulpado (Leite, 1991; Villela, 2002).

Segundo Coradi et al. (2008), a condição de armazenamento com temperaturas e umidades relativas mais elevadas provoca maior deterioração do café, causando perda de qualidade da bebida devido à elevação da acidez graxa, quando o café foi armazenado em ambiente com umidade relativa de 80%.

REFERÊNCIAS

- ABDELMOTALEB, A. Thin layer drying of garlic slices using convection and combined (convection - infrared) heating modes. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 1, p. 251-281, Jan. 2009.
- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 73, n. 1, p. 75-84, Jan. 2006.
- ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M. Modelagem matemática e simulação aplicada na secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 301-347.
- ANDRADE, E. T. et al. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.
- ANGÉLICO, C. L. et al. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 8-19, jan./abr. 2011.
- BERTRAND, B. et al. Comparison of the effectiveness of fatty acids, chlorogenic acids, and elements for the chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.) varieties and growing origins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 6, p. 2273-2280, Feb. 2008.
- BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, 2006.
- BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, 631 p.
- BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1605-1615, set./out. 2008b.
- BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. Ultrastructural analysis damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 62-66, Feb. 2008.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.

BORSATO, A. V.; DONI-FILHO, L.; AHRENS, D. C. Secagem da camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Raeuchert] com cinco vazões específicas do ar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 65-71, 2005.

BRADBURY, A. G. W. Chemistry I: non-volatile compounds, part 1A: carbohydrates. In: CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. (Ed.). **Coffee recent developments**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 1-17.

BRANDO, C. H. J. Harvesting and green coffee processing. In: WINTGENS, J. N. (Ed.). **Coffee: growing, processing, sustainable production**. Wiley: VCH, 2004. p. 605-714.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 08**, de 11 de junho de 2003. Aprova o regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

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.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **O que são cafés especiais**. Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450 p.

BURMESTER, K.; EGGERS, R. Heat and mass transfer during the coffee drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 99, n. 4, p. 430-436, Aug. 2010.

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.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. (Ed.). **Storage of cereal grain and their products**. Saint Paul: AACC, 1974. p. 158-192.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café, safra 2013 segunda estimativa, maio/2013**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2013.

CORADI, P. C. et al. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, Jan./June 2007.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2006.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DI SCALA, K.; CRAPISTE, G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 41, n. 5, p. 789-795, June 2008.

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.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FIGUEIREDO, L. P. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes**. 2013. 127 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 7-16, mar./abr. 2011.

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 11, p. 64-73, 2009. Edição especial café.

GUIDA, V. F. A. A.; VILELA, E. R. Influência do fluxo de ar e do período de descanso na secagem do café (*Coffea arabica* L.) despulpado em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 232-237, abr./jun. 1996.

HERMAN-LARA, E. et al. Effect of airflow reversal on packed-bed drying of carrots. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 33, n. 4, p. 684-700, Aug. 2010.

HERNÁNDEZ-DÍAZ, A. et al. Modeling heat and mass transfer during drying of green coffee beans using prolate spheroidal geometry. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 86, n. 1, p. 1-9, Jan. 2008.

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

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASABE**, Michigan, v. 56, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, jan./abr. 2011.

ISQUIERDO, E. P. et al. Quality of natural coffee subjected to diferente rest periods during the drying process. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 439-445, jul./ago. 2012.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, Feb. 2007.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, Oxford, v. 119, n. 2, p. 500-504, Mar. 2010.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 223, n. 2, p. 195-201, 2006.

KRZYKANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

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. 1 CD-ROM.

LIMA, A. R. et al. Compostos bioativos do café: atividade antioxidante in vitro do café verde e torrado antes e após a descafeinação. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 20-24, jan. 2010.

LIMA, D. M. **Armazenabilidade de sementes de *Coffea arabica* L. e de *Coffea canephora* Pierre, submetidas a diferentes métodos de desmucilagem e de secagem.** 2005. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook:** systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

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

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. et al. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Revista Ciência e Tecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, dez. 2003.

MARQUES, E. R. et al. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes períodos de temperatura e pré-secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, set./out. 2008.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr. 2007.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, Feb. 2005.

NILNONT, W. et al. Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica* L.) drying. **Food and Bioproducts Processing**, Essex, v. 20, p. 341-350, Apr. 2012.

NOBRE, E. P. et al. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea arabica* L.) processados por via seca e via úmida. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 107-113, maio/ago. 2011.

OLIVEIRA, G. H. H. et al. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 546-554, Mar. 2010.

OLIVEIRA, P. D. **Microscopia eletrônica de varredura e aspectos fisiológicos associados à qualidade da bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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**. London, 1991. 28 p.

PABIS, S.; JAYAS, D. S.; CENKOWSKI, S. **Grain drying: theory and practice**. New York: J. Wiley, 1998. 303 p.

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.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.

PUTRANTO, A. et al. Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 105, n. 4, p. 638-646, Aug. 2011.

REINATO, C. H. R. et al. Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 223-237, set./dez. 2012.

RESENDE, O. et al. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 247-256, 2010.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1123-1135, 2011.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.

RIBEIRO, D. M. et al. Taxa de redução de água do café cereja descascado em função da temperatura da massa, fluxo de ar e período de pré-secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 28, n. 7, p. 94-107, 2003.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packing injected with CO₂. **Journal of Stored Products Research**, London, v. 47, n. 4, p. 341-348, 2011.

SAATH, R. et al. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica* L.) nos processos pós-colheita. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96-112, abr./jun. 2012.

SAATH, R. et al. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 196-203, jan./fev. 2010.

SANTOS, M. A.; CHALFOUN, S. M.; PIMENTA, C. J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição, físico química e química do café (*Coffea arabica* L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 213-218, jan./fev. 2009.

SELMAR, D. et al. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, E. A. et al. The influence of water managemet 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.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.

TAVEIRA, J. H. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade da bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TAVEIRA, J. H. S. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

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**. Rome: FAO, 1963. 293 p. (Informal Working Bulletin, 20).

YEMMIREDDY, V. K. Effect of drying method on drying time and physic-chemical properties of dried rabbiteye blueberries. **Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 50, n. 2, p. 739-745, Mar. 2013.

ZONTA, J. B. **Teste ler café: adequação e aplicação para avaliar a qualidade de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CAPÍTULO 1

QUALIDADE DO CAFÉ NATURAL E DESPOLPADO EM FUNÇÃO DA ALTERNÂNCIA DE TEMPERATURA DURANTE A SECAGEM MECÂNICA

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade sensorial dos grãos de café processados e secados de diferentes formas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e sete métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 45°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 50°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 40°C até atingir 11% de teor de água. O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de três secadores de camada fixa, o qual permite o controle da temperatura e fluxo de secagem. Após a aplicação dos tratamentos, os cafés foram degustados segundo o sistema de avaliação proposto pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). Além da análise sensorial foram feitas as análises da composição físico-química e qualidade fisiológica dos grãos de café. As análises físico-químicas e fisiológicas envolveram: acidez graxa, lixiviação de potássio, condutividade elétrica, cor e germinação. Os resultados obtidos mostram que o café despulpado é mais tolerante à secagem do que o café natural, independente da forma com que foi seco, apresentando melhor qualidade fisiológica, sensorial e físico-química, após 3 meses de armazenamento. E ainda pode-se observar que a elevação da temperatura de secagem promove danos aos grãos, os quais reduzem sensivelmente a qualidade da bebida, confirmando pesquisas já existentes.

Palavras-chave: Pós-colheita. Análise sensorial. Secagem alternada.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos de grande importância no agronegócio mundial. De acordo com a International Coffee Organization - ICO (2013), o consumo de café cru foi da ordem de 142 milhões de sacas podendo chegar a 148 milhões em 2016. A qualidade do café é determinada principalmente pelo sabor e aroma formados durante a torração. De acordo com Flament (2002), aproximadamente 300 compostos químicos presentes no grão cru originam mais ou menos 850 compostos após a torração. Porém, a presença desses precursores depende de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos (Alpizar & Bertrand, 2004; Farah et al., 2006). Outros fatores como os procedimentos pós-colheita, processamento e secagem do café também interferem na qualidade do produto (Leloup et al., 2004; Borém, 2008).

Existem dois métodos de processamento para o café: via seca e via úmida. No processamento via úmida, podem ser produzidos três tipos de café. Os cafés descascados, dos quais a mucilagem remanescente do descascamento não é removida dos grãos; os cafés despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente e a mucilagem remanescente é removida por fermentação; e os desmucilados, aqueles em que a mucilagem é removida mecanicamente. No processamento via seca, os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo.

A composição química do café cru depende da forma de processamento utilizada (Bytof et al., 2005; Knopp et al., 2006; Borém, 2008). Geralmente, os cafés naturais originam bebidas mais encorpadas e doces, em relação aos cafés despulpados, os quais possuem acidez mais desejável (Illy & Viani, 1995).

A acidez em grãos de café tem sido apontada como um bom indicativo da qualidade do produto, em que pequenas quantidades de ácidos orgânicos são necessárias para conferir acidez essencial à bebida do café (Soares, 2003). Segundo Biaggioni e Ferreira (1998), durante o armazenamento de milho, a hidrólise do material graxo iniciou-se antes da

hidrólise de carboidratos ou proteínas. Sendo assim, o teor de ácidos graxos livres pode ser usado como um indicador da deterioração dos grãos. Com isso, o uso do teste de ácidos graxos é de grande importância no monitoramento da qualidade das sementes, a partir da maturidade, pois a queda do vigor antecede a perda da viabilidade.

Zonta (2007), estudando a viabilidade das sementes do cafeeiro, observou que, durante o processo de secagem, as sementes sofrem mudanças físicas, provocadas por gradientes de temperatura e umidade, que ocasionam a redução da porcentagem e velocidade da germinação, além de aumentar o percentual de plântulas anormais.

O método de avaliação sensorial da Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2008) vem se destacando para avaliação da qualidade da bebida dos cafés especiais. O método baseia-se em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por uma equipe de juizes selecionada e treinada, fazendo uso da escala não estruturada de 6 a 10 para a avaliação da fragrância do pó, aroma, defeitos, acidez, amargor, sabor, sabor residual, adstringência e corpo da bebida, com avaliação final da qualidade global e qualidade do café conforme terminologia apresentada por Lingle (2011).

Além da avaliação sensorial, a avaliação físico-química dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Selmar et al. (2004) e Bytof et al. (2007) observaram alterações bioquímicas durante o processamento relacionadas ao metabolismo da germinação, cuja extensão depende do tratamento, se via úmida ou via seca. Os autores, no entanto, não fizeram correlação com métodos de secagem. A secagem do café, se mal conduzida, pode intensificar a degradação de membranas celulares, o que pode ser indicada com consistência pelos testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Amorim, 1978; Prete, 1992). Os grãos com membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas lixiviam maior quantidade de solutos, apresentando maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio (Krzyzanowsky et

al., 1991), indicando perda de qualidade (Prete, 1992; Pimenta et al., 2000). Marques et al. (2008) e Borém et al. (2008b), mostraram maiores danos no sistema de membranas celulares dos grãos com o aumento da temperatura de secagem.

A taxa de secagem tem efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas e é influenciada por vários fatores, como temperatura e fluxo de ar de secagem, umidade relativa e temperatura do ar ambiente, teor de água inicial e final do produto (Ribeiro et al, 2003; Borém, 1992). Estes parâmetros não são independentes, influenciando o processo de secagem de maneira simultânea.

Altas taxas de secagem provocadas por elevadas temperaturas podem causar prejuízos à qualidade do café devido aos danos causados às membranas celulares (Marques et al., 2008; Borém et al., 2008b). Borém et al. (2008b) verificaram através de estudos ultra-estruturais de microscopias eletrônicas de varredura, que o endosperma dos cafés natural e despulpado, durante a secagem à temperatura de 40°C e em terreiro, manteve a integridade das membranas celulares e que essas membranas foram danificadas somente entre os teores de água de 30% e 20% (bu), quando o café natural e despulpado foram secados com temperatura de 60°C.

Oliveira et al. (2012) estudando da influencia da utilização das temperaturas 50°C e 60°C no início do processo de secagem até o teor de água de 25% (b.u.), seguido da temperatura de 40°C até o teor de água de 11% (b.u), para cafés despolpados, observou que não houve interferência na integridade da estrutura celular. Fato que corrobora com Borém et al. (2008b), que também observou essa situação. Entretanto esses autores não estudaram essa situação para os cafés naturais.

Taxas de redução de água elevadas são desejáveis no que se refere à redução dos riscos de fermentação nas fases iniciais da secagem e na redução do consumo de energia. No entanto, quando se utiliza a tecnologia atualmente disponível para a secagem de café, o aumento da taxa de secagem é obtida pelo aumento da temperatura. Porém, é comprovado por

vários relatos científicos que o café quando submetido a temperaturas de secagem acima dos 40°C sofre sérios danos ao sistema de membranas celulares do endosperma da semente, com reflexos negativos na qualidade da bebida, quando essas são utilizadas na fase finais da secagem mecânica.

Sendo assim, uma tecnologia de secagem que envolva a utilização de altas temperaturas no início da secagem seguida por temperaturas mais baixas, pode se tornar promissora, tendo em vista o menor tempo de exposição do produto à secagem, e auxiliariam no processo de produção e manutenção da qualidade do café.

Objetivou-se no presente trabalho, avaliar os efeitos de diferentes métodos de processamento e de secagem sobre qualidade fisiológica e físico-química de grãos de café, analisando a sua inter-relação com a qualidade da bebida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Catuai 62), colhido na fazenda Santa Clara, a qual apresenta altitude de 1.270 metros, se situando a 10 km da cidade Carmo de Minas (Latitude: 22° 4'14.80" Sul; Longitude: 45° 7'17.77" Oeste), na serra da Mantiqueira. Os frutos colhidos foram levados para a cidade de Lavras – Minas Gerais, onde esse trajeto demorou cerca de 2 horas. Após sua chegada na Universidade Federal de Lavras, o café foi processados por via seca (natural) e via úmida (despolpado), separando-se somente os frutos cereja. Após o processamento, o café foi secado em sete condições diferentes (Tabela 1):

Tabela 1 Delineamento experimental

Processamento	Método de secagem
NATURAL	Terreiro
	35/40°C
	35/45°C
	35/50°C
	40/35°C
	45/35°C
	50/35°C
DESPOLPADO	Terreiro
	35/40°C
	35/45°C
	35/50°C
	40/35°C
	45/35°C
	50/35°C

Terminada a secagem foram procedidas as análises fisiológicas, físico-químicas e sensorial no Laboratório do Pólo de Tecnologia em Pós-colheita da Universidade Federal de Lavras. O fluxograma abaixo (Figura 1) apresenta resumidamente todo o processo experimental.

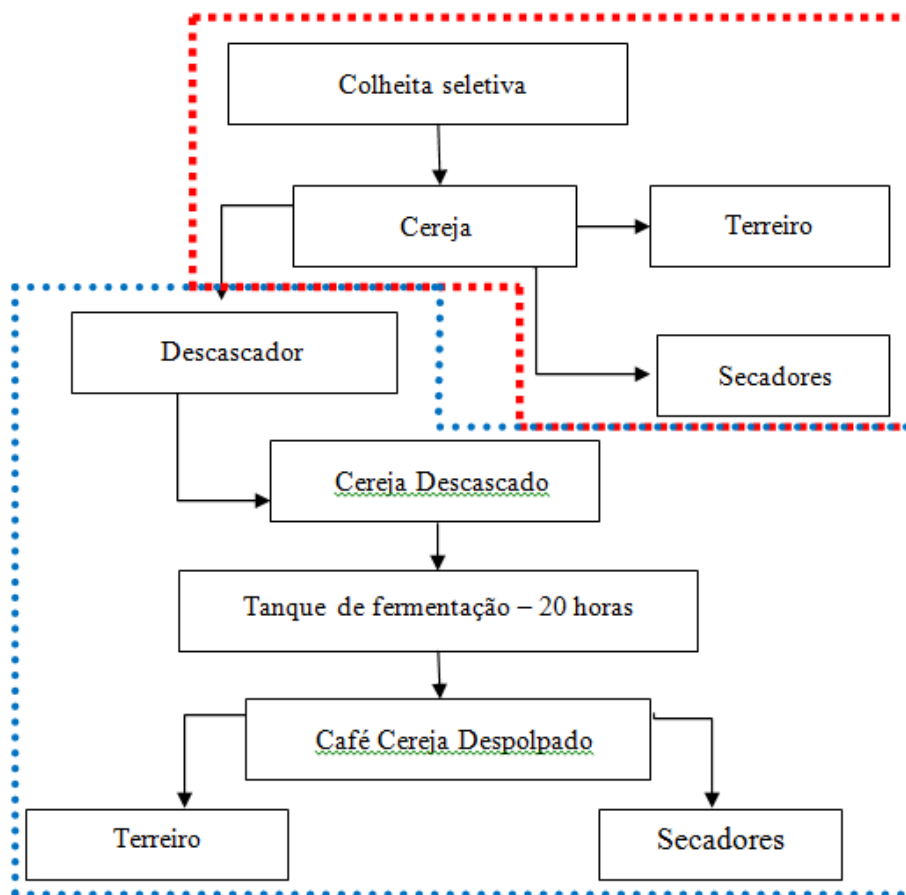


Figura 1 Fluxograma usado na obtenção da matéria-prima (Linhas pontilhadas quadrado em vermelho indicam processamento via seca; Linhas pontilhadas redondo em azul indicam processamento via úmida).

2.2 Processamento via seca

Para o processamento do café via seca, que resulta nos cafés naturais, os frutos foram lavados e separados hidraulicamente, por diferença de densidade, para a remoção dos frutos boia e secos presentes na parcela. Em seguida, os frutos maduros foram mais uma vez selecionados manualmente, para garantir a uniformidade da amostra com relação ao estágio de maturação. Após esse procedimento, uma parcela do café natural foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.3 Processamento via úmida

Para o processamento do café via úmida, os frutos maduros, provenientes de colheita seletiva, foram mais uma vez selecionados manualmente e descascados mecanicamente em um separador de verde da marca Pinhalense Ltda., modelo Eco - 6. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente, com temperatura média de 20°C, por 20h. Após esse período, os cafés em pergaminho foram lavados com água até a retirada completa da mucilagem. Quando a mucilagem foi totalmente removida, uma parcela do café em pergaminho foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento o café permaneceu sob condições ambientes. Foi utilizado para essa secagem um terreiro tipo suspenso. Esses cafés foram esparramados em camadas finas grão-a-grão, e com o decorrer da secagem sua camada foi sendo dobrada, de acordo com a metodologia proposta por Borém et al. (2008).

A temperatura ambiente máxima, mínima, média, e a precipitação e umidade relativa, durante o período de secagem, que se estendeu do dia 16 a 27 de Agosto de 2013, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2013.

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
31,80	13,15	18,85	0,014	58,6

Tanto o café natural quanto o café despulpado permaneceram sob essas condições até atingirem o teor de água de $11 \pm 0,2\%$ (b.u.).

2.5 Secagem em secador

As parcelas destinadas à secagem mecânica foram conduzidas para três secadores (Figura 2) de camada fixa, os quais permitem o controle do fluxo e da temperatura (T) do ar de secagem com precisão, através de um painel eletrônico. A camada de grãos atingiu a espessura de 30 cm para os café naturais e 20 cm para os café despulpados.

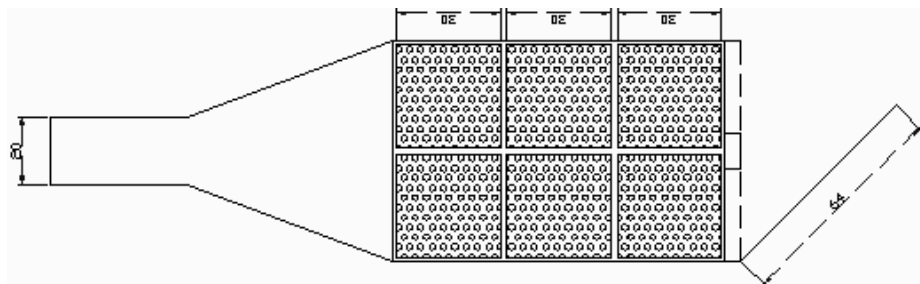


Figura 2 Visão superior dos secadores utilizados no experimento

O fluxo do ar foi controlado a $20 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, correspondendo a uma velocidade de $0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Silva, 2000).

O momento de transição de uma temperatura para a outra, no caso dos tratamentos com ar aquecido a $50/35^\circ\text{C}$, $45/35^\circ\text{C}$, $40/35^\circ\text{C}$, $35/50^\circ\text{C}$, $35/45^\circ\text{C}$ e $35/40^\circ\text{C}$, foi determinado da seguinte forma:

O controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor de água do café foi determinado deixando os frutos por um período de 24 horas, submetidos a uma temperatura constante de 105°C . Após esse período sua umidade foi determinada pela diferença dos pesos iniciais e finais.

Para determinar o momento de transição da temperatura do ar, cada bandeja contendo a parcela experimental foi pesada a cada hora, e o teor de água foi determinado por diferença de massa aplicando-se as equações 1 e 2. Quando cada gaveta atingiu a massa relativa ao teor de água de $30\% \pm 2\%$ (b.u.) a temperatura foi mudada, permanecendo assim até o café atingir 11% (b.u.).

$$Mf = Mi - \left(\frac{Mi \times PQ}{100} \right) \quad \text{equação 1}$$

$$PQ = \left[\frac{(Ui - Uf)}{(100 - Uf)} \right] \times 100 \quad \text{equação 2}$$

em que:

Mf: massa final (kg);

Mi: massa inicial (kg);

PQ: porcentagem de quebra (%);

Ui: teor de água inicial (% b.u.);

Uf: teor de água final (% b.u.).

Após a secagem e resfriamento, o café em pergaminho e natural permaneceu armazenado em sacos de polietileno em ambiente com temperatura de 10°C e 50% de umidade relativa do ar, sendo beneficiado apenas no momento da realização das análises fisiológicas, físico-químicas e sensoriais para avaliação da qualidade do café, o que aconteceu após um período mínimo de 90 dias de descanso, tempo mínimo para o café ter consolidado seus atributos sensoriais (Borém, 2008).

2.6 Caracterização da qualidade do café

2.6.1 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Qualidade da Nutrade, localizado na cidade de Varginha – Minas Gerais. Para tanto se utilizaram porções das amostras de grãos classificados em peneira 16 acima, com descarte de grãos mocos e defeituosos de acordo com a Normativa n° 8 (BRASIL, 2003).

A análise sensorial foi realizada por dois Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA Certified Cupping Judges). Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da SCAA, de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais, com atribuição de notas, no intervalo de 6 a 10 pontos para fragrância, acidez, corpo, sabor, finalização, doçura, uniformidade, xícara limpa, equilíbrio e final. A torra foi feita com coloração correspondente a 58 pontos da escala Agtron, para o grão inteiro, e 63 pontos para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. Para obtenção do ponto de torra ideal foi feita a padronização das amostras quanto ao peso (110 g), tamanho dos grãos (peneira 16 e acima), bem como o monitoramento da temperatura e tempo de torra (entre 8 e 12 minutos). De acordo com a Normativa n° 8 (BRASIL, 2003).

Em cada avaliação sensorial foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições para cada tratamento. Por apresentarem características sensoriais distintas, a análise sensorial dos cafés naturais e despulpados foi realizada separadamente, tendo em vista minimizar possíveis interferências, negativas ou positivas. Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

2.6.2 Análises fisiológicas e físico-químicas

As análises fisiológicas e físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Para as análises fisiológicas foram utilizadas quatro subamostras de grãos sem defeitos aparentes, para cada repetição dos respectivos tratamentos.

2.6.2.1 Teste de germinação

Foi realizado com quatro sub-amostras de 50 sementes, distribuídas em papel de germinação umedecido com quantidade de água equivalente a duas vezes e meia a massa do substrato seco e, colocadas para germinar à temperatura de 30°C. As avaliações foram realizadas aos trinta dias após a semeadura, segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), e os resultados expressos em porcentagem.

2.6.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada pela metodologia proposta por Krzyzanowski, França Neto e Henning (1991). Foram utilizadas quatro repetições de 50 grãos de cada parcela, as quais foram pesadas com precisão de 0,001g e imersas em 75 mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Em seguida, esses recipientes foram levados à BOD com ventilação forçada regulada para 25°C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da água de embebição em aparelho BEL W12D. Com os dados obtidos foi calculada a condutividade elétrica pela equação 3, expressando-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos.

$$CE = \frac{\text{Valor lido} \left(\frac{\mu S}{cm} \right)}{\text{Massa (g)}} \quad \text{equação 3}$$

2.6.2.3 Lixiviação de potássio

A lixiviação de íons de potássio foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Após a leitura da condutividade elétrica, as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviada. A leitura foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos foi calculada a quantidade de potássio lixiviada de acordo com a equação 4, expressando-se o resultado em ppm.

$$LK = \frac{\text{Valor lido} \times \text{diluição} \times 1,56}{\text{Massa (g)}} \quad \text{equação 4}$$

2.6.3 Acidez graxa

Para a realização dessa análise foram utilizadas amostras de café armazenadas por 3 meses (MARQUES et al., 2008) em câmara fria com temperatura de 10°C. A acidez graxa foi determinada por titulação, de acordo com o método descrito pela American Association of Cereal Chemists - AACC (1995). Foram pesados 40g da amostra de café moído e adicionados 100 mL de tolueno, colocado para agitar durante 1 hora e 30 minutos. Em seguida, realizou-se a filtração com papel de filtro. Misturaram-se, em um erlenmeyer, 25 mL da solução filtrada com 25 mL de etanol (95% v/v) mais fenolftaleína (0,04% m/v) e, em seguida titulou-se a solução com (KOH) na concentração de 0,025 mol.L⁻¹, até atingir o ponto de virada. O resultado do teor da acidez graxa foi expresso em mL de KOH/100 g de MS. Calculado de acordo com as equações 5 e 6.

$$PS = [1 - U(b. u.) \times PC(g)] \quad \text{equação 5}$$

$$AG = \frac{[V(ml) \times 100]}{PS(g)} \quad \text{equação 6}$$

em que:

PS: massa da amostra seca (g);

PC: peso de café (g);

U (b.u): teor de água em base úmida (%);

V: volume gasto de KOH na titulação (extrato + indicador) em mL;

AG: acidez graxa (mL de KOH/100 g de MS).

2.7 Análise estatística

O delineamento experimental foi constituído de esquema fatorial 2x7, inteiramente casualizado, sendo duas formas de processamento (natural e despulpado) e sete manejos de secagem. Para cada tratamento foram realizadas três repetições.

Os dados obtidos da análise fisiológica, físico-química e sensorial do café também foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa computacional Assistat 4.0, segundo Silva e Azevedo (2009) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 1%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das condições de secagem

A temperatura ambiente máxima, mínima, média, e a precipitação e umidade relativa, durante o período de secagem, que se estendeu do dia 16 a 27 de agosto de 2013, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2013

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
31,80	13,15	18,85	0,014	58,6

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica e o tempo total de secagem, para cafés processados por via seca e por via úmida.

Tabela 4 Valores médios do teor de água e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água médio (% b.u.)		Tempo secagem médio (h)	
		Início	Final	Antes meia seca (b.u.)	Total
35/40°C	Despolpado	46,5	11,6	20,0	32,0
35/40°C	Natural	65,0	11,4	48,0	113,0
35/45°C	Despolpado	46,5	11,7	20,0	29,0
35/45°C	Natural	65,0	11,1	48,0	97,0
35/50°C	Despolpado	46,5	11,3	20,0	28,0
35/50°C	Natural	65,0	11,1	48,0	91,0
40/35°C	Despolpado	48,0	11,5	18,5	37,0
40/35°C	Natural	64,4	11,2	40,0	139,0
45/35°C	Despolpado	48,0	10,7	15,5	35,5
45/35°C	Natural	64,4	11,0	28,0	117,0
50/35°C	Despolpado	48,0	10,8	12,0	34,5
50/35°C	Natural	64,4	11,0	20,0	107,0
Terreiro	Despolpado	46,5	10,9	-	145
Terreiro	Natural	64,4	11,8	-	251

Nota-se, na Tabela 4, que o tratamento de secagem com temperaturas mais elevadas no final do processo teve um menor tempo total de secagem quando comparado com os outros tratamentos de secagem mecânica. Esse fato decorre da maior dificuldade de remoção da água quando os frutos estão

com teores de água mais baixos (OLIVEIRA et al.,2012). Pode-se observar também que, os maiores tempos totais de secagem dos grãos de café ocorreram no tratamento em terreiro, devido ao menor tempo de exposição desses cafés a altas temperaturas e maior umidade relativa do ar ambiente, a que esses cafés foram submetidos (Tabela 3).

Segundo Borém et al. (2006) e Ribeiro et al. (2003), o tempo de exposição, a temperatura e fluxo do ar de secagem, o teor de água inicial e final do produto, a temperatura do ar ambiente, são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e tem efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. A remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafés. A difusão de líquido será facilitada tanto pelo aumento da temperatura como pela remoção de barreiras físicas, como ocorre no despolpamento do café comparativamente à secagem do café natural.

O aumento da temperatura do ar resulta em maior diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e do produto, fazendo com que a água seja removida com mais facilidade e rapidez (Siqueira; RESENDE; CHAVES, 2012). Além disso, na literatura há relatos de outras causas para a redução do tempo de secagem com a elevação da temperatura. O aumento da temperatura reduz a viscosidade da água, influenciando diretamente a resistência do fluido ao escoamento. A diminuição da viscosidade facilita a difusão das moléculas de água nos capilares do produto, além de proporcionar aumento no nível de vibração das moléculas de água, o que também contribui para elevação da taxa de secagem (CORRÊA et al., 2010).

3.2 Análise sensorial

Considerando esse tipo de avaliação, a análise de variância dos dados foi feita para a nota global.

A nota global para cada tipo de processamento são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Valores médios das nota global para cada tratamento de secagem – Lavras – 2013

Processamento	Nota Global
Natural	80,50 A
Despolpado	79,60 A

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Observa-se que o processamento não teve efeito significativo para a nota global. Mas se analisarmos cada atributo que compõe a nota global, foi percebido pelos degustadores que, os cafés naturais apresentam maiores notas em termos dos atributos corpo e doçura. Já os cafés despolpados apresentaram notas maiores nos atributos acidez e finalização. Fato que está diretamente relacionado ao tipo de processamento empregado. Como a nota global é a soma de todos os atributos, não houve diferenças significativas para esses cafés, mesmo sabendo que, para o nosso paladar esse café se apresentaram diferentes.

A nota global para cada método de secagem são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 Valores médios das nota global para cada tratamento de secagem – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Nota Global
Terreiro	82,70 A
35/40°C	81,20 A
35/45°C	78,83 B
35/50°C	77,55 C
40/35°C	81,54 A
45/35°C	79,42 B
50/35°C	80,04 B

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Em relação aos tratamentos de secagem 50/35°C e 35/50°C, verificam-se diferenças entre os valores médios da nota global independentemente do tipo de processamento utilizado, se despulpado ou natural. Os maiores valores para nota global foram encontrados no tratamento de secagem 50/35°C. Nota-se que o uso de ar aquecido a 50°C após a meia-seca foi extremamente prejudicial na manutenção de suas características sensoriais, indicando uma maior sensibilidade desses cafés ao aumento da temperatura de secagem ao final do processo de secagem. De acordo com Borém, Marques e Alves (2008) e Saath et al. (2012), as membranas celulares dos grãos de café são especialmente danificadas quando os teores de água do café estiverem entre 30% a 20% (b.u), utilizando temperatura de secagem de 60°C constante para os cafés despulpado e natural.

Os maiores valores para a nota total foram encontrados nos cafés secados em terreiro, 35/40°C e 40/35°C, quando comparados aos demais tratamentos de secagem com ar aquecido. Esse fato indica uma possibilidade de novos manejos que reduzam os custos pois teremos uma maior qualidade final do produto. Para cafés especiais alguns produtores estão utilizando temperaturas mais baixas.

Pode-se observar também que, o aumento da temperatura de secagem, antes ou após a meia-seca, foi prejudicial aos atributos sensoriais desses cafés. Borém et al. (2006), Coradi et al. (2007) e Marques et al. (2008), estudando o efeito da temperatura da massa de grãos sobre a qualidade sensorial, relataram que o aumento da temperatura de secagem foram prejudiciais a manutenção da qualidade sensorial dos cafés em pergaminho e natural. Esse fato pode ser observado, e corrobora com os resultados obtidos por Kleinwächter e Selmar (2010), em que esses autores observaram que a etapa final do processo de secagem teve uma ação mais danosa na formação dos precursores sensoriais da qualidade do café.

3.3 Análises fisiológicas e físico-químicas

3.3.1 Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e germinação

Na Tabela 7 são apresentados os desdobramentos do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos de café em relação à condutividade elétrica, lixiviação de potássio e germinação.

Tabela 7 Valores médios das avaliações fisiológicas e físico-químicas para a interação tratamento de secagem e tipo de processamento, dados em porcentagem (%) – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Condutividade elétrica		Lixiviação de potássio		Germinação	
	Natural ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Despolpado ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Natural (mg/kg)	Despolpado (mg/kg)	Natural (%)	Despolpado (%)
Terreiro	2,06 aC	1,38 aC	15,85 aB	8,68 bA	70,25 aA	72,75 aB
35/40°C	4,82 aA	3,75 bA	26,26 aA	12,02 bA	50,50 bB	93,34 aA
35/45°C	5,10 aA	3,91 bA	14,00 aB	14,80 aA	8,17 bD	92,67 aA
35/50°C	5,21 aA	4,12 bA	15,18 aB	12,02 aA	0,00 bD	76,33 aB
40/35°C	3,47 aB	2,32 bB	12,13 aB	10,99 aA	35,33 bC	94,5 aA
45/35°C	3,66 aB	2,71 bB	8,81 aC	13,64 aA	37,33 bC	92,66 aA
50/35°C	3,85 bB	3,10 bB	9,13 aC	9,87 aA	31,00 bC	81,50 aB

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Verifica-se na Tabela 7, que o tipo de processamento e secagem do café teve influência significativa nas avaliações fisiológicas. Os menores valores de germinação foram encontrados nos cafés naturais, indicando que ocorreram danos fisiológicos mais intensos nos grãos desses cafés, devido ao maior período de exposição a altas temperaturas. Os maiores valores encontrados para germinação, foram para os cafés despolpados. Resultado semelhante foi observado por Taveira (2009), indicando a maior tolerância desses cafés às altas temperaturas de secagem, quando comparados aos cafés naturais. Para os cafés naturais, somente os cafés secados em terreiro apresentaram valores indicativos da presença de atividade fisiológica nos grãos. Para os tratamentos de secagem com ar aquecido os valores foram baixos, apontando a morte dos embriões dos grãos de café natural durante o

processo de secagem, reforçando a sensibilidade desses cafés à secagem com temperaturas elevadas (TAVEIRA, 2009).

Os tratamentos de secagem 35/40°C, 40/35°C, 35/45°C e 45/35°C, para os cafés despulpados, apresentam-se como uma boa alternativa para a secagem de sementes de cafés processados por via úmida, tendo em vista sua manutenção da sua qualidade fisiológica (germinativas e CE).

Para os cafés naturais, o aumento da temperatura de secagem, antes de se atingir o teor de água de 30% ou posteriormente, reduziu significativamente a porcentagem da germinação, sendo mais intensa nos tratamentos de secagem 35/45°C e 35/50°C.

A utilização de temperaturas elevadas permite secagem mais rápida, porém, pode provocar uma diferença de teor de água muito grande entre a periferia e o centro do grão, gerando gradiente de pressão elevado, que pode provocar desestruturação nas membranas celulares dos grãos de café, resultando na redução do vigor das sementes, relacionado ao potencial de emergência e desenvolvimento de plântulas normais, ou até mesmo na perda total da viabilidade, definida como a capacidade de produzir plântulas normais.

Pode-se confirmar, pelo apresentado na Tabela 7, que houve diferenças significativas entre os tipos de processamentos e secagem utilizados nos experimento, em relação à condutividade elétrica. Os maiores valores de condutividade elétrica, independente do tratamento de secagem, foram encontrados nos cafés naturais, quando comparados com os cafés despulpados, apontando que essa forma de processamento contribuiu para os valores de condutividade elétrica serem menores, com consequente manutenção das estruturas celulares e da qualidade do produto. Outro fato que pode ter contribuído para isso, seria o menor tempo de exposição desses cafés às altas temperaturas, quando comparados aos tempos de exposição dos cafés naturais (PRETE, 1992).

Em relação aos tratamentos de secagem, nota-se que o aumento da temperatura de secagem resultou em maiores valores de condutividade

elétrica, tanto para cafés processados por via seca quanto para os cafés processados por via úmida. Esse fato corrobora com os relatos dos autores Borém, Marques e Alves (2008) e Coradi et al. (2007), que verificaram que o aumento da temperatura de secagem causa danos ao sistema de membranas das células da grãos de café, aumentando a condutividade elétrica do exsudado dos grãos. Esses autores afirmam que, com o extravasamento dos ácidos graxos presentes no interior celular devido à desorganização ou rompimento das membranas citoplasmáticas, podem ocorrer reações oxidativas ou reações catalíticas com produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial da bebida do café.

Verifica-se também, na Tabela 7, que o tratamento de secagem que menos causou danos às estruturas celulares foi o terreiro. Esse fato pode estar relacionado à menor tempo de exposição a altas temperaturas, menores temperaturas na massa de grãos e menores taxas de secagem. Em relação aos tratamentos de secagem mecânica, as temperaturas de secagem 35/40°C, 35/45°C e 35/50°C resultaram nos maiores valores de CE, LK e Germinação, indicando maior comprometimento da qualidade do café comparativamente à secagem com temperaturas 50/35°C, 45/35°C e 40/35°C. Esse aumento da condutividade elétrica dos cafés processados via seca e via úmida, quando da utilização de temperaturas mais altas após a meia-seca, comparada com a utilização das mesmas temperaturas antes da meia-seca, pode ser explicado pelo maior tempo de exposição e pela maior desestruturação das membranas celulares quando da utilização de altas temperaturas no momento em que o produto se encontra com teor de água mais baixo. Fenômeno semelhante foi observado por Saath et al. (2012) que, analisando os danos causados pela temperatura de secagem nas estruturas celulares de grãos de café, verificou que esses ocorrem mais intensamente entre os teores de água entre 30% (b.u.) e 20% (b.u.), quando utilizou a temperatura de 60°C na secagem.

Assim como no teste de condutividade elétrica, os maiores valores de lixiviação de potássio foram encontrados nos cafés processados via seca,

indicando mais uma vez que o tempo de exposição desses cafés à secagem, tanto em terreiro quanto em secadores, pode ter sido um dos causadores desse fenômeno. O mesmo fenômeno foi observado por Taveira (2009), estudando a alternância de temperaturas no decorrer do processo de secagem.

A elevada temperatura no início da secagem, antes da meia-seca, no tratamento de 50/35°C, e no final da secagem, após a meia-seca, no tratamento 35/50°C, pode ter sido prejudicial à integridade fisiológica dos grãos, indicados pelos altos valores de lixiviação de potássio, quando comparados com a secagem em terreiro. Os maiores valores de lixiviação de potássio foram encontrados nos cafés naturais e despulpados secados com temperaturas de 35/45°C e 35/50°C, apontando a maior sensibilidade das membranas a baixo teor de água. Nesse momento há um acúmulo de energia muito grande no interior do grão, que pode, dependendo da temperatura utilizada na secagem, comprometer as estruturas celulares com consequente lixiviação de solutos.

Existe uma concordância de que a degeneração das membranas celulares e subsequente perda de controle de permeabilidade seja um dos primeiros eventos que caracterizam a deterioração. De acordo com Malta, Pereira e Chagas (2005), qualquer fator que altere a estrutura da membrana, como ataque de insetos e microrganismos, alterações fisiológicas, danos mecânicos e térmicos, provocam uma rápida deterioração dos grãos de café. Essas alterações provocam reações químicas que modificam a composição química original do grão de café e em consequência suas propriedades sensoriais e fisiológicas.

3.4 Acidez graxa

Na Tabela 8 encontram-se os resultados do desdobramento do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos sobre a acidez graxa.

Tabela 8 Valores médios de acidez graxa para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Acidez Graxa	
	Natural (mL de KOH/100 g de MS)	Despolpado (mL de KOH/100 g de MS)
Terreiro	3,39 aD	3,13 bB
35/40°C	3,49 aC	3,04 bB
35/45°C	3,71 aB	3,23 bB
35/50°C	3,91 aA	3,40 bB
40/35°C	3,32 aD	3,16 bB
45/35°C	3,53 aC	3,35 bB
50/35°C	3,66 aB	3,48bB

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Observam-se diferenças significativas no teor de acidez graxa entre os tratamentos de secagem e processamento. Esses resultados estão relacionados à estabilização das membranas e à integridade das paredes celulares, indicando que uma maior degradação das membranas celulares dará origem à maior quantidade de ácidos graxos livres (MARQUES, 2006). Segundo Biaggioni e Ferreira (1998), durante o armazenamento, a hidrólise do material graxo inicia-se antes da hidrólise de carboidratos ou proteínas. Portanto, o teor de ácidos graxos livres pode ser usado como um indicador da deterioração dos grãos. Em relação ao processamento dos grãos de café, verifica-se, na Tabela 8, que os maiores valores foram encontrados nos cafés processados por via seca. Supõe-se que a maior exposição desses cafés a altas temperaturas provocou o rompimento das estruturas das membranas celulares, extravasando óleos e comprometendo a qualidade do café com os processos de oxidação, demonstrando a maior sensibilidade desses cafés a altas temperaturas (OLIVEIRA et al., 2012). Outra possível causa, seria a maior fermentação que ocorre nos grãos processados via seca, devido a grande quantidade de açúcares presentes na mucilagem. Esses resultados estão de acordo com os obtidos nos testes de condutividade elétrica e

lixiviação de potássio, onde os maiores valores desses testes foram dados para os cafés processados por via seca.

Nota-se que para os cafés despulpados com secagem mecânica, os resultados foram satisfatórios, pois o valor da sua acidez graxa foi estatisticamente igual ao da secagem em terreiro, fenômeno que aponta um maior potencial de manutenção da qualidade desses cafés quando armazenados, sugerindo que a remoção da casca nos cafés despulpados diminuiu a quantidade ácidos graxos livres. Os tratamentos de secagem 35/50°C e 50/35°C foram os que obtiveram os maiores valores de acidez graxa, sugerindo que esse tratamento de secagem danificou as estruturas celulares dos grãos de café, dando origem a um número maior de ácidos graxos livres. Soares (2003), estudando a acidez graxa em sementes de soja submetida a altas temperaturas de secagem, verificou maiores deteriorações pela ocorrência de maiores teores de acidez graxa, em sementes submetidas à secagem drástica.

Soares (2003), avaliando o nível de ácidos graxos livres em grãos de soja danificados artificialmente, observou que o teste de acidez graxa foi eficaz para detectar o efeito de danos térmicos e mecânicos em relação à testemunha e, comparado ao teste de tetrazólio, o índice de acidez graxa demonstrou ser mais preciso para detectar os efeitos latentes oriundos de tais danos.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente experimento, concluiu-se que:

A secagem em terreiro, para as condições climáticas ocorridas no experimento, proporciona a melhor qualidade fisiológica e sensorial dos grãos de café, quando comparada com a secagem com ar aquecido.

O café despulpado apresenta melhor qualidade fisiológica.

A temperatura de 35/50°C e 50/35°C foram as que obtiveram os piores resultados de germinação.

O uso de temperaturas mais altas após a meia-seca foi mais danosa do que quando usada antes da meia-seca, em termos de condutividade elétrica.

O uso de temperaturas mais baixas (35/40°C e 40/35°C), apresentaram resultados semelhantes à secagem em terreiro.

REFERÊNCIAS

- ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. **In:** 20th International Conference in Coffee Science. Bangalore 2004, ASIC, India – cd-room. 2004
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC methods 02-02A: fat acidity, rapid method, for grain. **In:** _____. **Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists.** Saint Paul, 1995. Irregular page.
- AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com deterioração da qualidade.** 1978. 85 p. Tese (Livre Docência em Bioquímica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- BIAGGIONI, M. A. M.; FERREIRA, W. A. Variação na germinação e nível de ácidos graxos livres durante o armazenamento de milho colhido mecanicamente. **In:** CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1988, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 1 CD-ROM.
- BORÉM, F. M. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG – 303.** 1992. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café.** Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 631.
- BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. Ultrastructural analysis damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. **Biosystems Engineering**, Saint Joseph, v. 99, n. 1, p. 62-66, Jan. 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 2009. 399 p.

BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; KRAMER, D.; BREITENSTEIN, B.; BERGERVOET, J. H. W.; GROOT, P. C.; SELMAR, D. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.

BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; SCHIEBERLE, P.; TEUSTSCH, I.; SELMAR, D. Influence of processing on the generation of α -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 3/4, p. 245-250, Mar. 2005.

FARAH, A.; MONTEIRO, M. C.; CALADO, V.; FRANCA, A. S.; TRUGO, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA UFSCAR, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FLAMENT, I. **Coffee flavour chemistry**. England: J. Wiley, 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. Geneva, 1999. 17 p.

KNOPP, S. E.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the cont of sugars in green arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, v. 223, n. 2, p. 195-201, June 2006.

KRZYZANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

KRZYZANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A.A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v.1, n.2, p. 15-50, mar. 1991.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arábica* L.)**. 1991. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras

LELOUP, V.; GANCEL, C.; LIARDON, R.; RYTZ, A.; PITHON, A. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangladore. **Resumes...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook. A systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. Washington, Coffee Development Group, 1986. 32 p.

MARQUES, E. R.; BOREM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M.; Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes períodos de temperatura e pré-secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, set./out. 2008.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

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 estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamentos**, Viçosa, MG, n. 1, p. 23-30, 2000. Edição Especial - Café.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arábica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

RIBEIRO, D. M.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T.; ROSA, S. D. V.F.; Taxa de redução de água do café cereja descascado em função da temperatura da massa, fluxo de ar e período de pré-secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, MG, v. 28, n. 7, p. 94-107, 2003. Especial.

SANTOS, M. A. **Influência do preparo por via úmida e tipos de secagem sobre a composição física, físico-química e química do café (*Coffea arabica* L.)**. 2005. 60 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S.E.; BRADBURY, A.; WILKENS, J.; BECKER, R. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. **In: 20th International Conference in Coffee Science**. Bangalore 2004, ASIC, India – cd-room. 2004.

SILVA, J. de S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology**. Westport: AVI, 1963. v. 2, 349 p.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Backgrounder** : what's special about specialty coffee? Disponível em: <<http://scaa.org/pdfs/Press-What-is-Specialty-Coffee.pdf>>. Acessado em: 23 nov. /2008.

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.

ZONTA, J. B. **Teste ler café: adequação e aplicação para avaliar a qualidade de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CAPÍTULO 2

ALTERAÇÕES ULTRAESTRUTURAIS DE GRÃOS DE CAFÉ NATURAL E DESPOLPADO EM FUNÇÃO DA ALTERNÂNCIA DA TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar as ultra-estruturas de cafés processados e secados de diferentes formas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e sete métodos de secagem: secagem em terreiro e secagem mecânica com ar aquecido a 50°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 45°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 50°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 45°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 40°C até atingir 11% de teor de água. O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de três secadores de camada fixa, o qual permite o controle da temperatura e fluxo de secagem. Após a aplicação dos tratamentos, os cafés foram submetidos a um estudo ultra-estrutural. O estudo da ultra-estrutura dos grãos de café foi obtido pela microscopia eletrônica de varredura. Com relação ao estudo das ultra-estruturas dos grãos de café, observou-se que a temperatura de secagem 40/35°C na secagem dos cafés despulpados obteve resultados semelhantes a esses cafés secados com temperatura 35/40°C, com pequena contração das células, sem sinais evidentes de ruptura. Pôde-se observar também que a utilização da temperatura de secagem 35/50°C foi a que mais causou danos às estruturas das células, independentemente do tipo de processamento. Verificou-se que os cafés naturais apresentaram mais desestruturação dos componentes celulares do que os cafés despulpados.

Palavras-chave: Pós-colheita. Microscopia eletrônica. Curvas de secagem.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos do agronegócio mundial e, no Brasil, tem participação marcante e decisiva na economia com valores expressivos nas exportações.

Os consumidores de café vêm se tornando cada vez mais exigentes com relação à qualidade do produto, sendo crescente o segmento de cafés especiais. A qualidade do café transformou-se num aspecto imprescindível para a conquista de novos mercados. Produzir cafés especiais requer investimentos, dado que envolve gastos em cuidados nas operações de colheita e pós-colheita, para a consequente melhoria na qualidade.

A qualidade de produtos alimentícios é de difícil definição e seus padrões qualitativos variam de acordo com o tipo de mercado. Porém, de modo mais amplo, pode-se definir a qualidade como a satisfação total do consumidor, considerando o conjunto de características do produto e sua comparação com padrões estabelecidos. O café de boa qualidade (BORÉM, 2004) é aquele que apresenta bebida com sabor e aroma agradáveis, bom corpo, acidez natural e suavidade ao paladar. Ainda deve conter poucos defeitos, apresentar cor e aspecto homogêneos e estar de acordo com as normas higiênico-sanitárias (CLIFFORD, 1985; MENDONÇA, 2004; SIVETZ & DESROSIER, 1979).

O processamento é uma etapa importante da pós-colheita. A escolha do método de processamento dependerá das condições financeiras do cafeicultor, da produtividade e qualidade almejada (BORÉM, 2008).

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café recém-colhido é constituído de uma mistura de frutos verdes, cerejas, passas, folhas, ramos, torrões e pedras. Após a colheita por derriça no chão, no pano ou mecanizada, o café é submetido ao processo de separação das impurezas, que pode ser feito por peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza. Em seguida, o café deve passar pelo separador hidráulico, onde a separação é feita de acordo com a densidade dos frutos, ou seja, separando

os cafés boia (secos, brocados e mal granados) dos frutos cereja e verde. O processamento do café pode ser realizado de formas distintas: mantendo-se o fruto intacto, ou seja, o fruto é processado em sua forma integral, com casca e mucilagem (café natural); removendo-se apenas a casca e parte da mucilagem (descascado); removendo-se a casca e a mucilagem mecanicamente (desmucilado); ou removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por meio de fermentação biológica (despolpado) (BARTHOLO & GUIMARÃES, 1997; BOREM, 2004).

O café deve ser colhido no estágio de maturação cereja, apresentando máxima qualidade, porém elevado teor de água. A atividade metabólica do fruto é acelerada tornando-se, assim, necessária a remoção da água pela secagem. Considerando toda a cadeia produtiva do café, o processamento, a secagem e o armazenamento, se mal conduzidos, são as principais etapas que reduzem a qualidade do café e aumentam os riscos sanitários (GIRANDA, 1998; REINATO, 2006).

O processo de secagem visa à retirada parcial da água da semente, por meio da transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo do vapor d'água, da semente para o ar (FOUST et al., 1982). A secagem ocorre por diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto. A pressão de vapor do ar deve ser menor que a pressão de vapor do produto (ATHIÉ, 1998; PABIS et al., 1998). LASSERAN (1978) sugeriu que o fluxo de água do interior para a superfície, durante a secagem, é ocasionado por um derramamento hidrodinâmico sob a ação da pressão total interna e/ou por um processo de difusão resultante de gradientes internos de temperatura e teor de água ou de um gradiente de pressão osmótica.

Geralmente, no início da secagem, o produto está completamente úmido, e a água é transferida na fase líquida sob gradiente hidráulico. Há um acréscimo no diâmetro dos poros e capilaridades e, conseqüentemente, um decréscimo do volume do produto aproximadamente igual ao volume da água evaporada (ATHIÉ, 1998; PABIS et al., 1998).

No início da secagem, o produto está com teor de água elevado que deve ser reduzido gradualmente. A remoção de líquido nas faixas de maior teor de água é realizada mais rapidamente, pois, está-se retirando água livre, fracamente ligada (BROOKER et al., 1992; KREYGER, 1973; LASSERAN, 1978). O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa de deslocamento interna da água para a superfície do produto é igual ou maior que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água livre (HALL, 1980; FOUST et al., 1982), no café esse período pode ser observado nas primeiras horas de secagem (MARQUES, 2006). Nessa fase, toda energia transferida para os frutos é usada na evaporação da água, mantendo constante a temperatura do produto, ou seja, a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem saturado e as transferências de calor e massa se compensam. Por outro lado, nas de menor teor de água, final do processo, trata-se da retirada de água de constituição, fortemente ligada à estrutura do grão. Para a sua remoção há maior demanda de energia, fluxo de ar e maior tempo de exposição dos frutos ao calor (BROOKER et al., 1992). A taxa de transporte interno de água é menor do que a taxa de evaporação; desta forma a transferência de calor do ar para as sementes não é compensada pela transferência do vapor de água e, em consequência, a temperatura da semente aumenta, tendendo à temperatura do ar de secagem (HALL, 1980; FOUST et al., 1982). É nessa fase que ocorrem os maiores riscos de aquecimento (BORÉM, 2004; CARVALHO, 1994; SILVA, 2000).

As temperaturas do ar de secagem têm efeito significativo sobre a qualidade do produto, de tal maneira que o aumento da temperatura a níveis superiores àqueles necessários para evaporação da água provoca aquecimento do produto. Conseqüentemente, danos imediatos e latentes, descoloração do produto, redução do teor de amido, óleo e proteínas. Pesquisadores afirmam os frutos do cafeeiro com teor de água inicial elevado devem ser secos sob baixas temperaturas (40 a 50°C) para que seja favorecida a migração do teor de água do interior para superfície. Caso

contrário, a incidência de danos imediatos e latentes é elevado. O emprego de temperaturas elevadas provoca rápida e intensa secagem da superfície do grão, ocasionando endurecimento superficial, que impede a evaporação da água em seu interior (ATHIÉ, 1998; BROOKER et al., 1992; HARRINGTON, 1972; PABIS et al., 1998).

É indispensável que o café colhido seja preparado e submetido em seguida à secagem para evitar o desenvolvimento de processos fermentativos e prejuízos à qualidade da bebida. Sob esse aspecto, é fundamental o manejo pós-colheita (PEREIRA et al., 2003). O uso de técnicas adequadas no processamento, principalmente uma secagem bem feita, proporciona ao café aroma e sabor de qualidade superior (BORÉM et al., 2006).

Uma secagem rápida, tanto para os cafês via seca, como processado em via úmida, permite um bom padrão de qualidade, evitando a deterioração por microrganismos. Um processo de secagem eficiente é aquele que, além de reduzir o teor de água do produto, aumenta seu potencial de conservação pós-colheita e preserva suas características físicas e propriedades tecnológicas, atribuindo-lhe valor comercial (REINATO, 2006; CORRÊA et al., 2002).

Avaliando a interferência do processo de secagem na qualidade do café cereja descascado, Marques (2006), trabalhando com secadores de camada fixa, temperatura (40°C, 50°C e 60°C), fluxo de ar ($20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$) e períodos de pré-secagem, concluiu que menor temperatura de secagem e maior período de pré-secagem contribuíram para a obtenção de uma bebida de melhor qualidade do café.

A água é importante, não somente como um solvente para reações bioquímicas que ocorrem nas células, mas também como um estabilizador da estrutura das suas membranas (KOSTER & LEOPOLD, 1988). A estabilidade de diversas membranas celulares é importante durante o estresse à alta temperatura, assim como o durante o resfriamento e o congelamento. A excessiva fluidez de lipídeos de membrana a temperaturas altas está relacionada à perda de função (RAISON et al., 1982).

A aquisição da tolerância à dessecação ocorre durante a maturação, antes que as sementes sofram uma severa queda no conteúdo de água. Porém, não se pode afirmar se a tolerância é adquirida antes ou em resposta à perda de água. Algumas sementes apresentam uma rápida transição de uma fase de intolerância à tolerância à dessecação, podendo ou não coincidir com a deposição de reservas (BRANDÃO JÚNIOR, 2000).

Durante a secagem, dependendo da temperatura e taxas de secagem utilizadas podem ocorrer transformações químicas, físicas e fisiológicas nos grãos, que poderão provocar uma desorganização ou alterações da seletividade das membranas celulares (RIBEIRO, 2003).

As primeiras mudanças que afetam a qualidade têm sido atribuídas a vários processos bioquímicos, substâncias tóxicas e desnaturação de biomoléculas, em adição ao comprometimento da integridade de membranas, esse pode ser manifestado pela quebra da permeabilidade celular, resultando em um aumento da lixiviação de eletrólitos (DE PAULA et al., 1994) e, em outros, alguns mecanismos de proteção são capazes de manter os sistemas de membrana das células, as estruturas das macromoléculas e as substâncias de reserva em condições de readquirir suas funções fisiológicas quando as mesmas são reembebidas (GUIMARÃES et al., 2002).

As membranas celulares são citadas como um dos principais pontos de danos após a secagem e podem ser um indicador precoce do dano pela lixiviação de várias soluções citoplasmáticas. Neyra et al. (2004) em análises ultra-estruturais de tecidos após a embebição, detectaram alterações na membrana celular. Seewaldt et al. (1981) observaram em sementes de soja reidratadas algumas alterações na estrutura da membrana.

Em estudos ultra-estruturais de tecidos, após dessecação, tem-se verificado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria. Maior tolerância à dessecação das sementes é observada na secagem lenta Oliver & Bewley et al. (1994), citados por Pammenter et al. (1998), devido ao tempo concedido para a indução e a operação dos mecanismos de

proteção das membranas. A secagem rápida impede os processos de recuperação, sendo necessário mais tempo para os reparos na reidratação. Portanto, análises ultra-estruturais nos tecidos do endosperma tornam-se importantes para mostrar a veracidade desses estudos. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de transmissão (MET) vem-se aliando às pesquisas na busca da qualidade. Oliveira (2013) utilizou-se da técnica em análises ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e processamentos. Pela técnica, pôde comprovar que um ar de secagem à temperatura de 60°C, tanto nas fases iniciais de secagem quanto nas fases finais, influenciou de maneira negativa a qualidade dos café naturais e despulpados, pois provocou rupturas nas membranas celulares, conseqüentemente, o extravasamento de parte do protoplasma, no interior das células e nos espaços intercelulares. O autor relata que, a utilização de temperaturas mais elevadas (50°C e 60°C) nas fases iniciais e/ou finais da etapa de secagem foi muito mais danosa para os cafés naturais em comparação aos cafés despulpados. Fato que pode estar relacionado a uma diferença de teor de água muito grande entre a periferia e o centro do grão no café natural, gerando gradiente de pressão elevado, que pode provocar desestruturação nas membranas celulares dos grãos de café natural.

Considerando as novas informações que os estudos ultra-estruturais podem nos auxiliar, objetivou-se neste trabalho, analisar o efeito de diferentes métodos processamento e de secagem na manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas, determinando as condições finais aparentes das estruturas celulares.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Catuai 62), colhido na cidade de Carmo de Minas, na serra da Mantiqueira. Os frutos colhidos foram processados por via seca (natural) e via úmida (despolpado), separando-se somente os frutos cereja. Após o processamento, o café foi secado em sete condições diferentes: secagem completa no terreiro; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 50°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 45°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 50°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 45°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 40°C até atingir 11% de teor de água.

2.2 Processamento via seca

Para o processamento do café via seca, que resulta nos cafés naturais, os frutos foram lavados e separados hidraulicamente, por diferença de densidade, para a remoção dos frutos boia e secos presentes na parcela. Em

seguida, os frutos maduros foram mais uma vez selecionados manualmente, para garantir a uniformidade da amostra com relação ao estágio de maturação. Após esse procedimento, uma parcela do café natural foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.3 Processamento via úmida

Para o processamento do café via úmida, os frutos maduros, provenientes de colheita seletiva, foram mais uma vez selecionados manualmente e descascados mecanicamente. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente, com temperatura média de 20°C, por 20h. Após esse período, os cafés em pergaminho foram lavados com água até a retirada completa da mucilagem. Quando a mucilagem foi totalmente removida, uma parcela do café em pergaminho foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento o café permaneceu sob condições ambientes (Figura 1). Esses cafés foram esparramados em camadas finas grão-a-grão, e com o decorrer da secagem sua camada foi sendo dobrada, de acordo com a metodologia proposta por Borém et al. (2008). A temperatura e o teor de água relativa do ambiente, durante o período de secagem, foram monitorados com termo-higrógrafo. Tanto o café natural quanto o café despulpado permaneceram sob essas condições até atingirem o teor de água de $11 \pm 0,2\%$ (b.u.).

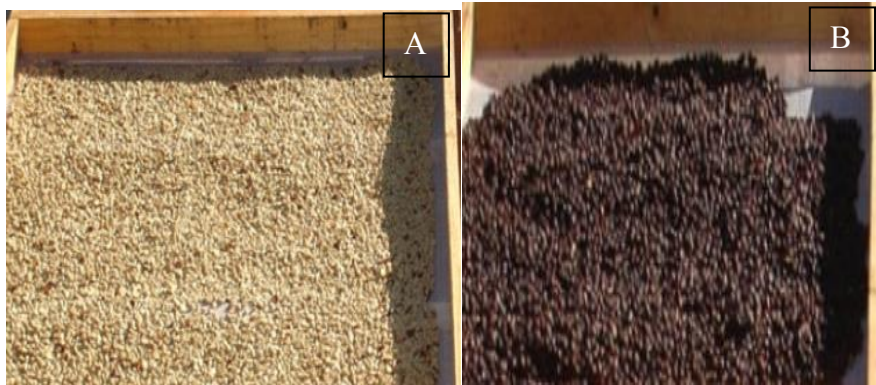


Figura 1 Secagem em terreiro até o teor se água de 11% (bu) (A) café despulpado e (B) café natural

2.5 Secagem em secador

As parcelas destinadas à secagem mecânica foram conduzidas para três secadores (Figura 2) de camada fixa, os quais permitem o controle do fluxo e da temperatura (T) do ar de secagem com precisão, através de um painel eletrônico. A camada de grãos atingiu a espessura de 20 cm.

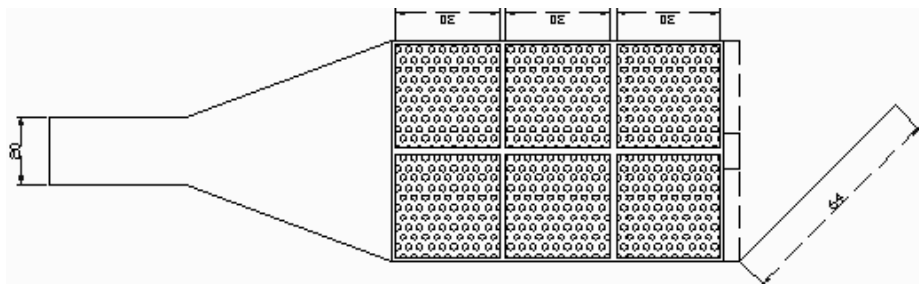


Figura 2 Visão superior dos secadores utilizados no experimento

O fluxo do ar foi controlado a $20 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, correspondendo a uma velocidade de $0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Silva, 2000).

O momento de transição de uma temperatura para a outra, no caso dos tratamentos com ar aquecido a $50/35^\circ\text{C}$, $45/35^\circ\text{C}$, $40/35^\circ\text{C}$, $35/50^\circ\text{C}$, $35/45^\circ\text{C}$ e $35/40^\circ\text{C}$, foi determinado da seguinte forma:

O controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor de água do café foi determinado deixando os frutos por um período de 24 horas, submetidos a uma temperatura constante de 105°C. após esse período sua umidade foi determinada pela diferença dos pesos iniciais e finais.

Para determinar o momento de transição da temperatura do ar, cada bandeja contendo a parcela experimental foi pesada a cada hora, e o teor de água foi determinado por diferença de massa aplicando-se as equações 1 e 2. Quando cada gaveta atingiu a massa relativa ao teor de água de 30% ± 2% (b.u.) a temperatura foi mudada, permanecendo assim até o café atingir 11% (b.u.).

$$Mf = Mi - \left(\frac{Mi \times PQ}{100} \right) \quad \text{equação 1}$$

$$PQ = \left[\frac{Ui - Uf}{(100 - Uf)} \right] \times 100 \quad \text{equação 2}$$

em que:

Mf: massa final (kg);

Mi: massa inicial (kg);

PQ: porcentagem de quebra (%);

Ui: teor de água inicial (% b.u.);

Uf: teor de água final (% b.u.).

Após a secagem e resfriamento, o café em pergaminho e natural permaneceu armazenado em sacos de polietileno em ambiente com temperatura de 10°C e 50% de umidade relativa do ar, sendo beneficiado apenas no momento da realização das análises fisiológicas, físico-químicas e sensoriais para avaliação da qualidade do café, o que aconteceu após um

período mínimo de 90 dias de descanso, tempo mínimo para o café ter consolidado seus atributos sensoriais (Borém, 2008).

2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A preparação e a observação das amostras em microscópio eletrônico de varredura foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), localizado no Departamento de Fitopatologia/UFLA. Para as amostras foram selecionados aleatoriamente 4 grãos de café por repetição. Em seguida esse grão foram cortados longitudinalmente e imersos em solução fixativa (Karnovisk modificado), pH 7,2 e armazenadas em câmara fria, até a realização das análises. Em seguida, foram transferidos para líquido crioprotetor (glicerol 30%) por 30 minutos e cortadas transversalmente em nitrogênio líquido. As secções obtidas foram transferidas para uma solução de tetróxido de ósmio 1% em água por 1 hora e, subsequentemente, desidratadas em série de acetona (25%, 50%, 75%, 90% e 100%, por três vezes) e depois levadas para o aparelho de ponto crítico. Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio “stubs”, utilizando fita de carbono colocada sobre uma película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40 XVP. Foram geradas e registradas digitalmente, a aumento fixo de 800 vezes, diversas imagens para cada amostra, nas condições de trabalho de 20 kv e distância de trabalho de 9 mm. As imagens geradas foram gravadas e abertas no Software Photopaint do pacote Corel Draw, onde foram selecionadas e preparadas as pranchas apresentadas neste trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das condições de secagem

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica e o tempo total de secagem, para cafés processados por via seca e por via úmida.

Tabela 1 Valores médios do teor de água e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água (% b.u.)		Tempo secagem (h)	
		Início	Final	Antes meia seca (b.u.)	Total
35/40°C	Despolpado	46,5	11,6	20,0	32,0
35/40°C	Natural	65,0	11,4	48,0	113,0
35/45°C	Despolpado	46,5	11,7	20,0	29,0
35/45°C	Natural	65,0	11,1	48,0	97,0
35/50°C	Despolpado	46,5	11,3	20,0	28,0
35/50°C	Natural	65,0	11,1	48,0	91,0
40/35°C	Despolpado	48,0	11,5	18,5	37,0
40/35°C	Natural	64,4	11,2	40,0	139,0
45/35°C	Despolpado	48,0	10,7	15,5	35,5
45/35°C	Natural	64,4	11,0	28,0	117,0
50/35°C	Despolpado	48,0	10,8	12,0	34,5
50/35°C	Natural	64,4	11,0	20,0	107,0
Terreiro	Despolpado	46,5	10,9	-	145
Terreiro	Natural	64,4	11,8	-	251

Nota-se, na Tabela 1, que o tratamento de secagem com temperaturas mais elevadas no final do processo teve um menor tempo total de secagem quando comparado com os outros tratamentos de secagem mecânica. Esse fato decorre da maior facilidade de remoção da água livres quando os frutos estão com teores de água mais elevados (OLIVEIRA et al,2012). Pode-se observar também que, os maiores tempos totais de secagem dos grãos de

café ocorreram no tratamento em terreiro, devido ao menor tempo de exposição desses cafés a altas temperaturas e maior umidade relativa do ar ambiente, a que esses cafés foram submetidos.

Observa-se, na Tabela 1, que independentemente do tratamento de secagem utilizado, os maiores tempos de secagem foram encontrados nos cafés naturais, fato que pode ser explicado pela manutenção do exocarpo e mesocarpo nesses cafés (MARQUES, 2006).

Segundo Borém et al. (2006) e Ribeiro et al. (2003), o tempo de exposição, a temperatura e fluxo do ar de secagem, o teor de água inicial e final do produto, a temperatura do ar ambiente, são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e tem efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. A remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafés.

3.2 Curvas de secagem

Na Figura 3 podem-se observar as curvas de secagem dos cafés despolpados e naturais, dadas pela variação do teor de água, para cada tratamento de secagem, em função do tempo.

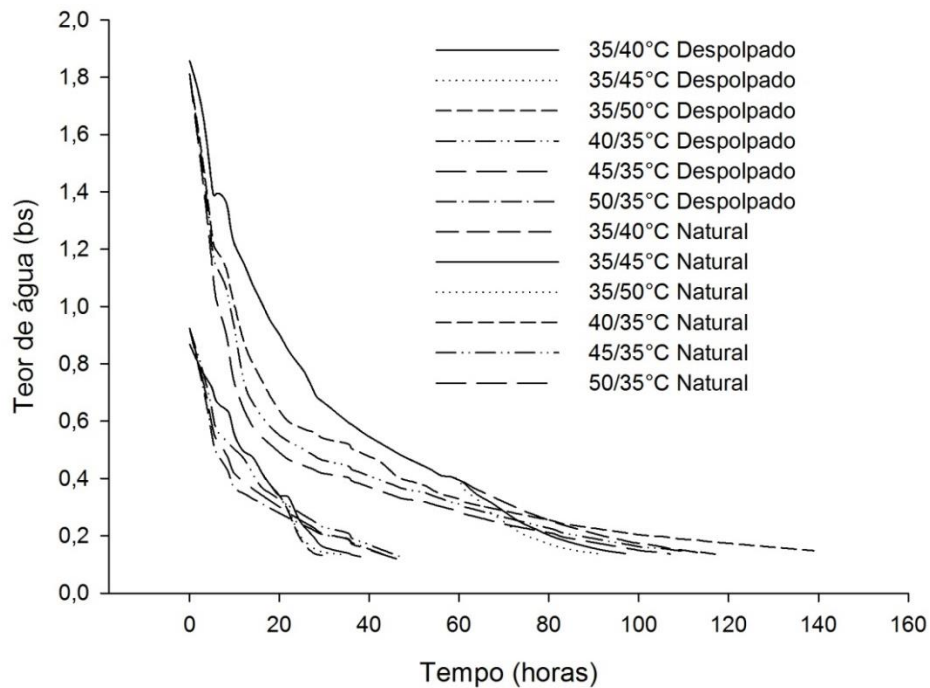


Figura 3 Variação do teor de água de cada tratamento de secagem mecânica e processamento, em função do tempo

Analisando-se a secagem mecânica dos cafés pelas curvas de secagem (Figura 3), observa-se que os teores de água, durante o tempo de secagem para o café natural, foram sempre superiores em relação ao café despolpado. O tempo total de secagem do café despolpado foi menor que do café natural, para qualquer tratamento de secagem. As diferenças observadas justificam-se pelo processamento empregado. No café despolpado, retira-se o exocarpo e o mesocarpo, ficando o endocarpo, o perisperma e endosperma. Com a remoção desses componentes, elimina-se toda a água contida nos revestimentos externos do fruto, sem os quais o café despolpado inicia a secagem com um teor de água menor em relação ao natural (Tabela 1).

Observa-se, no Figura 3, que os tratamentos de secagem com temperaturas mais elevadas a partir da meia-seca apresentaram tempos totais de secagem menores. Apesar de no início do processo de secagem, nesse tratamento, a taxa de redução de água ter sido menor, como pode ser

verificado pela menor inclinação de sua curva de secagem, após esses cafés terem atingido a meia-seca, onde ocorreu a mudança da temperatura de secagem de 35°C para 40°C, 45°C e 50°C, a sua taxa de secagem, observada pela inclinação das curvas de secagem, ultrapassou as dos tratamentos com temperaturas mais elevadas antes da meia-seca, finalizando a secagem com tempo inferior a desses tratamentos.

Essa alta taxa de secagem pode conduzir a grandes perdas de qualidade do produto. Segundo Oliveira et al. (2012), o tempo de secagem é influenciado pela temperatura de secagem, de tal forma que, quanto maior a temperatura de secagem, menor é o tempo para completá-la, independentemente do tipo de processamento.

As altas temperaturas de secagem e as elevadas taxas de redução de água degradam a estrutura do café e as membranas celulares, provocando extravasamento e oxidações nos óleos, elevando os níveis de ácidos graxos com o aumento da temperatura de secagem (OLIVEIRA et al., 2012). Como observado por outros autores (CORADI, 2006; MARQUES, 2006; REINATO, 2002), as altas temperaturas de secagem têm interferência na integridade das membranas celulares. Saath et al. (2012), estudando a influência das temperaturas de secagem dos grãos de cafés em função de seu teor de água, constatou uma maior ocorrência de danos nas estruturas celulares, quando esses cafés se encontravam com teores de água entre 30% a 20% (b.u.).

Coradi (2006), em seus estudos, observou que os atributos sensoriais do café foram afetados em função da temperatura de secagem e do tipo de processamento; o aumento da temperatura de secagem influenciou negativamente o café natural, e no despulpado teve pouca influência. Segundo o autor, o terreiro foi o tratamento que apresentou melhor resultado; esse fato foi constatado pelos menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Deve-se lembrar de que a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio são indicadores da integridade das membranas celulares.

3.3 Estudos ultraestruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas de secagem e processamento

Os resultados das alterações nas estruturas das membranas celulares do endosperma dos cafés natural e despolpado provocadas pelos efeitos de secagem são observados nas imagens apresentadas nas Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, as quais foram selecionadas em uma série de cinco imagens para cada repetição.

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despolpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 35/40°C, 40/35°C.

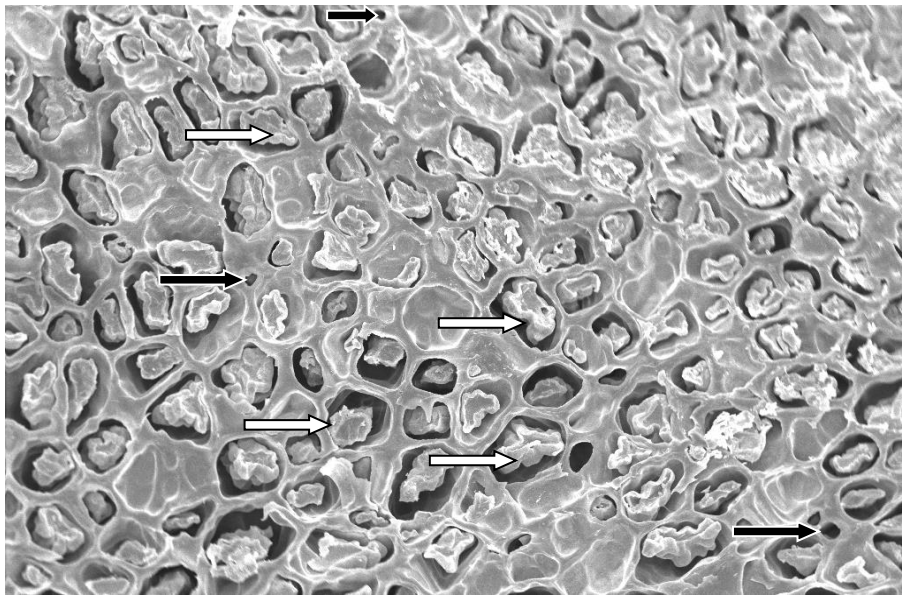


Figura 4 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despolpado, secados em secadores com temperaturas de 35/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios).

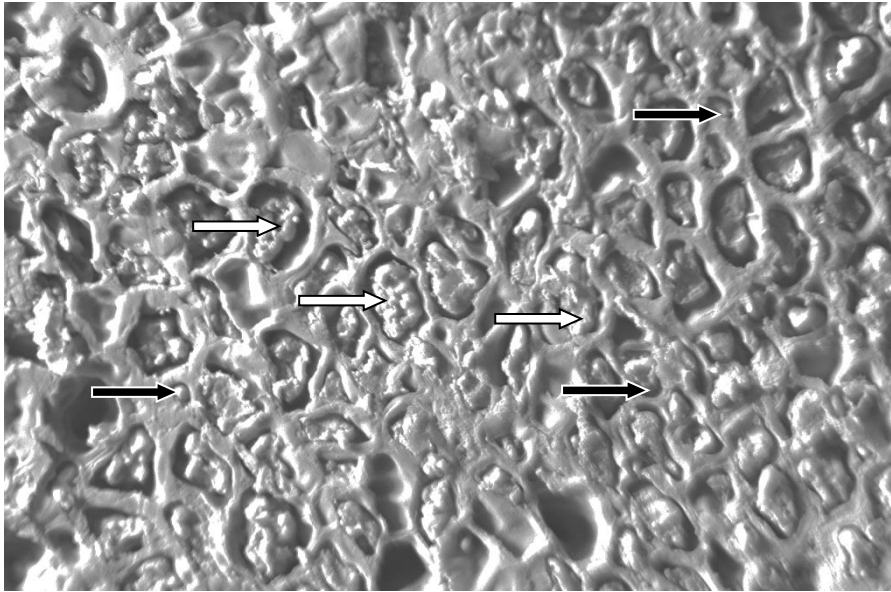


Figura 5 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados em secadores com temperaturas de 35/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares preenchidos)

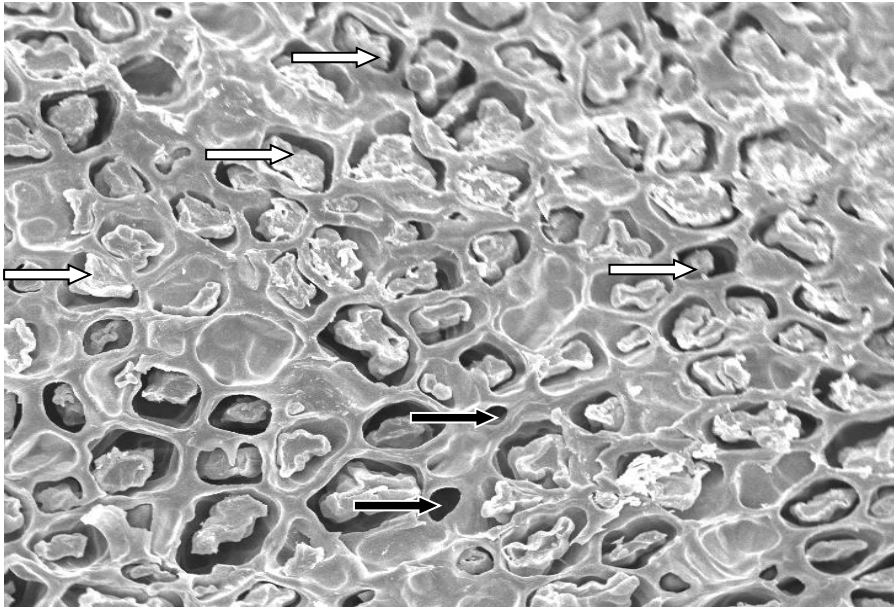


Figura 6 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpado, secados em secadores com temperaturas de 40/35°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios)

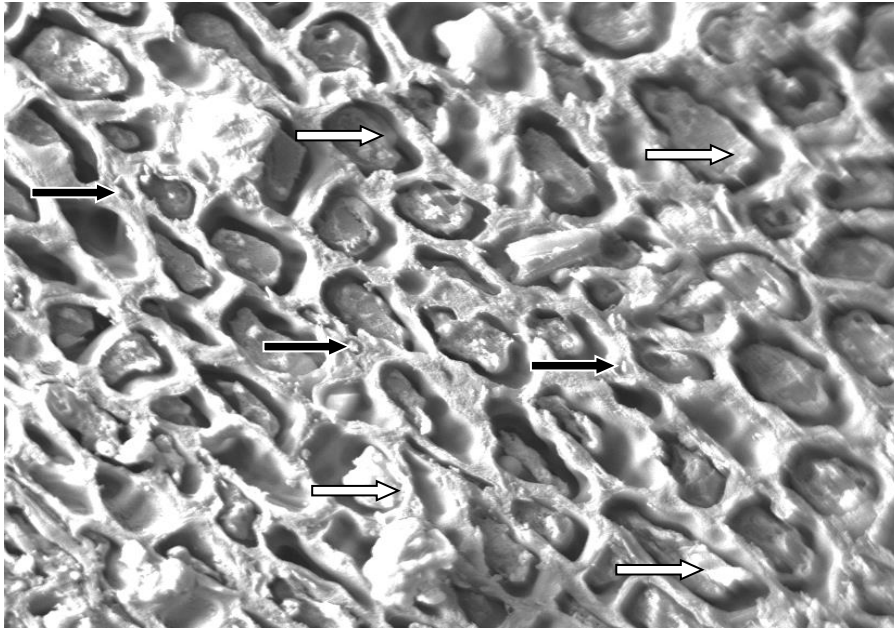


Figura 7 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café natural, secados em secadores com temperaturas de 40/35°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares preenchido)

Para o café natural, observou-se alteração nas estruturas da membrana celular com espaço intercelular preenchido, apontando uma maior desestruturação das estruturas celulares desses cafés de acordo com os resultados de Marques (2006) e Saath et al. (2012) que, estudando o efeito da temperatura de secagem nas alterações das estruturas das membranas celulares, verificaram o mesmo fenômeno.

Verifica-se, também, que o lúmen, espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, bem como os espaços intercelulares, apresentaram-se vazios somente para os cafés despulpados. Observaram-se contrações nos conteúdos das células dos dois tipos de processamento, sem, no entanto, sinais evidentes de rupturas e extravasamento celular de gotas de óleos.

Percebe-se também que, independentemente do método de secagem, se 35/40°C ou 40/35°C, a integridade da parede celular e as transformações

químicas, físicas e fisiológicas nos grãos foram similares dentro de cada processamento empregado, não tendo efeitos danosos à membrana celular. Verifica-se com isso, que o processo de desidratação transcorreu em condições seguras preservando a integridade das células de acordo com os resultados de Marques (2006) e Oliveira et al. (2012). Nota-se que a temperatura de secagem teve interferência na resistência e predisposição estrutural da parede celular do endosperma (OLIVEIRA et al.; 2012). A degradação da membrana celular é mais acentuada com o aumento da temperatura de secagem e tipo de processamento utilizado.

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, secados com temperaturas de 35/45°C e 45/35°C

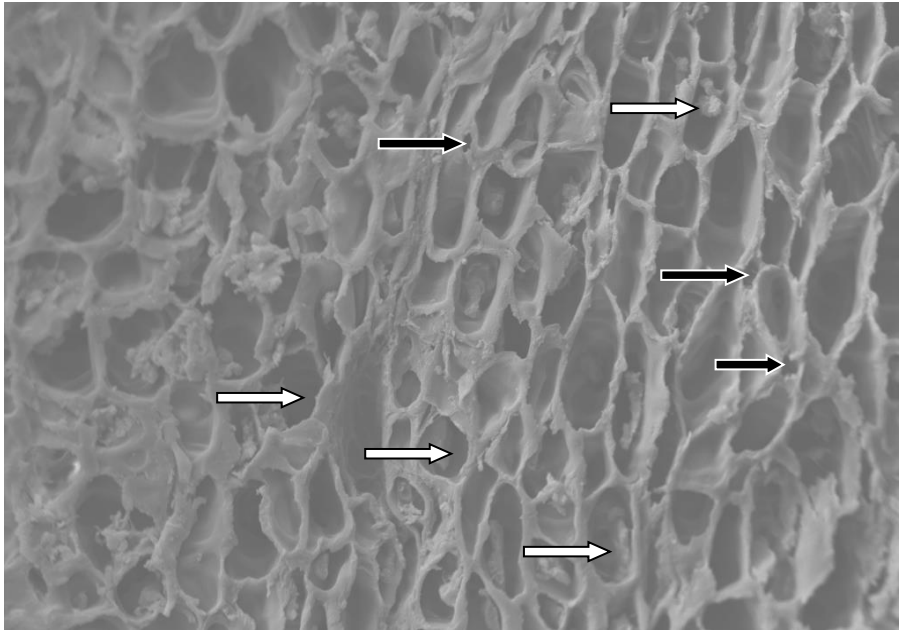


Figura 8 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despolpado, secados em secadores com temperaturas de 35/45°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios)

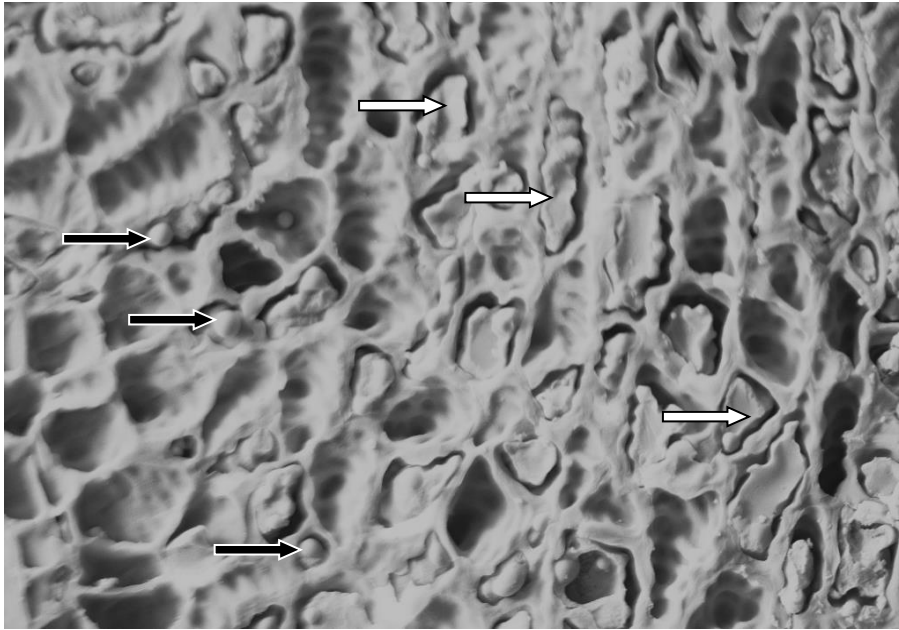


Figura 9 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados em secadores com temperaturas de 35/45°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam gotas de óleo)

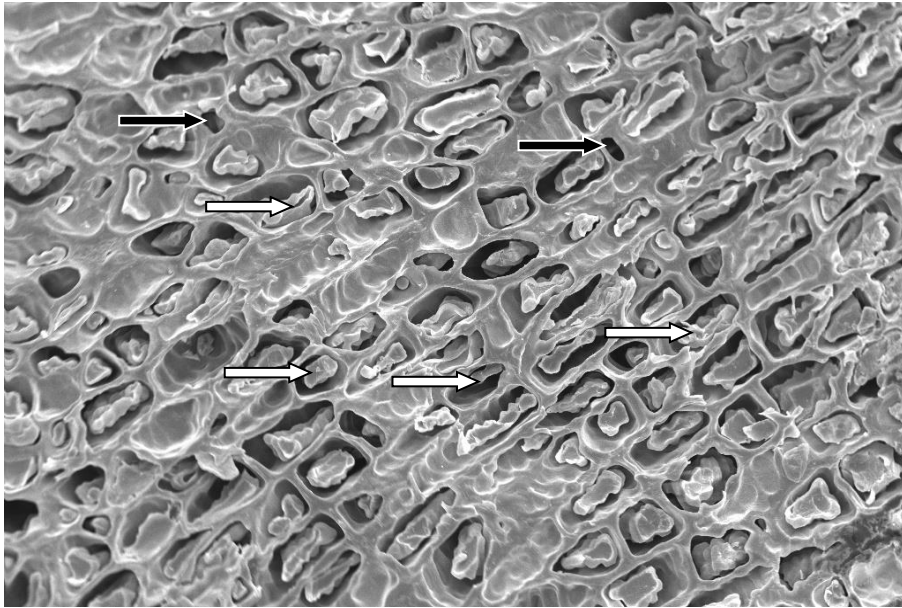


Figura 10 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despolpado, secados em secadores com temperaturas de 45/35°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios)

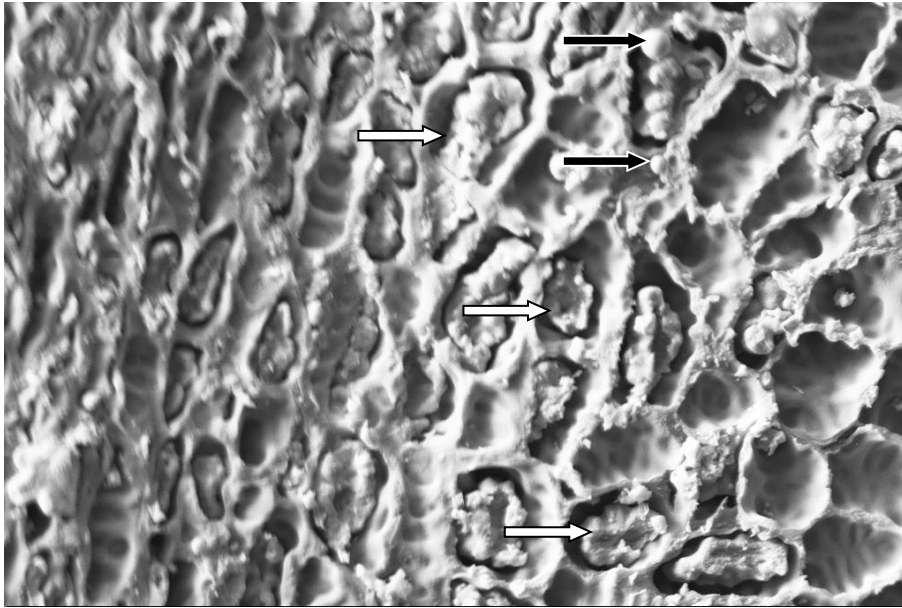


Figura 11 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café natural, secados em secadores com temperaturas de 45/35°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam gotas de óleo)

Observou-se, para os cafés despulpados secados, que a contração segue as mesmas formas. Nos dois métodos de secagem, o conteúdo interno das células apresentou-se contraído, mas sem sinais evidentes de extravasamentos celulares e rupturas, e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, o lúmen, assim como os espaços intercelulares apresentaram-se vazios. Em relação aos cafés naturais (Figuras 9 e 11), apresentaram maior contração em relação aos cafés despulpados, também secados com temperaturas de 35/45°C e 45/35°C, concordando com Saath et al. (2012), que, estudando a ultraestrutura dos grãos de café, constatou que a diferença de contração pode ser associada a outros mecanismos, devido ao maior tempo de exposição do café natural em relação aos despulpado até atingir o teor de água (11% b.u.). Para o café natural observou-se que o material celular apresenta-se com alguns pontos em forma de gota. Essa tendência mostra que os cafés naturais apresentam uma maior sensibilidade quando comparados aos cafés despulpados.

Pode se observar também que, para os cafés naturais há uma maior presença de gotas quando o método de secagem é o 35/45°C quando comparado ao método de secagem 45/35°C. Esse fato também já foi observado por Oliveira et al. (2012), que estudando o emprego de temperaturas mais altas após a meia-seca, constatou maiores danos nas estruturas das células quando da utilização dessa temperatura.

Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 35/50°C e 50/35°C.

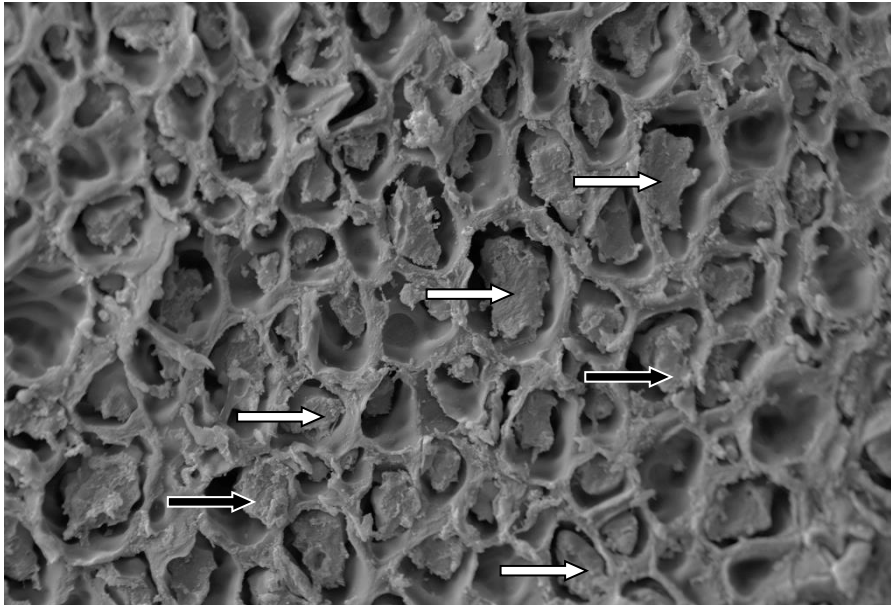


Figura 12 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpado, secados em secadores com temperaturas de 35/50°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam o lúmen celular)

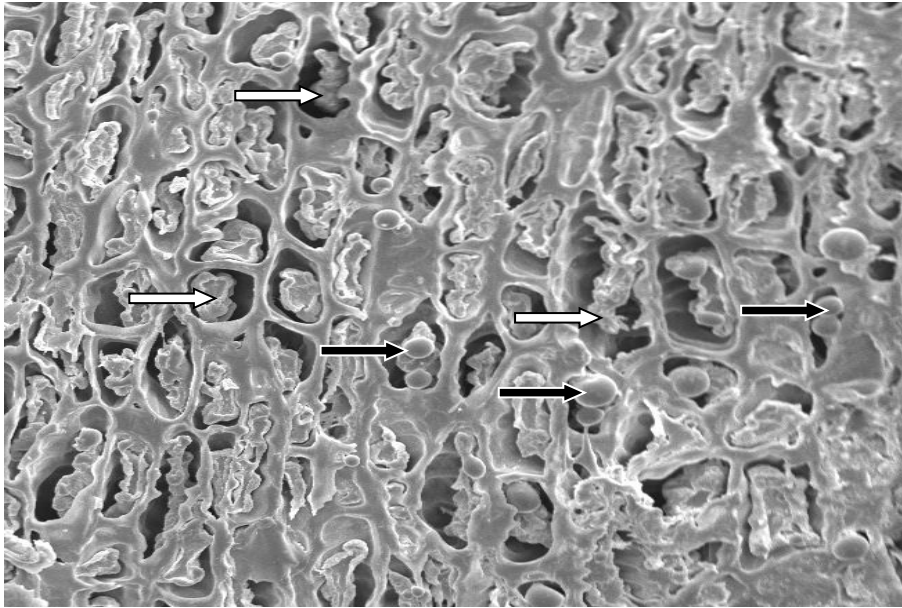


Figura 13 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café natural, secados em secadores com temperaturas de 35/50°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em preto indicam gotas de óleo; setas em branco indicam o lúmen celular)

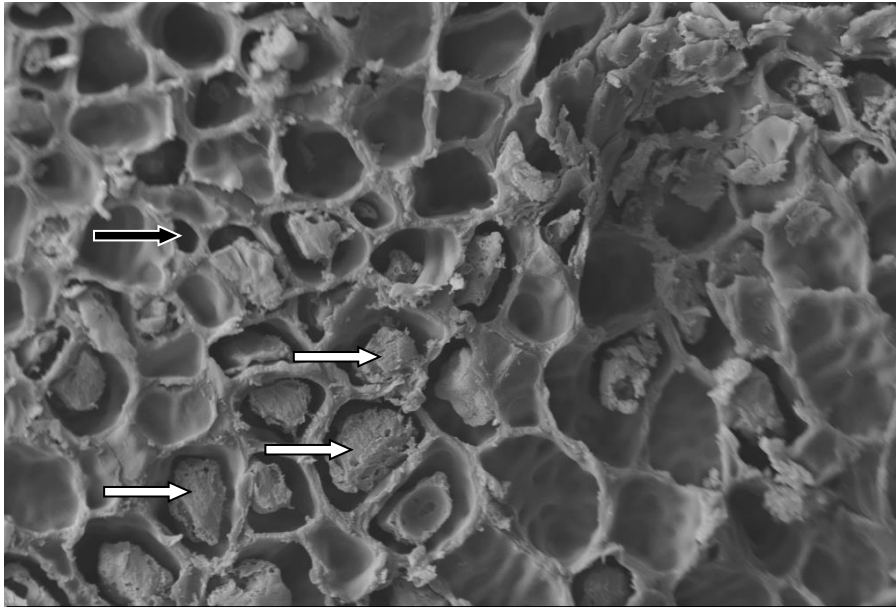


Figura 14 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpado, secados em secadores com temperaturas de 50/35°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em branco indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios)

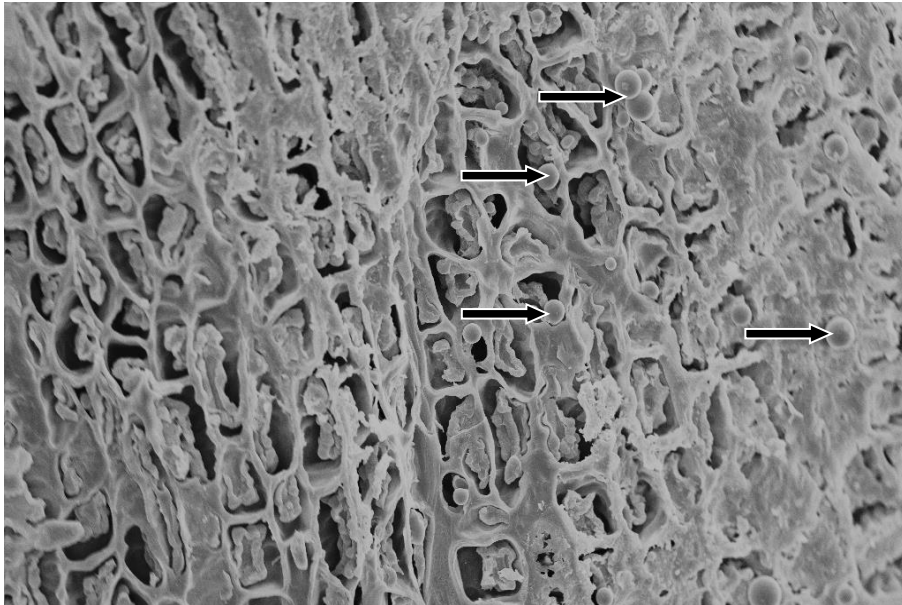


Figura 15 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café natural, secados em secadores com temperaturas de 50/35°C até atingir 11% (b.u.). (Estruturas totalmente destruídas; Setas em preto indicam gotas de óleo)

Nas análises do endosperma com grãos de café natural (Figuras 13 e 15) durante a secagem com temperatura de 35/50°C e 50/35°C, observou-se que o conteúdo interno das células apresentou-se bem contraído, espaços intercelulares preenchidos e com pouco material celular, ou seja, que toda a parte do citoplasma foi desidratada e apresentou pontos salientes em forma de gota sobre a contração da parede celular. Isso significa que, com a lesão nas membranas, as glândulas de óleos presentes no perímetro interno da membrana plasmática romperam, extravasando seu conteúdo, concentrando-se em forma globular sobre o material celular, conforme constatado por Marques (2006).

Para o tratamento 35/50°C e 50/35°C com processamento via seca, o processo de desidratação transcorreu em condições inadequadas afetando a integridade das células de acordo com os resultados de Saath et al. (2012).

Na secagem com ar aquecido com temperatura de 35/50°C e 50/35°C nota-se que os cafés despulpados não apresentaram extravasamento de gotas

de óleo, quando comparados com os cafés naturais, sugerindo uma maior tolerância, dos cafés despolidos, à secagem com altas temperaturas. Além disso, nota-se que à temperatura de 35/50°C a contração, em algum momento, ao longo da secagem, foi mais brusca, quando comparada com a temperatura de 50/35°C, havendo alteração na integridade celular, com extravasamento de óleos nos cafés naturais, sugerindo que os danos mais graves nas estruturas celulares ocorreram após a meia-seca. Fato que corrobora com Saath et al. (2012), em que essa autora afirma que os maiores danos causados pelo uso da temperatura de 60°C ocorreram entre os teores de água de 30% e 20% (b.u.).

O mesmo autor afirma que, quando os teores de água estão acima de 30% (b.u.), toda energia transferida para os frutos é usada na evaporação da água, mantendo constante a temperatura do produto, ou seja, a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem e as transferências de calor e massa se compensam, o que vem confirmar os menores danos causados pelo uso da temperatura 50/35°C. Entretanto, o uso da temperatura de 50°C após a meia-seca comprometeu a integridade celular, tanto no café natural quanto no despolido. Segundo Borém (2004) e Silva (2000), é na fase de menor teor de água que ocorrem os maiores riscos de aquecimento do produto. Nessa fase, a taxa de transporte interno de água é menor do que a de evaporação, dessa forma, a transferência de calor do ar para os frutos não é compensada pela transferência do vapor de água e, em consequência, a temperatura dos frutos aumenta. Nesse caso, como observado por outros autores (BROOKE; BARKER; HALL, 1992; HARRINGTON, 1972; SAATH ET AL., 2012; OLIVEIRA et al., 2012), a temperatura provoca o aumento das tensões no interior da célula, as quais podem comprometer a integridade da membrana plasmática, visto que se observaram alterações na estrutura celular, e essas rupturas expõem a célula a processos oxidativos. Essas oxidações são um forte indicativo de que a qualidade do café não foi preservada, conforme observado por Coradi (2006) nas análises sensoriais.

Verifica-se também que os maiores danos foram observados nos cafés processados por via seca, independente do tratamento de secagem utilizado, sugerindo que o maior tempo de exposição desses cafés ao processo de secagem, afeta drasticamente suas estruturas celulares (MARQUES, 2006).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente experimento, conclui-se:

Maiores danos ocorrem quando se faz o uso de temperaturas mais elevadas na fase de menores teores de água.

O café natural, secado à temperatura acima de 45°C após a meia-seca, apresentou rompimento e rompimento das membranas com o extravasamento do conteúdo celular, formação de gotas de óleo e preenchimento dos espaços intercelulares.

Os cafés naturais foram os que apresentaram piores resultados, com rupturas e extravasamentos celulares evidentes, independente do método de secagem mecânico.

Os estudos ultraestruturais de microscopias eletrônicas de varredura mostraram que no café despulpado secado à temperatura de 35/40°C, 40/35°C, 35/45°C e 45/35°C, proporcionaram uma maior integridade das membranas e vesículas celulares, sem sinais evidentes de ruptura, havendo pequena contração celular e espaços intercelulares vazios.

REFERÊNCIAS

ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTIN, S. R. de T. **Conservação de Grãos**. Campinas: Fundação Cargil, 1998. 236 p.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum press, 445 p. 1994.

BORÉM, F. M. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Pós-colheita do café, Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p. (Textos Acadêmicos).

BORÉM, F. M. et al. Caractization of the moment of endosperm cell damage during coffee drying. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Resumes...** Campinas: ASIC, 2008. p. 14-19.

BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 631.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO D. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; ROSA, S. D. V. F. da; MORAIS, A. R. de. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. *2006 Coffee Science*, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, abr./jun. 2006.

BRANDÃO JUNIOR, D. E. **Marcadores de Tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro**. 2000. 144 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BORTREL,

N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n.3, p. 449-445, Mar. 1994.

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

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; PINTO, F. A. C.; OLIVEIRA, T. T. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processado por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 5, p. 22-27, 2002. Edição Especial - Café.

DE PAULA, M. et al. Electrical conductivity changes in deteriorated sunflower seeds. **Acta Horticulture**, Wageningen, v. 362, p. 273-279, 1994.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 670 p.

GIRANDA, R. N. **Aspectos qualitativos de cafés (*coffea arabica* L.) submetidos a diferentes processos de secagem**. 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GUIMARÃES, R. M. et al. Tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 128-139, jan./fev. 2002.

HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: The AVI Publishing Company, 1980. 382 p.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: Kozlowski, T.T. **Seed biology**. New York Academic Press, 1972. v.3, p.145-245.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.

Green coffee: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673. Geneva, 1999. 17 p.

KOSTER, K. L.; LEOPOLD, A. C. Sugar and desiccation tolerance in seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 3, p. 829-832, Nov. 1988.

KREYGER, J. Pratical observations on the drying of seed. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 3, p. 645-670, 1973.

LASSERAN, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Mg, v. 3, n. 3, p. 17-45, 1978.

MARQUES, E. R. **Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água.** 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MENDONÇA, L. M. V. L. **Características químicas, físico-químicas e sensoriais de cultivares de *Coffea arabica* L.** 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NEYA, O. et al. Ageing increases the sensitivity of neem (*Azadirachta indica*) seeds to imbibitional stress. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 14, n. 2, p. 205-217, June 2004. [SEEWALDT, V. et al. Membrane organization in soybean seeds during hidration. **Planta**, Berlin, v. 152, n. 1, p. 19-23, 1981.

PABIS, S.; JAYAS, D. S.; CENKOWSKI, S. **Grain drying:** theory and Pratices. New York: John Wiley & Sons, 1998. 303 p.

PAMMENTER, N. W. et al. Effects a differencial drying rates on viability retention of recalcitrant seeds of ekeberger capensis. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 8, n. 4, p.463-471, Dec. 1998.

PEREIRA, R.G. F. A.; VILELA, T. C.; BORÉM, F. M.; ABRAÃO, A. A.; LOPES, L. M. V. Constituintes químicos de cafés despolpados, descascados,

desmucilados e natural. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa – Café, 2003. p. 164-165.

RAISON, J. K.; PIKE, C. S.; BERRY, J. A. Growth temperature induced alterations in the thermotropic properties of Nerium oleander membrane lipids. **Plant Physiology**, Rockville, v.70, n. 1, p. 215-218, Jan. 1982.

REINATO, C. H. R. **Secagem e armazenamento do café: Aspectos qualitativos e sanitários**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBEIRO, D. M. et al. da Taxa de redução de água do café cereja descascado em função da temperatura da massa, fluxo de ar e período de pré-secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 28, n. 7, p. 94-107, 2003. Especial.

SILVA, J. de S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. In: _____. **Coffee technology**. Westport: [s.n.], 1979. p. 527-575.

CAPÍTULO 3

**QUALIDADE SENSORIAL, FISIOLÓGICAS, FÍSICO-QUÍMICAS
DO CAFÉ NATURAL E DESPOLPADO ARMAZENADOS, EM
FUNÇÃO DA ALTERNÂNCIA DE TEMPERATURA DURANTE A
SECAGEM MECÂNICA**

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade sensorial dos grãos de café processados e secados de diferentes formas, associados a diferentes períodos de armazenamento. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e sete métodos de secagem: secagem em terreiro e secagem mecânica com ar aquecido a 50°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 45°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 35°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 50°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 45°C até atingir 11% de teor de água; secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 35°C até o café atingir 30% de teor de água, prosseguindo-se à secagem com ar aquecido a 40°C até atingir 11% de teor de água. O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de três secadores de camada fixa, o qual permite o controle da temperatura e fluxo de secagem. O armazenamento foi em local sem atmosfera controlada. Após a aplicação dos tratamentos, os cafés foram degustados segundo o sistema de avaliação proposto pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). Além da análise sensorial foram feitas as análises da composição físico-química e qualidade fisiológica dos grãos de café. As análises físico-químicas e fisiológicas envolveram: acidez graxa, lixiviação de potássio, condutividade elétrica cor e germinação. Após 12 meses de armazenamento, percebeu-se que os cafés naturais tiveram uma melhor qualidade sensorial quando comparados com os cafés despulpados. No entanto isso não ocorreu para as análises fisiológicas e físico-químicas, onde os cafés despulpados se apresentaram mais tolerantes.

Palavras-chave: Pós-colheita. Análise sensorial. Secagem alternada.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo e o segundo mercado consumidor, tendo consumido, no ano de 2013 cerca de 19,3 milhões de sacas de 60 kg, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que consumiu cerca de 22 milhões de sacas/ano (Associação Brasileira da Indústria de Café – ABIC, 2013).

Os maiores canais de comercialização e formação de preço dos cafés “commodities” no contexto mundial são as bolsas de mercadorias de Nova York e Londres. Já o alternativo mercado de cafés especiais de alta qualidade, que se formou fora desse mecanismo das bolsas de mercadorias, permite que o produtor conquiste compradores que estejam dispostos a pagar mais por um produto com características diferenciadas (NOBRE et al., 2007).

A qualidade de um produto é um fator fundamental na conquista de novos mercados. No mercado consumidor de café, existe crescente exigência quanto à qualidade da bebida, à origem e às formas de preparo (MALTA et al., 2003). O sabor e o aroma formados durante a torração do café, a partir de precursores presentes no grão cru, constituem os principais atributos da qualidade de bebida. A formação e a presença desses precursores nos grãos de café dependem de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos (FARAH et al., 2006; ALPIZAR & BERTRAND, 2004).

A fim de se obter um café de qualidade superior, os cuidados com a colheita e o manejo pós-colheita tornaram-se fundamentais para a comercialização e aumento do lucro do cafeicultor (FAVARIN et al., 2004). A determinação da qualidade do café é baseada na avaliação das suas características físicas e sensoriais, por meio da classificação por peneira, tipo, análise da bebida e pelo aspecto visual (BRASIL, 2003).

O método da SCAA tem como objetivo identificar o potencial de qualidade e de utilização de um determinado café e preconiza a utilização de protocolos para a realização da análise sensorial, nos quais são descritos

detalhadamente todos os procedimentos que devem ser utilizados para uma adequada avaliação das suas propriedades organolépticas. São atribuídas notas de 0 a 10 pontos na avaliação dos 10 principais atributos que compõem o perfil sensorial do café, como fragrância/aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio e impressão geral do café. A somatória das notas individuais de todos os atributos constitui a nota final, que representa a qualidade global do café, sendo considerados como especiais os cafés que apresentam notas acima de 80 pontos (LELOUP et al., 2004; HOWELL, 1998; LINGLE, 1993). Conjuntamente, é feita a descrição das principais características organolépticas da bebida, valorizando os atributos favoráveis e penalizando os desfavoráveis à qualidade da bebida do café.

A qualidade do café, relacionada às características dos grãos quanto à cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida, depende de vários fatores, entre eles a composição físico-química e fisiológicas do grão, que é determinada por fatores genéticos, sistema de cultivo, época de colheita, preparo, armazenamento e torração (PIMENTA et al., 2008). Dentre os constituintes físico-químicos e fisiológicos, destacam-se a lixiviação de potássio, condutividade elétrica, ácidos graxos e germinação.

Segundo Afonso Júnior (2001), a constituição físico-química dos grãos, intimamente relacionada com a qualidade do café, poderá ser modificada durante os processos de pós-colheita, ou seja, dependerá muito das condições de processamento, secagem e armazenamento.

Os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio têm se apresentado como indicadores da relação entre a desorganização das membranas celulares e a perda de constituintes dos grãos (MALTA et al., 2005; PRETE, 1992; MARCOS FILHO et al., 1990). Estas análises têm apresentado correlação com a qualidade da bebida do café, em que o aumento da quantidade de exsudados determinados na água de embebição corresponde à perda de qualidade do produto (CORADI et al., 2007;

REINATO et al., 2007; MALTA et al., 2005; COELHO et al., 2001; PRETE, 1992; AMORIM, 1978).

Vários autores consideram a operação de secagem como uma das etapas que mais afetam a qualidade do café. Trabalhando com diferentes temperaturas de secagem dos grãos de café, Marques et al. (2008), Borém et al. (2006) e Coradi et al. (2007) encontraram valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio significativamente maiores, quando utilizaram temperatura de 60°C, em relação à temperatura de 40°C.

Os grãos com membranas mal estruturadas, desorganizadas ou danificadas por insetos, microrganismos, máquinas, secagem ou devido a períodos prolongados de armazenamento lixiviam maior quantidade de solutos na água de imersão, apresentando maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio (KRZYZANOWSKY et al., 1991).

Segundo Selmar et al. (2004), a avaliação fisiológica dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade da bebida. Em estudos realizados, observaram alterações bioquímicas, durante o processamento, relacionadas ao metabolismo da germinação, cujo efeito variou conforme o tratamento utilizado, se via úmida ou via seca.

Segundo Coradi et al. (2008) e Jordão et al. (1974), a variação do teor de ácidos graxos durante o armazenamento constitui um importante parâmetro para avaliar a qualidade do café, pois, sob condições adversas de manejo pós-colheita, uma das primeiras reações que ocorrem é a formação de ácidos graxos livres. Durante o armazenamento, a hidrólise do material graxo inicia-se antes da hidrólise de carboidratos ou proteínas e, à medida que o período de armazenagem do café aumenta, a maior a acidez do óleo é correlacionada com a pior qualidade do produto.

O armazenamento de grãos tem a finalidade de manter a qualidade do produto estocado por um período que se estende da colheita até a comercialização, permitindo, assim, a adequada distribuição e abastecimento de diferentes mercados consumidores (BORÉM, 2008).

O armazenamento seguro é uma dos principais pontos que temos que levar em consideração para a manutenção da qualidade final do produto. Existem características nos produtos agrícolas, em especial, no café que somente poderão ser observadas com mãos clareza, após um grande período de armazenamento.

As interações entre fatores abióticos, como temperatura, teor de água, concentração de gases, umidade relativa do ar, tipo e condições do armazém, características do sistema de armazenagem e fatores bióticos, como grãos, insetos, ácaros, fungos e bactérias fazem com que os grãos armazenados se tornem um ecossistema cuja dinâmica, dependendo dos níveis dos fatores e do grau de interações, podem levar ao processo de deterioração dos mesmos, com maior ou menor velocidade (RIGUEIRA et al., 2009).

Para um adequado armazenamento, o processo deve se iniciar na propriedade, logo após a secagem. O café é armazenado em coco ou em pergaminho, em tulpas de alvenaria, recobertas ou não de madeira, para que haja uma estabilização interna de seus componentes químicos e homogeneização do teor de água do produto (TOSELLO, 1967).

Segundo Borém (2008), o método de armazenamento é classificado de acordo com a forma de acondicionamento e manuseio do produto: o café armazenado em sacos de juta refere-se ao armazenamento convencional e, no armazenamento a granel, o café é estocado e manuseado sem sacaria.

Segundo Borém (2008), a cor dos grãos de café tem importância, do ponto de vista econômico, pois os grãos descoloridos recebem menor preço no mercado. Também, uma vez alterada a cor dos grãos de café, ele dificilmente retornará às características desejáveis iniciais. Deve-se, portanto, ter um rigoroso controle das condições ambientais com um sistema adequado de ventilação e monitoramento do teor de água do café. Sempre que possível, o ambiente do armazém deve permanecer com umidade relativa abaixo de 70% e com a menor temperatura possível.

Diversos pesquisadores têm utilizado, com frequência, análises físico-químicas e sensoriais, com o objetivo de avaliar as alterações da qualidade do café durante o armazenamento (RIGUEIRA et al., 2009; CORADI et al., 2008; REINATO et al., 2007; NOBRE et al., 2007; AFONSO JÚNIOR, 2001; COELHO et al., 2001; GODINHO et al., 2000, LEITE et al., 1996; PRETE, 1992; TEIXEIRA et al., 1977). Dependendo da temperatura e da umidade relativa do ambiente, do tipo de café e da forma de acondicionamento dos grãos, podem ocorrer diversas alterações durante o armazenamento.

Nesse contexto, o conhecimento dos fatores latentes envolvidos no armazenamento, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações da qualidade fisiológicas físico-químicas e sensorial dos grãos de cafés naturais e despulpados secados com diferentes temperaturas, ao final de um ano de armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Catuai 62), colhido na fazenda Santa Clara, a qual apresenta altitude de 1.270 metros, se situando a 10 km da cidade Carmo de Minas (Latitude: 22° 4'14.80" Sul; Longitude: 45° 7'17.77" Oeste), na serra da Mantiqueira. Os frutos colhidos foram levados para a cidade de Lavras – Minas Gerais, onde esse trajeto demorou cerca de 2 horas. Após sua chegada à Universidade Federal de Lavras, o café foi processados por via seca (natural) e via úmida (despulpado), separando-se somente os frutos cereja. Após o processamento, o café foi secado em sete condições diferentes (Tabela 1):

Tabela 1 Delineamento experimental

Processamento	Método de secagem
NATURAL	Terreiro
	35/40°C
	35/45°C
	35/50°C
	40/35°C
	45/35°C
	50/35°C
DESPOLPADO	Terreiro
	35/40°C
	35/45°C
	35/50°C
	40/35°C
	45/35°C
	50/35°C

Terminada a secagem foram procedidas as análises fisiológicas, físico-químicas e sensorial no Laboratório do Pólo de Tecnologia em Pós-colheita da Universidade Federal de Lavras. O fluxograma abaixo (Figura 1) apresenta resumidamente todo o processo experimental.

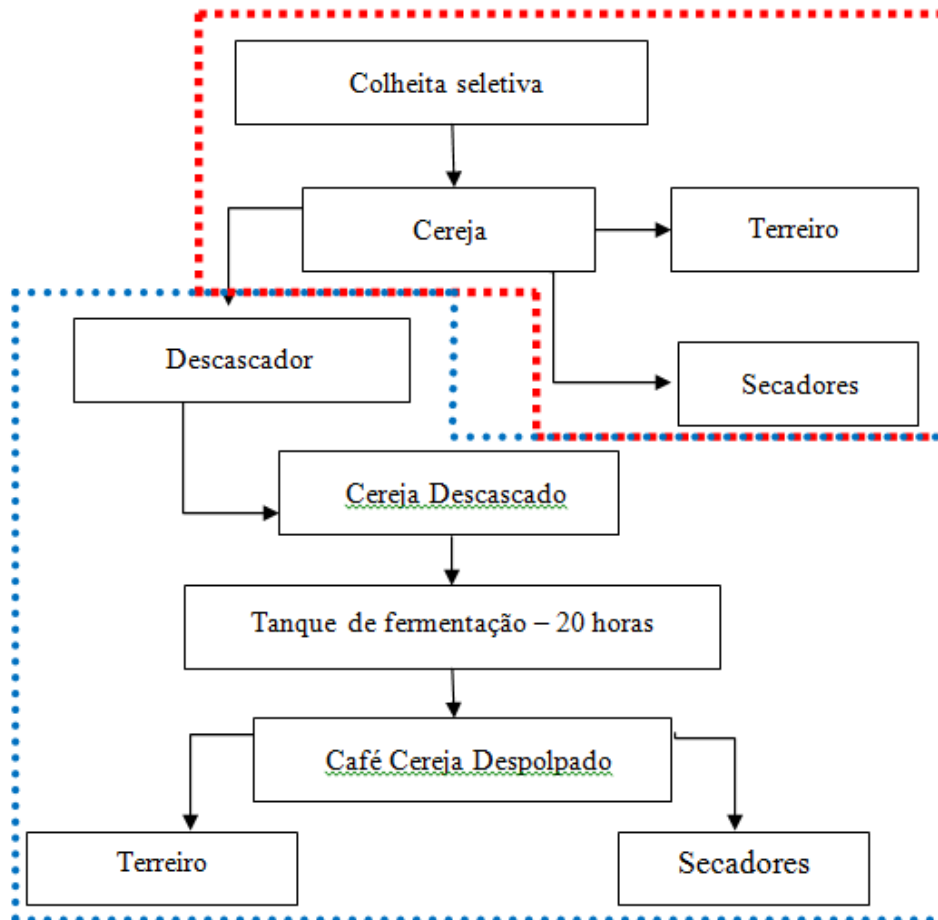


Figura 1 Fluxograma usado na obtenção da matéria-prima (Linhas pontilhadas quadrado em vermelho indicam processamento via seca; Linhas pontilhadas redondo em azul indicam processamento via úmida).

2.2 Processamento via seca

Para o processamento do café via seca, que resulta nos cafés naturais, os frutos foram lavados e separados hidraulicamente, por diferença de densidade, para a remoção dos frutos boia e secos presentes na parcela. Em seguida, os frutos maduros foram mais uma vez selecionados manualmente, para garantir a uniformidade da amostra com relação ao estágio de maturação. Após esse procedimento, uma parcela do café natural foi levada

para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.3 Processamento via úmida

Para o processamento do café via úmida, os frutos maduros, provenientes de colheita seletiva, foram mais uma vez selecionados manualmente e descascados mecanicamente em um separador de verde da marca Pinhalense Ltda., modelo Eco - 6. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente, com temperatura média de 20°C, por 20h. Após esse período, os cafés em pergaminho foram lavados com água até a retirada completa da mucilagem. Quando a mucilagem foi totalmente removida, uma parcela do café em pergaminho foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à secagem mecânica nos secadores.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento o café permaneceu sob condições ambientes. Foi utilizado para essa secagem um terreiro tipo suspenso. Esses cafés foram esparramados em camadas finas grão-a-grão, e com o decorrer da secagem sua camada foi sendo dobrada, de acordo com a metodologia proposta por Borém et al. (2008).

A temperatura ambiente máxima, mínima, média, e a precipitação e umidade relativa, durante o período de secagem, que se estendeu do dia 16 a 27 de Agosto de 2013, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2013

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
31,80	13,15	18,85	0,014	58,6

Tanto o café natural quanto o café despulpado permaneceram sob essas condições até atingirem o teor de água de $11 \pm 0,2\%$ (b.u.).

2.5 Secagem em secador

As parcelas destinadas à secagem mecânica foram conduzidas para três secadores (Figura 2) de camada fixa, os quais permitem o controle do fluxo e da temperatura (T) do ar de secagem com precisão, através de um painel eletrônico. A camada de grãos atingiu a espessura de 30 cm para os café naturais e 20 cm para os café despulpados.

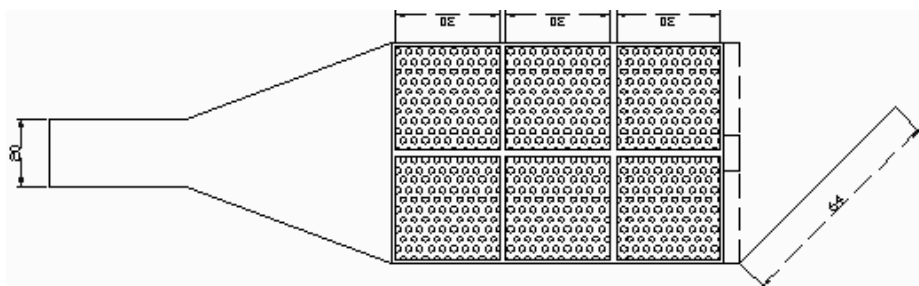


Figura 2 Visão superior dos secadores utilizados no experimento

O fluxo do ar foi controlado a $20 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, correspondendo a uma velocidade de $0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Silva, 2000).

O momento de transição de uma temperatura para a outra, no caso dos tratamentos com ar aquecido a $50/35^\circ\text{C}$, $45/35^\circ\text{C}$, $40/35^\circ\text{C}$, $35/50^\circ\text{C}$, $35/45^\circ\text{C}$ e $35/40^\circ\text{C}$, foi determinado da seguinte forma:

O controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor de água do café foi determinado deixando os frutos por um período de 24 horas, submetidos a uma temperatura constante de 105°C. após esse período sua umidade foi determinada pela diferença dos pesos iniciais e finais.

Para determinar o momento de transição da temperatura do ar, cada bandeja contendo a parcela experimental foi pesada a cada hora, e o teor de água foi determinado por diferença de massa aplicando-se as equações 1 e 2. Quando cada gaveta atingiu a massa relativa ao teor de água de 30% ± 2% (b.u.) a temperatura foi mudada, permanecendo assim até o café atingir 11% (b.u.).

$$Mf = Mi - \left(\frac{Mi \times PQ}{100} \right) \quad \text{equação 1}$$

$$PQ = \left[\frac{Ui - Uf}{100 - Uf} \right] \times 100 \quad \text{equação 2}$$

em que:

Mf: massa final (kg);

Mi: massa inicial (kg);

PQ: porcentagem de quebra (%);

Ui: teor de água inicial (% b.u.);

Uf: teor de água final (% b.u.).

Após a secagem e resfriamento, o café em pergaminho e natural permaneceu armazenado em sacos de polietileno em ambiente com temperatura de 10°C e 50% de umidade relativa do ar, sendo beneficiado apenas no momento da realização das análises fisiológicas, físico-químicas e sensoriais para avaliação da qualidade do café, o que aconteceu após um

período mínimo de 90 dias de descanso, tempo mínimo para o café ter consolidado seus atributos sensoriais (Borém, 2008).

2.6 Armazenamento

O processo de secagem de cada tratamento de café foi interrompido em 11% (bu) de umidade, e após o produto estar em equilíbrio com a temperatura ambiente, o café foi acondicionado em sacos de juta, capacidade 5 kg e armazenado em sala de laboratório em ambiente não controlado. As condições do ambiente, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, onde os cafés foram armazenados, foram monitoradas por meio de um termo-hidrógrafo durante o período de 12 meses (Figura 3).



Figura 3 Ambiente dos cafés armazenados

2.7 Caracterização da qualidade do café

2.7.1 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Qualidade da Nutrade, localizado na cidade de Varginha – Minas Gerais. Para tanto se utilizaram porções das amostras de grãos classificados em peneira 16 acima, com descarte de grãos mocas e defeituosos de acordo com a Normativa n° 8 (BRASIL, 2003).

A análise sensorial foi realizada por dois Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA Certified Cupping Judges). Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da SCAA, de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais, com atribuição de notas, no intervalo de 6 a 10 pontos para fragrância, acidez, corpo, sabor, finalização, doçura, uniformidade, xícara limpa, equilíbrio e final. A torra foi feita com coloração correspondente a 58 pontos da escala Agtron, para o grão inteiro, e 63 pontos para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. Para obtenção do ponto de torra ideal foi feita a padronização das amostras quanto ao peso (110 g), tamanho dos grãos (peneira 16 e acima), bem como o monitoramento da temperatura e tempo de torra (entre 8 e 12 minutos). De acordo com a Normativa n° 8 (BRASIL, 2003).

Em cada avaliação sensorial foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições para cada tratamento. Por apresentarem características sensoriais distintas, a análise sensorial dos cafés naturais e despulpados foi realizada separadamente, tendo em vista minimizar possíveis interferências, negativas ou positivas. Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

2.7.2 Análises fisiológicas e físico-químicas

As análises fisiológicas e físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Para as análises fisiológicas foram utilizadas quatro subamostras de grãos sem defeitos aparentes, para cada repetição dos respectivos tratamentos.

2.7.2.1 Teste de germinação

Foi realizado com quatro sub-amostras de 50 sementes, distribuídas em papel de germinação umedecido com quantidade de água equivalente a duas vezes e meia a massa do substrato seco e, colocadas para germinar a temperatura de 30°C. As avaliações foram realizadas aos trinta dias após a semeadura, segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), e os resultados expressos em porcentagem.

2.7.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada pela metodologia proposta por Krzyzanowski, França Neto e Henning (1991). Foram utilizadas quatro repetições de 50 grãos de cada parcela, as quais foram pesadas com precisão de 0,001g e imersas em 75mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180mL de capacidade. Em seguida, esses recipientes foram levados à BOD com ventilação forçada regulada para 25°C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da água de embebição em aparelho BEL W12D. Com os dados obtidos foi calculada a condutividade elétrica pela equação 3, expressando-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos.

$$CE = \frac{\text{Valor lido} \left(\frac{\mu S}{cm} \right)}{\text{Massa (g)}} \quad \text{equação 3}$$

2.7.2.3 Lixiviação de potássio

A lixiviação de íons de potássio foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Após a leitura da condutividade elétrica, as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviada. A leitura foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos foi calculada a quantidade de potássio lixiviada de acordo com a equação 4, expressando-se o resultado em ppm.

$$LK = \frac{\text{Valor lido} \times \text{diluição} \times 1,56}{\text{Massa (g)}} \quad \text{equação 4}$$

2.7.3 Acidez graxa

Para a realização dessa análise foram utilizadas amostras de café armazenadas por 3 meses (MARQUES et al., 2008) em câmara fria com temperatura de 10°C. A acidez graxa foi determinada por titulação, de acordo com o método descrito pela American Association of Cereal Chemists - AACC (1995). Foram pesados 40g da amostra de café moído e adicionados 100 mL de tolueno, colocado para agitar durante 1 hora e 30 minutos. Em seguida, realizou-se a filtração com papel de filtro. Misturaram-se, em um erlenmeyer, 25 mL da solução filtrada com 25 mL de etanol (95% v/v) mais fenolftaleína (0,04% m/v) e, em seguida titulou-se a solução com (KOH) na concentração de 0,025 mol.L⁻¹, até atingir o ponto de virada. O resultado do teor da acidez graxa foi expresso em mL de KOH/100 g de MS. Calculado de acordo com as equações 5 e 6.

$$PS = [1 - U(b.u.) \times PC(g)] \quad \text{equação 5}$$

$$AG = \frac{[V(ml) \times 100]}{PS(g)} \quad \text{equação 6}$$

em que:

PS: massa da amostra seca (g);

PC: peso de café (g);

U(b.u): teor de água em base úmida (%);

V: volume gasto de KOH na titulação (extrato + indicador) em mL;

AG: acidez graxa (mL de KOH/100 g de MS).

2.8 Análise estatística

O delineamento experimental foi constituído de esquema fatorial 2x7, inteiramente casualizado, sendo duas formas de processamento (natural e despulpado) e sete manejos de secagem. Para cada tratamento foram realizadas três repetições.

Os dados obtidos da análise fisiológica, físico-química e sensorial do café também foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa computacional Assistat 4.0, segundo Silva e Azevedo (2009) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 1%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das condições de secagem

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica e o tempo total de secagem, para cafés processados por via seca e por via úmida no intervalo de 12 meses.

Tabela 1 Valores médios do teor de água e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água (% b.u.)		Tempo secagem (h)	
		Início	Final	Antes meia seca (b.u.)	Total
35/40°C	Despolpado	46,5	11,6	20,0	32,0
35/40°C	Natural	65,0	11,4	48,0	113,0
35/45°C	Despolpado	46,5	11,7	20,0	29,0
35/45°C	Natural	65,0	11,1	48,0	97,0
35/50°C	Despolpado	46,5	11,3	20,0	28,0
35/50°C	Natural	65,0	11,1	48,0	91,0
40/35°C	Despolpado	48,0	11,5	18,5	37,0
40/35°C	Natural	64,4	11,2	40,0	139,0
45/35°C	Despolpado	48,0	10,7	15,5	35,5
45/35°C	Natural	64,4	11,0	28,0	117,0
50/35°C	Despolpado	48,0	10,8	12,0	34,5
50/35°C	Natural	64,4	11,0	20,0	107,0
Terreiro	Despolpado	46,5	10,9	-	145
Terreiro	Natural	64,4	11,8	-	251

Nota-se, na Tabela 1, que o tratamento de secagem com temperaturas mais elevadas no final do processo teve um menor tempo total de secagem quando comparado com os outros tratamentos de secagem mecânica. Esse fato decorre da maior facilidade de remoção da água livres quando os frutos estão com teores de água mais elevados (OLIVEIRA et al,2012). Pode-se observar também que, os maiores tempos totais de secagem dos grãos de café ocorreram no tratamento em terreiro, devido ao menor tempo de exposição desses cafés a altas temperaturas e maior umidade relativa do ar ambiente, a que esses cafés foram submetidos.

Segundo Borém et al. (2006) e Ribeiro et al. (2003), o tempo de exposição, a temperatura e fluxo do ar de secagem, o teor de água inicial e final do produto, a temperatura do ar ambiente, são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e tem efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. A remoção do exocarpo e do mesocarpo no

processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafés.

O aumento da temperatura do ar resulta em maior diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e do produto, fazendo com que a água seja removida com mais facilidade e rapidez (Siqueira; RESENDE; CHAVES, 2012). Além disso, na literatura há relatos de outras causas para a redução do tempo de secagem com a elevação da temperatura. O aumento da temperatura reduz a viscosidade da água, influenciando diretamente a resistência do fluido ao escoamento. A diminuição da viscosidade facilita a difusão das moléculas de água nos capilares do produto, além de proporcionar aumento no nível de vibração das moléculas de água, o que também contribui para elevação da taxa de secagem (CORRÊA et al., 2010).

3.2 Análise sensorial

A nota global para cada tipo de processamento são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Valores médios da nota global para cada processamento – Lavras – 2013

Processamento	Nota Global
Natural	78,28 A
Despolpado	75,58 B

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Esses resultados demonstram que a manutenção da casca nos cafés naturais, quando submetidos a um longo período de armazenamento, é uma forma eficiente de conservação da qualidade final do produto. Os cafés naturais apresentaram uma maior qualidade sensorial quando comparados aos cafés despolpados, independentemente dos tratamentos de secagem empregados. Esse fato já foi observado por Borém et al (2008), onde os

autores estudando a influencia do tipo de processamento durante o armazenamento, constaram que os cafés despulpados, por estarem mais vulneráveis ao ambiente tiveram uma maior perda, tanto na qualidade sensorial quanto na fisiológica.

As notas globais para cada tratamento de secagem são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 Valores médios da nota global para cada tratamento de secagem – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Nota global
Terreiro	78,95 A
35/40°C	77,60 A
35/45°C	75,30 B
35/50°C	72,97 C
40/35°C	77,97 A
45/35°C	75,84 B
50/35°C	76,43 B

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Em relação aos tratamentos de secagem 50/35°C e 35/50°C, verificam-se diferenças entre os valores médios da nota global, após um ano de armazenamento, independentemente do tipo de processamento utilizado. Os maiores valores para nota global foram encontrados no tratamento de secagem 50/35°C. Nota-se que o uso de ar aquecido a 50°C após a meia-seca foi extremamente prejudicial na manutenção de suas características sensoriais durante o armazenamento, indicando uma maior sensibilidade desses cafés ao aumento da temperatura de secagem ao final do processo de secagem.

Os maiores valores para a nota total foram encontrados nos cafés secados em terreiro, 35/40°C e 40/35°C, quando comparados aos demais tratamentos de secagem com ar aquecido. Esse fato indica uma possibilidade

de novos manejos quando da necessidade de longos períodos de armazenamento.

Podemos observar também que, o aumento da temperatura de secagem, antes ou após a meia-seca, foi prejudicial aos atributos sensoriais desses cafés durante o armazenamento. Borém et al. (2008) estudando o efeito da temperatura da massa de grãos sobre a qualidade sensorial após um ano de armazenamento, relataram que o aumento da temperatura de secagem foram prejudiciais à manutenção da qualidade sensorial dos cafés em pergaminho e natural. Esse fato corrobora com vários aurores, onde os mesmos afirmam que a etapa final do processo de secagem teve uma ação mais danosa na formação dos precursores sensoriais da qualidade do café.

3.3 Análises fisiológicas

3.3.1 Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e germinação

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de lixiviação de potássio para cada tipo de processamento.

Tabela 4 Valores médios de lixiviação de potássio para cada tipo de processamento – Lavras – 2013

Processamento	Lixiviação de Potássio
Natural	51,86 A
Despolpado	14,84 B

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Pode-se observar na Tabela 4 que, os maiores valores de lixiviação de potássio durante o armazenamento foram encontrados nos cafés processados via seca, indicando que a remoção da casca e da mucilagem contribui para a manutenção das estruturas da membrana. De acordo com Malta, Pereira e Chagas (2005), qualquer fator que altere a estrutura da membrana, como ataque de insetos e microrganismos, alterações

fisiológicas, danos mecânicos e térmicos, provocam uma rápida deterioração dos grãos de café. Essas alterações provocam reações químicas que modificam a composição química original do grão de café e em consequência suas propriedades fisiológicas.

A partir desses resultados, pode-se inferir que os cafés naturais apresentam-se mais sensíveis. Uma das possíveis explicações para isso está no fato de os cafés processados pela via seca (natural) ficarem expostos ao ar de secagem por períodos mais longos, expondo o endosperma e o embrião a danos térmicos mais severos e contribuindo para maior perda da integridade das membranas celulares (SAATH et al., 2012; Taveira et al., 2012).

Na Tabela 5 são apresentados os desdobramentos do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos de café em relação à condutividade elétrica e germinação.

Tabela 5 Valores médios das avaliações fisiológicas para a interação tratamento de secagem e tipo de processamento – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Condutividade elétrica		Germinação	
	Natural ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Despolpado ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Natural (%)	Despolpado (%)
Terreiro	3,33 Ad	2,20 bD	33,25 bA	50,25 aB
35/40°C	5,86 aB	4,99 aC	38,33 bA	83,66 aA
35/45°C	7,08 aB	5,65 bB	30,50 bA	68,50 aB
35/50°C	8,95 aA	6,54 bA	24,84 bA	65,17 aB
40/35°C	4,00 aD	3,94 aC	23,17 bA	81,17 aA
45/35°C	5,65 aC	4,55 bC	1,50 bB	64,50 aB
50/35°C	6,12 aB	5,60 bB	0,00 bB	58,17 aB

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Pode-se confirmar, pelo apresentado na Tabela 5, que houve diferenças significativas entre os tipos de processamentos e secagem utilizados nos experimento, em relação à condutividade elétrica após um ano de armazenamento. Os maiores valores de condutividade elétrica, independente do tratamento de secagem, foram encontrados nos cafés naturais, quando comparados com os cafés despolpados, apontando que essa

forma de processamento contribuiu para os valores de condutividade elétrica serem menores. Outro fato que pode ter contribuído para isso, seria o menor tempo de exposição desses cafés às altas temperaturas, quando comparados aos tempos de exposição dos cafés naturais (PRETE, 1992).

Em relação aos tratamentos de secagem, nota-se que o aumento da temperatura de secagem resultou em maiores valores de condutividade elétrica, tanto para cafés processados por via seca quanto para os cafés processados por via úmida após um ano de armazenamento. Esse fato corrobora com os relatos dos autores Coradi et al. (2007), que verificaram que o aumento da temperatura de secagem causa danos ao sistema de membranas das células da grãos de café, aumentando a condutividade elétrica do exsudado dos grãos.

Em relação aos tratamentos de secagem mecânica com temperaturas maiores ao final processo, resultaram nos maiores valores de condutividade durante o armazenamento, indicando maior comprometimento da qualidade do café comparativamente à secagem com temperaturas menores no início do processo. Esse aumento da condutividade elétrica dos cafés processados via seca e via úmida, quando da utilização de temperaturas mais altas após a meia-seca, comparada com a utilização das mesmas temperaturas antes da meia-seca, pode ser explicado pelo maior tempo de exposição e pela maior desestruturação das membranas celulares quando da utilização de altas temperaturas no momento em que o produto se encontra com teor de água mais baixo. Fato que ratifica que, para um longo período de armazenamento e para uma melhor conservação das qualidades do produto, a utilização de altas temperaturas de secagem deve ser evitada.

Verifica-se na Tabela 5, que os menores valores de germinação das sementes armazenadas foram encontrados nos cafés naturais, indicando que ocorreram danos fisiológicos mais intensos nos grãos desses cafés. Para os tratamentos de secagem com ar aquecido os valores foram baixos, apontando a morte dos embriões dos grãos de café natural durante o processo de

secagem, reforçando a sensibilidade desses cafés à secagem com temperaturas elevadas (TAVEIRA, 2009).

Os maiores valores encontrados para germinação, foram para os cafés despulpados. Resultado semelhante foi observado por Taveira (2009), indicando a maior tolerância desses cafés às altas temperaturas de secagem, quando comparados aos cafés naturais.

O tratamento de secagem 35/40°C e 40/35°C para os cafés despulpados, apresenta-se como uma boa alternativa para a secagem de grãos de cafés processados por via úmida, tendo em vista suas notas sensoriais e manutenção da sua qualidade fisiológica durante o armazenamento.

A utilização de temperaturas elevadas permite secagem mais rápida, porém, pode provocar uma diferença de teor de água muito grande entre a periferia e o centro do grão, gerando gradiente de pressão elevado, que pode provocar desestruturação nas membranas celulares dos grãos de café, resultando na redução do vigor das sementes, relacionado ao potencial de emergência e desenvolvimento de plântulas normais, ou até mesmo na perda total da viabilidade, definida como a capacidade de produzir plântulas normais. Isso pode ser observado de forma mais intensa, no armazenamento, para os cafés naturais.

3.4 Acidez graxa

Na Tabela 6 são apresentados os desdobramentos do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos de café em relação à acidez graxa.

Tabela 6 Valores médios das avaliações fisiológicas para a interação tratamento de secagem e tipo de processamento – Lavras – 2013

Tratamento de secagem	Acidez Graxa	
	Natural	Despolpado
Terreiro	3,28 aD	2,97 aB
35/40°C	3,38 aC	2,88 bB
35/45°C	3,60 aB	3,07 bA
35/50°C	3,80 aA	3,23 bA
40/35°C	3,22 aD	3,00 bB
45/35°C	3,42 aC	3,19 bA
50/35°C	3,55 aB	3,30 bA

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 1% de probabilidade

Observam-se diferenças significativas no teor de acidez graxa entre os tratamentos de secagem e processamento. Esses resultados estão relacionados à estabilização das membranas e à integridade das paredes celulares, indicando que uma maior degradação das membranas celulares dará origem à maior quantidade de ácidos graxos livres (MARQUES, 2006) ocorrem nos cafés naturais após um período de um ano de armazenamento. Supõe-se que a maior exposição desses cafés a altas temperaturas provocou o rompimento das estruturas das membranas celulares, extravasando óleos e comprometendo a qualidade do café com os processos de oxidação, demonstrando a maior sensibilidade desses cafés a altas temperaturas (OLIVEIRA et al., 2012). Esses resultados estão de acordo com os obtidos nos testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, onde os maiores valores desses testes foram dados para os cafés processados por via seca.

Para os cafés despolpados com secagem mecânica de 35/40°C e 40/35°C, os resultados foram satisfatórios, pois o valor da sua acidez graxa foi estatisticamente igual ao da secagem em terreiro, fenômeno que aponta um maior potencial de manutenção da qualidade desses cafés quando armazenados, sugerindo que a remoção da casca nos cafés despolpados diminuiu a quantidade de ácidos graxos livres.

Os tratamentos de secagem 35/45°C, 45/35°C, 35/50°C e 50/35°C foram os que obtiveram os maiores valores de acidez graxa, sugerindo que esse tratamento de secagem danificou as estruturas celulares dos grãos de café, dando origem a um número maior de ácidos graxos livres durante o armazenamento.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente experimento, concluiu-se que:

A secagem com ara aquecido 35/40°C e 40/35°C apresentaram resultados semelhantes à secagem em terreiro suspenso, em relação à análise sensorial.

O café despulpado apresenta melhor qualidade fisiológica e físico-químico após o armazenamento.

A temperatura de 35/50°C e 50/35°C foram as que obtiveram os piores resultados, sendo imprópria para a secagem de café natural.

As temperaturas maiores após a meia-seca não são adequadas para o café natural.

O uso de temperaturas mais altas após a meia-seca foi mais danosa do que quando usada antes da meia-seca.

REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** 2001. 373 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore-India: ASIC, 2004. 1 CD-ROOM.

ALVES, M. Metodologia tradicional de avaliação de qualidade de café vs. métodos eletrônicos alternativos In: SALVA, T. de J. G.; GUERREIRO FILHO, O.; THOMAZIELLO, R. A.; FAZUOLI, L. C. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 389-410.

ALVES, W. M.; FARONI, L. R.; CORREA, P. C.; PARIZZI, F. C.; PIMENTEL, M. A. Influência do processamento e do período de armazenamento na perda de matéria seca em café (*Coffea arabica* L.) beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 7, p. 122-127, jul. 2003. Especial Café.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC methods 02-02A: fat acidity, rapid method, for grain. In: _____. **Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists.** Saint Paul, 1995. Irregular page.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade.** 1978. 85 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

ANDROCIOLO FILHO, A.; LIMA FILHO, F. B.; TRENTO, E. J.; CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P. H.; SCHOLZ, M. B. S. Caracterização da qualidade de bebida dos cafês produzidos em diversas regiões do Paraná. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA DE CAFÉS DO

BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 256-257.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Café:** consumo no brasil cresce 4,15% e chega a 18,39 milhões de sacas em 2009. 2009. Disponível em: <http://www.abic.com.br/noticias/nota_indicadores_280110.html>. Acesso em: 20 out. 2013.

BACCHI, O. O branqueamento dos grãos de café. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 28, p. 467-484, abr. 1962.

BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; FERNANDES, S. M.; FERNANDES, M. (Ed.). **Armazenamento do café**. Lavras, MG: UFLA, 2008. 631 p.

BORÉM, F. M.; NOBRE, G. W.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; OLIVEIRA, P. D. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, D. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; ROSA, S. D. V. F.; MORIAS, A. R. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, abr./jun. 2006.

BRASIL. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, p. 22-29. 13 jun. 2003. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BORTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química

dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 445-449, mar. 1994.

COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A.; VILELLA, E. R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 2, p. 22-27, 2001. Volume Especial.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; SAATH, R.; MARQUES, E. R. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despulpado. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, jan./jun. 2007.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; SILVA, F. S.; RIBEIRO, D. M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições diversas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 7, p. 137-147, 2003. Especial Café.

FARAH, A.; MONTEIRO, M. C.; CALADO, V.; FRANCA, A. S.; TRUGO, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FAVARIN, J. L.; VILLELA, A. L. G.; MORAES, M. H. D.; CHAMMA, H. M. C. P.; COSTA, J. D.; DOURADO NETO, D. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev. 2004.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA UFSCAR, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GODINHO, R. P.; VILELA, E. R.; OLIVEIRA, G. A.; CHAGAS, S. J. R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.)

armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição Especial.

HOWELL, G. **SCAA Universa cupping form & how to use it**. In: ANNUAL CONFERENCE & EXHIBITION "PEAK OF PERFECTION", 10., 1998, Dever. **Presentation Handouts...** Denver-Colorado: [s.n.], 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673. Geneva, 1999. 17 p.

JORDÃO, B. A.; GARRUT, R. S.; ANGELUCCI, E.; TANGO, J. S.; TOSELO, Y. Armazenamento de café a granel em silo com ventilação natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: MIC-IBC, 1974. p. 385.

KRZYKANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

LEITE, I. P.; VILELA, E. R.; CARVALHO, V. D. de. Efeito do armazenamento na composição física e química do grão de café em diferentes processamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 159-163, mar. 1996.

LELOUP, V.; GANGEL, C.; LIARDON, R.; RYTZ, A.; PITHON, A. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Resumes...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

LINGLE, T. R. **The basics of cupping coffee**. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 1993. 57 p.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 2. ed. Washington: Coffee Development Group, 1986. 32 p.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. de R.; OLIVEIRA, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 6, p. 37-41, 2003. Especial Café.

MALTA, M. R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. de R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1015-1020, set./out. 2005.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R. D. A.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1805-1815, dez. 1990.

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, set./out. 2008.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NOBRE, G. W.; BORÉM, F. M.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Revista Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; SILVA, P. S. da; OLIVEIRA, E. C. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreiro, sobre a qualidade do

café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 48-60, jan./jun. 2007.

RIGUEIRA, R. J. de A.; LACERDA, F. A. F. de; SILVA, J. S.; CECON, P. R.; PALACIN, J. J. F. Caracterização da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes condições de secagem e armazenagem. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 15, n. 2, p. 151-167, abr./jun. 2007.

RIGUEIRA, R. J. de A.; LACERDA, F. A. F. de; VOLK, M. B. S.; CECON, P. R. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

RODRIGUES, A. P. L. **Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; BRADBURY, A.; WILKENS, J.; BECKER, R. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Resumes...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM

SILVA, J. de S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SILVA, R. P. G.; VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; BORÉM, F. M. Qualidade de grãos de café (*coffea arabica* l.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, v. 3, p. 03-10, 2001. Especial Café 3.

TEIXEIRA, A. A.; FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, A. Qualidade da bebida do café: efeito do acondicionamento e do tempo de conservação. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 7, p. 103-108, 1977.

TOSELLO, A. Beneficiamento e armazenamento. In: GRANER, E. A.; GODOY JUNIOR, C. **Manual do cafeicultor**. São Paulo: Melhoramentos, 1967. cap. 10, p. 247-257.

VIEIRA, G.; SILVA, J. N. da; VILELA, E. R.; SILVA, J. de S. E. Avaliação da qualidade de café beneficiado armazenado em silo com e sem aeração e em sacos de juta. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 75-90, 2001.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição Especial.

APÊNDICE

Tabela 1 Análise de variância da Condutividade Elétrica dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento -2013

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	4.97481	8.9692*
Tratamento de secagem	6	3.89591	7.0240*
Tratamento X Processamento	6	7.52535	13.5676*
Resíduo	28	0.55466	

CV (%) = 18,54; Média Geral = 4,01; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 2 Análise de variância da Germinação dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2013

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	27848.62500	579.0667*
Tratamento de secagem	6	715.51984	14.8781*
Tratamento X Processamento	6	1221.01389	25.3890*
Resíduo	28	48.09226	

CV (%) = 11,74; Média Geral = 59,07; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 3 Análise de variância da Lixiviação de Potássio dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2013

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	80.13039	7.7274*
Tratamento de secagem	6	58.01996	5.5952*
Tratamento X Processamento	6	59.10631	5.7000*
Resíduo	28	10.36960	

CV (%) = 24,58; Média Geral = 13,10; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 4 Análise de variância da Análise Sensorial dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2013

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	9.28720	2.4974 ^{ns}
Tratamento de secagem	6	17.91220	4.8167*
Tratamento X Processamento	6	7.87748	2.1183 ^{ns}
Resíduo	28	3.71875	

CV (%) = 2,41; Média Geral = 80,03; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 5 Análise de variância da Acidez Graxa dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2013

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	1.06881	138.2933*
Tratamento de secagem	6	0.16389	21.2055*
Tratamento X Processamento	6	0.03712	4.8023*
Resíduo	28	0.00773	

CV (%) = 2,57; Média Geral = 3,41; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 6 Análise de variância da Condutividade Elétrica dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2014

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	38.63493	37.0461*
Tratamento de secagem	6	9.34745	8.9630*
Tratamento X Processamento	6	5.75794	5.5211*
Resíduo	28	1.04289	

CV (%) = 20,72; Média Geral = 4,92; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 7 Análise de variância da Germinação dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2014

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	21920.00595	262.4122*
Tratamento de secagem	6	733.76389	8.7841*
Tratamento X Processamento	6	379.47817	4.5429*
Resíduo	28	83.53274	

CV (%) = 20,54; Média Geral = 44,50; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 8 Análise de variância da Lixiviação de Potássio dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2014

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	14627.31744	181.9838*
Tratamento de secagem	6	107.31773	1.3352 ^{ns}
Tratamento X Processamento	6	72.37914	0.9005 ^{ns}
Resíduo	28	80.37705	

CV (%) = 27,01; Média Geral = 33,19; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 9 Análise de variância da Análise Sensorial dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2014

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	30.49180	9.0552*
Tratamento de secagem	6	16.25656	4.8277*
Tratamento X Processamento	6	7.18089	2.1325 ^{ns}
Resíduo	28	3.36732	

CV (%) = 2,40; Média Geral = 76,42; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 10 Análise de variância da Acidez Graxa dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento - 2014

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	1.47341	206.4724*
Tratamento de secagem	6	0.15149	21.2279*
Tratamento X Processamento	6	0.03466	4.8575*
Resíduo	28	0.00714	

CV (%) = 2,57; Média Geral = 3,28; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.