



PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

**ASPECTOS ULTRAESTRUTURAIS E
FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS À QUALIDADE
DA BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDO
A DIFERENTES MÉTODOS DE
PROCESSAMENTO E SECAGEM**

LAVRAS – MG

2011

PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

**ASPECTOS ULTRAESTRUTURAIS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS À
QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDO A
DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM**

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

Orientador
Dr. Flávio Meira Borém

Coorientador
Dr. Gerson Silva Giomo

LAVRAS - MG

2010

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

Oliveira, Pedro Damasceno de.

Aspectos ultraestruturais e fisiológicos associados à qualidade da
bebida de café arábica submetido a diferentes métodos de
processamento e secagem / Pedro Damasceno de Oliveira. – Lavras :
UFLA, 2010.

108 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Flávio Meira Borém.

Bibliografia.

1. Microscopia. 2. Qualidade fisiológica. 3. Análise sensorial. 4.
Pós-colheita. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7368

PEDRO DAMASCENO DE OLIVEIRA

**ASPECTOS ULTRAESTRUTURAIS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS À
QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDO A
DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM**

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

APROVADA em 06 de agosto de 2010.

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa EMBRAPA Café

Dr. Marcelo Ribeiro Malta EPAMIG

Dr. Flávio Meira Borém
Orientador

Dr. Gerson Silva Giomo
Co-orientador

LAVRAS - MG

2010

À minha mãe, Laura Gilda
À minha tia-mãe, Maria Gislaine
À minha avó, Lourdes Brasileiro
À meu avô, João Damasceno
À minha namorada, Mariana Vaz

DEDICO

À meus tios Gilberto, Gabriel e Valdete, a onde quer que estejam
À minha mãe de criação Lázara

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

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

À minha mãe Laura Gilda, pelo amor, carinho, incentivo e dedicação.

À minha tia Gislaine, pela dedicação, amor, carinho e respeito.

À minha namorada Mariana pelo amor, incentivo e companheirismo.

Ao professor Flávio Meira Borém, pela valiosa orientação, amizade, incentivo e dedicação no decorrer do curso, contribuindo para meu amadurecimento e formação profissional.

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

Aos colegas Willie, Francile, Fabiana, Luisa, José Henrique, Juliana, Gilberto, Valquíria, Letycia, Renan, Guilherme e Diego, pela boa vontade e ajudas prestadas.

Aos amigos de Lavras Joice, Douglas, Guilherme, Eugênio, Mathias, Raoni, “Totona”, “Carioca”, “Prosa” e Ronan pela amizade e convivência durante estes anos.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo e amizade.

Ao setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, por ceder a matéria-prima para a realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos.

À Greice, secretária do curso de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, pela educação e boa vontade no atendimento aos estudantes.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela disponibilidade de estrutura e equipamentos para a realização dos trabalhos.

Aos funcionários do Pólo de Tecnologia em Pós-colheita do Café José Maurício e Edson, pela valorosa ajuda durante o experimento, preparo da

matéria-prima, auxílio na montagem do experimento e empréstimos de equipamentos e estruturas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-FAPEMIG, pelo financiamento do projeto que resultou nesta dissertação.

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

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café processados e secados de diferentes formas, bem como a manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e quatro métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50/40°C, 60/40°C e 40/60°C, onde a temperatura foi alterada quando os grãos de café atingiram 30%±2% (b.u.), com complementação da secagem até atingir 11%±1% (b.u.). 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, qualidade fisiológica e estudos ultra-estruturais dos grãos de café. As análises físico-químicas e fisiológicas envolveram: acidez graxa, lixiviação de potássio, condutividade elétrica, germinação e cor. O estudo da ultra-estrutura dos grãos de café foi obtido pela microscopia eletrônica de varredura. 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. 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. Com relação ao estudo das ultra-estruturas dos grãos de café, observou-se que a temperatura de secagem 50/40°C na secagem dos cafés despulpados obteve resultados semelhantes a esses cafés secados em terreiro, com pequena contração das células, sem sinais evidentes de ruptura. Pôde-se observar também que a utilização da temperatura de secagem 40/60°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: Secagem. Análises fisiológicas. Microscopia. Qualidade.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the physiological and sensory quality of processed coffee beans and dried in different ways, as well as maintaining the integrity of the cell wall and plasma membrane at the end of the drying process with alternating temperatures. The experiment was conducted with two types of processing: dry and wet, and four drying methods: solar drying on the ground, and mechanical drying with air heated to 50/40° C, 60/40° C and 40/60° C, where the temperature was changed when the coffee beans reached 30% ± 2% (w.b.), with completion of drying to reach 11% ± 1% (w.b.). The mechanical drying system used consisted of three dryers layer sets, which allows the controlled temperature and flow drying. After the treatments, the coffees were tasted by a system of evaluation proposed by the SCAA, Specialty Coffee Association of America. In addition to the sensory analysis were made by analysis of physico-chemical composition, physiological quality and ultrastructural studies of coffee beans. The physico-chemical analysis and physiological involved: fat acidity, leaching of potassium, electrical conductivity, germination and color. The study of the ultrastructure of coffee beans was obtained by scanning electron microscopy. Results were interesting, showing that the fermented coffee is more tolerant to drying than natural coffee, regardless of form that was dry, with better physiological, sensory and physico-chemical industries. And yet we can observe that raising the drying temperature promotes damage to the grains, which reduce significantly the quality of the drink, confirming existing research. Regarding the study of the ultrastructure of coffee beans, it was observed that the drying temperature 50/40° C in the drying of parchment coffee, obtained similar results to those dried in cafes, with a small contraction of the cells without signs of a break. It might also be noted that the use of drying temperature was 40/60° C which caused more damage the structures of cells, regardless of type of processing. It is natural that the cafes had greater disruption of the cellular components of the parchment coffee.

Keywords: Drying. Physiological. Microscopy. Quality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Equivalência de grãos imperfeitos e impurezas.....	33
Tabela 2	Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2009.....	39
Tabela 3	Valores médios do teor de água, umidade do ar de secagem e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009.....	39
Tabela 4	Valores médios das notas dos atributos acidez, corpo e finalização para cada tratamento de secagem – Lavras – 2009.....	42
Tabela 5	Valores médios das notas dos atributos equilíbrio e final para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009.....	43
Tabela 6	Valores médios das notas dos atributos fragrância, sabor e total para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009.....	45
Tabela 7	Valores médios das avaliações fisiológicas para a interação tratamento de secagem e tipo de processamento, dados em porcentagem (%) – Lavras – 2009.....	47
Tabela 8	Valores médios de condutividade elétrica para a o desdobramento tratamento de secagem e processamentos – Lavras – 2009.....	49
Tabela 9	Valores médios de lixiviação de potássio para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009.....	51
Tabela 10	Valores médios das variáveis “L”, “a” e “b” referente a cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009.....	53
Tabela 11	Valores médios da coordenada “b” referente a cada tipo de processamento – Lavras – 2009.....	54
Tabela 12	Valores médios de acidez graxa para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009.....	55

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	20
	ARTIGO 1 Aspectos fisiológicos de grãos de café, submetidos a diferentes tipos de processamento e métodos de secagem, associados à qualidade da bebida.....	20
1	INTRODUÇÃO.....	23
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1	Procedimento experimental.....	29
2.2	Processamento via seca.....	29
2.3	Processamento via úmida.....	30
2.4	Secagem em terreiro.....	30
2.5	Secagem em secador.....	31
2.6	Caracterização da qualidade.....	33
2.6.1	Análise sensorial.....	33
2.6.2	Análises fisiológicas.....	34
2.6.2.1	Teste de germinação.....	35
2.6.2.2	Primeira contagem da germinação.....	35
2.6.2.3	Folhas cotiledonares abertas.....	35
2.6.2.4	Condutividade elétrica.....	35
2.6.2.5	Lixiviação de potássio.....	36
2.6.3	Análise da cor.....	36
2.6.4	Acidez graxa.....	37
2.6.5	Análise estatística.....	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
3.1	Caracterização das condições de secagem.....	39
3.2	Análise sensorial.....	41
3.3	Análises fisiológicas.....	47
3.3.1	Germinação, primeira contagem e folhas cotiledonares abertas...	47
3.3.2	Condutividade elétrica.....	49
3.3.3	Lixiviação de potássio.....	51
3.4	Análise da cor.....	52
3.5	Acidez Graxa.....	55
4	CONCLUSÕES.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	ARTIGO 2 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem.....	65
1	INTRODUÇÃO.....	68

2	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1	Procedimento experimental.....	72
2.2	Processamento via seca.....	72
2.3	Processamento via úmida.....	73
2.4	Secagem em terreiro.....	73
2.5	Secagem em secador.....	73
2.6	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	76
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
3.1	Caracterização das condições de secagem.....	78
3.2	Curvas de secagem.....	80
3.3	Estudos ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas de secagem e processamento.....	83
4	CONCLUSÕES.....	94
	REFERÊNCIAS.....	95
	APÊNDICES.....	98

1 INTRODUÇÃO GERAL

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 (BORÉM, 2008).

Para o café, a qualidade está diretamente relacionada à sua bebida. Segundo Borém (2004). Para se obter cafés com boa qualidade, vários fatores são importantes, tais como: composição química do grão, determinada por fatores genéticos e ambientais; o processamento e conservação do grão, no qual intervém a ação da teor de água e da temperatura, evitando infecções microbianas indesejáveis; a torração e o preparo da infusão, que modificam a constituição química do grão e que resultam no sabor e aroma percebidos no momento da degustação (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; BORÉM, 2008; CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; FARAH et al., 2006; LELOUP et al., 2004).

Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via seca os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo. No processamento via úmida podem ser produzidos: os cafés cereja descascado, resultado da remoção mecânica da casca e, parcialmente, da mucilagem do fruto; os cafés cereja despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente com a mucilagem remanescente removida por fermentação; e os cafés cereja desmucilados, resultado da remoção mecânica tanto da casca quanto da mucilagem (BORÉM, 2008).

Uma das vantagens da remoção da casca e da mucilagem do café é a obtenção de lotes mais homogêneos, o que facilita a etapa de secagem e permite maior controle sobre a qualidade final do produto. A rápida eliminação da casca

e da mucilagem, por serem fontes de fermentação e retardarem a secagem, facilita a obtenção de cafés de boa bebida, independente da zona de produção e, quando bem preparados, são sempre classificados como de bebida de alto valor comercial. Neste caso, a retirada da mucilagem, reduz os riscos de desenvolvimento de micro organismos associados aos frutos, responsáveis por fermentações indesejáveis (BORÉM, 2004).

Além disso, os cafés em pergaminho apresentam a vantagem de diminuir consideravelmente a área de terreiro e o tempo necessário para secagem. Nas fases posteriores do preparo reduz-se em até 60% o volume necessário de secadores, silos e tulas (AFONSO JÚNIOR, 2001; BORÉM, 2004).

Recentemente, foi demonstrado que diversas atividades metabólicas ocorrem nas sementes de café durante a pós-colheita (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010). Essas reações metabólicas são responsáveis por significativas mudanças na composição das substâncias presentes no grão de café e, portanto, pela sua qualidade, estando diretamente relacionadas com métodos de processamento do café (BYTOF et al., 2005). Afonso Júnior et al. (2004), estudando o efeito do processamento via úmida e via seca sobre os aspectos físicos e químicos dos grãos de café, constataram que a remoção do exocarpo do fruto contribuiu na manutenção da qualidade fisiológica e química desses grãos.

A secagem do café é tradicionalmente realizada em terreiros, usando a energia solar e o movimento natural do ar para a remoção da água ou em secadores mecânicos que usam ar forçado aquecido a diferentes temperaturas. No entanto, frequentemente aplica-se a combinação desses dois tipos de secagem, utilizando-se um período de pré-secagem em terreiros, quando o café ainda possui elevado teor de água, e a complementação da secagem em secadores mecânicos, com temperaturas elevadas (BORÉM et al., 2006; SAATH, 2006; TAVEIRA, 2009).

Kleinwächter e Selmar (2010), estudando a influência da temperatura de secagem em grãos de café natural e despulpado, demonstrou que durante o processo de secagem, no momento em que os grãos de café se encontram com alto teor de água, inúmeras reações metabólicas ocorrem de forma notável.

Os compostos químicos nos grãos de café são reflexos de uma série de atributos que, somados, conferem ao café sabor e aroma peculiares. Entre eles, podem-se destacar fatores genéticos e ambientais e as condições de manejo na produção e processamento pós-colheita (MALTA et al., 2003). A lixiviação de potássio, condutividade elétrica, germinação, cor, análise sensorial, acidez graxa, podem elucidar a ação desses atributos durante o processamento e secagem do café.

A análise sensorial tem sido uma ferramenta muito importante na caracterização dos diferentes tipos de café. Um dos métodos para a avaliação sensorial que se tem destacado para a avaliação da qualidade da bebida de cafés especiais é o da Specialty Coffee Association of America (SCAA). 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 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 (1986).

A avaliação fisiológica dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Bytof et al. (2007) e Selmar et al. (2004) 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.

O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, indica possíveis danos ao sistema de membranas celular (AMORIM, 1978; PRETE, 1992). Malta, Pereira e Chagas (2005) e Reinato et al. (2007) relatam que os maiores valores de lixiviação de potássio correspondem a uma menor integridade na membrana celular, ocasionada por processos deteriorativos corridos durante a secagem, causando alterações indesejáveis durante o armazenamento. 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; FRANÇA NETO; HENNING, 1991), indicando perda de qualidade (PIMENTA; COSTA; CHAGAS, 2000; PRETE, 1992). Borém, Marques e Alves (2008) e Marques et al. (2008) mostraram maiores danos no sistema de membranas celulares dos grãos com o aumento da temperatura de secagem.

Segundo Amorim et al. (1976), a coloração do grão de café, assim como a da película prateada, geralmente está relacionada com a qualidade da bebida, e é um fator importante na valorização do produto. Normalmente, essa característica é indicativa do estágio de maturação, condições de secagem, armazenamento inadequado, alterações bioquímicas ou realização apropriada, ou não, de um tratamento tecnológico (CORRÊA et al., 2002).

A avaliação das coordenadas “L”, “a” e “b” tem sido utilizada na caracterização física de grãos de café. Nesse sistema, “L” indica a luminosidade (0 = preto e 100 = branco) e “a” e “b” indicam as direções que a cor pode assumir (“+a” = vermelho e -“a” = verde; +“b” = amarelo e -“b” = azul) descritas por Nobre (2005).

Carvalho et al. (1994) observaram haver diferenças significativas entre as diferentes bebidas. Cafés de melhor qualidade mantêm a coloração característica, enquanto cafés de pior qualidade sofrem reações oxidativas, com consequente branqueamento. Lopes, Hara e Silva (1998) citam a tonalidade azul-esverdeada como indicativa de grãos de melhor qualidade, mediante a prova de xícara.

Corrêa et al. (2002) observaram que a forma de processamento por via úmida contribuiu para a redução dos valores das coordenadas cromáticas “a” e “b”, diminuindo a aproximação da coloração indesejável vermelho-amarelo e aproximando da coloração desejável verde-azulado; porém contribuiu para um pequeno aumento na coordenada “L”, associada à luminância do grão, indicando um maior branqueamento dos grãos. Os mesmos autores verificaram que a coloração do produto foi afetada pelo aumento da temperatura do ar de secagem, principalmente reduzindo a intensidade da cor verde, independentemente do tipo de processamento empregado.

Menchú (1967) afirma que a secagem em secadores mecânicos altera a cor dos grãos de café, originando uma massa de grãos de coloração desuniforme e que temperaturas superiores a 80°C podem originar grãos de cor acinzentada que, ao absorverem água sofrem branqueamento irregular.

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. Portanto, o teor de ácidos graxos livres pode ser usado como um indicador da deterioração dos grãos. Dessa forma, o uso do teste de ácidos graxos livres é de grande importância no monitoramento da qualidade das

sementes, a partir da maturidade, pois a queda do vigor antecede a perda da viabilidade.

A preocupação com a viabilidade das sementes do cafeeiro é antiga. O aparecimento de injúrias em sementes de café, causadas 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 velocidade da germinação, além de aumentar o percentual de plântulas anormais.

Saath (2006), estudando o efeito de diferentes temperaturas sobre as estruturas celulares dos grãos de café, concluiu que os maiores danos ocorreram entre os teores de água 30% (b.u.) e 20% (b.u.), não havendo danos significativos quando esses estavam com teores de água acima de 30% (b.u.), independentemente da temperatura utilizada. Sendo assim, uma tecnologia que envolva a utilização de altas temperaturas quando os grãos estão com teor de água acima de 30% (b.u.), seguida de baixas temperaturas, pode contribuir para a manutenção da qualidade dos grãos de café, devido ao menor tempo de exposição do produto à secagem.

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 et al., 2003). Tem-se verificado, em muitos trabalhos, que os cafés naturais são mais sensíveis à dessecação, quando comparados aos cafés em pergaminho (CORADI, 2006; TAVEIRA, 2009). Esse fato é de grande importância para o manejo desses cafés, pois novas técnicas de secagem mecânica, onde se utilize diferentes temperaturas durante o processo de secagem, podem colaborar na manutenção da qualidade dos cafés. Coradi (2006) relata que os cafés despolpados, de uma forma geral, apresentaram uma maior

qualidade sensorial, quando comparados aos cafés naturais, bem como uma menor intensidade de danos nas estruturas celulares.

Existem poucos trabalhos relacionados à integridade das estruturas dos grãos de café. Muitos pesquisadores relatam que altas temperaturas na massa de café reduzem sua qualidade. Trabalhos relatam danos causados pela secagem em grãos de café, comprometendo a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Supõe-se que isso seja devido à desorganização e desestruturação das membranas celulares, que permitem o contato de componentes químicos com as enzimas hidrolíticas e oxidativas, as quais estão relacionadas aos processos fermentativos, comprometendo o sabor e aroma da bebida (SAATH, 2006). A definição das temperaturas e do momento em que ocorrem esses danos nos grãos de café é uma questão atual. Trabalhos que visam entender este fenômeno são de grande importância.

Em estudos ultra-estruturais de tecidos, após dessecação, tem-se verificado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria (BEGNAMI, 1998). Maior tolerância à dessecação das sementes de café é observada na secagem lenta (OLIVER; BEWLEY, 1997), devido ao tempo para indução e a operação dos mecanismos de proteção das membranas. Essas análises, bem como as das paredes celulares do endosperma, podem colaborar na compreensão dos processos de perda de qualidade durante a secagem (BORÉM et al., 2008; MARQUES et al., 2008). Esses mesmos autores verificaram que altas taxas de secagem são danosas às membranas dos grãos de café quando estes estão com teores de água acima de 30% (b.u.) para os cafés naturais e de 20% (b.u.) para os cafés despulpados, quando secados com temperatura de 60°C.

As pesquisas cafeeiras têm-se aproveitado de tecnologias de ponta. Recentes estudos têm verificado que, após a dessecação, a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria, portanto, análises ultra-estruturais nos tecidos do endosperma tornam-se importantes para mostrar a veracidade desses

estudos. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) vem-se aliando às pesquisas na busca da qualidade. Marques (2006) utilizou-se da técnica em análises ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. Pela técnica, pode-se comprovar que um ar de secagem à temperatura de 60°C influencia de maneira negativa a qualidade, pois provoca rupturas nas membranas celulares, conseqüentemente, o extravasamento de parte do protoplasma, substância viva da célula, no interior das células e nos espaços intercelulares. Porém, não pôde avaliar a variação de temperaturas do ar de secagem, antes e após a meia-seca, sobre a qualidade desses cafés.

Neste contexto, objetivou-se analisar o efeito 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 qualidade da bebida, bem como o efeito de diferentes métodos 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.

ARTIGO 1

Aspectos fisiológicos de grãos de café, submetidos a diferentes tipos de processamento e métodos de secagem, associados à qualidade da bebida

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café processados e secados de diferentes formas, bem como a manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e quatro métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50/40°C, 60/40°C e 40/60°C, onde a temperatura foi alterada quando os grãos de café atingiram 30%±2% (b.u.), com complementação da secagem até atingir 11%±1% (b.u.). 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, germinação e cor. 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. 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. Qualidade fisiológica.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the physiological and sensory quality of processed coffee beans and dried in different ways, as well as maintaining the integrity of the cell wall and plasma membrane at the end of the drying process with alternating temperatures. The experiment was conducted with two types of processing: dry and wet, and four drying methods: solar drying on the ground, and mechanical drying with air heated to 50/40° C, 60/40° C and 40/60° C, where the temperature was changed when the coffee beans reached 30% ± 2% (w.b.), with completion of drying to reach 11% ± 1% (w.b.). The mechanical drying system used consisted of three dryers layer sets, which allows the controlled temperature and flow drying. After the treatments, the coffees were tasted by a system of evaluation proposed by the SCAA, Specialty Coffee Association of America. In addition to the sensory analysis were made by analysis of physico-chemical composition and physiological quality studies of coffee beans. The physic-chemical analysis and physiological involved: fat acidity, leaching of potassium, electrical conductivity, germination and color. Results were interesting, showing that the fermented coffee is more tolerant to drying than natural coffee, regardless of form that was dry, with better physiological, sensory and physico-chemical industries. And yet we can observe that raising the drying temperature promotes damage to the grains, which reduce significantly the quality of the drink, confirming existing research.

Keywords: Post-harvest. Sensory analysis. Physiological quality.

1 INTRODUÇÃO

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 (BORÉM, 2008).

Para o café, a qualidade está diretamente relacionada à sua bebida. Segundo Borém (2004), o café de boa qualidade 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). Para se obter cafés com boa qualidade, vários fatores são importantes, tais como: composição química do grão, determinada por fatores genéticos e ambientais; o processamento e conservação do grão, no qual intervém a ação da teor de água e da temperatura, evitando infecções microbianas indesejáveis; a torração e o preparo da infusão, que modificam a constituição química do grão e que resultam no sabor e aroma percebidos no momento da degustação (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; BORÉM, 2008; CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; FARAH et al., 2006; LELOUP et al., 2004).

Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via seca os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo. No processamento via úmida podem ser produzidos: os cafés cereja descascado, resultado da remoção mecânica da casca e, parcialmente, da mucilagem do fruto; os cafés cereja despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente com a mucilagem remanescente removida

por fermentação; e os cafés cereja desmucilados, resultado da remoção mecânica tanto da casca quanto da mucilagem (BORÉM, 2008).

Uma das vantagens da remoção da casca e da mucilagem do café é a obtenção de lotes mais homogêneos, o que facilita a etapa de secagem e permite maior controle sobre a qualidade final do produto. A rápida eliminação da casca e da mucilagem, por serem fontes de fermentação e retardarem a secagem, facilita a obtenção de cafés de boa bebida, independente da zona de produção e, quando bem preparados, são sempre classificados como de bebida de alto valor comercial. Neste caso, a retirada da mucilagem, reduz os riscos de desenvolvimento de micro organismos associados aos frutos, responsáveis por fermentações indesejáveis (BORÉM, 2004).

Além disso, os cafés em pergaminho apresentam a vantagem de diminuir consideravelmente a área de terreiro e o tempo necessário para secagem. Nas fases posteriores do preparo reduz-se em até 60% o volume necessário de secadores, silos e tulhas (AFONSO JÚNIOR, 2001; BORÉM, 2004).

Recentemente, foi demonstrado que diversas atividades metabólicas ocorrem nas sementes de café durante a pós-colheita (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010). Essas reações metabólicas são responsáveis por significativas mudanças na composição das substâncias presentes no grão de café e, portanto, pela sua qualidade, estando diretamente relacionadas com métodos de processamento do café (BYTOF et al., 2005). Afonso Júnior et al. (2004), estudando o efeito do processamento via úmida e via seca sobre os aspectos físicos e químicos dos grãos de café, constataram que a remoção do exocarpo do fruto contribuiu na manutenção da qualidade fisiológica e química desses grãos.

A secagem do café é tradicionalmente realizada em terreiros, usando a energia solar e o movimento natural do ar para a remoção da água ou em secadores mecânicos que usam ar forçado aquecido a diferentes temperaturas.

No entanto, freqüentemente aplica-se a combinação desses dois tipos de secagem, utilizando-se um período de pré-secagem em terreiros, quando o café ainda possui elevado teor de água, e a complementação da secagem em secadores mecânicos, com temperaturas elevadas (BORÉM et al., 2006; SAATH, 2006; TAVEIRA, 2009).

Kleinwächter e Selmar (2010), estudando a influência da temperatura de secagem em grãos de café natural e despulpado, demonstrou que durante o processo de secagem, no momento em que os grãos de café se encontram com alto teor de água, inúmeras reações metabólicas ocorrem de forma notável.

Os compostos químicos nos grãos de café são reflexos de uma série de atributos que, somados, conferem ao café sabor e aroma peculiares. Entre eles, podem-se destacar fatores genéticos e ambientais e as condições de manejo na produção e processamento pós-colheita (MALTA et al., 2003). A lixiviação de potássio, condutividade elétrica, germinação, cor, análise sensorial, acidez graxa, podem elucidar a ação desses atributos durante o processamento e secagem do café.

A análise sensorial tem sido uma ferramenta muito importante na caracterização dos diferentes tipos de café. Um dos métodos para a avaliação sensorial que se tem destacado para a avaliação da qualidade da bebida de cafés especiais é o da Specialty Coffee Association of America (SCAA). 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 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 (1986).

A avaliação fisiológica dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Bytof et al. (2007) e Selma

et al. (2004) 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.

O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, indica possíveis danos ao sistema de membranas celular (AMORIM, 1978; PRETE, 1992). Malta, Pereira e Chagas (2005) e Renato et al. (2007) relatam que os maiores valores de lixiviação de potássio correspondem a uma menor integridade na membrana celular, ocasionada por processos deteriorativos corridos durante a secagem, causando alterações indesejáveis durante o armazenamento. 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; FRANÇA NETO; HENNING, 1991), indicando perda de qualidade (PIMENTA; COSTA; CHAGAS, 2000; PRETE, 1992). Borém, Marques e Alves (2008) e Marques et al. (2008) mostraram maiores danos no sistema de membranas celulares dos grãos com o aumento da temperatura de secagem.

Segundo Amorim et al. (1976), a coloração do grão de café, assim como a da película prateada, geralmente está relacionada com a qualidade da bebida, e é um fator importante na valorização do produto. Normalmente, essa característica é indicativa do estágio de maturação, condições de secagem, armazenamento inadequado, alterações bioquímicas ou realização apropriada, ou não, de um tratamento tecnológico (CORRÊA et al., 2002).

A avaliação das coordenadas “L”, “a” e “b” tem sido utilizada na caracterização física de grãos de café. Nesse sistema, “L” indica a luminosidade

(0 = preto e 100 = branco) e “a” e “b” indicam as direções que a cor pode assumir (“+a” = vermelho e -“a” = verde; +“b” = amarelo e -“b” = azul) descritas por Nobre (2005).

Carvalho et al. (1994) observaram haver diferenças significativas entre as diferentes bebidas. Cafés de melhor qualidade mantêm a coloração característica, enquanto cafés de pior qualidade sofrem reações oxidativas, com conseqüente branqueamento. Lopes, Hara e Silva (1998) citam a tonalidade azul-esverdeada como indicativa de grãos de melhor qualidade, mediante a prova de xícara.

Corrêa et al. (2002) observaram que a forma de processamento por via úmida contribuiu para a redução dos valores das coordenadas cromáticas “a” e “b”, diminuindo a aproximação da coloração indesejável vermelho-amarelo e aproximando da coloração desejável verde-azulado; porém contribuiu para um pequeno aumento na coordenada “L”, associada à luminância do grão, indicando um maior branqueamento dos grãos. Os mesmos autores verificaram que a coloração do produto foi afetada pelo aumento da temperatura do ar de secagem, principalmente reduzindo a intensidade da cor verde, independentemente do tipo de processamento empregado.

Menchú (1967) afirma que a secagem em secadores mecânicos altera a cor dos grãos de café, originando uma massa de grãos de coloração desuniforme e que temperaturas superiores a 80°C podem originar grãos de cor acinzentada que, ao absorverem água sofrem branqueamento irregular.

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. Portanto, o teor de ácidos graxos livres pode ser usado como um

indicador da deterioração dos grãos. Dessa forma, o uso do teste de ácidos graxos livres é de grande importância no monitoramento da qualidade das sementes, a partir da maturidade, pois a queda do vigor antecede a perda da viabilidade.

A preocupação com a viabilidade das sementes do cafeeiro é antiga. O aparecimento de injúrias em sementes de café, causadas 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 velocidade da germinação, além de aumentar o percentual de plântulas anormais.

Saath (2006), estudando o efeito de diferentes temperaturas sobre as estruturas celulares dos grãos de café, concluiu que os maiores danos ocorreram entre os teores de água 30% (b.u.) e 20% (b.u.), não havendo danos significativos quando esses estavam com teores de água acima de 30% (b.u.), independentemente da temperatura utilizada. Sendo assim, uma tecnologia que envolva a utilização de altas temperaturas quando os grãos estão com teor de água acima de 30% (b.u.), seguida de baixas temperaturas, pode contribuir para a manutenção da qualidade dos grãos de café, devido ao menor tempo de exposição do produto à secagem.

Neste contexto, objetivou-se analisar o efeito 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 qualidade da bebida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Rubi), colhido na Universidade Federal de Lavras, UFLA. 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 quatro 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 40°C até atingir 11% de teor de água; 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 60°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 60°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. Terminada a secagem foram procedidas a análise sensorial no Laboratório do Pólo de Tecnologia Pós-colheita e as análises fisiológicas no Laboratório de Análise de Sementes e no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Lavras.

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 pré-secagem de dois dias em terreiro antes de ser transferida para o secador.

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 pré-secagem de um dia em terreiro antes de ser transferida para o secador.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento o café permaneceu sob condições ambientes. 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 termohigrógrafo. 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 passaram por um período de pré-secagem para minimizar as diferenças no teor de água inicial entre os cafés natural e despulpado. Esse período foi de dois dias para o café natural e de um dia para o café despulpado, devido à remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento por via úmida, resultando, conseqüentemente, grãos de café com menor teor de água inicial em comparação ao café natural.

Após o período de pré-secagem, as parcelas foram conduzidas para três secadores (Figura 1) 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 1 Visão frontal 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 50/40°C, 40/60°C e 60/40°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 pelo método padrão ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

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.).

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

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

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 18°C, 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 30 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 Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café da Universidade Federal de Lavras. Para tanto utilizaram-se porções das amostras de grãos classificados em peneira 16 acima, com descarte de grãos mocos e defeituosos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 Equivalência de grãos imperfeitos e impurezas

Tabela de equivalência de grãos imperfeitos e impurezas	
Grãos imperfeitos e impurezas	Defeitos
1 grão preto	1
1 pedra, pau ou torrão grande	5
1 pedra, pau ou torrão regular	2
1 pedra, pau ou torrão pequeno	1
1 coco	1
1 casca grande	1
2 ardidos	1
2 marinheiros	1
2 a 3 cascas pequenas	1
2 a 5 brocados	1
3 conchas	1
5 verdes	1
5 quebrados	1
5 chochos ou mal granados	1

A análise sensorial foi realizada por dois Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA Certified Cupping Judges). Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da Associação Americana de Cafés Especiais, de acordo com a metodologia proposta por Lingle (1986), 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 (100 g), tamanho dos grãos (peneira 16 e acima), bem como o monitoramento da temperatura e tempo de torra (entre 8 e 12 minutos).

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

As análises fisiológicas 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 Primeira contagem da germinação

Foi realizada juntamente com o teste de germinação, sendo a contagem feita aos quinze dias do início do teste. Foram computadas como plântulas normais, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), as sementes que apresentavam raiz principal e pelo menos duas raízes laterais, com os resultados expressos em porcentagem.

2.6.2.3 Folhas cotiledonares abertas (orelha de onça)

Ao final do teste de germinação, aos 45 dias, foram computadas as plântulas que apresentavam as folhas cotiledonares totalmente expandidas (estádio orelha-de-onça) e os resultados foram expressos em porcentagem.

2.6.2.4 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.

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

2.6.2.5 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.

$$LK = \frac{\text{Valor lido} \times \text{dilução} \times 1,66}{\text{Peso (g)}} \quad \text{equação 4}$$

2.6.3 Avaliação da cor

A cor foi determinada em um colorímetro Minolta® CR 310 (iluminante C e ângulo 10°), através dos parâmetros: “L” (luminosidade), “a” e “b” (coordenadas de cromaticidade). Nesse sistema, “L” indica a luminosidade (0 = preto e 100 = branco) e “a” e “b” indicam as direções que a cor pode assumir (“+a” = vermelho e -“a” = verde; +“b” = amarelo e -“b” = azul)

descritas por Nobre (2005). O equipamento foi previamente calibrado [branco nº 15233011, “L” = 93,5, “a” = 0,3164 e “b” 0,3325], antes da análise de cor. As amostras foram colocadas em placas de Petri e para cada repetição, foram realizadas 5 leituras nos quatro pontos cardeais e uma no ponto central da placa.

2.6.4 Acidez graxa

Para a realização dessa análise foram utilizadas amostras de café armazenadas por 6 meses (MARQUES et al., 2008) em câmara fria com temperatura de 18°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: peso 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).

2.6.5 Análise estatística

Os dados obtidos das análises químicas, sensorial e fisiológicas do café foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa computacional Sisvar 4.0, segundo Ferreira (2000) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de significância de 1% e Tukey, ao nível de significância de 1% (ANEXO). Em relação à análise sensorial, o teste de Tukey proposto foi realizado comparando as interações entre os métodos de secagem e processamento para cada atributo avaliado. Como as características sensoriais dos cafés são definidas por mínimas diferenças, decidiu-se por analisar as médias a um nível de significâncias de 1%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 julho de 2009, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2009

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
27,10	14,05	19,41	0,006	69,65

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica, bem como a umidade relativa do ar de secagem e o tempo de secagem antes de 30% (b.u.) e após 30% (b.u.) de teor de água dos grãos, para cafés processados por via seca e por via úmida.

Tabela 3 Valores médios do teor de água, umidade do ar de secagem e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água (% b.u.)		Umidade do ar de secagem (%)		Tempo secagem (h)	
		Início	Final	Antes	Após	Antes	Total
				30% (b.u.)	30% (b.u.)	30% (b.u.)	
50/40°C	Despolpado	43,57	11,27	12,72	21,27	3,5	26
50/40°C	Natural	46,12	11,31	12,72	21,27	6	61
60/40°C	Despolpado	43,52	10,80	7,88	21,27	3	19

Tabela 3, conclusão

60/40°C	Natural	46,61	11,22	7,88	21,27	5	58
40/60°C	Despolpado	42,57	10,49	21,27	7,88	6	13
40/60°C	Natural	44,24	11,35	21,27	7,88	12	38
Terreiro	Despolpado	42,95	11,02	-	-	-	156
Terreiro	Natural	46,13	11,21	-	-	-	264

A remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafês. Observa-se, na Tabela 3, que, mesmo tomando-se o cuidado em deixar o café natural por maior período de pré-secagem no terreiro, os teores de água iniciais dos cafês naturais foram superiores quando comparados aos cafês despolpados. Entretanto, essa diferença seria muito superior caso a secagem com ar aquecido do café natural se iniciasse logo após sua colheita, quando os frutos apresentam teores de água entre 55 a 65% (BORÉM, 2008; SAATH, 2006). A utilização de temperaturas mais elevadas no início da secagem teve como objetivo evitar possíveis deteriorações nos cafês naturais, devido a essa maior umidade inicial. Assim, o cuidado com a pré-secagem em terreiro permitiu que os tratamentos de secagem realizados com cafês provenientes de diferentes formas de processamento, fossem conduzidos em condições mais uniformes possíveis, evitando que o teor inicial de água interferisse no fenômeno estudado (BORÉM et al., 2006).

Segundo Borém et al. (2006) e Ribeiro et al. (2003) e 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, além da umidade relativa são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e têm efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. Nota-se, na Tabela 3, que mesmo tendo uma maior umidade relativa do ar de secagem, antes dos 30% (b.u.), o tratamento de secagem 40/60°C 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 livre quando os frutos estão com teores de água

mais elevados, bem como da elevação da temperatura no fim da secagem (BORÉM, 2008). 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 3, 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.

3.2 Análise sensorial

Na avaliação de cafés especiais, além da nota global da bebida, são importantes as pontuações obtidas em cada um dos atributos que compõem a qualidade global do café, tendo em vista a identificação de características sensoriais distintas entre diferentes amostras e, ao mesmo tempo, descreverem as notas ou nuances específicas de fragrância e sabor encontradas em uma determinada amostra (FIGUEIREDO, 2010).

Considerando esse tipo de avaliação, a análise de variância dos dados foi feita para cada um dos atributos, bem como para a nota final.

As notas médias dos atributos acidez, corpo e finalização são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios das notas dos atributos acidez, corpo e finalização para cada tratamento de secagem – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Acidez	Corpo	Finalização
Terreiro	7,15 A	7,02 A	6,92 A
50/40°C	6,81 B	6,94 B	6,63 B
60/40°C	6,75 B	6,88 B	6,56 B
40/60°C	6,90 B	6,13 B	6,42 B

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

A acidez pode ser agradável ou não, dependendo da natureza do ácido predominante na bebida. Uma acidez agradável contribui para a vivacidade do café, aumenta a percepção da doçura e confere característica de fruta-fresca. Porém, em geral, cafés de muito baixa acidez acabam por não terem atributo suficiente para notas mais elevadas. O atributo corpo consiste na percepção tátil do líquido na boca, especialmente quando percebida entre a língua e o céu da boca. A maioria das amostras com corpo intenso pode também receber pontuação alta, em termos de qualidade, devido à presença de mais sólidos dissolvidos na bebida. A finalização é definida como a persistência do sabor. Se a finalização deixar sensação de muito curta duração ou desagradável, uma pontuação baixa pode ser aplicada (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA - SCAA, 2008).

Observa-se, na Tabela 4, que não houve diferenças significativas, a partir das análises estatísticas, entre os valores dos atributos em relação ao tipo de processamento utilizado, indicando que a remoção do exocarpo e mesocarpo não contribuiu na alteração desses atributos. Nota-se, também que, os cafés secados com ar aquecido tiveram menores valores de acidez, corpo e finalização, quando comparados com os cafés secados em terreiro, indicando pior qualidade sensorial desses cafés, segundo o protocolo da metodologia Americana para cafés especiais. Esse fenômeno pode estar relacionado com possíveis alterações

nas estruturas celulares dos grãos de café. Os menores valores do atributo corpo nesses cafés pode ter ocorrido devido a redução de sólidos dissolvidos na bebida, causados por alterações nos constituintes das células, indicar perda de qualidade do produto (LINGLE, 1986).

Na Tabela 5 são apresentadas as notas médias dos atributos equilíbrio e impressão global para cada tratamento de secagem e processamento.

Tabela 5 Valores médios das notas dos atributos equilíbrio e final para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras - 2009

Tratamento de secagem	Equilíbrio	Impressão global
Terreiro	6,96 A	7,19 A
50/40°C	6,71 B	6,85 B
60/40°C	6,65 B	6,71 B
40/60°C	6,44 C	6,46 C
Processamento	Equilíbrio	Final
Despolpado	6,80 A	6,96 A
Natural	6,57 B	6,65 B

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

Os atributos sabor, finalização, acidez e corpo da amostra acabam trabalhando em sinergia, complementando-se ou contrastando-se um do outro. Este efeito é denominado equilíbrio. Portanto, uma boa pontuação deste atributo reflete o perfeito equilíbrio dos componentes do conjunto. O aspecto impressão global deve refletir total coerência em relação à avaliação feita pelo degustador de cada um dos atributos. Um café que demonstre perfeitamente suas características, refletindo um sabor original e particular de qualidade, certamente obterá uma alta pontuação (SCAA, 2008).

Novamente, encontram-se na Tabela 5 os maiores valores dos atributos, equilíbrio e impressão global, para os grãos de café secados em terreiro, apontando uma maior sinergia entre os outros atributos, bem como refletindo um

maior potencial de originalidade desses cafés quando comparados aos cafés secados com ar aquecido, de acordo com Lingle (2001). Os menores valores desses atributos, dados aos cafés secados com ar aquecido, indica possíveis desequilíbrios entre os componentes celulares dos grãos de café (ILLY, 2002). Observa-se, também, que os menores valores para equilíbrio e impressão global, foram encontrados no tratamento de secagem 40/60°C, apontado que os danos aos componentes que expressam as características sensoriais foram maiores nesses cafés. A secagem com ar aquecido, com temperaturas de 50/40°C e 60/40°C, apresentou valores intermediários para esses atributos, supondo danos menos severos, quando comparados a secagem 40/60°C.

Em relação ao tipo de processamento utilizado, verifica-se que os cafés despulpados apresentaram melhores resultados quando comparados aos cafés naturais, tanto para o atributo impressão globais quanto para o equilíbrio. Taveira (2009), estudando a utilização de temperaturas mais altas no início da secagem, quando o teor de água dos grãos de café estava acima de 30% (b.u.), seguida de temperaturas menores após esses cafés atingirem 30% (b.u.), observou que os cafés despulpados tiveram maior tolerância a altas temperaturas comparados com os cafés naturais, fato que pode estar relacionado ao menor tempo de exposição à secagem e, conseqüentemente, à manutenção de sua qualidade sensorial.

Na Tabela 6 são apresentados os desdobramentos do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos de café em relação aos atributos fragrância, sabor e total.

Tabela 6 Valores médios das notas dos atributos fragrância, sabor e total para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009

Tratamento de secagem		Terreiro	50/40°C	60/40°C	40/60°C
Fragrância/Aroma	Despolpado	7,13 a	7,25 aA	7,08 aA	6,42 b
	Natural	7,08 a	6,46 aB	6,50 aB	6,63 a
Sabor	Despolpado	7,17 a	7,08 aA	7,04 aA	6,54 b
	Natural	7,04 a	6,54 aB	6,38 bB	6,50 a
Total	Despolpado	79,54 a	79,08 aA	78,67 aA	75,96 b
	Natural	79,33 a	76,29 bB	75,54 bB	75,88 b

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas, para cada atributo, e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade

Os aspectos aromáticos incluem fragrância, definida como o cheiro do café quando este ainda está seco, e aroma, definida como o cheiro do café quando diluído em água quente. O sabor representa a principal característica do café. Esta avaliação reflete a combinação de todas as percepções captadas na gustação. A pontuação dada para o sabor relata a intensidade, qualidade e complexidade dessa combinação de gosto e aroma, experimentado quando o café é sugado (SCAA, 2008).

Observa-se que o tratamento 40/60°C reduziu, significativamente, as notas de fragrância/aroma e sabor resultando na pior nota total da bebida dos cafés despolpados. Esse tratamento foi o único que teve efeito significativo nas notas dos atributos dos cafés despolpados. Entretanto, nos cafés naturais todos os tratamentos com ar aquecido resultou em cafés com nota total inferiores aos cafés secados em terreiro.

De acordo com Borém, Marques e Alves (2008) e Saath (2006), 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 despolpado e natural.

Em relação aos tratamentos de secagem 50/40°C e 60/40°C, verificam-se diferenças entre os valores médios dos atributos dependendo do tipo de processamento utilizado, se despulpado ou natural. Os maiores valores encontrados para esses atributos, para os tratamentos de secagem 50/40°C e 60/40°C, sempre ocorreram nos cafés despolpados. Nota-se, para os cafés naturais, que o uso de ar aquecido a 60°C foi extremamente prejudicial na manutenção de suas características sensoriais, indicando uma maior sensibilidade desses cafés ao aumento da temperatura de secagem, o que não ocorreu com os cafés despolpados. Esse fato contraria algumas teorias que preconizavam uma maior tolerância a temperaturas elevadas dos cafés naturais em relação aos cafés em pergaminho.

Os maiores valores para a nota total foram encontrados nos cafés secados em terreiro, quando comparados aos tratamentos de secagem com ar aquecido. Para o café despulpado, o aumento da temperatura de secagem não teve influência significativa na nota total, quando comparados aos naturais, indicando uma possibilidade de novos manejos que reduzam os custos com a manutenção da qualidade do produto.

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 somente pode ser observado para os cafés naturais, e corrobora com os resultados obtidos por Kleinwächter e Selmar (2010), em que esses autores observaram que a primeira etapa 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 Germinação, primeira contagem e folhas cotiledonares abertas

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 sua qualidade fisiológica.

Tabela 7 Valores médios das avaliações fisiológicas para a interação tratamento de secagem e tipo de processamento, dados em porcentagem (%) – Lavras – 2009

Tratamento de secagem		Terreiro	50/40°C	40/60°C	60/40°C
Protrusão Radicular (%)	Despolpado	92,8 aA	82,8 bA	54,8 cA	25,8 dA
	Natural	61,2 aB	0,00 bB	0,00 bB	0,00 bB
Germinação (%)	Despolpado	96,0 aA	83,3 bA	57,0 cA	31,0 dA
	Natural	66,3 aB	0,00 bB	0,00 bB	0,00 bB
Folhas Cotiledonares (%)	Despolpado	39,0 aA	32,4 bA	29,0 cA	06,4 dA
	Natural	25,4 aB	0,00 bB	0,00 bB	0,00 bB

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. Para os cafés secados em terreiro, os menores valores, em todas as avaliações realizadas, foram encontrados nos cafés naturais, indicando que ocorreram danos fisiológicos mais intensos nos grãos desses cafés. Os maiores valores encontrados, para protrusão radicular, germinação e folhas cotiledonares abertas, foram para os cafés despolpados. Resultado semelhante foi observado por Taveira (2009), indicando relação positiva entre as análises fisiológicas e a análise sensorial, e 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 nulos, 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).

O tratamento de secagem 50/40°C, para os cafés despulpados, apesar de ter tido valores inferiores aos cafés secados em terreiro, apresenta-se como uma boa alternativa para a secagem de grãos de cafés processados por via úmida, tendo em vista as maiores notas sensoriais e manutenção da sua qualidade fisiológica.

Tanto para os cafés despulpados quanto 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 protrusão radicular, germinação e abertura das folhas cotiledonares, sendo mais intensa nos cafés naturais, onde os valores foram nulos.

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.

3.3.2 Condutividade elétrica

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

Tabela 8 Valores médios de condutividade elétrica para a o desdobramento tratamento de secagem e processamentos – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Processamento	
	Natural ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Despolpado ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
Terreiro	127.83 aA	80.53 bA
50/40°C	173.89 aB	124.62 bB
60/40°C	201.09 aC	131.77 bB
40/60°C	225.71 aD	167.90 bC

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 8, que houve diferenças significativas entre os tipos de processamentos e secagem utilizados nos experimento. 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 ser menores, com conseqüente 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 dos 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 8, 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, tendo em vista que a temperatura máxima ambiente foi de 27,1°C, desse tratamento, em comparação ao tratamento com secagem com ar aquecido. Em relação aos tratamentos de secagem mecânica, as temperaturas de secagem 40/60°C resultaram nos maiores valores, indicando maior comprometimento da qualidade do café comparativamente à secagem com temperaturas 60/40°C. Esse aumento da condutividade elétrica dos cafés processados via seca e via úmida, quando da utilização da temperatura de 60°C após a meia-seca, comparada com a utilização da mesma temperatura antes da meia-seca, pode ser explicado 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 (2006) 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.

3.3.3 Lixiviação de potássio

Na Tabela 9 encontram-se os resultados do desdobramento do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos sobre a lixiviação de potássio.

Tabela 9 Valores médios de lixiviação de potássio para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Processamento	
	Natural (mg/kg)	Despolpado (mg/kg)
Terreiro	49,01 aA	32,06 bA
50/40°C	73,74 aB	51,77 bB
60/40°C	90,31 aC	58,63 bB
40/60°C	96,41 aC	72,35 bC

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

O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, avalia a integridade do sistema de membranas e observa-se que os efeitos dos tratamentos são semelhantes aos verificados no teste de condutividade elétrica.

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 60/40°C, e no final da secagem, após a meia-seca, no tratamento 40/60°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. Mesmo esses dois tratamentos de secagem não apresentando diferenças estatísticas entre si, os maiores valores de lixiviação de potássio foram encontrados nos cafés secados com temperaturas de 40/60°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.

O tratamento de secagem 50/40°C apresentou valores de lixiviação de potássio intermediários em relação ao terreiro e 60/40°C, apontando como uma possível alternativa no manejo de grãos de café despulpados na secagem mecânica, pois também apresentou boa qualidade sensorial, como discutido anteriormente.

Existe uma concordância de que a degeneração das membranas celulares e subseqüente 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 Análise da cor

Na Tabela 10 encontram-se os valores médios das variáveis “L”, “a” e “b” para cada tratamento de secagem e processamento.

Tabela 10 Valores médios das variáveis “L”, “a” e “b” referente a cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009

Tratamento		L	a	B
Processamento	Secagem			
50/40°C	Natural	44,966	2,222	12,123
	Despolpado	50,101	2,064	9,234
60/40°C	Natural	55,945	2,216	14,398
	Despolpado	48,994	2,094	8,596
40/60°C	Natural	53,072	2,258	13,188
	Despolpado	50,958	2,031	9,378
Terreiro	Natural	53,523	2,447	12,875
	Despolpado	48,689	2,297	8,009

A coordenada “L”, associada à luminância do grão, indica maior ou menor branqueamento dos grãos e sua escala varia de 0 (preto) a 100 (branco). Observa-se, na Tabela 10, que os maiores valores foram encontrados nos cafés naturais, indicando um maior potencial de branqueamento desses cafés em relação aos cafés despolpados. Segundo Godinho et al. (2000), os cafés naturais já apresentam, em suas características, uma coloração mais amarelada devido à presença da película prateada, e isso pode ser uma das explicações para os valores da coordenada “b” ter maiores valores nesses cafés. Corrêa et al. (2002), estudando o efeito do processamento e da temperatura de secagem na alteração da coloração em grãos de café, relataram que os cafés em pergaminho apresentaram maiores valores da coordenada “L” em relação os cafés naturais. Nesses experimentos o produto foi armazenado com os grãos já beneficiados, podendo ser esse detalhe a diferença dos valores encontrados no presente experimento. Godinho et al. (2000) observaram que a manutenção da casca e do pergaminho durante o armazenamento foi favorável na redução da variação da cor dos grãos de café, quando comparados com cafés armazenados já beneficiados, já que esses cafés estão mais expostos às variações ambientais.

Observa-se, na Tabela 10, a redução dos valores da coordenada cromática “a”, para o processamento via úmida, diminuindo a aproximação da coloração indesejável vermelho e aproximando da coloração desejável verde. A mesma redução ocorreu para os valores da coordenada cromática “b”; isso indica a aproximação da coloração azul, desejável, e afastamento da coloração amarela (LOPES; HARA; SILVA, 1998).

Observou-se na análise de variância que os tratamentos não apresentaram efeitos significativos sobre as coordenadas “L” e “a”, mas somente para a coordenada “b”, como apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 Valores médios da coordenada “b” referente a cada tipo de processamento – Lavras – 2009

Processamento	"b"
Natural	13,67 A
Despolpado	8,75 B

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

Na literatura encontram-se relatos que associam a coloração azulada a cafés de melhor qualidade em relação àqueles com coloração amarela (CORREA et al., 2002). Como constatado anteriormente, a retirada do exocarpo e mesocarpo nos cafés cereja despulpados, contribuiu para a aproximação da coordenada “b” da coloração azulada, relacionada à manutenção da qualidade do produto.

Segundo Amorim et al. (1976), a coloração do grão de café, geralmente, está relacionada com a qualidade da bebida, e é um fator importante na valorização do produto. Alterações na cor indicam processos oxidativos e transformações bioquímicas de natureza enzimática, que irão influenciar negativamente o sabor e aroma da bebida (BORÉM, 2008).

3.5 Acidez graxa

Na Tabela 12 encontram-se os resultados do desdobramento do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos sobre a acidez graxa.

Tabela 12 Valores médios de acidez graxa para a interação tratamentos de secagem e processamentos – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Processamento	
	Despolpado (mL de KOH/100 g de MS)	Natural (mL de KOH/100 g de MS)
Terreiro	3,20 aA	3,47 bA
50/40°C	3,47 aB	3,47 aA
60/40°C	3,70 aC	3,92 bB
40/60°C	4,26 aD	4,92 bC

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

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 os efeitos de danos térmico e mecânico 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.

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 12, 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 (CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008). 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 o tratamento de secagem 50/40°C obteve resultado satisfatório para os cafés naturais, 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 aumentou a quantidade ácidos graxos livres. O tratamento de secagem 40/60°C foi o que obteve 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.

4 CONCLUSÕES

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

A secagem em terreiro 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 e sensorial do que o café natural, independente do método de secagem, bem como sua coloração.

A temperatura de 40/60°C foi a que obteve os piores resultados, sendo imprópria para a secagem de café.

A temperatura de 60/40°C e 50/40°C são adequadas para o café despulpado, porém imprópria para o café natural.

O uso da temperatura de 60°C após a meia-seca foi mais danosa do que quando usada antes da meia-seca.

Os danos latente, observados pelo teste da acidez graxa, foram mais acentuados nos grãos de café secados com temperatura de 40/60°C, antes ou após a meia-seca, independentemente do tipo de processamento empregado.

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 Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

AFONSO JÚNIOR, P. C. et al. Contribuição das etapas do pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 29, n. 8, p. 46-53, 2004. Edição Especial.

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, Bangladore. **Resumes...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

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 f. Tese (Livre Docência em Bioquímica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1978.

AMORIM, H. V. et al. Relação entre a coloração do grão e da película prateada do café e a presença de enzimas oxidativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1976. p. 133-135.

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. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p.

_____. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 20-23.

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.

_____. 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.

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. et al. Influence of processing on the generation of c-aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Cambridge, v. 220, n. 2, p. 245-250, 2005.

_____. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, London, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.

CARVALHO, V. D. et al. 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.

CHAGAS, S. J. R. de; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Potencial da região Sul de Minas Gerais para produção de cafés especiais: I., atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 590-597, maio/jun. 2005.

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.

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, abr./jun. 2008.

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. 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.

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

FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico de cultivares de cafeeiro bourbon (*Coffea arabica L.*) de diferentes origens geográficas**. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

GODINHO, R. P. et al. 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. Volume especial.

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

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

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, Feb. 2010.

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.

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, Bangladore. **Resumes...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2001. No page.

_____. _____. Washington: Coffee Development Group, 1986. 32 p.

LOPES, R. P.; HARA, T.; SILVA, J. S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 6, n. 3, p. 160-169, 1998.

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.

MALTA, M. R.; PEREIRA, R. 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.

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, 2006.

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.

MENCHÚ, E. F. La determinación de la calidad del café: características, color y aspecto. **Agricultura de las Américas**, Kansas City, v. 16, n. 5, p. 18-21, 1967.

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.

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

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.

REINATO, C. H. R. et al. 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.

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. 27, n. 7, p. 94-107, 2003.

SAATH, R. **Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem.** 2006. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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. **Resumes...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

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.

SOARES, T. A. **Análise da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja.** 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **SCAA cupping protocols**. New York, 2008. Disponível em: <http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2010.

TAVEIRA, J. H. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade de bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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.

ARTIGO 2

Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem

RESUMO

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café processados e secados de diferentes formas, bem como a manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e quatro métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50/40°C, 60/40°C e 40/60°C, onde a temperatura foi alterada quando os grãos de café atingiram 30%±2% (b.u.), com complementação da secagem até atingir 11%±1% (b.u.). 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, qualidade fisiológica e estudos ultra-estruturais dos grãos de café. 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 50/40°C na secagem dos cafés despolpados obteve resultados semelhantes a esses cafés secados em terreiro, com pequena contração das células, sem sinais evidentes de ruptura. Pôde-se observar também que a utilização da temperatura de secagem 40/60°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 despolpados.

Palavras-chave: Pós-colheita. Análise ultraestrutural. Curvas de secagem.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the physiological and sensory quality of processed coffee beans and dried in different ways, as well as maintaining the integrity of the cell wall and plasma membrane at the end of the drying process with alternating temperatures. The experiment was conducted with two types of processing: dry and wet, and four drying methods: solar drying on the ground, and mechanical drying with air heated to 50/40° C, 60/40° C and 40/60° C, where the temperature was changed when the coffee beans reached 30% ± 2% (w.b.), with completion of drying to reach 11% ± 1% (w.b.). The mechanical drying system used consisted of three dryers layer sets, which allows the controlled temperature and flow drying. After the treatments, the coffees were tasted by a system of evaluation proposed by the SCAA, Specialty Coffee Association of America. In addition to the sensory analysis were made by analysis of physico-chemical composition, physiological quality and ultrastructural studies of coffee beans. The study of the ultrastructure of coffee beans was obtained by scanning electron microscopy. Regarding the study of the ultrastructure of coffee beans, it was observed that the drying temperature 50/40° C in the drying of parchment coffee, obtained similar results to those dried in cafes, with a small contraction of the cells without signs of a break. It might also be noted that the use of drying temperature was 40/60° C which caused more damage the structures of cells, regardless of type of processing. It is natural that the cafes had greater disruption of the cellular components of the parchment coffee.

Keywords: Post-harvest. Ultrastructural analysis. Drying curves.

1 INTRODUÇÃO

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).

O processamento do café também interfere de forma significativa na sua qualidade. No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café recém-colhido apresenta uma mistura de frutos verdes, cerejas, passas, ramos, torrões e pedras. Após a derriça, o café é submetido à separação das impurezas, de forma manual ou por máquinas de pré-limpeza. Em seguida o café deve passar pelo separador hidráulico, onde os cafés bóia são separados dos frutos cerejas e verdes (BARTHOLO; GUIMARÃES, 1997).

Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via seca, os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo. No processamento via úmida, podem ser produzidos: os cafés cereja descascado, resultado da remoção mecânica da casca e, parcialmente, da mucilagem do fruto; os cafés cereja despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente com a mucilagem remanescente removida por fermentação; e os cafés cereja desmucilados, resultado da remoção mecânica tanto da casca quanto da mucilagem (BORÉM, 2008).

A secagem do grão de café é uma das etapas de sua cadeia produtiva que se relaciona com sua qualidade. Os frutos de café quando colhidos apresentam alto teor de água, normalmente entre 55% (b.u.) e 65% (b.u.) (BORÉM et al., 2006). Para armazená-los com segurança, deve-se reduzir até 11 % (b.u.) eliminando-se, assim, o risco com as elevadas taxas de respiração e desenvolvimento de fungos e bactéria. Por isso, devem-se utilizar técnicas de secagem eficientes, para manter a qualidade do grão de café e a integridade das membranas celulares, que favorece a preservação do aroma e sabor (BORÉM, 2004).

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 et al., 2003). Tem-se verificado, em muitos trabalhos, que os cafés naturais são mais sensíveis à dessecação, quando comparados aos cafés em pergaminho (CORADI, 2006; TAVEIRA, 2009). Esse fato é de grande importância para o manejo desses cafés, pois novas técnicas de secagem mecânica, onde se utilize diferentes temperaturas durante o processo de secagem, podem colaborar na manutenção da qualidade dos cafés. Coradi (2006) relata que os cafés despulpados, de uma forma geral, apresentaram uma maior qualidade sensorial, quando comparados aos cafés naturais, bem como uma menor intensidade de danos nas estruturas celulares.

Existem poucos trabalhos relacionados à integridade das estruturas dos grãos de café. Muitos pesquisadores relatam que altas temperaturas na massa de café reduzem sua qualidade. Trabalhos relatam danos causados pela secagem em grãos de café, comprometendo a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Supõe-se que isso seja devido à desorganização e desestruturação das membranas celulares, que permitem o contato de componentes químicos com as enzimas hidrolíticas e oxidativas, as quais estão relacionadas aos processos

fermentativos, comprometendo o sabor e aroma da bebida (SAATH, 2006). A definição das temperaturas e do momento em que ocorrem esses danos nos grãos de café é uma questão atual. Trabalhos que visam entender este fenômeno são de grande importância.

Em estudos ultra-estruturais de tecidos, após dessecação, tem-se verificado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria (BEGNAMI, 1998). Maior tolerância à dessecação das sementes de café é observada na secagem lenta (OLIVER; BEWLEY, 1997), devido ao tempo para indução e a operação dos mecanismos de proteção das membranas. Essas análises, bem como as das paredes celulares do endosperma, podem colaborar na compreensão dos processos de perda de qualidade durante a secagem (BORÉM et al., 2008; MARQUES et al., 2008). Esses mesmos autores verificaram que altas taxas de secagem são danosas às membranas dos grãos de café quando estes estão com teores de água acima de 30% (b.u.) para os cafés naturais e de 20% (b.u.) para os cafés despulpados, quando secados com temperatura de 60°C.

As pesquisas cafeeiras têm-se aproveitado de tecnologias de ponta. Recentes estudos têm verificado que, após a dessecação, a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria, portanto, análises ultra-estruturais nos tecidos do endosperma tornam-se importantes para mostrar a veracidade desses estudos. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) vem-se aliando às pesquisas na busca da qualidade. Marques (2006) utilizou-se da técnica em análises ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. Pela técnica, pode-se comprovar que um ar de secagem à temperatura de 60°C influencia de maneira negativa a qualidade, pois provoca rupturas nas membranas celulares, conseqüentemente, o extravasamento de parte do protoplasma, substância viva da célula, no interior das células e nos espaços intercelulares. Porém, não pôde avaliar a variação de temperaturas do ar de secagem, antes e após a meia-seca, sobre a qualidade desses cafés.

O estudo das ultraestruturas celulares dos grãos de café pode ajudar no entendimento dos processos de perda de qualidade durante o processamento e secagem. Neste contexto, objetivou-se, neste trabalho, analisar em café natural e despulpado, o efeito de diferentes métodos 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. Rubi), colhido na Universidade Federal de Lavras, UFLA. 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 quatro 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 40°C até atingir 11% de teor de água; 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 60°C até atingir 11% de teor de água; e secagem em secadores de camada fixa com ar aquecido a 60°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. Terminada a secagem, foram procedidas a análise sensorial no Laboratório do Pólo de Tecnologia Pós-colheita e as análises fisiológicas no Laboratório de Análise de Sementes e no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Lavras.

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 bóia 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 pré-secagem de dois dias em terreiro antes de ser transferido para o secador.

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. 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 pré-secagem de um dia em terreiro antes de ser transferida para o secador.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento, o café permaneceu sob condições ambientes, sendo manejados 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 termohigrógrafo. 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 passaram por um período de pré-secagem para minimizar as diferenças no teor de água inicial entre os cafés

natural e despulpado. Esse período foi de dois dias para o café natural e de um dia para o café despulpado, devido à remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento por via úmida, resultando, conseqüentemente, grãos de café com menor teor de água inicial em comparação ao café natural.

Após o período de pré-secagem, as parcelas foram conduzidas para três secadores (Figura 1) de camada fixa de 0,30 m, 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 1 Visão frontal 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 $50/40^\circ\text{C}$, $40/60^\circ\text{C}$ e $60/40^\circ\text{C}$, foi determinado da seguinte forma:

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.).

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 pelo método padrão ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

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

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

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 permaneceram armazenados em sacos de polietileno em ambiente com temperatura de 18°C , sendo beneficiados apenas no momento da realização das análises fisiológicas, químicas e sensoriais para avaliação da qualidade do café.

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. As amostras foram cortadas longitudinalmente e imersas 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 aumentos variáveis, 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. (Figura 2).

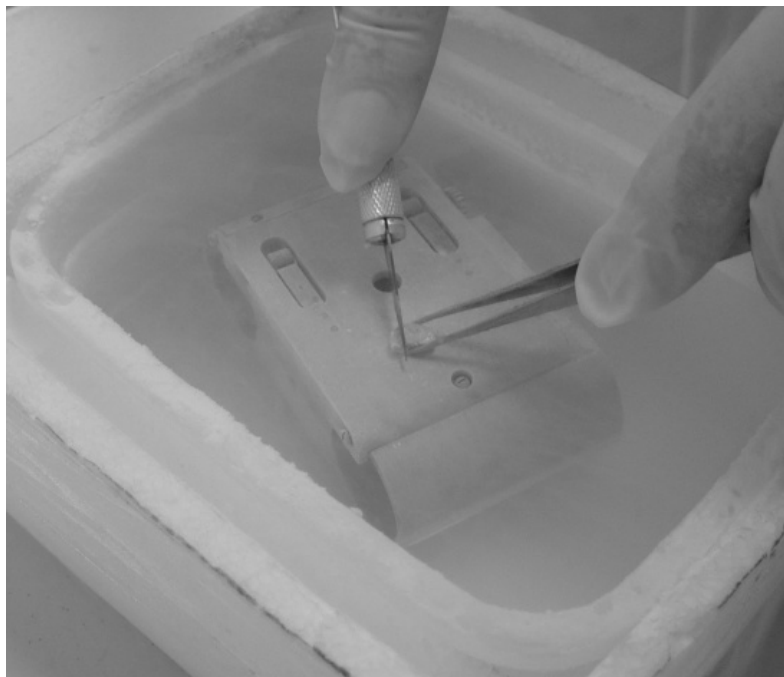


Figura 2 Corte longitudinal em nitrogênio. Fonte: Saath (2006)

A partir das imagens geradas pode-se observar a contração das células dos grãos de café, o preenchimento dos espaços intercelulares, o extravasamento do lúmen celular, a formação de pontos em forma de gotas, para caracterizar o efeito do processamento e secagem utilizados.

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 julho de 2009, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa – Lavras – 2009

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
27,10	14,05	19,41	0,006	69,65

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica, bem como a umidade relativa de secagem antes de 30% (b.u.) e após 30% (b.u.) e o tempo total de secagem, para cafés processados por via seca e por via úmida.

Tabela 2 Valores médios do teor de água, umidade do ar de secagem e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água (% b.u.)		Umidade do ar de secagem (%)		Tempo secagem (h)	
		Início	Final	Antes 30%	Após 30%	Antes 30%	Total
				(b.u.)	(b.u.)	(b.u.)	
50/40°C	Despolpado	43,57	11,27	12,72	21,27	3,5	26
50/40°C	Natural	46,12	11,31	12,72	21,27	6	61
60/40°C	Despolpado	43,52	10,80	7,88	21,27	3	19

Tabela 2, conclusão

60/40°C	Natural	46,61	11,22	7,88	21,27	5	58
40/60°C	Despolpado	42,57	10,49	21,27	7,88	6	13
40/60°C	Natural	44,24	11,35	21,27	7,88	12	38
Terreiro	Despolpado	42,95	11,02	-	-	-	156
Terreiro	Natural	46,13	11,21	-	-	-	264

A remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafés. Observa-se, na Tabela 2, que, mesmo tomando-se o cuidado em deixar o café natural por maior período de pré-secagem no terreiro, os teores de água iniciais dos cafés naturais foram superiores quando comparados aos cafés despolpados. Entretanto, essa diferença seria muito superior caso a secagem com ar aquecido do café natural se iniciasse logo após sua colheita (BORÉM, 2008; SAATH, 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, além da umidade relativa, são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e tem efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. Nota-se, na Tabela 2, que mesmo tendo uma maior umidade relativa do ar de secagem, antes dos 30% (b.u.), o tratamento de secagem 40/60°C 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 (BORÉM, 2008). 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 1).

Observa-se, na Tabela 2, 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 cafês (MARQUES, 2006).

3.2 Curvas de secagem

No Gráfico 1 podem-se observar as curvas de secagem dos cafês despulpados e naturais, dadas pela variação do teor de água, para cada tratamento de secagem, em função do tempo.

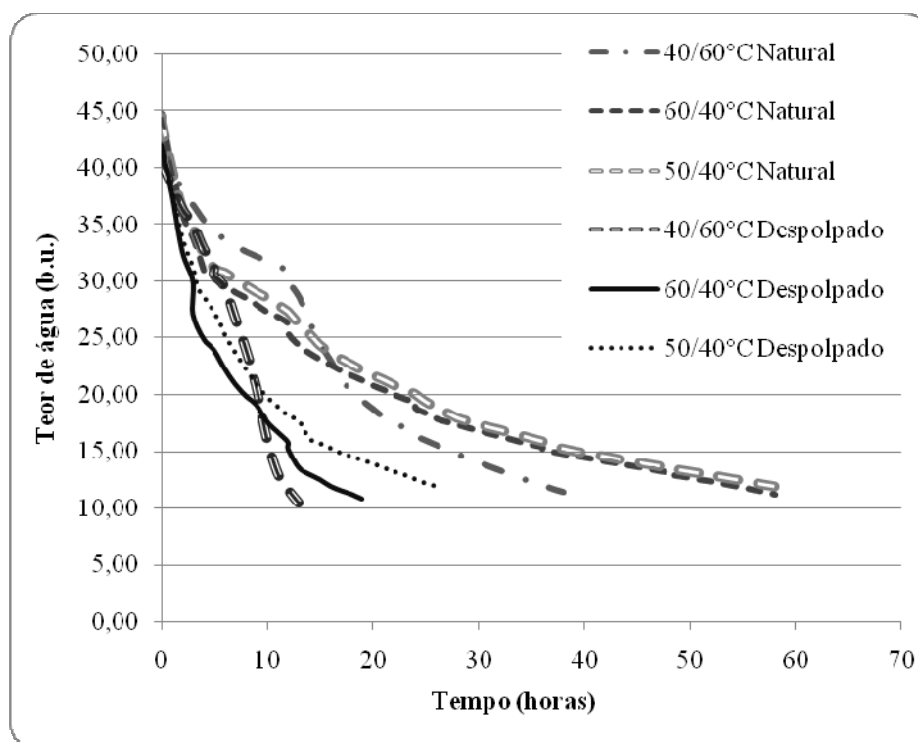


Gráfico 1 Variação do teor de água de cada tratamento de secagem mecânica e processamento, em função do tempo

Analisando-se a secagem mecânica dos cafés pelas curvas de secagem (Gráfico 1), observa-se que os teores de água, durante o tempo de secagem para o café natural, foram sempre superiores em relação ao café despulpado. O tempo total de secagem do café despulpado foi menor que do café natural, para qualquer tratamento de secagem. As diferenças observadas justificam-se pelo processamento empregado. No café despulpado, 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 despulpado inicia a secagem com um teor de água menor em relação ao natural (Tabela 2).

Observa-se, no Gráfico 1, que os tratamentos de secagem 50/40°C e 60/40°C, para os cafés naturais, apresentaram similaridade em suas curvas de secagem, diferenciando apenas no tempo total de secagem, que foi de 58 horas para o tratamento 60/40°C e de 61 horas para o tratamento 50/40°C.

Na secagem mecânica, com temperaturas de 50/40°C e 60/40°C para os cafés despolpados, observa-se que a secagem a 60/40°C foi a mais rápida. O tempo de secagem total necessário para esse tratamento foi de 19 horas, ao passo que, para a secagem do café com temperatura de 50/40°C, foram necessárias 26 horas.

O tratamento de 40/60°C foi o que apresentou menor tempo de secagem, independente do tipo de processamento, sendo necessárias 38 horas para os grãos de café natural atingirem 11% (b.u.) e 13 horas para os grãos de café despolpados. Apesar de no início do processo de secagem, nesse tratamento, a taxa de redução de água ter sido menor, como pode-se verificar 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 40°C para 60°C, a sua taxa de secagem ultrapassou as dos tratamentos 50/40°C e 60/40°C, finalizando a secagem com tempo inferior a desses tratamentos.

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. A secagem pode causar problemas, pois altas pressões nas paredes das células dos grãos de café podem desestabilizá-las ou conduzi-las ao colapso (SAATH, 2006).

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 (MARQUES, 2006). Como observado por outros autores (CORADI, 2006; MARQUES, 2006; REINATO, 2002), as altas temperaturas de secagem têm interferência na integridade das membranas celulares. Saath (2006), 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% e 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 que a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio são indicadores da integridade das membranas celulares. Pode-se considerar que a secagem em terreiro contribui para o desenvolvimento de mecanismos protetores às membranas celulares, preservando também a sua integridade e, conseqüentemente, mantendo a qualidade do café.

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 despulpado provocadas pelos efeitos de secagem são observados nas imagens apresentadas nas Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10, as quais foram selecionadas em uma série de cinco imagens para cada repetição. Nota-se que a temperatura de secagem teve interferência na resistência e predisposição estrutural da parede celular do endosperma (SAATH, 2006). A degradação da membrana celular é mais acentuada com o aumento da temperatura de secagem e tipo de processamento utilizado.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despolpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 50/40°C.

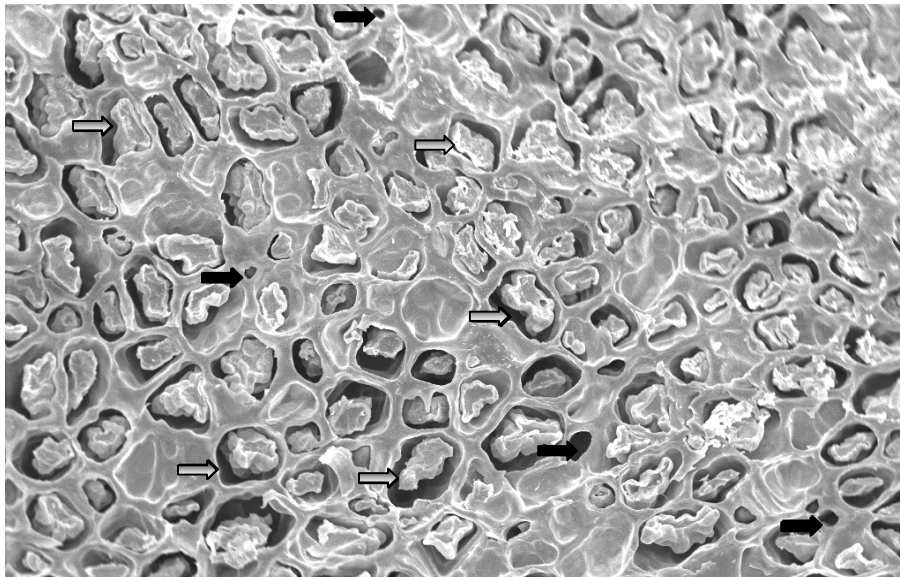


Figura 3 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpados, secados em secadores com temperaturas de 50/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em cinza indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios)

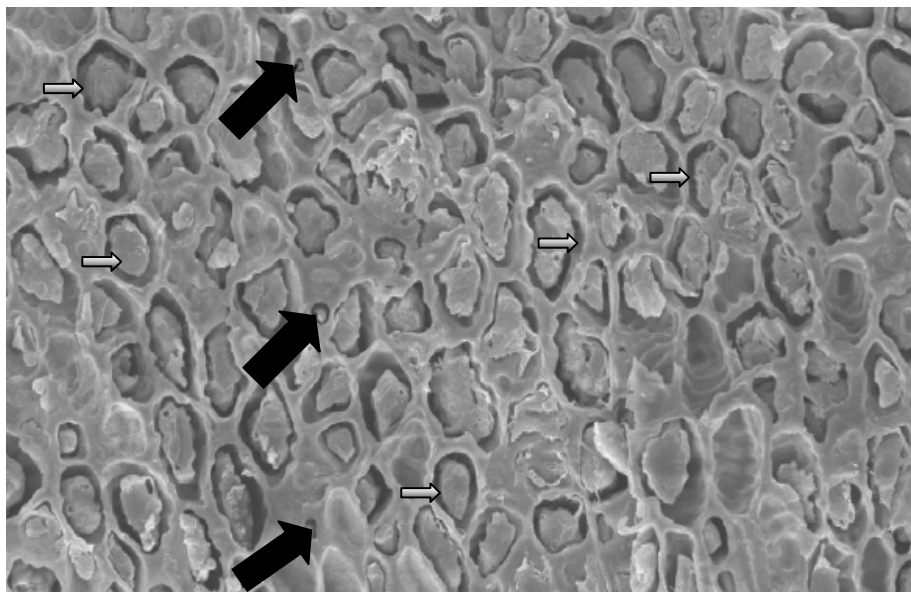


Figura 4 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados em secadores com temperaturas de 50/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em cinza indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares preenchido)

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, com teor de água de 11% (b.u), secados com ar aquecido a 50/40°C. 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 (2006) 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. Ressalta-se que, como a temperatura de secagem foi a mesma durante a dessecação, apenas mudou-se o processamento, a integridade da parede celular e as transformações químicas, físicas e fisiológicas nos grãos não tiveram 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).

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, secados em terreiro.

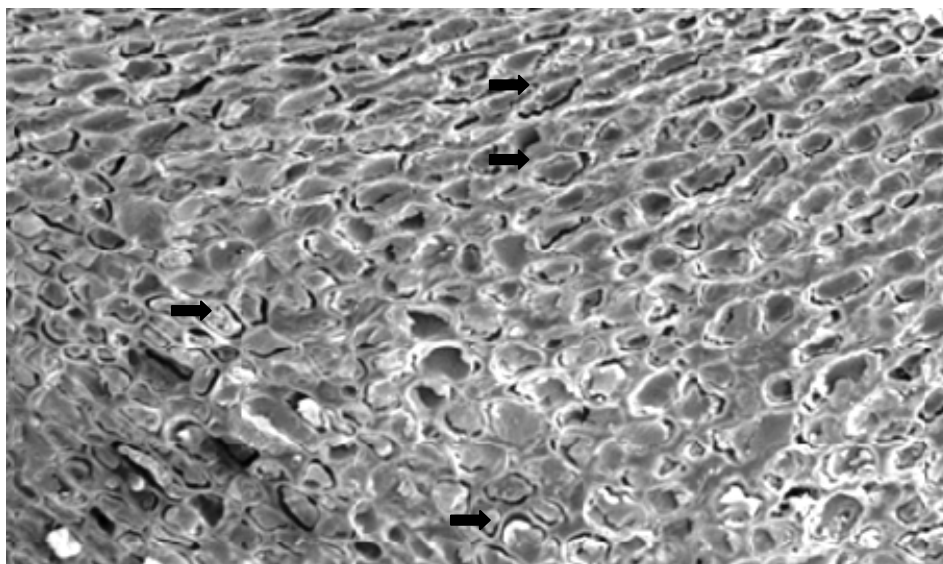


Figura 5 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpados, secados completamente em terreiro até atingir 11% (b.u.). (Setas em preto indicam células contraídas)

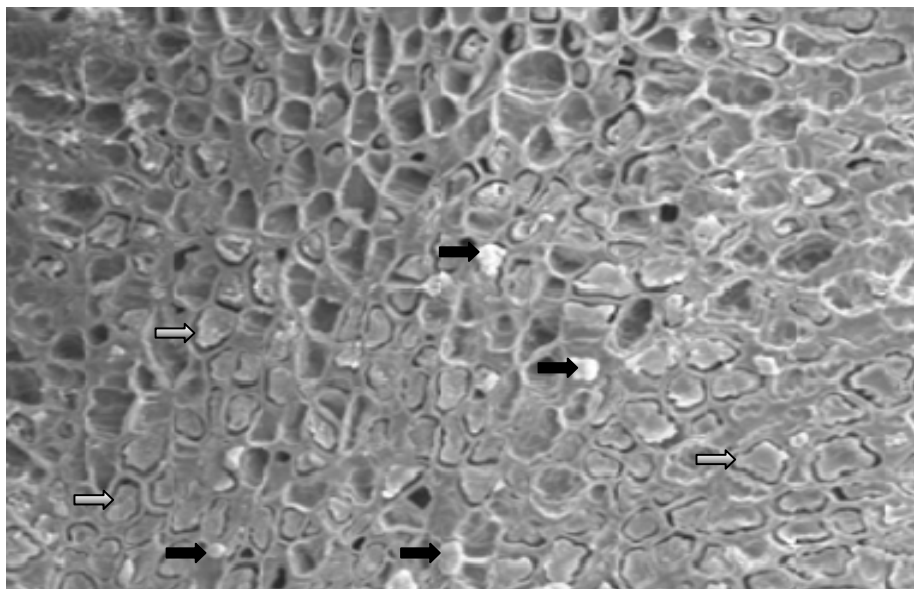


Figura 6 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados completamente em terreiro até atingir 11% (b.u.). (Setas em cinza indicam células contraídas; setas em preto indicam pontos em forma de gotas)

O resultado da análise ultra-estrutural do endosperma dos cafés despulpado (Figura 5) e natural (Figura 6) ao final da secagem em terreiro foi semelhante aos cafés durante a secagem mecanicamente à temperatura de 50/40°C. Observou-se, para os cafés despulpados secados em terreiro, que a contração segue as mesmas formas da secagem mecânica a 50/40°C. 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. Os cafés naturais, secados em terreiro, apresentaram maior contração em relação aos cafés despulpados, também secados em terreiro, concordando com Saath (2006), que, estudando a ultraestrutura dos grãos de café, constatou que a diferença de contração pode ser associada a outros mecanismos, devido ao longo tempo de exposição do café no

terreiro 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.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 60/40°C.

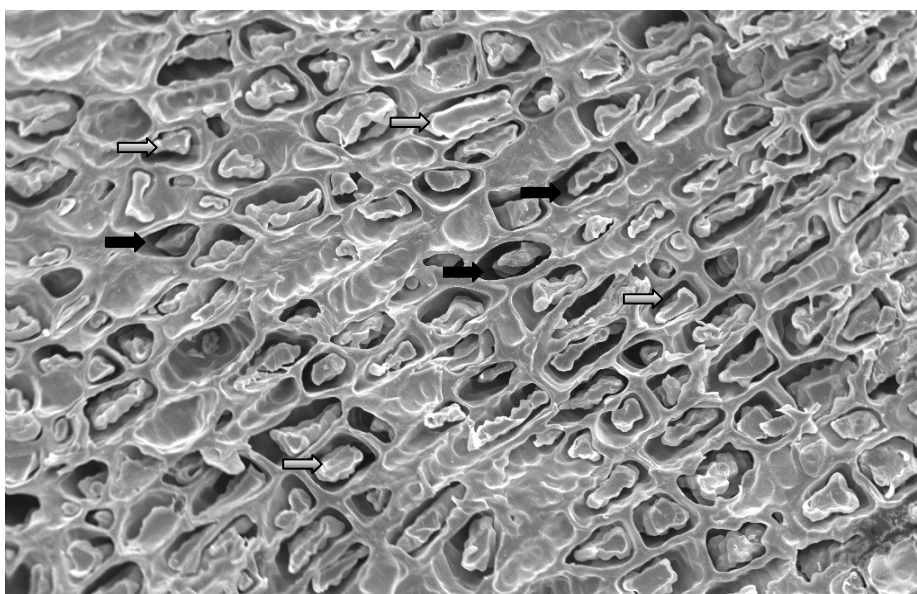


Figura 7 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpados, secados em secadores com temperaturas de 60/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em cinza indicam células contraídas; setas em preto indicam o lúmen celular)

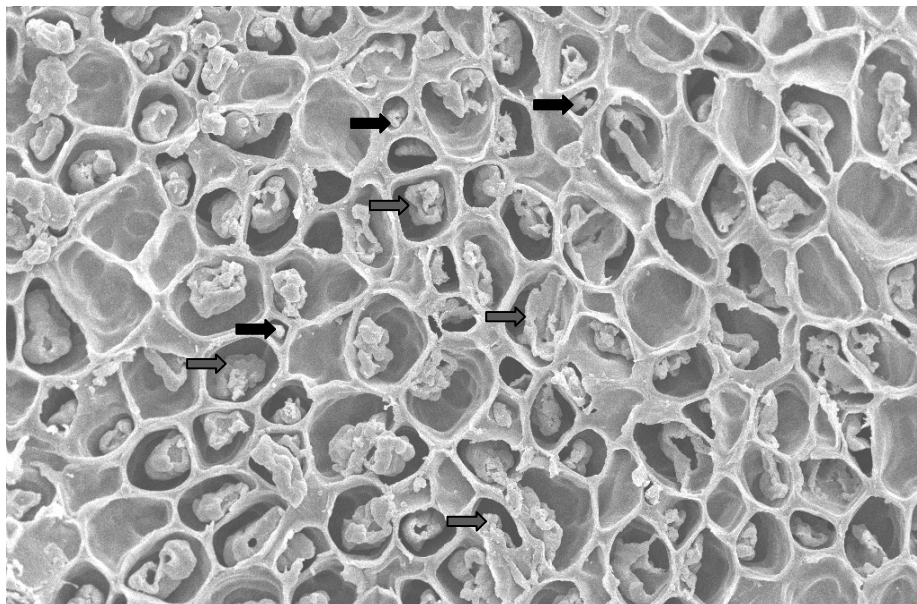


Figura 8 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados em secadores com temperaturas de 60/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em cinza indicam células contraídas; Setas em preto indicam espaços intercelulares preenchidos)

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura para os cafés despulpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 40/60°C.

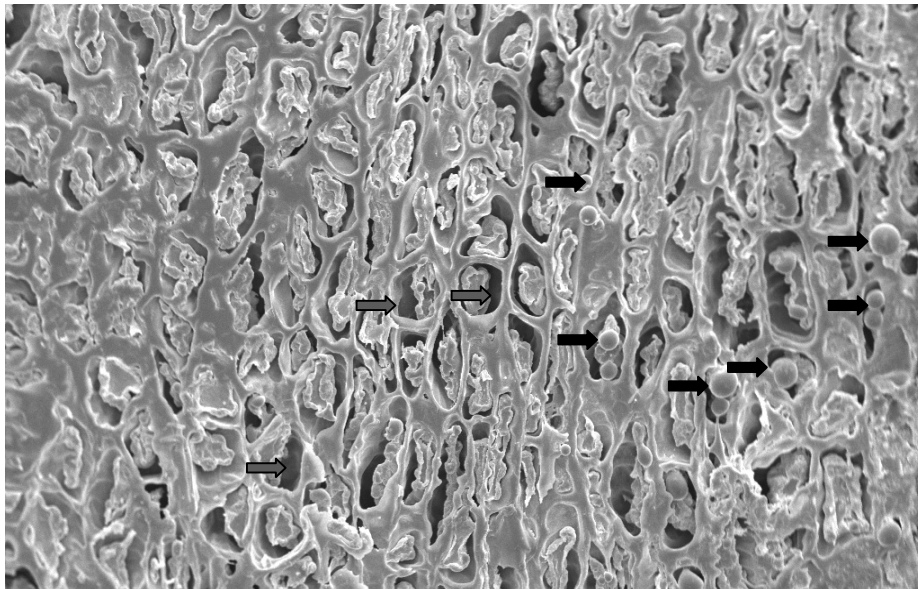


Figura 9 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café despulpados, secados em secadores com temperaturas de 40/60°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em preto indicam gotas de óleo; setas em cinza indicam o lúmen celular)

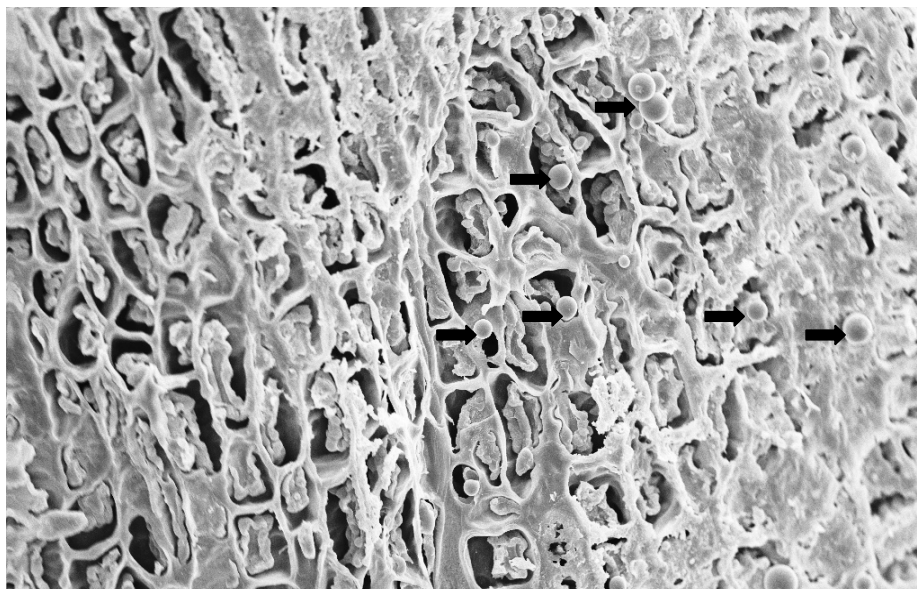


Figura 11 Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café naturais, secados em secadores com temperaturas de 40/60°C até atingir 11% (b.u.). (Estruturas totalmente destruídas; Setas em preto indicam gotas de óleo)

Nas análises do endosperma com grãos de café despulpado (Figuras 7 e 9) e natural (Figuras 10 e 11) durante a secagem com temperatura de 40/60°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 60/40°C e 40/60°C, o processo de desidratação transcorreu em condições inadequadas afetando a integridade das células de acordo com os resultados de Saath (2006). Na secagem com ar aquecido com

temperatura de 60/40°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 despulpados, à secagem com altas temperaturas. Além disso, nota-se que à temperatura de 40/60°C a contração, em algum momento, ao longo da secagem, foi mais brusca, quando comparada com à temperatura de 60/40°C, havendo alteração na integridade celular, com extravasamento de óleos, independentemente do tipo de processamento utilizado, sugerindo que os danos mais graves nas estruturas celulares ocorreram após a meia-seca. Fato que corrobora com Saath (2006), 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 60/40°C. Entretanto, o uso da temperatura de 60°C após a meia-seca comprometeu a integridade celular, tanto no café natural quanto no despulpado. 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), a temperatura provoca o aumento das tensões no interior da célula, as quais podem comprometer a integridade da membrana plasmática, visto que observaram-se 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 a maior exposição desses cafés ao processo de secagem, afeta drasticamente suas estruturas celulares (MARQUES, 2006).

4 CONCLUSÃO

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

Os estudos ultraestruturais de microscopias eletrônicas de varredura mostraram que no café despolpado secado à temperatura de 50/40°C e terreiro, obtiveram uma maior integridade das membranas e vesículas celulares, sem sinais evidentes de ruptura, havendo pequena contração celular e espaços intercelulares vazios.

Com o café natural, secado à temperatura de 40/60°C e 60/40, houve rompimento e coalescência das vesículas e rompimento das membranas com o extravasamento do conteúdo celular, formação de gotas de óleo e preenchimento dos espaços intercelulares.

A secagem com ar aquecido a 60/40°C foi menos danosa, quando comparada com a utilização da temperatura de 40/60°C, sugerindo que os maiores danos ocorrem quando se faz o uso de temperaturas mais elevadas na fase de menores teores de água.

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

REFERÊNCIAS

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, Bangladore. **Resumes...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

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.

BEGNAMI, C. N. **Alterações estruturais, ultra-estruturais e bioquímicas durante a perda de viabilidade em sementes de *Coffea arábica* cv. catuaí vermelho**. 1998. 177 f. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

BORÉM, F. M. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p.

_____. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

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.

_____. 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.

BROOKER, D. B.; BARKER, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. Westport: AUI, 1992. 450 p.

CORADI, P. C. **Alterações na qualidade do café cereja natural e despulpado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento.** 2006. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

HARRINGTON, J. F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Seed biology.** New York: Academic, 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.

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, 2006.

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.

OLIVER, M. J.; BEWLEY, J. D. Desiccation tolerance of plant tissues: a mechanistic overview. **Horticultural Reviews**, New York, v. 18, n. 3, p. 171-213, 1997.

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, 2006.

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, dez. 2003.

SAATH, R. **Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L) durante o processo de secagem.** 2006. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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

TAVEIRA, J. H. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade de bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem.** 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Tabela 1A

Tabela 1A Análise de variância da primeira contagem da germinação dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de rocessamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	4524,93	0,00*
Processamento	1	14283,76	0,00*
Tratamento X Processamento	3	1007,11	0,00*
Resíduo	16	15,11	

CV (%) = 9,80; Média Geral = 39,69; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE B - Tabela 2A

Tabela 2A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a primeira contagem da germinação dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	2726,75	0,00*
Natural	3	2806,02	0,00*
Resíduo	16	15,11	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE C - Tabela 3A

Tabela 3A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a primeira contagem da germinação dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	4510,04	0,00*
50/40°C	1	10292,04	0,00*
60/40°C	1	1001,04	0,00*
Terreiro	1	1504,17	0,00*
Residuo	16	15,11	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE D - Tabela 4A

Tabela 4A Análise de variância da germinação dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	4836,65	0,00*
Processamento	1	15225,85	0,00*
Tratamento X Processamento	3	983,79	0,00*
Resíduo	16	12,40	

CV (%) = 8,43; Média Geral = 41,78; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE E - Tabela 5A

Tabela 5A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a germinação dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	2520,35	0,00*
Natural	3	3300,08	0,00*
Resíduo	16	12,40	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE F - Tabela 6A

Tabela 6A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a germinação dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	4873,50	0,00*
50/40°C	1	10542,04	0,00*
60/40°C	1	1441,50	0,00*
Terreiro	1	1320,17	0,00*
Resíduo	16	12,40	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE G - Tabela 7A

Tabela 7A Análise de variância da contagem das folhas cotiledonares abertas dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	854,67	0,00*
Processamento	1	2480,67	0,00*
Tratamento X Processamento	3	229,78	0,00*
Resíduo	16	0,50	

CV (%) = 4,29; Média Geral = 16,50; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE H - Tabela 8A

Tabela 8A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a contagem das folhas cotiledonares abertas dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	603,11	0,00*
Natural	3	481,33	0,00*
Resíduo	16	0,50	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE I - Tabela 9A

Tabela 9A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a contagem das folhas cotiledonares abertas dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	1261,50	0,00*
50/40°C	1	1568,17	0,00*
60/40°C	1	60,17	0,00*
Terreiro	1	280,17	0,00*
Resíduo	16	0,50	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE J - Tabela 10A

Tabela 10A Análise de variância da acidez graxa dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	1,910	0,00*
Processamento	1	0,490	0,00*
Tratamento X Processamento	3	0,120	0,00*
Resíduo	16	0,0012	

CV (%) = 0,92; Média Geral = 3,80; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE K - Tabela 11A

Tabela 11A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a acidez graxa dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	0,610	0,00*
Natural	3	1,418	0,00*
Resíduo	16	0,0012	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE L - Tabela 12A

Tabela 12A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a acidez graxa dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	0,072	0,00*
50/40°C	1	0,000067	0,82 ^{ns}
60/40°C	1	0,667	0,00*
Terreiro	1	0,109350	0,00*
Resíduo	16	0,001	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE M - Tabela 13A

Tabela 13A Análise de variância da condutividade elétrica dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	8982,30	0,00*
Processamento	1	18767,76	0,00*
Tratamento X Processamento	3	1500,85	0,00161*
Resíduo	16	77,18	

CV (%) = 5,70; Média Geral = 154,17; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE N - Tabela 14A

Tabela 14A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a condutividade elétrica dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	2857,90	0,00*
Natural	3	5275,25	0,00*
Resíduo	16	77,18	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE O - Tabela 15A

Tabela 15A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a condutividade elétrica dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	5014,33	0,00*
50/40°C	1	3641,50	0,00*
60/40°C	1	7208,31	0,00*
Terreiro	1	3356,17	0,00*
Resíduo	16	77,18	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE P - Tabela 16A

Tabela 16A Análise de variância da lixiviação de potássio dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	2134,8850	0,00*
Processamento	1	3359,8620	0,00*
Tratamento X Processamento	3	560,2165	0,00118*
Resíduo	16	24,6138	

CV (%) = 7,57; Média Geral = 65,54; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE Q - Tabela 17A

Tabela 17A Análise do desdobramento do tratamento de secagem para cada nível do processamento, para a lixiviação de potássio dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
Despolpado	3	843,89	0,00*
Natural	3	1347,21	0,00*
Resíduo	16	24,6138	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE R - Tabela 18A

Tabela 18A Análise do desdobramento do processamento para cada nível do tratamento de secagem, para a lixiviação de potássio dos grãos de café

FV	GL	QM	Pr > Fc
40/60°C	1	868,23	0,00*
50/40°C	1	723,76	0,00*
60/40°C	1	1505,66	0,00*
Terreiro	1	430,87	0,00*
Resíduo	16	24,61	

*Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE S - Tabela 19A

Tabela 19A Análise de variância da coordenada “L” em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	29,61	0,1652 ^{ns}
Processamento	1	28,17	0,1941 ^{ns}
Tratamento X Processamento	3	48,065	0,0547 ^{ns}
Resíduo	16	15,33	

CV (%) = 7,72; Média Geral = 50,75; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE T - Tabela 20A

Tabela 20A Análise de variância da coordenada “a” em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	0,1667	0,1546 ^{ns}
Processamento	1	0,00	0,9975 ^{ns}
Tratamento X Processamento	3	0,00	1,0000 ^{ns}
Resíduo	16	0,083	

CV (%) = 13,86; Média Geral = 2,09; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE U - Tabela 21A

Tabela 21A Análise de variância da coordenada “b” em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Tratamento de secagem	3	0,8195	0,5347 ^{ns}
Processamento	1	117,04	0,0000*
Tratamento X Processamento	3	2,7083	0,0965 ^{ns}
Resíduo	16	1,083	

CV (%) = 9,50 Média Geral = 10,96; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE W - Tabela 22A

Tabela 22A Análise de variância do atributo acidez dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	0,10256875	0,1270 ^{ns}
Tratamento de secagem	3	1,08723958	0,0003*
Tratamento X Processamento	3	0,18098958	0,2596 ^{ns}
Degustador	1	0,47005208	0,0530 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,00130208	0,8629 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,10807292	0,4829 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,01432292	0,9530 ^{ns}
Resíduo	32	1,3750	

CV (%) = 3,00; Média Geral = 6,90; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE V - Tabela 23A

Tabela 23A Análise de variância do atributo corpo dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	0,01171875	0,4721 ^{ns}
Tratamento de secagem	3	0,28515625	0,0098*
Tratamento X Processamento	3	0,08723958	0,2870 ^{ns}
Degustador	1	0,94921875	0,0610 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,01171875	0,4721 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,17057292	0,0716 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,08723958	0,2870 ^{ns}
Resíduo	32	0,7084	

CV (%) = 2,15; Média Geral = 6,91; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE X - Tabela 24A

Tabela 24A Análise de variância do atributo finalização dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	0,68880208	0,0102 ^{ns}
Tratamento de secagem	3	1,58723958	0,0030*
Tratamento X Processamento	3	0,48307292	0,1782 ^{ns}
Degustador	1	0,03255208	0,5571 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,10546875	0,2935 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,22265625	0,5016 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,17057292	0,6103 ^{ns}
Resíduo	32	2,9584	

CV (%) = 4,58; Média Geral = 6,63; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE Y - Tabela 25A

Tabela 25A Análise de variância do atributo equilíbrio dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	0,63020833	0,0010*
Tratamento de secagem	3	1,65622500	0,0001*
Tratamento X Processamento	3	0,38020833	0,0669 ^{ns}
Degustador	1	0,18750000	0,0572 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,04687500	0,3313 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,17708333	0,3166 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,06770833	0,7063 ^{ns}
Resíduo	32	1,5417	

CV (%) = 3,28; Média Geral = 6,69; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE Z - Tabela 26A

Tabela 26A Análise de variância do atributo final dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	1,17187500	0,0015*
Tratamento de secagem	3	3,33854167	0,0001*
Tratamento X Processamento	3	0,56770833	0,1433 ^{ns}
Degustador	1	0,52083333	0,0275 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,02083333	0,6473 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,55208333	0,1521 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,07291667	0,8615 ^{ns}
Resíduo	32	3,125	

CV (%) = 4,59; Média Geral = 6,80; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE AA -Tabela 27A

Tabela 27A Análise de variância do atributo fragrância dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	1,09505208	0,0055*
Tratamento de secagem	3	2,06640625	0,0034*
Tratamento X Processamento	3	1,94140625	0,0047*
Degustador	1	0,15755208	0,2675 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,06380208	0,4779 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,35807292	0,4213 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,32682292	0,4614 ^{ns}
Resíduo	32	3,95833333	

CV (%) = 5,16; Média Geral = 6,82; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE BB - Tabela 28A

Tabela 28A Análise de variância do atributo sabor dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	1,41796875	0,0001*
Tratamento de secagem	3	2,13932292	0,0001*
Tratamento X Processamento	3	0,84765625	0,0097*
Degustador	1	0,68880208	0,0497 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,01171875	0,6963 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	0,32682292	0,2487 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	0,14973958	0,5822 ^{ns}
Resíduo	32	2,4167	

CV (%) = 4,05; Média Geral = 6,79; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

APÊNDICE CC - Tabela 29A

Tabela 29A Análise de variância do atributo total dos grãos de café em função do tratamento de secagem e tipo de processamento

FV	GL	QM	Pr > Fc
Processamento	1	28,90755208	0,0015*
Tratamento de secagem	3	77,36848958	0,0001*
Tratamento X Processamento	3	23,92057292	0,0098*
Degustador	1	17,82421875	0,0103 ^{ns}
Processamento X Degustador	1	0,22005208	0,7641 ^{ns}
Tratamento X Degustador	3	11,17057292	0,2205 ^{ns}
Processamento X Degustador X Tratamento	3	3,37890625	0,7059 ^{ns}
Resíduo	32	76,833333	

CV (%) = 2,00; Média Geral = 77,54; *Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.