

**MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO  
ENDOSPERMA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE O  
PROCESSO DE SECAGEM**

**RENI SAATH**

**2007**

**RENI SAATH**

**MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO ENDOSPERMA  
DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM**

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

**Orientador**

**Prof. Dr. Flávio Meira Borém**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2007**

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

Saath, Reni

Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem / Reni Saath - Lavras: UFLA, 2007.

90 p. : il.

Orientador: Flávio Meira Borém  
Dissertação (Mestrado) – UFLA.  
Bibliografia.

1. Processamento. 2. Integridade celular. 3. Métodos de secagem.  
4. Café natural. 5. Café despulpado. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

CDD-633.7368

**RENI SAATH**

**MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO ENDOSPERMA  
DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM**

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

**APROVADA em 09 de fevereiro de 2007**

**Prof. Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva – DCF/UFLA**

**Prof. Dr. Eduardo Alves – DFP/UFLA**

**Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa – DCA/UFLA**

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

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007**

*A Deus, pelo dom da vida, saúde e presença constante em minhas jornadas;*

*A Ana, Fernanda, Luiz, Isabel Alexandre e Vitor, presenças marcantes em  
minha vida, ao meu lado em todos os momentos, com amor carinho e incentivo.*

## **DEDICO**

*A meus pais, Rochus Felipe e Leonita, exemplos de caráter,  
A meus irmãos e amigos, pelo carinho, amizade e compreensão.*

## **OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter-me proporcionado saúde, força e disposição para vencer mais esta etapa de minha vida.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de mestrado.

Ao mestre, Flávio Meira Borém, pela orientação e incentivo constante, pelas sugestões e críticas, pelos conselhos, em todo período de mestrado. Presente, colaborou, com sua competência, par a superação de minhas dificuldades de aprendizado, com sua paciência, em meus momentos de tristeza e desânimos estendeu-me por tantas vezes a sua mão. Enfim, agradeço por ter feito parte da minha formação profissional e pessoal.

Ao professor Eduardo Alves, pela disponibilidade, atenção, contribuições e interesse na orientação no desenvolvimento das atividades do projeto de mestrado. E aos professores Edvaldo Amaral e Jefferson Corrêa, pelas sugestões e contribuições.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e pela contribuição para a conclusão do curso de mestrado.

Aos Laboratórios de Pós-Colheita de Café, de Processamento de Produtos Agrícolas e de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal de Lavras, pelo espaço físico para a realização do experimento. Ao senhor Josué pela disponibilidade da matéria-prima, e à pesquisadora Stella Veiga, pelas sugestões e pelos secadores concedidos para a realização do experimento.

A toda minha família, pelo incentivo, apoio e dedicação, que possibilitaram mais uma conquista.

A Carolina e Camila, pela atenção e carinho, e aos amigos, Rosângela e Flávio, pelas palavras de incentivo nas muitas horas difíceis.

Às amigas Regiane e Eloísa, pela disponibilidade e ensinamentos no laboratório de microscopia eletrônica, contribuição essencial para término do trabalho.

Aos amigos José Henrique, Luís, Carla, Paulo, Elizabeth, Carlos Henrique, Leandro, Elisângela, Márcio, Eduardo, e os demais estudantes bolsistas e estagiários da equipe do Borém, pela ajuda, convivência e amizade, enfim, pelo espírito de equipe. A Daniela, pela atenção, ajuda e dedicação quando necessitei.

A Cristiane e Lúcia, pela dedicação e responsabilidade nas vezes que necessitei de auxílio e ao João Pedro, pelo sorriso.

Ao casal Ana e Alexandre, pelo exemplo de garra, caráter, atitude, bom senso e perseverança.

A meus filhos, pela dedicação e responsabilidade ao ensinar-me, a saber viver. Ao Vitor Augusto, meu neto, pela perseverança, alegria e esperança no amanhã.

A Nossa Senhora de Schoenstatt, companheira de todos os instantes, luz no meu caminho, pela força nos momentos mais difíceis desta caminhada, sempre intercedendo ao Pai por mim. Enfim, a todos aqueles amigos, professores e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	03
2.1 Qualidade do café .....	03
2.2 Processamento do café .....	05
2.3 Secagem do café .....	07
2.3.1 Importância da secagem na qualidade do café .....	16
2.4 Mecanismos de proteção das membranas celulares .....	18
2.4.1 Estrutura e síntese das paredes celulares .....	18
2.4.2 Explicações da redução da qualidade durante a secagem .....	21
2.6 Ultra-estrutura.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Local da realização do experimento .....	26
3.2 Procedência da matéria-prima .....	26
3.2 Processamento do café .....	26
3.3 Caracterização do processo de secagem .....	27
3.4 Amostragem do café .....	31
3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura MEV.....	33
3.7 Contração celular durante a secagem do café.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4.1 Caracterização das condições experimentais do processo de secagem .....	38
4.2 Curvas de secagem .....	39
4.3 Estudos ultra-estruturais dos cafés despulpado e natural durante a secagem em terreiro e à temperatura de 40°C e 60°C .....	43

4.4 Variação da área das células do endosperma dos cafés despulpado e natural durante a secagem em terreiro e à temperatura de 40°C, 60°C ....	64
5 CONCLUSÕES.....	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

## RESUMO

SAATH, Reni. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Após a colheita do café, o tipo de processamento usado, o método de secagem e as condições de armazenamento contribuem para a definição da qualidade final do café. A manutenção da integridade das membranas celulares, entre outros eventos, é um forte indicativo de que a qualidade do café foi preservada na pós-colheita. Objetivou-se neste trabalho, analisar o efeito de diferentes métodos de secagem na manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática de café natural e café despulpado buscando determinar as condições e o momento em que ocorrem as rupturas microscópicas. Cafés despolpados e cafés em sua forma natural foram submetidos ao processo de secagem em terreiro e secagem com ar aquecido. O café natural e o despulpado foram divididos em parcelas distintas no terreiro e submetidos a um período de pré-secagem. Após este período, uma parcela de cada tipo de café, foi conduzida à secagem mecânica e as demais parcelas permaneceram no terreiro para secagem completa ao sol. A secagem mecânica foi conduzida em dois secadores de camada fixa com ar aquecido a 40°C e 60°C, até o café atingir o teor de água de 11% (b.u.). Para a caracterização da cinética de secagem, foram retiradas amostras a cada 1 hora e determinado o teor de água. As temperaturas da massa de café foram medidas a cada 30 minutos. Durante a secagem, grãos foram aleatoriamente amostrados e fragmentos do endosperma preparados para a microscopia eletrônica de varredura, no aparelho LEO EVO 40 XVP. Foram geradas e registradas digitalmente diversas imagens para cada amostra. Nas eletromicrografias geradas, foram feitas análises ultra-estruturais e medições nas células, avaliando-se as alterações na membrana plasmática bem como as variações da área celular em função do teor de água e do tempo de secagem. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que durante a secagem em terreiro e à temperatura de 40°C, o citoplasma das células do endosperma dos grãos de cafés despulpado e natural com 11% (b.u.) de teor de água apresentou-se intacto e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular apresentou-se vazio. Entretanto, durante a secagem a 60°C, observou-se no endosperma dos cafés natural e despulpado com teor de água de 20% (b.u.) total preenchimento do lúmen celular possivelmente em

---

\*Comitê orientador: Prof. Dr. Flávio Meira Borém – DEG/UFLA (Orientador)  
Prof. Dr. Eduardo Alves – DFP/UFLA (Co-Orientador)

conseqüência do extravasamento de parte do conteúdo do citoplasma, indicando o comprometimento das estruturas celulares. A variação na área das células do endosperma do café depende do tipo de processamento usado e das condições de secagem, entretanto, o fenômeno da contração e expansão diferenciou-se na intensidade e momento de ocorrência. Essas oscilações podem estar relacionadas com o comprometimento da integridade da membrana plasmática. A maior taxa de variação do citoplasma foi na secagem à temperatura de 60°C, na fase intermediária, na qual o teor de água encontrou-se entre 30% e 20% (b.u.), observando-se o comprometimento da estrutura celular nessa fase.

## ABSTRACT

SAATH, RENI. Scanning electronic microscopy in the endosperm of coffee (*Coffea arabica* L.) during the drying process. 2007. 90 p. Dissertation (Master Degree in Agricultural Engineering) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

After harvesting the type of processing and drying method used and the storage conditions contribute to the final drinking quality of coffee. The maintenance of the integrity of the cellular membranes, among other events, is a strong indicator that the quality of the coffee was preserved after harvesting. Therefore, this work aimed to analyze the effect of different drying methods in the maintenance of the integrity of the cell walls and plasma membrane of natural and de-pulped coffee in order to determine the conditions and the moment that microscopic ruptures take place. De-pulped and natural coffees were submitted to the drying process under sun light and with heated air. Natural and de-pulped coffees were divided in different parcels under sun light and submitted to a pre-drying period. After this period, a parcel of coffee was mechanically dried and other parcel stayed under sun light to dry completely. The mechanical drying was performed in two dryers of fixed layers with heated air to 40°C and 60°C until the coffee reach the water content of 11%. For characterization of the drying kinetics, samples were taken every hour and had the water content determined. The temperatures of the mass of coffee were measured every 30 minutes. During drying coffee grains were randomly sampled and fragments of the endosperm were prepared for scanning electronic microscopy using the equipment LEO EVO 40 XVP. For each sample images were generated and registered digitally. In the electromicrographs generated were performed ultra-structural analyses and measurements in the cells, evaluating changes in the plasma membrane as well as variations in the cellular area in function of the water content and period of drying. From the results obtained we concluded that during drying under sun light and at the temperature of 40°C, the cytoplasm of the cells of the endosperm of coffee grains de-pulped and natural with 11% of moisture content was intact and the space between the plasma membrane and cell wall was empty. However, during the drying to 60°C, it was observed for natural and de-pulped coffees with water content of 20% that the cellular lumen was filled possibly as a consequence of leaching of part of the cellular content of the cytoplasm, indicating the changes in the cellular

---

\* Guidance Committee: Prof. Dr. Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Adviser)  
Prof. Dr. Eduardo Alves – DFP-UFLA (Co-Adviser)

structures. The variation in the area of the cells of the endosperm of the coffee depends on the type of processing method and the drying conditions used, albeit the phenomenon of cell contraction and expansion differed in intensity and moment of occurrence. Those changes can be related to the changes in plasma membrane integrity. The largest rate of variation of the cytoplasm was observed when the grains were dried the temperature of 60°C, in the intermediate phase, with water content of 30% and 20%, where were observed changes in the cellular structure in this phase.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, poucos produtos agrícolas têm seus preços baseados em parâmetros qualitativos. Entre eles, destaca-se o café, cujo valor cresce significativamente com a melhoria da qualidade, sendo também um fator limitante para a exportação. O café sempre teve participação marcante e decisiva na economia brasileira.

A busca por qualidade é hoje uma das maiores preocupações nos diversos segmentos produtivos. O café é um dos produtos agrícola, cujo cultivo é de grande importância socioeconômica. O setor cafeeiro é responsável pelo emprego direto e indireto de milhares de pessoas tanto na zona rural como nas cidades sendo uma excelente fonte de receita tributária para os municípios e estados produtores.

Processamento, secagem e armazenagem apresentam contribuições expressivas sobre a qualidade final do produto sendo, portanto, importantes na escolha correta da infra-estrutura para atender à fase final da produção do café.

Os frutos de café são colhidos com alto teor de água. Para armazená-los com segurança, deve, portanto, ser reduzido até 11 % (b.u.) eliminando-se, assim, riscos com a respiração, a oxidação e desenvolvimento de fungos e bactérias. Por outro lado, se não forem utilizadas as melhores técnicas de secagem, a qualidade poderá ser prejudicada em decorrência de alterações físicas, químicas e sensoriais indesejáveis. Tendo em vista esses problemas, busca-se um controle maior dos parâmetros de secagem para poder minimizar situações adversas ao produto, evitando perdas e mantendo-se a qualidade do produto.

A manutenção da integridade das membranas celulares dos grãos de café favorece a preservação do aroma e sabor desejáveis.

Os trabalhos relacionados à integridade das estruturas dos grãos de café são escassos. Há consenso entre os pesquisadores que temperaturas elevadas na massa de café são prejudiciais à qualidade. Em muitas situações o produto perde a qualidade devido a danos latentes resultantes da secagem, ou estima-se, dessa forma, como determinada temperatura interage com o tipo de processamento do café e quais as conseqüências nas estruturas celulares. Quando e quanto tempo se pode usar determinada temperatura de secagem sem afetar a qualidade é uma questão freqüente. Trabalhos nesse contexto são de grande importância para entender esse fenômeno.

Análises ultra-estruturais da membrana e da parede celular do endosperma podem colaborar na compreensão dos processos de perda de qualidade durante a secagem do café. Saber o momento exato das rupturas será um avanço nas pesquisas. Assim, 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 durante o processo de secagem, determinando as condições e o momento em que ocorrem as rupturas microscópicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Qualidade do café

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

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

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

Na qualidade de bebida, o café (*Coffea arabica* L.) é classificado como: estritamente mole – bebida de sabor suavíssimo e adocicado; mole – bebida de sabor suave, acentuado e adocicado; apenas mole – bebida de sabor suave, porém com leve adstringência; dura – bebida de sabor adstringente, gosto áspero; riada – bebida com leve sabor iodofórmio ou ácido fênico; rio – bebida com sabor forte e desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico; e, rio zona – bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato.

As características dos grãos quanto à cor, aspecto, números de defeitos, aroma e gosto da bebida interferem na qualidade da bebida do café. Essas características estão intimamente ligadas ao microclima onde é cultivado, aos fatores genéticos, época de colheita, beneficiamento, armazenagem e torração. No Brasil, a qualidade é determinada principalmente por meio de três classificações: por tipo, separando os defeitos e impurezas; pela prova de xícara, feita por provadores; e, por peneira, separando-se uma amostra de grãos por tamanho e formato. Algumas vezes, é utilizada uma classificação com relação ao aspecto, em que visualmente verifica-se a aparência considerando-se o tamanho dos grãos, quantidade de defeitos e impurezas, manchas e descolorações (Chediak, 2003).

Pesquisas têm sido feitas com o intuito de caracterizar quimicamente o grão de café e correlacionar composição química com a qualidade da bebida. O grão de café apresenta, em sua constituição química, inúmeros componentes voláteis e não-voláteis, tais como, ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, trigonelina, compostos fenólicos, cafeína, bem como enzimas, que agem sobre esses próprios constituintes (Clarke & Macrae, 1985; Franca et al., 2004; Sivetz, 1963). Essa constituição poderá ser modificada durante os processos de pós-colheita, ou seja, dependerão muito das condições de processamento, secagem e armazenamento (Afonso Júnior et al., 2004; Afonso Júnior, 2001).

As ocorrências de fermentações indesejáveis na mucilagem dos frutos refletem acentuadamente na acidez dos desses frutos de café (Vilela et al., 1998). A qualidade do café preparado sob diferentes métodos de processamento e secagem (Brando, 1999; Cortez et al., 1997; Vilela, 2002) apresenta características superiores da bebida para os cafés descascados, despolpados e desmucilados em relação ao café natural. Coradi (2006) observou que o tipo de processamento e método de secagem têm efeito sobre a qualidade. Segundo o

autor, o aumento da temperatura interfere negativamente, fato que foi constatado pelos testes de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável, acidez graxa, açúcares redutores e totais e análise sensorial do café.

O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, indicam possíveis danos ao sistema de membranas celular (Amorim, 1978; Prete, 1992). Reinato (2006) relata que os maiores valores de lixiviação de potássio correspondem a uma menor integridade na membrana celular, ocasionada por processos deteriorativos, ocorridos durante a secagem, causando alterações indesejáveis durante o armazenamento. Os maiores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica têm sido obtidos em grãos de café secados sob temperaturas mais elevadas (Amorim, 1978; Oliveira, 2002; Pinto et al., 2000; Prete, 1992; Reinato, 2003; Ribeiro, 2003).

Os açúcares também estão relacionados com a qualidade da bebida e as quantidades desses componentes dependem, principalmente, da espécie e do local de cultivo do cafeeiro, além do estágio de maturação dos frutos (Campa et al., 2004). Pimenta et al. (2000) observaram um aumento gradativo nos teores de açúcares redutores, não redutores e totais com a intensificação da maturação dos frutos, atingindo valores máximos no cereja, diminuindo quando os frutos secam na própria planta e perdem sua mucilagem. Afonso Júnior (2001); Borém et al. (2006); Coradi (2006); Marques et al. (2006); Marques (2006) e Ribeiro (2003) observaram uma redução dos teores de açúcares redutores com o aumento da temperatura de secagem.

## **2.2 Processamento do café**

O processamento é uma etapa importante da pós-colheita. A escolha do método de processamento dependerá das condições financeiras do cafeicultor, da produtividade e qualidade almejada (Wintgens, 2004).

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café recém-

colhido é constituído de uma mistura de frutos verdes, cerejas, passas, folhas, ramos, torrões e pedras. Após a colheita por derriça no chão, no pano ou mecanizada, o café é submetido ao processo de separação das impurezas, que pode ser feito por peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza. Em seguida, o café deve passar pelo separador hidráulico, onde a separação é feita de acordo com a densidade dos frutos, ou seja, separando os cafês bóia (secos, brocados e mal granados) dos frutos cereja e verde. O processamento do café pode ser realizado de formas distintas: mantendo-se o fruto intacto, ou seja, o fruto é processado em sua forma integral, com casca e mucilagem (café natural); removendo-se apenas a casca e parte da mucilagem (descascado); removendo-se a casca e a mucilagem mecanicamente (desmucilado); ou removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por meio de fermentação biológica (despolpado) (Bartholo & Guimarães, 1997; Borém, 2004; Borém et al., 2003a). Ambos exigem várias operações que visam a transformar os frutos colhidos em grãos secos e beneficiados. Durante o processamento, cada lote formado deverá ser seco e armazenado separadamente, sendo esse cuidado extremamente importante quando se visa à produção de café com qualidade (Carvalho, 1994; Silva, 2000; Silva, 1995).

O café poderá ser conduzido da lavoura diretamente para o terreiro, onde será submetido ao processo de secagem. Essa forma de processamento poderá proporcionar altos riscos à qualidade, pois os frutos são secos com diferentes estádios de maturação, diferentes teores de água, podendo ocorrer frutos com diversas anormalidades.

Atualmente, é crescente o número de produtores brasileiros que estão empregando o processo por via úmida, o qual favorece a secagem, tendo em vista o menor volume processado, o menor tempo de secagem e a redução do consumo de energia, além de favorecer a obtenção de cafés de melhor qualidade, mantendo características típicas de corpo, doçura e aroma (Bicudo, 1962;

Borém, 2004; Brando, 1999; Silva, 2003; Vilela, 2002).

Trabalhos encontrados na literatura associam o processamento à qualidade. Cafés descascados, despulpados e desmucilados apresentam características superiores da bebida em relação ao café natural (Malta, 2003; Villela, 2002; Teixeira & Gómez, 1970). Relatos nos quais se descrevem as alterações na composição química do café, decorrente do processo de secagem, ainda são escassos na literatura. Em pesquisas recentes (Bytof et al., 2005; Bytof et al., 2000; Leloup et al., 2004; Selmar et al., 2006; Selmar et al., 2004) tem-se verificado variações no conteúdo de glicose e frutose, bem como de aminoácidos livres nos grãos crus de café dependendo da forma de processamento sem, no entanto, descreverem as interferências das condições de secagem. O método de processamento utilizado tem influência nos compostos voláteis e não voláteis (Maier, 1981; 1987).

A qualidade do café natural, se comparada à do café descascado, é comprometida em maior intensidade quando as condições ambientais e de manejo durante a secagem em terreiros são desfavoráveis, especialmente em terreiros não pavimentados (Borém et al., 2003a; Reinato, 2006; Reinato et al., 2005). Além do tipo de pavimentação, acredita-se que a espessura da camada do café também tem grande influência em sua qualidade química e sensorial.

### **2.3 Secagem do café**

O café deve ser colhido no estágio de maturação cereja, apresentando máxima qualidade, porém elevado teor de água. A atividade metabólica do fruto é acelerada tornando-se, assim, necessária a remoção da água pela secagem. Considerando toda a cadeia produtiva do café, o processamento, a secagem e o armazenamento, se mal conduzidos, são as principais etapas que reduzem a qualidade do café e aumentam os riscos sanitários (Giranda, 1998; Lacerda Filho, 1986; Reinato, 2006; Silva et al., 1998).

O processo de secagem visa à retirada parcial da água da semente, por meio da transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo do vapor d'água, da semente para o ar (Foust et al., 1982). É necessário fornecimento de calor para evaporar a água do produto e um sorvedor para remover o vapor d'água formado na superfície do produto a ser seco (Athié, 1998; Pabis et al., 1998). A secagem ocorre por diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto. A pressão de vapor do ar deve ser menor que a pressão de vapor do produto (Athié, 1998; Pabis et al., 1998). Lasseran (1979) sugeriu que o fluxo de água do interior para a superfície, durante a secagem, é ocasionado por um derramamento hidrodinâmico sob a ação da pressão total interna e/ou por um processo de difusão resultante de gradientes internos de temperatura e teor de água ou de um gradiente de pressão osmótica.

O processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através do produto. Durante o processo de secagem, a água migra do interior para a superfície do produto, de onde se evapora para o ambiente (Athié, 1998; Pabis et al., 1998). A eficiência do processo de secagem (Brooker et al., 1992; Carvalho, 1994) está relacionada com a qualidade final do produto. No caso de grãos (Obando-Flor et al., 2004), é desejável que, ao final do processo, o teor de água seja uniforme e apropriado às condições de armazenamento; apresentem baixa porcentagem de grãos quebrados e danificados; baixa susceptibilidade à quebra; redução da incidência de fungos e conservação das características nutricionais.

As características específicas de cada produto (Mohsenin, 1978), associadas às propriedades do ar de secagem ao meio de transferência de calor adotado, determinam as diversas condições de secagem. Entretanto, a

transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem.

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

À medida que a secagem prossegue, o teor de água decresce e a água na fase líquida faz a ligação entre as partículas do sólido formando pontes líquidas. Nessa fase, continua a ocorrer evaporação de água por escoamento capilar. A evolução da água no interior do produto, durante a secagem, é um processo contínuo, tanto que, na seqüência, o teor de água migra ao longo das paredes capilares com evaporação e condensação entre as pontes líquidas. A pressão parcial de vapor decresce e a contração de volume do produto ainda ocorre no interior por transferência de vapor (Athié, 1998; Pabis et al., 1998). A quantidade de água evaporada do produto corresponde à quantidade de água condensada (Athié, 1998; Foust et al., 1982; Lasseran, 1979; Pabis et al., 1998).

A cinética de secagem de grãos é representada por uma curva, que por sua conformação demonstra diferenças em função do tempo necessário para retirar uma mesma quantidade de água. No início da secagem, o produto está com teor de água elevado que deve ser reduzido gradualmente. A remoção de líquido nas faixas de maior teor de água é realizada mais rapidamente, pois, está-se retirando água livre, fracamente ligada (Brooker et al., 1992; Kreyger, 1973; 1978; Lasseran, 1979). O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa de deslocamento interna da água para a superfície do produto é igual ou maior que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água livre (Hall, 1980; Foust et al., 1982; Sodha et al., 1987), no café esse período pode ser observado nas primeiras

horas de secagem (Marques, 2006). Nessa fase, toda energia transferida para os frutos é usada na evaporação da água, mantendo constante a temperatura do produto, ou seja, a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem saturado e as transferências de calor e massa se compensam. Por outro lado, nas de menor teor de água, final do processo, trata-se da retirada de água de constituição, fortemente ligada à estrutura do grão. Para a sua remoção há maior demanda de energia, fluxo de ar e maior tempo de exposição dos frutos ao calor (Brooker et al., 1992). A taxa de transporte interno de água é menor do que a taxa de evaporação; desta forma a transferência de calor do ar para as sementes não é compensada pela transferência do vapor de água e, em consequência, a temperatura da semente aumenta, tendendo à temperatura do ar de secagem (Hall, 1980; Foust et al., 1982). É nessa fase que ocorrem os maiores riscos de aquecimento (Borém, 2004; Carvalho, 1994; Silva, 2000).

Os parâmetros que influenciam a taxa de secagem e a eficiência do processo são: a temperatura e umidade relativa do ambiente, a temperatura e velocidade do ar de secagem, tempo de residência do produto na câmara de secagem e o teor de água inicial e final do produto (Borém, 1992; Carvalho, 1994; Ribeiro et al., 2003; Silva, 1995). Esses parâmetros não são independentes, influenciando o processo de secagem de maneira conjunta.

As temperaturas do ar de secagem têm efeito significativo sobre a qualidade do produto, de tal maneira que o aumento da temperatura a níveis superiores àqueles necessários para evaporação da água provoca aquecimento do produto. Conseqüentemente, danos imediatos e latentes, descoloração do produto, redução do teor de amido, óleo e proteínas (Obando-Flor et al., 2001). Para determinar a temperatura do ar de secagem devem ser considerados fatores como, o uso final do grão; teor de água inicial e o tipo de produto. Pesquisadores afirmam os frutos do cafeeiro com teor de água inicial elevado devem ser secos sob baixas temperaturas (40 a 60°C) para que seja favorecida a

migração do teor de água do interior para superfície. Caso contrário, a incidência de danos imediatos e latentes é elevado. O emprego de temperaturas elevadas provoca rápida e intensa secagem da superfície do grão, ocasionando endurecimento superficial, que impede a evaporação da água em seu interior (Athié, 1998; Brooker et al., 1992; Harrington, 1972; Pabis et al., 1998).

O teor de água inicial do produto é fator determinante para a seleção da temperatura de secagem. A temperatura de secagem deve ser tal que proporcione a evaporação de água do grão em velocidade condizente à migração da água do interior para a superfície do produto. O princípio de que quanto maior for o teor de água, menor deverá ser a temperatura de secagem é aplicável a todos os grãos agrícolas (Athié, 1998; Brooker et al., 1992; Pabis et al., 1998).

A taxa de secagem tem efeito significativo sobre a qualidade do grão. Altas taxas podem provocar danos físicos, descoloração do produto, manchas, entre outros (Afonso Júnior, 2001; Guida & Vilela, 1996; IBC/GERCA, 1985; Octaviani, 2000; Oliveira et al., 2001; Ribeiro et al., 2003). A velocidade de secagem do café é influenciada por vários fatores (Borém, et al., 2003a; Borém, 1992; Carvalho, 1994; Ribeiro et al., 2003) como temperatura e fluxo de ar de secagem, umidade e temperatura do ar ambiente, teor de água inicial e final do produto. Esses influenciam o processo de secagem de maneira contínua por serem parâmetros dependentes, porém, a temperatura e o fluxo de ar de secagem são parâmetros de fácil controle pelos operadores de secadores. A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem a altas temperaturas (Afonso Júnior, 2001; Borém, et al., 2003a; Carvalho, 1994; Guida & Vilela, 1996; Octaviani, 2000; Oliveira et al., 2001; Ribeiro et al., 2003; Silva, 1995; Souza, 2000).

A secagem em função do fluxo de ar é uma constante preocupação do profissional, seja qualitativamente ou economicamente. O fluxo de ar é o fator mais importante, principalmente, na secagem em baixa temperatura ou com ar

natural porque quanto maior a quantidade de ar forçado que passar pela massa, mais rapidamente à frente de secagem se desloca, diminuindo o tempo de secagem e tornando o processo mais seguro (Queiroz et al., 1987). O fluxo de ar deve ser suficiente para não se tornar saturado antes de sair da massa de sementes, podendo ser elevado até que seja capaz de absorver toda a água evaporada das sementes. A partir desse ponto, a movimentação da água, do interior para a superfície das sementes, torna-se o principal fator a influenciar o tempo de secagem. Particularmente na secagem com ar aquecido, fluxos inferiores a  $6\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$  podem prolongar excessivamente o tempo de secagem, ao passo que acima de  $20\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$ , podem tornar o processo antieconômico (Villela & Peske, 2003).

De acordo com Cortez (2001), é indispensável que o café colhido seja preparado e submetido em seguida à secagem para evitar o desenvolvimento de processos fermentativos e prejuízos à qualidade da bebida. Sob esse aspecto, é fundamental o manejo pós-colheita (Pereira et al., 2001). O uso de técnicas adequadas no processamento, principalmente uma secagem bem feita, proporciona ao café aroma e sabor de qualidade superior (Borém et al., 2004).

No Brasil, o processo de secagem artificial teve maior impulso somente a partir da década de 60. Antes, praticamente a totalidade dos produtos agrícolas era seca no próprio campo ou em terreiros, onde eram expostos diretamente à radiação solar e revolvidos periodicamente a fim de acelerar o processo (Tosello, 1956).

A secagem do café é comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos, em virtude do elevado teor de água no momento da colheita e desuniformidade de maturação dos frutos.

Uma secagem rápida, tanto para os cafés via seca, como processado em via úmida, permite um bom padrão de qualidade, evitando a deterioração por microrganismos. Um processo de secagem eficiente é aquele que, além de

reduzir o teor de água do produto, aumenta seu potencial de conservação pós-colheita e preserva suas características físicas e propriedades tecnológicas, atribuindo-lhe valor comercial (Reinato, 2006; Corrêa et al., 2002).

Osório (1982), estudando a secagem de café natural em secadores de fluxos concorrentes; e Pinto (1993) em secadores intermitentes de fluxos contracorrentes, utilizaram diferentes temperaturas de secagem 80°C, 100°C e 120°C e observaram que a temperatura de 120°C proporcionou um menor consumo específico de energia e a temperatura de 80°C teve uma melhor qualidade final do produto.

Segundo Souza (2000) e Arcila-Pulgarín (1976), na secagem do café natural à temperatura de secagem deve ser mantida ao redor de 45°C. Silva et al. (1998), estudando a qualidade da bebida do café em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem, obtiveram melhores resultados em termos de qualidade de bebida na secagem do café natural, com ar à temperatura de 45°C.

Octaviani (2000), estudando os efeitos da secagem do café descascado e desmucilado em secadores horizontais rotativos com diferentes temperaturas na massa (40°C, 50°C e 60°C) e vazão de ar (85 e 103m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>) utilizando GLP como combustível, observou que as secagens com temperaturas médias de 40,2°C a 56,1°C na massa de grãos não causaram prejuízos à qualidade sensorial do café descascado e desmucilado, obtendo bebidas classificadas como duras em todos os tratamentos.

O tempo de repouso possibilita a remoção extra de umidade da massa de grãos e a redução do gradiente de umidade, sem movimentação do produto, estudos mostram que a temperatura moderada e o repouso de algumas horas apresentam-se eficiente em relação à secagem. Begazo (1979) obteve um produto de bebida suave, ao usar uma temperatura de 45°C e intercalar períodos de secagem com períodos de repouso no café despulpado, a fim de obter

uniformidade de umidade e a cor azulada, característica do café de boa qualidade. Castro (1991), para o café despulpado, obteve um produto de bebida suave com a temperatura do ar de secagem em torno de 45°C. Nessa operação, permite-se a uniformização do líquido nos frutos do cafeeiro, o descanso permite que ocorra o transporte de água do interior para a superfície do fruto durante o período de repouso. Complementando, provavelmente, a taxa de remoção do vapor d'água pelo ar não foi afetada de forma acentuada, por limitações na taxa de transporte interno de água, devido ao repouso, dessa forma, o teor de água decresceu à velocidade constante.

Visando a estudar a influência da temperatura e da altura da camada na secagem de café despulpado em secador de camada fixa, Guida (1994) obteve melhor aspecto do produto na temperatura 45°C em todas as situações. Corrêa et al. (1994), analisando a secagem de café em camada fixa, para temperaturas do ar de secagem de 40, 50 e 60°C, concluíram que, na temperatura do ar de 40°C em contato com a massa de grãos, apresentou maior uniformidade no teor de água final ao longo da camada, enquanto nas demais, junto à entrada do ar de secagem, os grãos ficaram supersecos. Com a ausência do exocarpo e do mesocarpo dos frutos; bem como a não-movimentação desses, os frutos do cafeeiro ficam permanentemente sob a ação do ar aquecido, até o seu teor de água atingir o valor desejado e, como o primeiro contato entre energia e massa ocorre sempre nos frutos de café próximo a entrada do ar de secagem, a retirada da água é intensa nesses. Acredita-se que uma secagem rápida aumenta a possibilidade de fissuras internas e superficiais nos frutos do cafeeiro, causadas pela retração das camadas externas, não acompanhada pela retração das internas. Essas fissuras expõem o produto a processos oxidativos, os quais se refletem na qualidade da bebida.

Teixeira et al. (1980), trabalhando com 12 secadores comerciais, verificaram que, na secagem mecânica, em secadores verticais, a melhor

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

Ribeiro et al. (2003) estudaram a taxa de redução de água, em função da temperatura (40°C, 45°C e 50°C), fluxo de ar (20 e  $30 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) e período de pré-secagem (1 e 3 dias). Esses autores observaram que a maior taxa de redução de água foi para a temperatura de 50°C, fluxo de ar de  $30 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e tempo de pré-secagem de um dia. Os menores valores de taxa de redução de água foram observados para a temperatura de 40°C, fluxo de ar de  $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e três dias de pré-secagem.

McLoy (1979), estudando a secagem de café, verificou alteração na cor dos grãos e redução da qualidade da bebida devido à utilização de temperatura mais elevada do ar de secagem. Teixeira et al. (1980) observaram manchas e descolorações, devido a pouco descanso do café ou passagem rápida pelos secadores verticais. Como o dano térmico ocorre durante a última fase da secagem, quando o teor de água do fruto do cafeeiro e a velocidade de secagem são menores devido à redução da velocidade de evaporação e à elevação da temperatura do fruto, acredita-se que falta de repouso, expõe os frutos de forma contínua sob a ação do ar aquecido e, nesse caso, não se permite o transporte de água do interior para a superfície do fruto, uma vez que, durante o período de secagem, ocorre uma elevação nos gradientes do teor de água e temperatura, aumentando-se os possíveis danos térmicos.

Borém et al (2003b), estudando a qualidade do café despulpado seco em diferentes tipos de terreiros (lama asfáltica, concreto, terra e leito suspenso), observaram que os cafés submetidos à secagem em todos os terreiros, mantiveram a boa qualidade do produto, com exceção do café seco em terreiros de terra, comprovando a interferência negativa que esse tipo de pavimentação exerce na qualidade final do café, também comprovado por diversos outros autores: (Batista et al., 2003; Hashizume et al, 1985; Lacerda Filho, 1986; Moraes & Luchese, 2003; Parizzi, 2005; Santos et al, 1971; Suarez-Queiroz et al., 2004; Urbano et al., 2001; Vilela, 1998).

Afonso Júnior (2001), estudando aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento, afirma que a qualidade dos cafés descascados e despulpados foi menos afetada em relação à dos frutos cereja. Segundo esse autor, a variação da temperatura do ar de secagem é a responsável em grande parte por essa perda, enquanto a variação da umidade relativa do ar de secagem pouco interferiu.

### **2.3.1 Importância da secagem na qualidade do café**

Diversos fatores contribuem para a alteração da qualidade do café. Considerando que a máxima qualidade ocorre na planta, todas as etapas subsequentes à colheita podem depreciar a qualidade do produto. Ao longo do processamento dos frutos de café, várias reações metabólicas ocorrem dentro das sementes, e o modo e a extensão desses processos afetam na sua qualidade Brooker et al. (1992); Bytof et al. (2005); Vilela et al. (2000).

Na literatura, encontram-se trabalhos que relatam danos causados pela secagem em grãos de café, os quais comprometem a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Acredita-se que isso seja devido à desorganização e à

desestruturação das membranas celulares, permitindo que os componentes químicos, antes compartimentalizados, entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, afetando as características de cor, sabor e aroma da bebida. Conhecer essas alterações provocadas pela secagem torna-se importante na tentativa de minimizar os seus efeitos (Amorim et al., 1977; Prete, 1992; Ribeiro, 2003).

Em trabalhos encontrados na literatura, relatam-se alterações na qualidade do café submetido a diferentes condições de secagem sem, no entanto, explicarem de maneira satisfatória como e por que essas alterações ocorrem. Por outro lado, Guimarães et al. (2002) relatam que o acúmulo de alguns açúcares durante a secagem, descrito como um dos possíveis mecanismos de defesa contra o stress provocado pela dessecação, pode ser intensificado ou reduzido de acordo com a taxa de secagem da semente ou com as condições do meio ambiente.

Segundo Hoekstra et al (2001), durante a retirada da água, observa-se a redução do volume celular provocando uma aglomeração dos componentes citoplasmáticos que tornam o conteúdo da célula incrivelmente viscoso, aumentando assim as chances para as interações moleculares que podem causar a desnaturação de proteínas e fusão de membranas.

Entre as características que dependem do aspecto físico dos grãos de café, a cor tem grande importância econômica e interfere decisivamente no processo de comercialização desse produto. A variação da cor do produto pode revelar problemas ocorridos durante o processo, secagem, entre outros (Afonso Junior, 2001).

Na literatura, verifica-se que, para as sementes, um dos mecanismos de defesa contra a degeneração das membranas celulares refere-se ao acúmulo de alguns açúcares que ocorrem dependendo da velocidade com que a água é retirada (Corbineau et al., 2000; Koster & Lepold, 1988; Leprince et al., 1993).

Existem evidências de que açúcares específicos, atuando como substitutos da água, podem prevenir os efeitos danosos da dessecação. Tais açúcares são importantes fatores de proteção, pois estabilizam membranas e proteínas, e promovem a formação de uma fase vítrea no citoplasma (Leprince et al., 1993).

Os trabalhos encontrados não relacionam, no entanto, o acúmulo de açúcares na preservação das membranas celulares e a qualidade física, química e sensorial do café destinado para o consumo.

## **2.4 Mecanismos de proteção das membranas celulares**

### **2.4.1 Estrutura e síntese das paredes celulares**

As paredes celulares promovem a junção de células, evitando que deslizem e se separem. Como um rígido revestimento envolvendo a célula, a parede celular atua como um exoesqueleto que controla a forma e possibilita o desenvolvimento de altas pressões de turgor. As migrações celulares são impedidas, pois a lamela média liga firmemente as células adjacentes. A parede celular é necessária para as relações hídricas, pois determina a relação entre pressão de turgor e volume celular. Uma membrana plasmática envolve as células demarcando seu limite, separando o citoplasma do ambiente externo. As membranas também delimitam as organelas internas e regulam os fluxos de íons e metabólitos para dentro e para fora dos compartimentos (Cosgrove, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

A arquitetura, a mecânica e a função das sementes e grãos dependem decisivamente da estrutura da parede celular. A parede é secretada e reunida como estrutura complexa, que varia em forma e função conforme a célula se diferencia. As paredes celulares primárias são sintetizadas em células crescendo ativamente e as secundárias são depositadas em certas células, como os

elementos de esclerênquima, após cessar sua expansão (Nelson, 1994; Taiz & Zeiger, 2004).

O modelo básico das paredes primárias é uma rede de microfibrilas de celulose implantada em uma matriz de hemiceluloses, pectinas e proteínas estruturais. As microfibrilas são arranjos de cadeias de glucano altamente ordenados, sintetizados sobre a membrana por complexos protéicos. As hemiceluloses e proteínas entrecruzam microfibrilas, e as pectinas formam géis hidrofílicos que podem tornar-se entrecruzados por íons de cálcio (Nelson, 1994; Taiz & Zeiger, 2004).

As microfibrilas de celulose são estruturas relativamente rígidas que contribuem para a resistência e a predisposição estrutural da parede celular. A celulose é muito forte, estável e resistente à degradação. As hemiceluloses são tipos diferentes de polissacarídeos flexíveis que se ligam à superfície da celulose. Elas podem formar correntes que reúnem microfibrilas de celulose em uma rede coesa ou podem funcionar como um revestimento deslizante para impedir o contato direto entre microfibrilas. As pectinas (vários tipos de polissacarídeos) formam uma fase gel hidratada na qual está implantada a rede celulose-hemicelulose. Elas atuam como preenchimento hidrofílico, impedindo a agregação e o colapso da rede de celulose. Ainda estabelecem a porosidade da parede celular para as macromoléculas (Cosgrove, 2000; Cosgrove, 1997; Schopfer, 2001).

Adicionar resistência mecânica à parede e tomar parte na construção de outros componentes de parede é função das proteínas estruturais de parede. Além de atuar como uma barreira mecânica, a parede serve como matriz extracelular que interage com proteínas da superfície celular, fornecendo informação quanto à posição e ao desenvolvimento. Ela contém numerosas enzimas e moléculas menores que são biologicamente ativas e que podem modificar as suas propriedades físicas, às vezes em segundos. Em alguns casos,

moléculas derivadas da parede podem atuar também como sinais celulares de informação de condições ambientais, como a presença de patógenos (John et al., 1997).

A parede primária é composta de aproximadamente 25% de celulose, 25% de hemicelulose e 35% de pectinas, com 1% a 8% de proteína estrutural, sobre uma base de matéria seca. No entanto, podem ser encontrados desvios grandes desses valores. As paredes do endosperma de cereais são constituídos principalmente (cerca de 85%) de hemiceluloses. Paredes secundárias diferem das primárias por conterem uma porcentagem mais alta de celulose, por terem hemiceluloses diferentes e porque a lignina substitui as pectinas na matriz. Podem também se tornar altamente espessadas, ornamentadas e incrustadas com proteínas estruturais especializadas (Carpita, 1996; Carpita & McCann, 2000). Na constituição do café, encontra-se apenas a parede primária.

A composição dos polissacarídeos da matriz e das proteínas estruturais em paredes varia muito entre espécies diferentes e tipos celulares. A parede primária contém muita água (75 a 80%), localizada na matriz. O estado de hidratação da matriz é um determinante importante das propriedades físicas da parede; a remoção da água torna a parede rígida e menos extensível (Brett & Waldron, 1996; Carpita & McCann, 2000).

As paredes podem também ser substancialmente modificadas muito tempo depois de cessado o crescimento (a parede celular pode ser degradada, como ocorre no fruto em amadurecimento ou no endosperma de semente em germinação). Como uma forma de defesa, as células podem modificar suas paredes também durante o ataque de patógenos. As hemiceluloses e as pectinas podem ser modificadas e quebradas por uma variedade de enzimas encontradas naturalmente na parede celular (Brisson et al., 1994; Otte & Barz, 1996).

As enzimas hidrolíticas podem degradar completa ou seletivamente paredes celulares maduras durante o amadurecimento do fruto, germinação da

semente e formação de camadas de abscisão. As paredes celulares podem também sofrer ligação cruzada oxidativas, em resposta ao ataque de patógenos. Além disso, o ataque de patógenos pode liberar fragmentos de parede celular (John et al., 1997; Rose & Bennett, 1999; Rose et al., 1997).

#### **2.4.2 Explicações da redução da qualidade durante a secagem**

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

Sob temperaturas altas ocorre um decréscimo na força das ligações de hidrogênio e das interações eletrostáticas entre os grupos polares de proteínas na fase aquosa da membrana. Assim, as temperaturas altas modificam a composição e a estrutura da membrana e podem causar perda de íons. A ruptura de membrana também causa a inibição de processos como a respiração, que dependem da atividade de transportadores de elétrons e enzimas associados a membranas (Taiz & Zeiger, 2004).

Durante a maturação da semente, ocorrem várias transformações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e funcionais (Popinigis, 1977), em que as membranas celulares são as últimas que se organizam e as primeiras que apresentam sinais de deterioração após a maturidade fisiológica.

A aquisição da tolerância à dessecação ocorre durante a maturação, antes que as sementes sofram uma severa queda no conteúdo de água. Porém, não se pode afirmar se a tolerância é adquirida antes ou em resposta à perda de água. Algumas sementes apresentam uma rápida transição de uma fase de

intolerância à tolerância à dessecação, podendo ou não coincidir com a deposição de reservas (Brandão Júnior, 2000).

Um indicador precoce de danos induzidos por dessecação em membranas é a lixiviação de vários solutos citoplasmáticos (íons, açúcares e proteínas) que ocorrem quando da reidratação de tecidos de sementes dessecadas. Em vários trabalhos, evidenciou-se a existência da relação entre a desorganização das membranas celulares e a perda de constituintes dos grãos, com o aumento da quantidade de exsudados determinados na água de embebição (Crowe et al., 1989; Lin, 1988; Marcos Filho et al., 1990; Prete, 1992; Senaratna & McKersie, 1983, 1986; Schoettle & Leopold, 1984). Outras evidências sobre cinética de lixiviados refletem uma perda parcial da semipermeabilidade de membranas, sugerindo que injúrias de dessecação estão absolutamente associadas à disfunção de membranas (Senaratna & McKersie, 1986). As transformações indesejáveis nas membranas e nas paredes celulares podem ser devidas a baixas, altas ou extremas temperaturas, variações de umidade do ar e injúrias de secagem, provocando permeabilidade e desorganização da semente de café (Amorim et al., 1977).

A retirada de água da semente é a principal causa da ocorrência de danos em membranas. Em vários estudos, tem-se verificado que as membranas celulares são particularmente suscetíveis a danos estruturais durante o processo de secagem. Deficiências na integridade de membrana podem ser medidas pela lixiviação de eletrólitos da célula (De Paula et al., 1994), ou visualizadas por meio da análise ultra-estrutural.

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

As primeiras mudanças que afetam a qualidade têm sido atribuídas a vários processos bioquímicos, substâncias tóxicas e desnaturação de biomoléculas (Basavarajappa et al., 1990), em adição ao comprometimento da integridade de membranas, esse pode ser manifestado pela quebra da permeabilidade celular, resultando em um aumento da lixiviação de eletrólitos (De Paula et al., 1994) e, em outros, alguns mecanismos de proteção são capazes de manter os sistemas de membrana das células, as estruturas das macromoléculas e as substâncias de reserva em condições de readquirir suas funções fisiológicas quando as mesmas são reembebidas (Guimarães, 1999).

Diversos pesquisadores encontraram nos tecidos de organismos tolerantes à dessecação alta quantidade de sacarose e oligossacarídeos Brandão Júnior (2000); Chabrilange et al. (2000); Guimarães (2000); Roger et al. (1999), e ausência ou reduzida quantidade de monossacarídeos redutores Kuo et al. (1988) e Leprince et al. (1992). Na forma não cristalizada, a sacarose pode interagir com a superfície da membrana, provavelmente substituindo a água na manutenção da sua estrutura Koster & Leopold (1988). Os oligossacarídeos estão amplamente distribuídos em muitas espécies de sementes, localizados em tecidos que permanecem viáveis após a dessecação, incluindo o embrião e a camada de aleurona de cereais (Brenac et al., 1997); podendo estar envolvidos na proteção das membranas durante a desidratação (Corbineau et al., 2000).

Brandão Júnior (2000) estudando em embriões a sensibilidade à dessecação em sementes de café, observou que as sementes colhidas no estágio verde apresentaram maiores danos ultra-estruturais como coalescência de corpos de lipídios e provável ruptura do sistema de membrana em relação às sementes colhida no estágio verde-cana e cereja. A espécie *C. canephora* apresentou-se mais sensível à dessecação do que a espécie *C. arabica*. As células mostraram avançada deterioração nas estruturas das membranas, mesmo após terem

atingido a maturidade. Entretanto, as sementes de *C. arabica*, adquiriram tolerância à dessecação com o processo de maturação.

Vários autores observaram que existe uma relação positiva da condutividade elétrica com a lixiviação de potássio (Marques et al., 2006; Pinto et al., 2000; Prete, 1992; Amorim, 1978). Marques et al. (2006), Renato (2002) e Oliveira (2002) observaram maiores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica em grãos de café secos sob temperaturas mais elevadas.

## **2.5 Ultra-estrutura**

As membranas celulares são citadas como um dos principais pontos de danos após a secagem e podem ser um indicador precoce do dano pela lixiviação de várias soluções citoplasmáticas (Crowe & Crowe, 1989). Neya et al. (2004) em análises ultra-estruturais de tecidos após a embebição, detectaram alterações na membrana celular. Seewaldt et al. (1981) observaram em sementes de soja reidratadas algumas alterações na estrutura da membrana.

Salazar et al. (1994) observaram que o manejo inadequado dos frutos de café nas fases pré e pós-colheita levam à degeneração das membranas e da parede celular, com a subsequente perda do controle da permeabilidade levando à deterioração mais rápida do grão.

Em estudos ultra-estruturais de tecidos, após dessecação, tem-se verificado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria. Maior tolerância à dessecação das sementes é observada na secagem lenta Oliver & Bewley (1997), citados por Pammenter et al. (1998), devido ao tempo concedido para a indução e a operação dos mecanismos de proteção das membranas. A secagem rápida impede os processos de recuperação, sendo necessário mais tempo para os reparos na reidratação.

Em estudos histoquímicos e morfológicos dos grãos de café de diferentes bebidas, no café bebida mole (Goulart, 2002) observou uma maior

concentração de lipídeos nos bordos externos dos grãos os quais se apresentaram como corpos lipídicos globulares bem definidos no interior dos protoplastos. Com a perda da qualidade da bebida, observou-se que os lipídeos se apresentaram homoganeamente distribuídos por toda a superfície do tecido nos grãos de café bebida dura e riada. Nesses tipos de cafés, verificou-se que os lipídeos não mais se apresentaram em corpos lipídicos bem definidos, como no café mole, mas sim extravasados no interior das células e nos espaços intercelulares.

A retirada da água induz a parede celular à contração e conseqüentemente, à redução do volume celular. Os trabalhos encontrados não relacionam, no entanto, a interferência desse fenômeno à preservação das membranas celulares e à qualidade física do café destinado para o consumo.

Nas pesquisas cafeeiras, tem-se aproveitado de tecnologias de ponta. Em estudos, tem-se 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) e de transmissão (MET) 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, pôde 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, no interior das células e nos espaços intercelulares. Porém, não pôde avaliar o momento exato que a temperatura induziu o rompimento das membranas celulares.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Local da realização do experimento

O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia, no Pólo de Tecnologia em Pós-Colheita do Café e no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

### 3.2 Procedência da matéria-prima

Toda o produto utilizado foi o café (*Coffea arabica* L.) foi fornecido pela fazenda do senhor Josué localizada no município de Santo Antônio do Amparo – MG, a 1100m de altitude sendo o café da variedade Topázio.

### 3.3 Processamento do café

O café foi colhido manualmente e de forma seletiva, retirando-se da planta somente os frutos cereja.

Para cada repetição, foram colhidos 800 litros de frutos de café. Toda a matéria-prima foi uniformizada por meio da separação hidráulica e seleção manual, utilizando-se somente frutos cereja. Em seguida, cerca de 150 litros do café-cereja foram levados diretamente para o terreiro, constituindo a parcela de café natural.

Para a obtenção do café despulpado, cerca de 350 litros do café-cereja foram descascados. Em seguida, 150 litros de café com pergaminho foram colocados em um tanque de fermentação, onde permaneceram por um período de 20 horas. Em seguida, o café foi lavado (seis vezes) até a completa remoção da mucilagem remanescente. O fluxograma referente ao processamento e secagem do café (*Coffea arabica* L.) está apresentado na Figura 1.

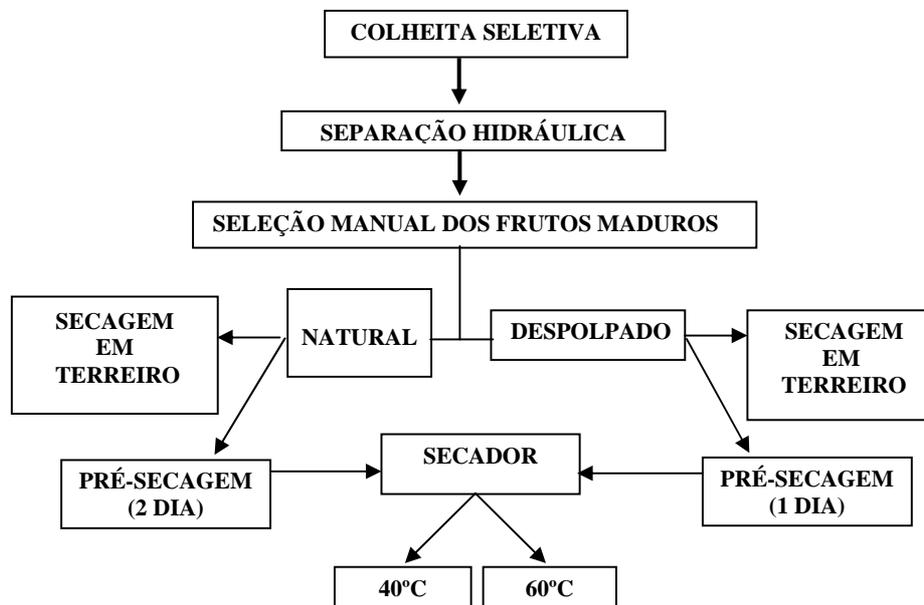


FIGURA 1 Fluxograma do processamento e secagem do café natural e despulpado.

### 3.3 Caracterização do processo de secagem

O café natural e o café despulpado foram divididos em parcelas distintas no terreiro (Figura 2). Uma parcela do café natural permaneceu por dois dias no terreiro, enquanto outra parcela do despulpado, por um dia, possibilitando assim que os frutos fossem levados para a secagem mecânica com as mesmas condições ambientais de temperatura e umidade relativa. As demais parcelas permaneceram no terreiro para secagem completa ao sol.



FIGURA 2 Secagem dos cafés natural e despulpado em terreiro. (A) fase inicial da secagem (1) natural e (2) despulpado, (B) fase final da secagem (1) natural e (2) despulpado

Durante o tempo em que o café permaneceu no terreiro, foram realizados revolvimentos de meia em meia hora e monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, por meio do termoigrógrafo.

A secagem mecânica foi conduzida em dois secadores de camada fixa (Figura 3). Tanto o café natural quanto o café despulpado foram submetidos à secagem com ar aquecido a 40°C e 60°C.

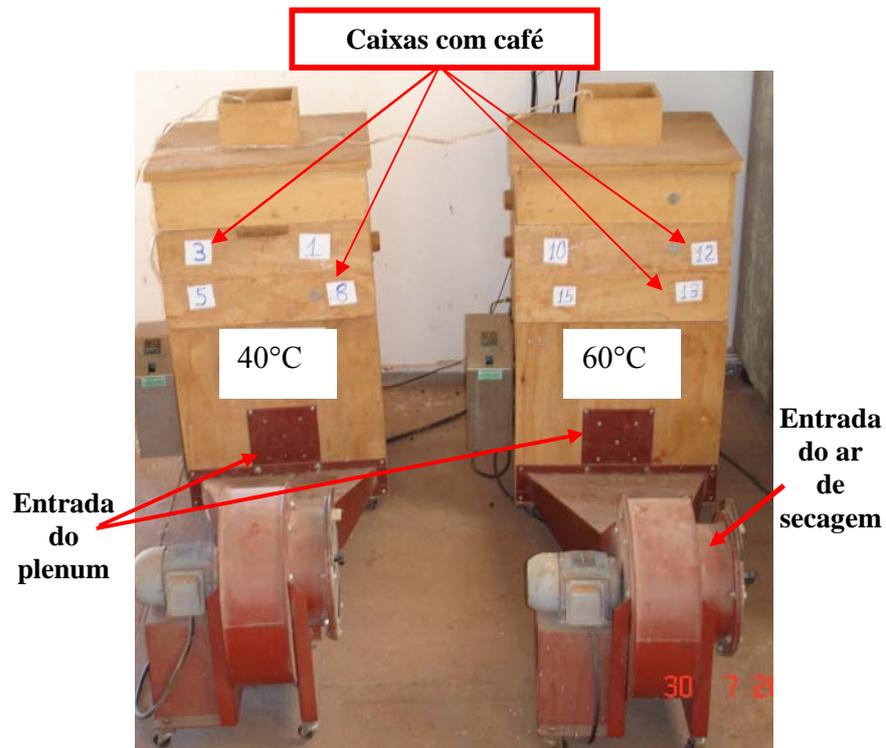


FIGURA 3 Vista frontal dos secadores de camada fixa usado na secagem com ar aquecido

O fluxo de ar foi regulado para  $20\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$ , de acordo com Ribeiro (2003), obtido segundo a equação (1).

$$\Phi = Q/A \quad (1)$$

em que:

$\Phi$ : fluxo de ar ( $\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$ )

Q: vazão do ar ( $\text{m}^3/\text{min}^{-1}$ )

A: área da entrada do plenum ( $\text{m}^2$ )

Durante a secagem com ar aquecido, foram monitorados, periodicamente: a temperatura na massa de café, a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente. A temperatura da massa de café foi medida a cada 30 minutos, por meio de termopares tipo J colocados no centro da massa, em cada divisão da câmara de secagem (Figura 4). Para minimizar uma possível diferença de temperatura entre as quatro divisões, devido à posição das resistências no plenum, foi realizado um rodízio das amostras a cada uma hora.

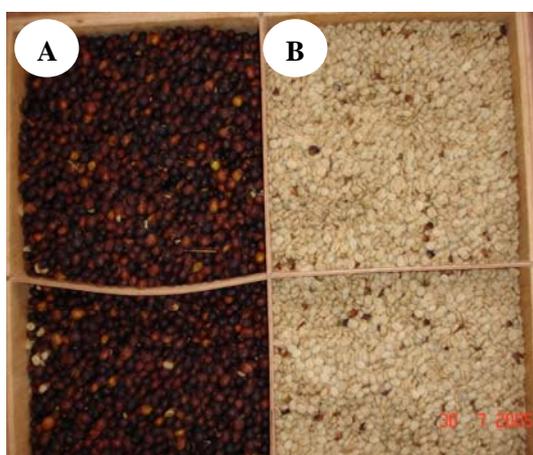


FIGURA 4 Vista superior do secador de camada fixa (divisórias com os cafés (A) natural e (B) despulpado).

O experimento foi constituído por fatorial 2 x 3 sendo dois tipos de processamento (natural e despulpado) e três tipos de secagem (terreiro, temperatura de 40°C e 60 °C na massa) com três repetições. A amostragem foi realizada logo após a colheita e ao longo da secagem retirando-se amostras com teores de água em torno de 40, 30, 20 e 11% (b.u.)

### **3.4 Amostragem do café**

Antes de iniciar a coleta propriamente dita das amostras, testes preliminares foram realizados com vistas à caracterização do processo de secagem possibilitando assim a estimativa do tempo necessário para se atingirem os teores de água desejados. Essa etapa foi necessária pois, considerando que amostras seriam retiradas ao longo do processo, não seria possível o controle do teor de água pelo método gravimétrico.

Durante a secagem dos frutos de café em terreiro, as amostras foram coletadas no fim do período da manhã e no fim da tarde, durante os cinco primeiros dias e depois, diariamente, no fim da tarde. A coleta de duas amostras por dia na fase inicial da secagem deve-se à diferença nos teores de água dos cafés, uma vez que, o teor de água do fruto intacto é mais elevado ao iniciar-se a secagem. O café natural foi colocado no terreiro com teor de água de 67,60% (b.u.), enquanto o despulpado estava com 57,60 % (b.u.). Essa diferença vai diminuindo no decorrer da secagem e, quando o teor de água atinge em torno de 40 % (b.u.), ambos os cafés estão praticamente com o mesmo teor de água. No início da secagem, no café natural, a água está disponível em maior quantidade em relação à no despulpado. Na secagem mecânica foram coletadas amostras para a determinação do teor de água de hora em hora. A determinação do teor de água foi realizada pelo método padrão de estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas (Brasil, 1992). Na determinação do teor de água, foram pesados 50 gramas de frutos do café para cada repetição, cada amostragem constituía-se de duas repetições para o café natural e para o despulpado. Armazenando-se sempre parte do material em câmara fria para uma contra amostra.

As amostras para as análises microscópicas foram coletadas, fixadas e armazenadas em câmara fria durante todo o processo de secagem simultaneamente com a amostragem para determinação do teor de água. Dessa forma, foram coletadas e fixadas amostras além daquelas efetivamente previstas

para serem analisadas no presente trabalho. Para se garantir que os valores de teor de água fossem obtidos, optou-se por coletar amostras em intervalos de cinco pontos percentuais. As amostras usadas no presente trabalho foram então selecionadas somente após conhecido o teor de água.

No momento de cada amostragem aproximadamente 100g de café natural e 100g de café despulpado de cada uma das temperaturas usadas na secagem foram coletados e imediatamente resfriados com ar ambiente com vistas à redução do processo de remoção da água. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transferidas para o Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia. Cinco grãos de cada amostra foram retirados aleatoriamente e seccionados manualmente de maneira a se obterem cortes transversais com aproximadamente 1mm de espessura os quais foram imersos em solução fixativa Karnovsky modificado (Glutaraldeído 2,5%, Paraformaldeído 2,0%, Tampão Cacodilato 0,05M, pH 7,2). Nos respectivos teores de água (% b.u.), do café natural retirou-se o exocarpo, o mesocarpo, o endocarpo e o perisperma e, do café despulpado o perisperma, uma vez que os fragmentos foram retirados do endosperma. Na Figura 5, apresentaram-se, endospermas de café a diferentes teores de água dos quais retirou-se o material para as análises de microscopia eletrônica de varredura.

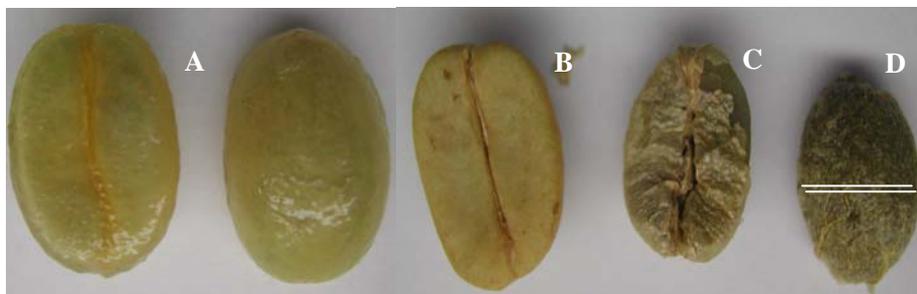


FIGURA 5 Grãos de café a diferentes teores de água. (A) endosperma com endocarpo e perisperma com teor de água 30% (b.u.), (B) endosperma com endocarpo e perisperma com teor de água 11% (b.u.), (C) endosperma com perisperma com 11% (b.u.) e, (D) esquema da retirada do fragmento na parte central do endosperma com corte transversal.

### 3.6 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 Ultra-estrutural (LME), localizado no Departamento de Fitopatologia/UFLA. As amostras imersas em solução fixativa (Karnovsky modificado) e armazenados em câmara fria foram retiradas da solução e preparadas para a realização das análises. Foram transferidas para líquido crioprotetor (glicerol 30%) por 30 minutos e cortadas longitudinalmente em nitrogênio (Figura 6).



FIGURA 6 Corte longitudinal em nitrogênio

Os fragmentos obtidos foram transferidos para uma solução de tetróxido de ósmio 1% (3 gotas) e água para cobri-las por uma hora, lavados três vezes em água destilada e, subseqüentemente, desidratado em série de acetona (25%, 50%, 75%, 90% e 100%, por três vezes) e, depois levados 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 entre 7 e 15 mm. As imagens geradas foram gravadas e abertas no Software Photopaint do pacote Corel Draw 12, onde foram selecionadas, preparadas e apresentadas neste trabalho.

### **3.7 Contração celular durante a secagem do café**

Para avaliação da contração celular durante a secagem, foram realizadas medições nas imagens geradas pelo microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40 XVP e registradas digitalmente. As medidas foram obtidas usando-se o

Software Leo User Interface (versão Leo 32.0) disponível no microscópio para não ocorrerem distorções na escala de trabalho. Assumiu-se que as células do endosperma do café possuem formato elipsóide (Figura 7). Em cada imagem foram feitas as medições do semi-eixo maior (a) e do semi-eixo menor (b) do citoplasma, bem como do lúmen celular (Figura 8).

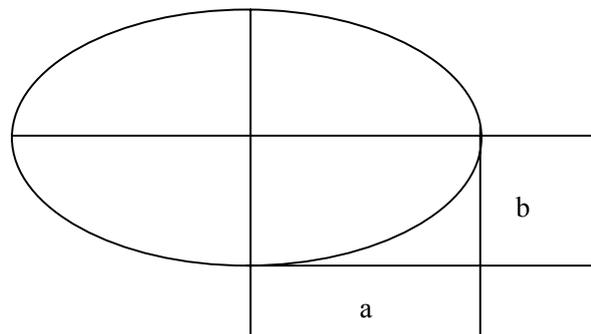


FIGURA 7 Representação esquemática dos semi-eixos de uma elipse.

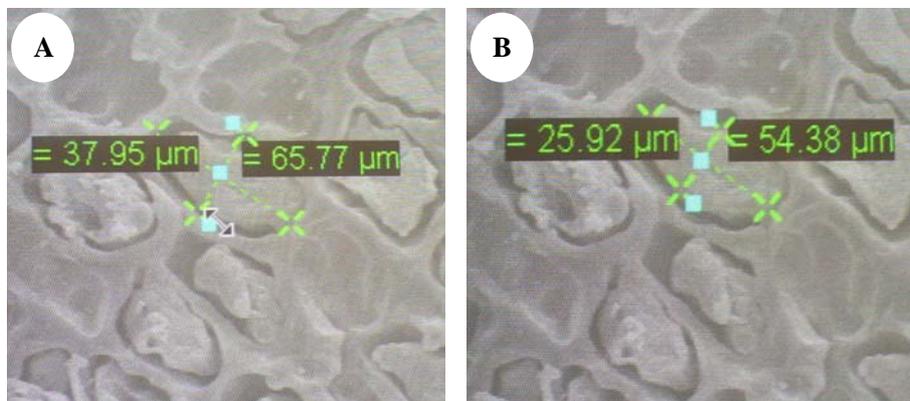


FIGURA 8 Eletromicrografia de varredura exemplificando as medições das dimensões da célula. Semi-eixos medidos com o Software Leo User Interface (versão Leo 32.0), (A) Lúmen celular e (B) Citoplasma celular.

Após as medições, calculou-se a área superficial do citoplasma e do lúmen celular com base na equação 2.

$$A = \pi a b \quad (2)$$

em que:

$A$  = área ( $\mu\text{m}^2$ )

$a$  = maior semi-eixo do elipsóide ( $\mu\text{m}$ )

$b$  = menor semi-eixo do elipsóide ( $\mu\text{m}$ )

Para se descreverem as variações da contração celular durante a secagem, foram descritas a contração celular em função do teor de água, a contração celular relativa (CCR) e a taxa de contração celular (TCC).

A CCR foi calculada de acordo com a equação 3 e refere-se à razão entre a área do citoplasma e a área do lúmen celular em função do tempo. Considerando a equação 3, verifica-se que o valor máximo do CCR é 1 o que significa que todo o lúmen celular está preenchido com o citoplasma. Por outro lado, quanto menor o valor do CCR maior será a contração do citoplasma em relação à contração da célula como um todo indicando maior área vazia no lúmen celular.

$$\text{CCR} = A_c / A_l \quad (3)$$

em que:

CCR = contração celular relativa (adimensional)

$A_c$  = área do citoplasma ( $\mu\text{m}^2$ )

$A_l$  = área do lúmen celular ( $\mu\text{m}^2$ )

A TCC, calculada de acordo com a equação 4, refere-se à contração da área superficial da célula em função do tempo de secagem. De acordo com a

equação 4, percebe-se que os valores de TCC podem ser positivos ou negativos referindo-se, respectivamente, à contração ou expansão da área do citoplasma.

$$TCC = A_0 - A_1 / t_1 - t_0 \quad (4)$$

em que:

TCC = taxa de variação celular ( $\mu\text{m}^2 \text{h}^{-1}$ )

$A_0$  = área superficial da célula anterior ( $\mu\text{m}^2$ )

$A_1$  = área superficial da célula atual ( $\mu\text{m}^2$ )

$t_1$  = tempo de secagem atual (horas)

$t_0$  = tempo de secagem anterior (horas)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das condições experimentais do processo de secagem

Os valores médios da temperatura e de umidade relativa do ar ambiente durante a secagem e os teores de água inicial e final do café em terreiro e com ar aquecido 40°C e 60°C, para o café natural e despulpado, são apresentados na Tabela 1.

Os valores da temperatura e da umidade relativa do ar referem-se aos valores médios diários coletados na entrada do secador durante a secagem mecânica, com ar aquecido à 40°C e 60°C e os valores médios diurnos durante a secagem no terreiro.

Observa-se, na Tabela 1, que o teor de água inicial do café despulpado foi 57,66% (b.u.) e, após a secagem em terreiro, o teor de água foi de 11,04% (b.u.). Para o café natural, observa-se, no início da secagem, teor de água na faixa de 65,60% (b.u.), interrompendo-se a secagem quando o café está com teor de água de 11,65% (b.u.). A diferença inicial nos teores de água é devida ao tipo de processamento. No café natural, mantém-se o fruto intacto e, quimicamente, a porcentagem de celulose e hemicelulose, o teor de polissacarídeos e de enzimas, bem com, o teor de água está presente em maior quantidade que no café despulpado, já que são retirados o exocarpo (casca) e o mesocarpo (mucilagem), permanecendo apenas o teor desses componentes, presentes no endocarpo (pergaminho), no perisperma (película prateada) e no endosperma (semente) do café.

Antes de se realizar a secagem com ar aquecido, foi feita uma pré-secagem em terreiro de um dia para o café despulpado e dois dias para o natural. Observou-se para o café despulpado, o teor de água 41,76 % (b.u.) e para o natural, 46,07 % (b.u.). A passagem sucessiva do ar aquecido possibilitou-se reduzir esses valores até ser atingido em média o teor de água de 11% (b.u.),

momento que a secagem foi interrompida. Com a pré-secagem evitou-se a exposição do café à ação de microrganismo, pois a atividade metabólica do fruto de café é acelerada quando nesse fruto contém alto teor de água, além de ser propícia à deterioração rápida., visto que o café ficou amontoado durante a secagem em secador de camada fixa, onde permaneceu numa espessura de 13cm sem revolvimento, além disso, possibilitou que os frutos fossem levados para a secagem mecânica com as mesmas condições ambientais de temperatura e umidade relativa. Importante ressaltar, a medida que ocorre a elevação da temperatura do ar de secagem a umidade relativa vai diminuindo.

TABELA 1 Valores médios das condições do produto e do ar ambiente para os tratamentos, nas três repetições.

Café	T (°C) da massa	Teor de água (%) b.u.		Ambiente de secagem		Ar de entrada secador	Tempo total secagem
		Início	Final	T	UR	T	(h)
				(°C)	(%)	(°C)	
Despolpado	60	41,76	11,12	23,22	49	23,22	08
Natural	60	46,07	11,41	23,22	49	23,22	15
Despolpado	40	41,76	11,27	23,43	51	23,43	19
Natural	40	46,07	11,57	23,43	51	23,43	67
Despolpado	Terreiro	57,66	11,04	24,10	43	-	168
Natural	Terreiro	65,60	11,65	24,10	43	-	240

#### 4.2 Curvas de secagem

Analisando-se a secagem dos cafés em terreiro pelas curvas de secagem (Figura 9), observa-se que os teores de água, durante o tempo de secagem para o café natural, foram sempre superiores em relação ao café despolpado. O tempo total de secagem do café despolpado foi menor que do café natural, ou seja, o café despolpado chegou ao teor de água de armazenamento (11% b.u.) com 168 horas de secagem, enquanto o café natural precisou de 240 horas. 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 celulose, hemicelulose, certa quantidade de polissacarídeos e enzimas, bem como água, sem os quais o café despulpado inicia a secagem com ar aquecido com um teor de água menor em relação ao natural. Pela alta taxa de secagem do café despulpado, explica-se o menor tempo necessário em relação ao do natural.

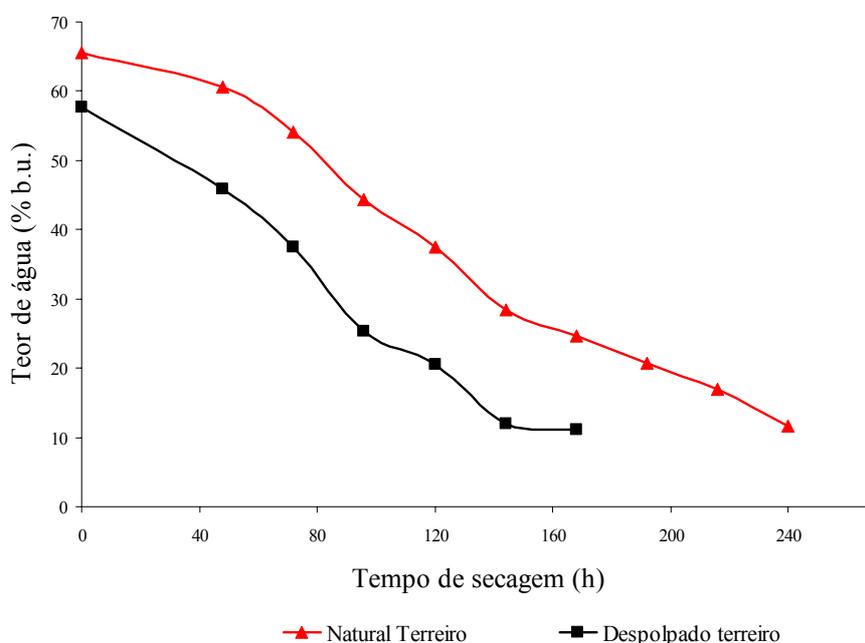


FIGURA 9 Variações dos teores de água, durante a secagem em terreiro, do café natural e do despulpado.

Na secagem mecânica, com temperaturas de 40°C e 60°C para os cafés natural e despulpado (Figura 10), observa-se que a secagem a 60°C foi a mais rápida, independentemente do tipo de processamento. O tempo de secagem

necessário para o café despulpado foi de 8 horas, ao passo que, para a secagem do café natural, foram necessárias 15 horas. O tempo de secagem do café despulpado com a temperatura de 40°C foi de 19 horas e do café natural de 67 horas.

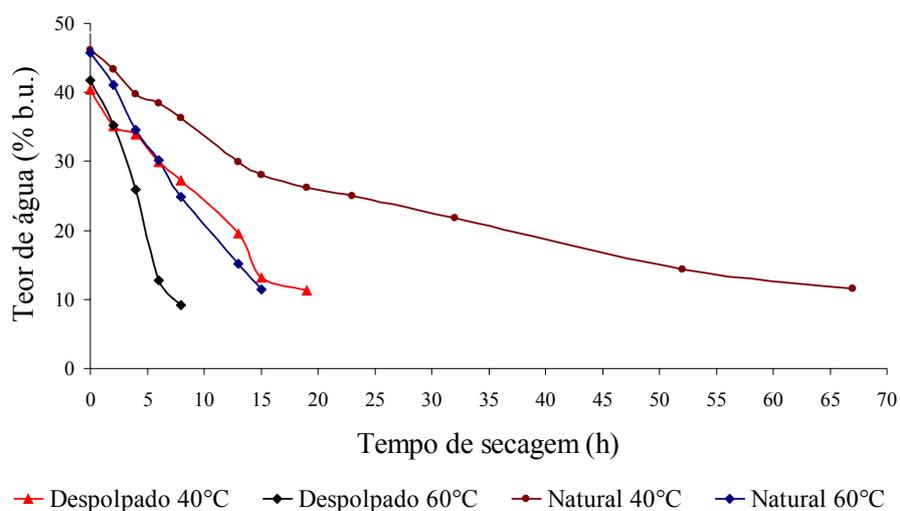


FIGURA 10 Variações dos teores de água, durante a secagem mecânica com temperatura de 40°C e 60°C, para o café despulpado e natural.

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 a água sob tensão transmite uma força interna às paredes da célula e, como têm resistência e plasticidade limitadas, podem ser desestabilizadas ou conduzidas a colapso.

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; Oliveira, 2002; Prete, 1992; Reinato, 2002; Ribeiro, 2003), as altas temperaturas de secagem têm interferência na integridade das membranas celulares. A temperatura de secagem de 60°C compromete as estruturas das membranas celulares que levam o café à fácil deterioração (Afonso Júnior, 2001; Coradi, 2006; Marques, 2006).

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; portanto, a secagem em terreiro proporcionou melhor café. Segundo o autor, esse fato foi constatado pelos menores valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável, acidez graxa e aos maiores valores de açúcares redutores e totais. Deve-se lembrar que a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio são indicadores da integridade das membranas celulares e os açúcares estão envolvidos nos mecanismos de proteção às membranas. Pode-se considerar que a secagem em terreiro poderá contribuir para o desenvolvimento de mecanismos protetores às membranas celulares, preservando também a sua integridade e, conseqüentemente, mantendo a qualidade do café. O café despulpado, quando comparado com o natural, apresentou um café de melhor sabor e aroma. Em estudos realizados por Brando (1999), Cortez et al. (1997) e Vilela (2002) sobre a qualidade do café preparado sob diferentes métodos de processamento, foram relatadas características superiores da bebida para os cafés descascados, despulpados e desmucilados em relação ao café natural. Acredita-se que o café despulpado está menos compactado, nesse caso, diminui-se a resistência interna na transferência de massa durante a secagem.

### **4.3 Estudos ultra-estruturais dos cafés despulpado e natural durante a secagem em terreiro e à temperatura de 40°C e 60°C**

Os resultados das alterações nas estruturas da membrana celular do endosperma dos cafés natural e despulpado provocadas pelos efeitos de secagem e, observadas nas imagens digitais estão apresentados na seqüência. Observa-se que a temperatura de secagem teve interferência na resistência e predisposição estrutural da parede celular do endosperma. A degradação da membrana celular é mais acentuada com o aumento da temperatura de secagem, o que não se observa no processamento.

Na seqüência são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos cafés despulpado e natural durante a secagem. Na fase inicial, o café foi colocado no terreiro com teor de água 57,66 % (b.u.) e 65,60 % (b.u.), respectivamente.

Observa-se no endosperma, tanto do café despulpado (Figura 11A) com teor de água 57,66 % (b.u.) quanto no do natural (Figura 11B) 65,60 % (b.u.), que a célula está túrgida e em expansão máxima, que o volume celular apresenta o conteúdo interno das células intacto e preenchido com o material celular e sem contração. Observa-se também que a parede celular está rente à membrana plasmática e que os espaços intercelulares são pouco visíveis. No processamento, retira-se o exocarpo (casca) e o mesocarpo (mucilagem), operação que deixa o café despulpado apenas com endocarpo (pergaminho), perisperma (película prateada) e endosperma (semente), justificando-se a diferença no teor de água (% b.u.) dos cafés, visto que o natural permanece com o fruto intacto.

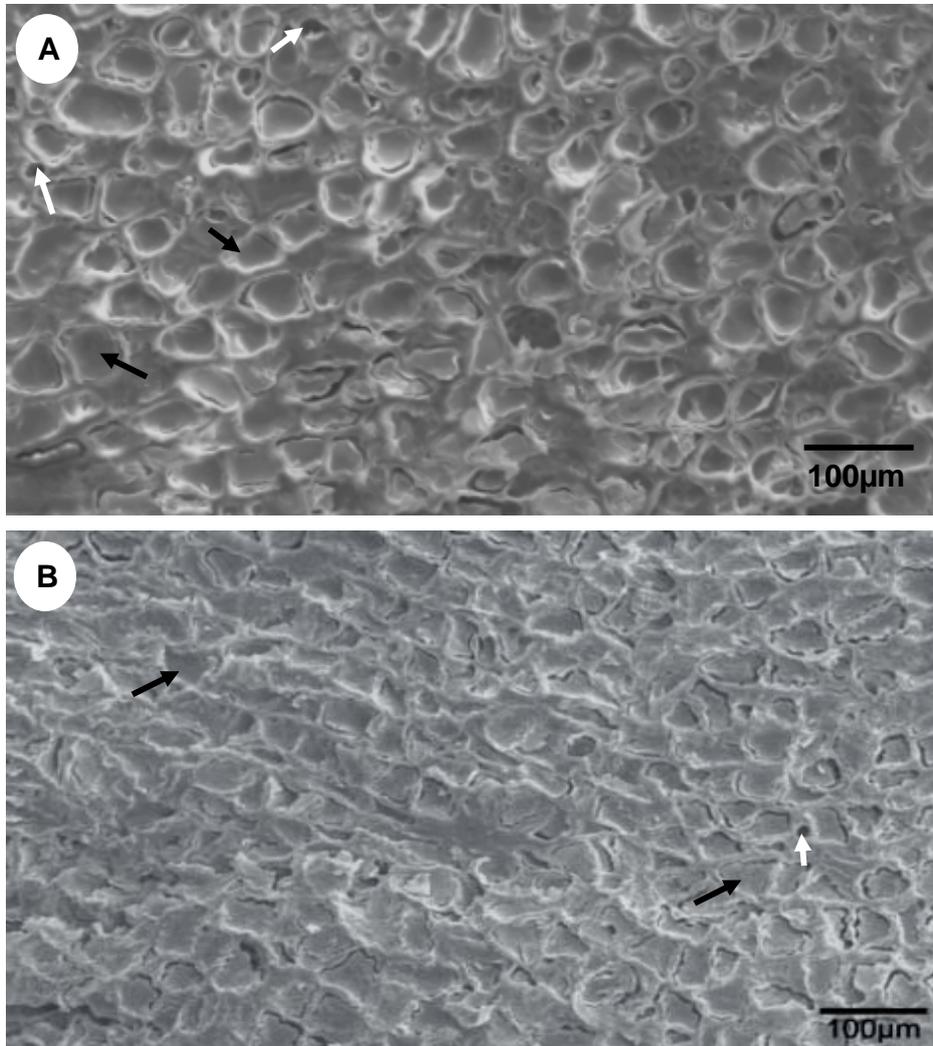


FIGURA 11 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos de café despulpado com teor de água 57,66 % (b.u.) (A) e natural 65,60 % (b.u.) (B) ao iniciar a secagem no terreiro, (setas escuras) células túrgidas, (setas claros) espaços intercelulares vazios.

O café natural (Figura 12A) permaneceu por dois dias no terreiro, tempo que possibilitou reduzir o seu teor de água a 46,07 % (b.u.), enquanto o despulpado (Figura 12B) por um dia, a 41,76 % (b.u.). Com esse teor de água, iniciou-se a secagem dos cafés com ar aquecido à temperatura de 40°C e 60°C. Nesse teor de água, não houve alteração na integridade celular, as células estão túrgidas, o lúmen celular encontra-se numa faixa estreita e são poucos espaços intercelulares vazios. Como no início da secagem, o café estava completamente úmido, a água se transfere na fase líquida sob gradiente hidráulico, fato que justifica a pré-secagem. Nessa fase, a remoção de água é realizada mais rapidamente, pois, está-se retirando água fracamente ligada ao grão.

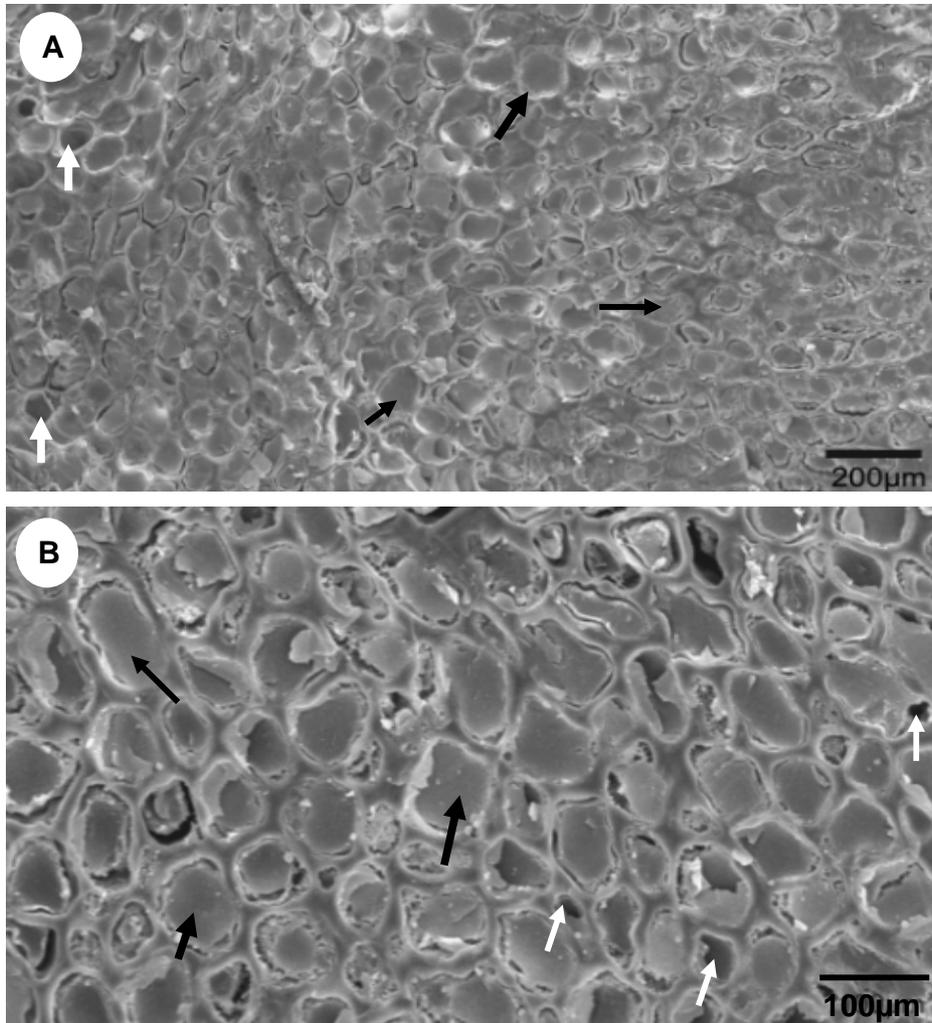


FIGURA 12 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos de café após a pré-secagem no terreiro com teor de água 46,07% (b.u.) natural (A) e despulpado 41,76% (b.u.) (B), ao iniciarse a secagem com ar aquecido (40°C e 60°C), (setas escuras) células túrgidas (setas claras) espaços intercelulares vazios.

Frutos de café despulpado e natural durante a secagem à temperatura de 40°C, com teores de água (40%, 30%, 20% e 11% b.u.), quando observados, não apresentaram fissuras nas membranas celulares em função das condições às quais foram submetidos (processamento e secagem). A redução gradativa do teor de água não afetou a integridade celular. Da mesma maneira, a retração da parede celular pela exposição ao estresse térmico não interferiu na estabilidade da célula. Sob o teor de água foi de 40% (b.u.), no endosperma do café despulpado (Figura 13A) e no natural (Figura 13B), pôde-se visualizar a célula túrgida e seu volume celular com expansão máxima. Por outro lado, sob o teor de água de 11% (b.u.), condição segura para o armazenamento do café despulpado (Figura 14A) e natural (Figura 14B), observou-se o conteúdo celular intacto e preenchido com o material celular, apesar do volume celular contraído. Observou-se, nesse caso, que o lúmen, espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, bem como os espaços intercelulares apresentaram-se vazios. A contração aumentou gradativamente, enquanto o teor de água decresceu, desde o início da secagem foi mais acentuada no café despulpado e ao atingir o teor de água 11% (b.u.), a contração foi bem mais intensa em relação a do café natural. Ressalta-se que como a temperatura de secagem foi a mesma, apenas mudou-se o processamento, durante a dessecação manteve-se 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). Além disso, complementando as observações dessa autora, observa-se que a contração foi gradativa ao longo da secagem, não havendo alteração na integridade celular nos teores intermediários de água entre 11 e 40% (b.u.) café despulpado (Figura 15A e 16A) e natural (Figura 15B e 16B).

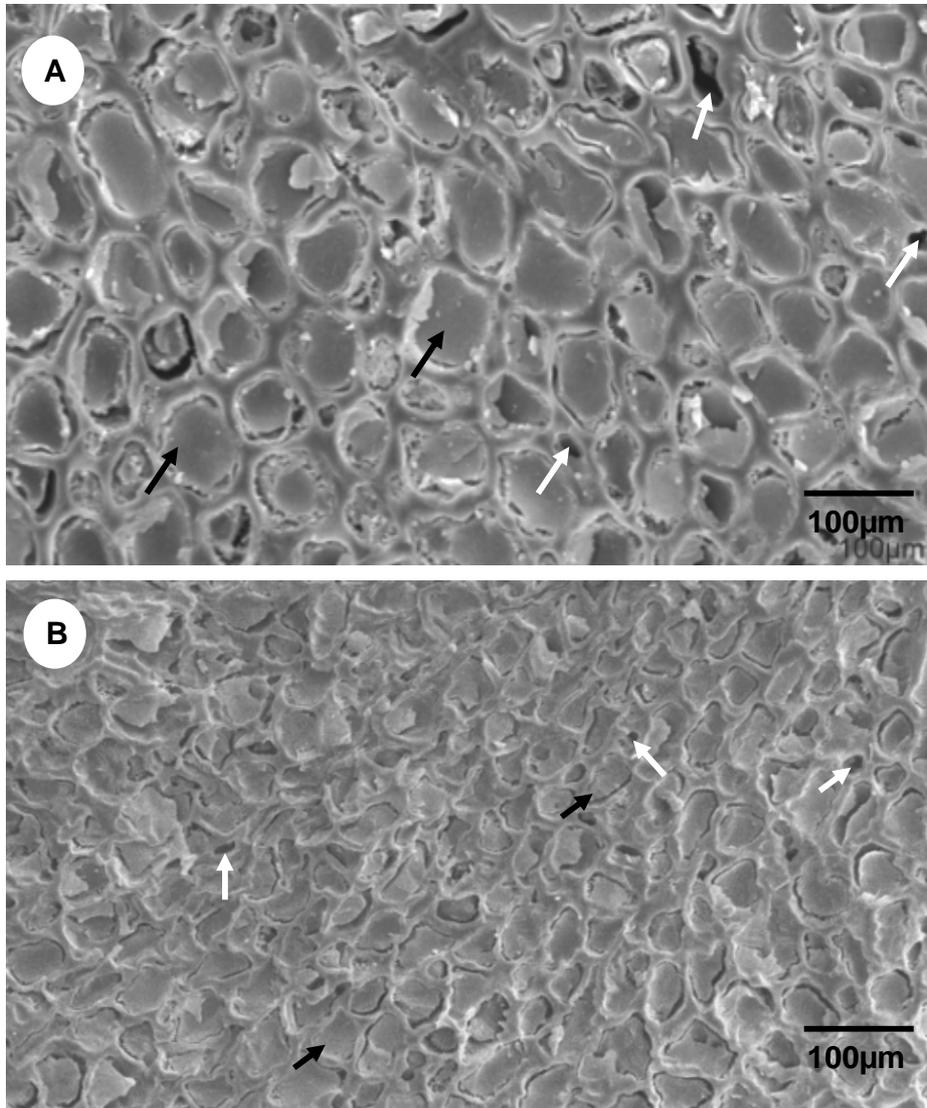


FIGURA 13 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos durante a secagem à temperatura de 40°C (A) café despolpado e (B) natural com teor de água 40% (b.u.), (setas escuras) células túrgidas, (setas claras) espaços intercelulares vazios.

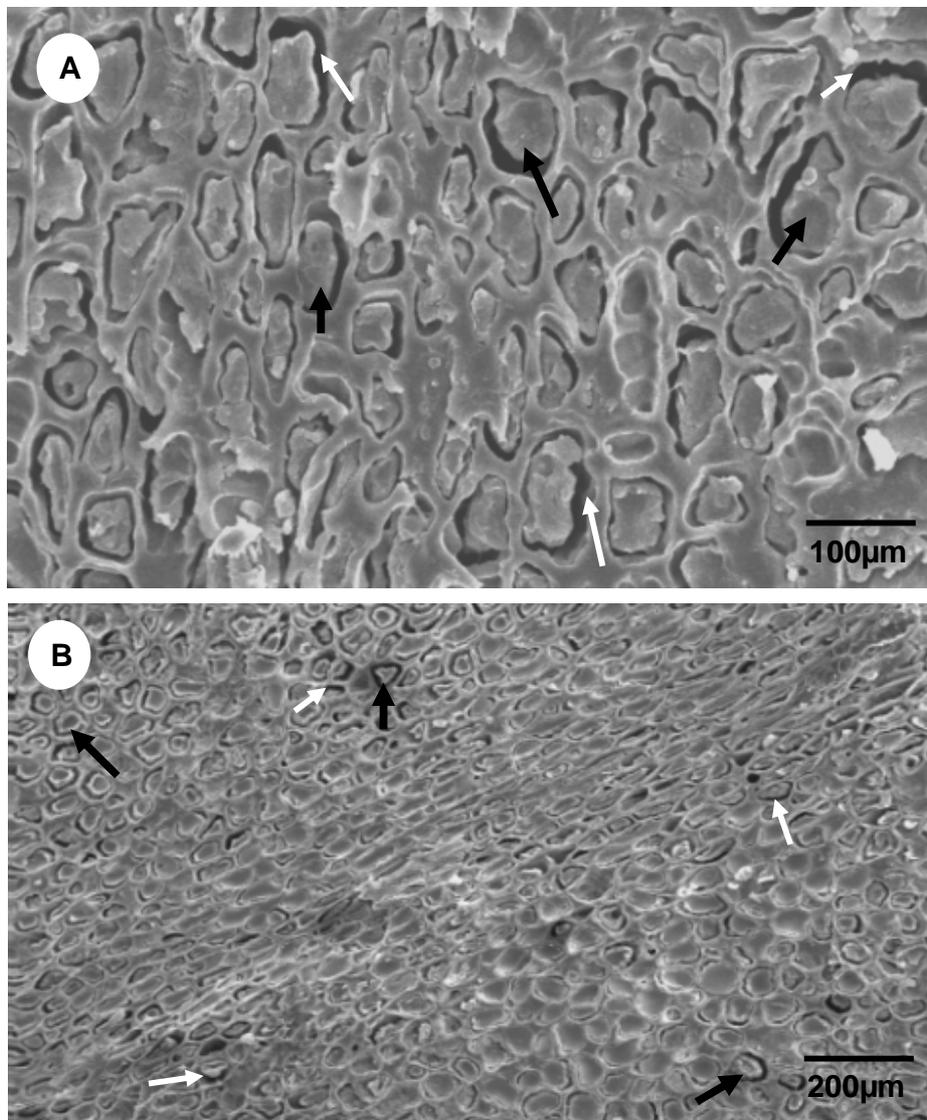


FIGURA 14 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos durante a secagem à temperatura de 40°C (A) café despolpado e (B) natural com teor de água 11% (b.u.), (setas escuras) volume celular contraído, (setas claras) lúmen celular.

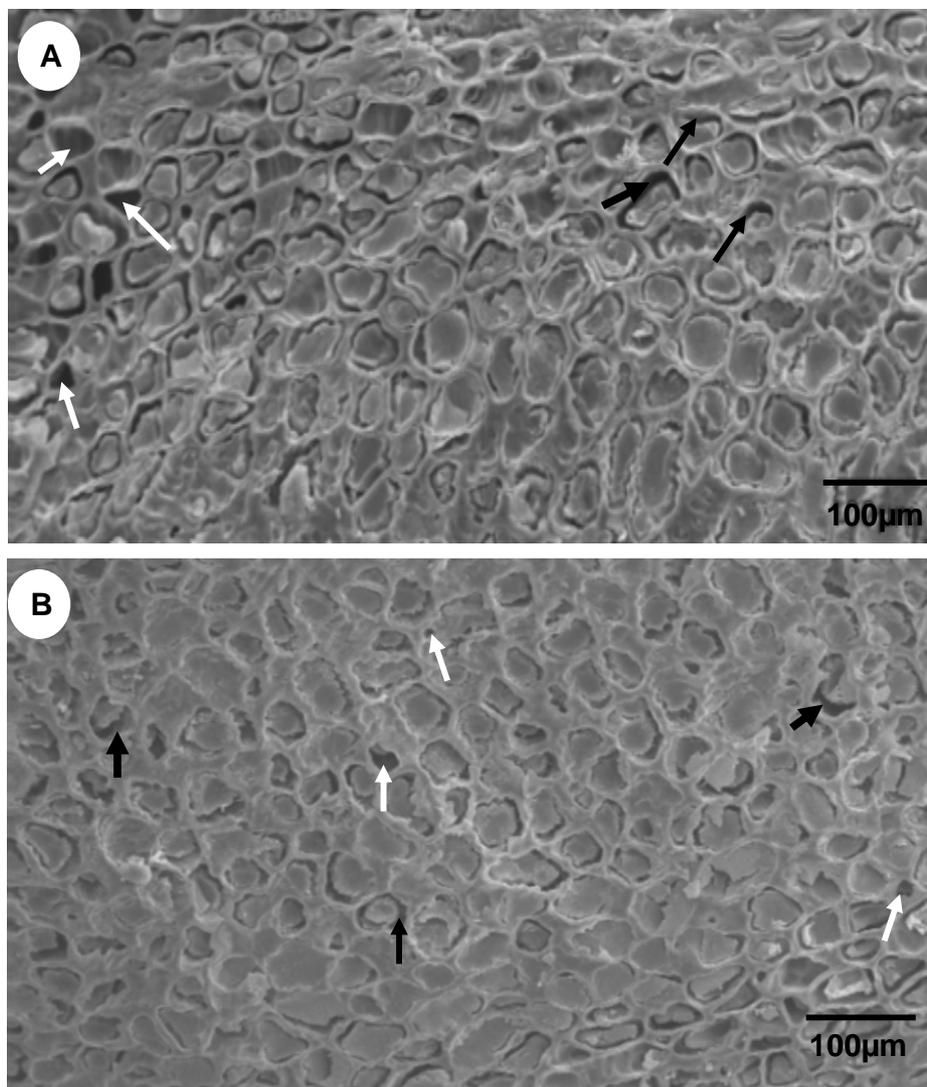


FIGURA 15 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos durante a secagem à temperatura de 40°C, (A) café despolpado e (B) e natural, com teor de água 30% (b.u.), (setas escuras) espaços intercelulares vazios, (setas claras) lúmen celular.

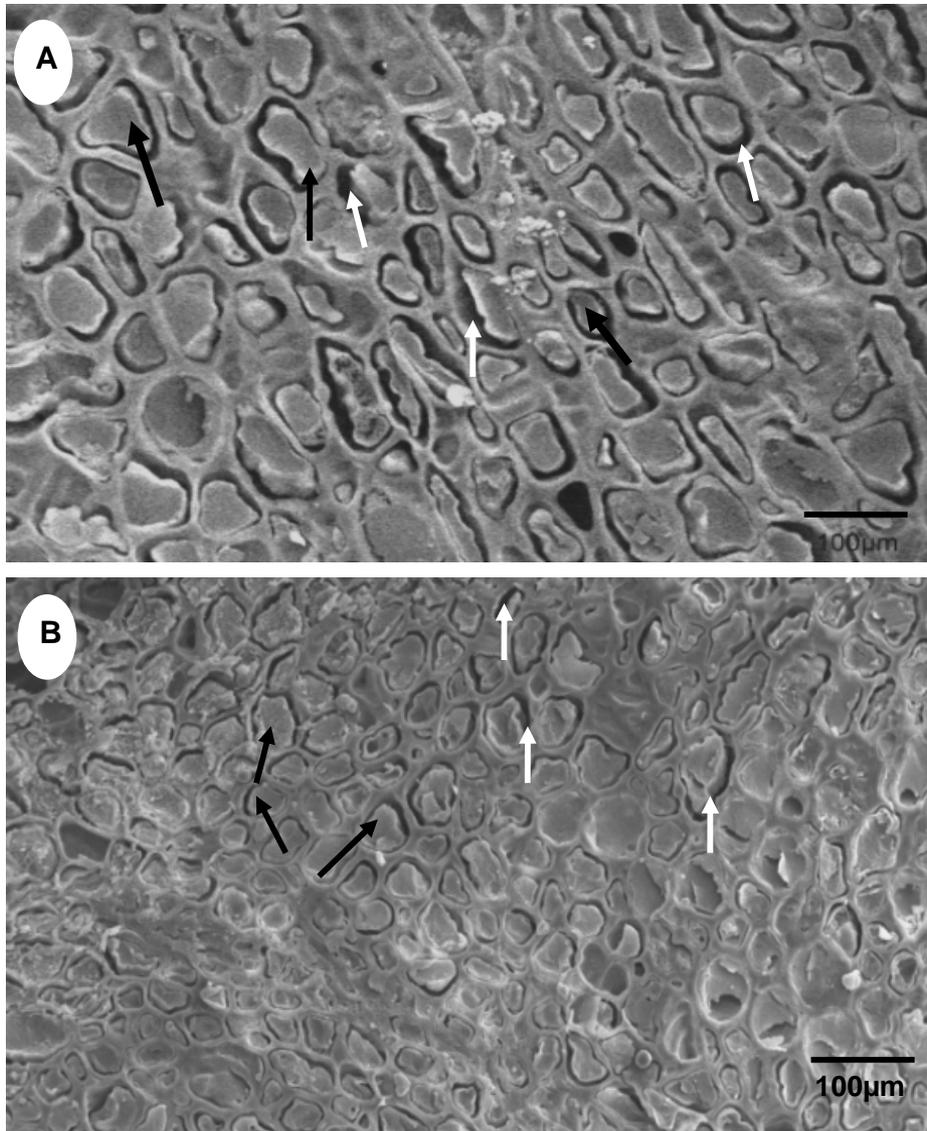


FIGURA 16 Eletromicrografia de varredura do endosperma de grãos durante a secagem à temperatura de 40°C, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 20% (b.u.), (setas escuras) citoplasma contraído, (setas claras) lúmen celular.

O resultado da análise ultra-estrutural do endosperma dos cafés despulpado e natural durante a secagem em terreiro foi semelhante aos cafés durante a secagem mecanicamente à temperatura de 40°C. Observou-se, nos cafés no terreiro, um aumento na contração do volume celular com a redução do teor de água, mantendo-se íntegra a parede celular com os espaços intercelulares vazios. No café despulpado (Figura 17A) e natural (Figura 17B) com teor de água 40% (b.u.), observou-se, a célula túrgida em alguns pontos e, em outros, contração do volume celular, já que ocorreu diminuição do volume do lúmen celular, porém, a contração do volume celular não é uniforme no café natural. À medida que o teor de água do café despulpado (Figura 18A e 19A) e natural (Figura 18B e 19B) é reduzido 30% e 20% (b.u.), observa-se uma retração uniforme do volume celular em ambos os cafés, mantendo o conteúdo celular intacto, bem como os espaços intercelulares vazios. Quando o café despulpado (Figura 20A) e natural (Figura 20B) apresentam teor de água 11% (b.u.), o volume celular da célula contraído, observou-se que a contração não segue as mesmas formas da secagem mecânica a 40°C, que o conteúdo interno das células apresentou-se intacto e preenchido com o material celular e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, o lúmen, assim como os espaços intercelulares apresentaram-se vazios. A diferença de contração pode ser associada a outros mecanismos devido ao longo tempo de exposição do produto para atingir o teor de água (11% b.u.). Complementando, observou-se durante a redução do teor de água, que a contração do volume celular manteve-se mais uniforme do início ao fim da secagem para o café despulpado e que para o natural com teor de água 11% (b.u.) observou-se que o material celular apresenta-se com alguns pontos em forma de gota.

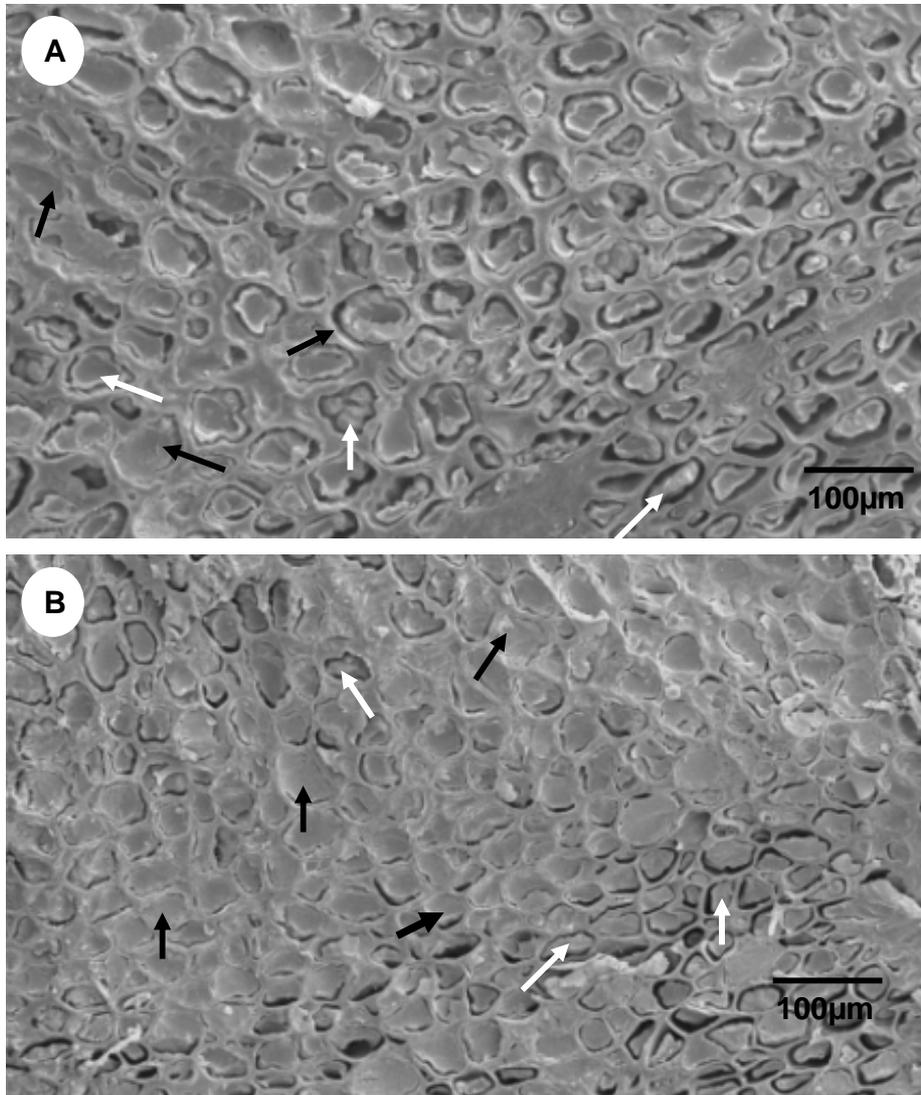


FIGURA 17 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem em terreiro, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 40% (b.u.), (setas escuras) células túrgidas, (setas claras) células contraídas.

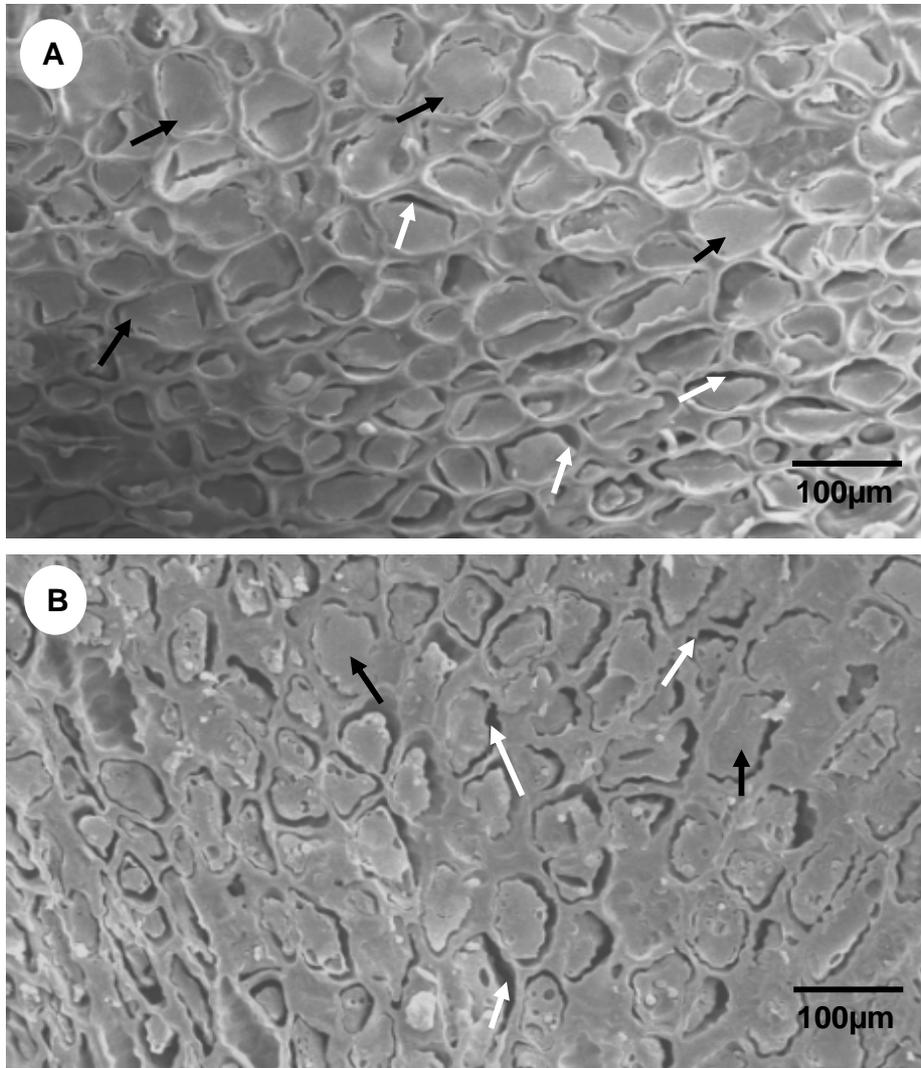


FIGURA 18 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem em terreiro, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 30% (b.u.), (setas escuras) célula túrgida (setas claras) lúmen celular.

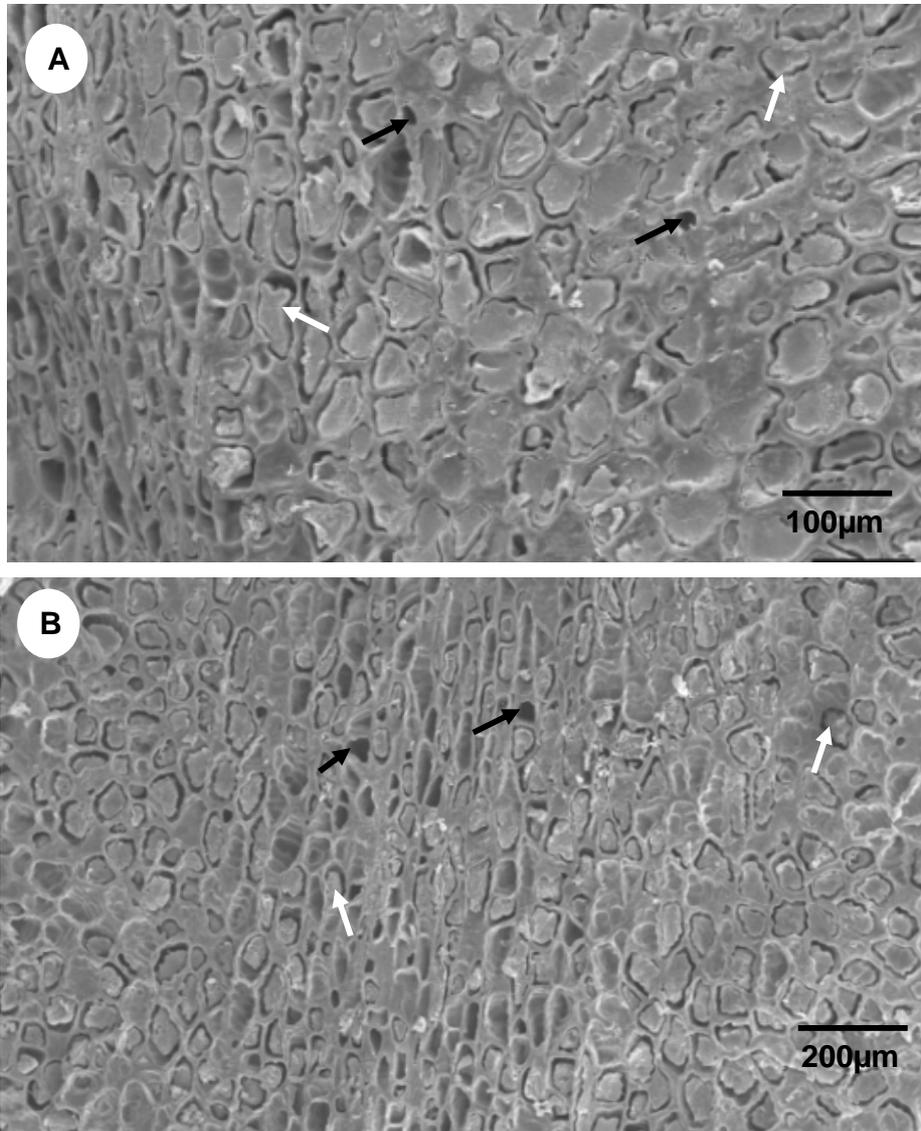


FIGURA 19 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem em terreiro, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 20% (b.u.), (setas escuras) espaços intercelulares vazios, (setas claras) citoplasma contraído.

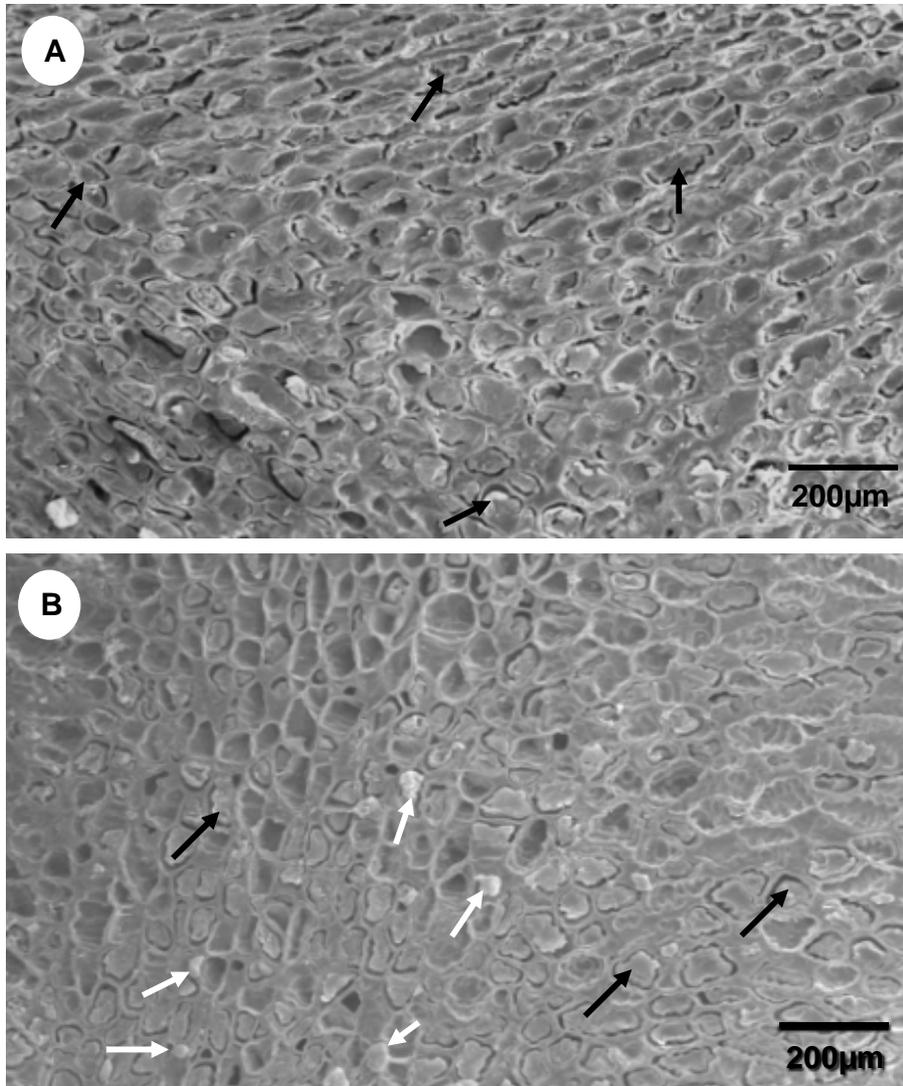


FIGURA 20 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem no terreiro de cafés com teor de água 11% (b.u.), (A) despolpado e (B) natural, (setas escuras) célula contraída, (setas claras) pontos em forma de gota.

Nas análises do endosperma com grãos de café despolpado e natural durante a secagem à temperatura de 60°C, nos teores de água do café (40%, 30%, 20%, e 11% b.u.), observou-se que o café despolpado (Figura 21A) e natural (Figura 21B) com teor de água 40% (b.u.) apresentaram contração do volume celular idêntica à dos cafés com secagem a 40°C com o mesmo teor de água. Observou-se a integridade das células, pois a contração do citoplasma celular era visível, bem como, o espaço entre a parede celular, o lúmen e os espaços intercelulares, vazios. Quando o café obteve teor de água 30% (b.u.), observou-se uma intensa retração do volume celular em ambos os cafés e desestabilização de algumas células do despolpado. No café despolpado (Figura 22A), observou-se na maioria das células, uma intensa retração do volume celular, entretanto, o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, o lúmen, além do espaço intercelular, apresentaram-se vazios, e numa minoria, a integridade da parede celular sofreu desestabilização sendo atingido o conteúdo interno das células, semipreenchendo os espaços intercelulares. Verificou-se no café natural (Figura 22B), uma intensa retração do volume celular, entretanto, até esse ponto, o conteúdo interno das células apresentou-se intacto e preenchido com o material celular e o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, o lúmen, bem como os espaços intercelulares, apresentaram-se vazios. Com esse teor de água, a retração observada assemelha-se com a dos cafés durante a secagem à temperatura 40°C com teor de água 11% (b.u.). Durante a secagem observou-se no endosperma dos cafés despolpado (Figura 23A) com teor de água 20% (b.u.) que o volume celular expandiu, como se a célula estivesse túrgida e pouco contraída, semipreenchendo o espaço intercelular, concluiu-se que houve lesão nas membranas celulares e que no volume celular, representado pelo semipreenchimento do lúmen celular, ocorreu extravasamento de parte do citoplasma, preenchendo parcialmente o espaço intercelular e, por outro lado, no natural (Figura 23B), algumas células apresentaram-se bem

contraídas e com o conteúdo celular intacto e, em outras, houve lesão na membrana celular com o espaço intercelular preenchido. Complementando, verificaram-se no natural alguns pontos salientes em forma de gota, o que, provavelmente, refere-se à concentração de óleos no perímetro interno da membrana em forma globular, como observado por Marques (2006) nos cafés pergaminho.

Quanto ao endosperma dos cafés que está com teor de água 11 % (b.u.), observou-se (Figura 24) que o conteúdo interno das células apresentou-se bem contraído 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).

Concluiu-se, com essas observações, que o processo de desidratação transcorreu em condições inadequadas afetando a integridade das células de acordo com os resultados de Marques (2006). Além disso, complementando as observações dessa autora, observou-se que à temperatura de 60°C a contração, em alguns momentos, ao longo da secagem, foi brusca, havendo alteração na integridade celular nos teores intermediários de água entre 40% e 11% (b.u.) do café despulpado e natural.

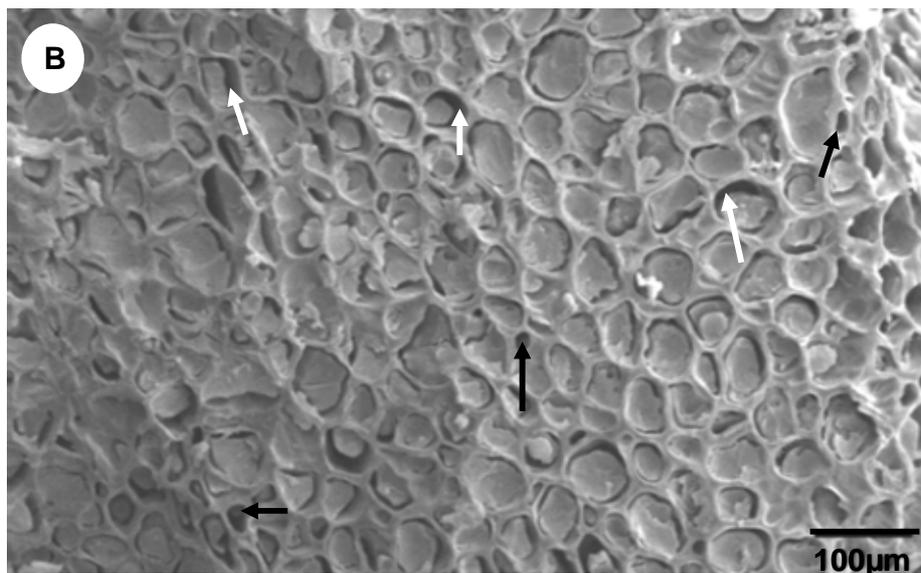
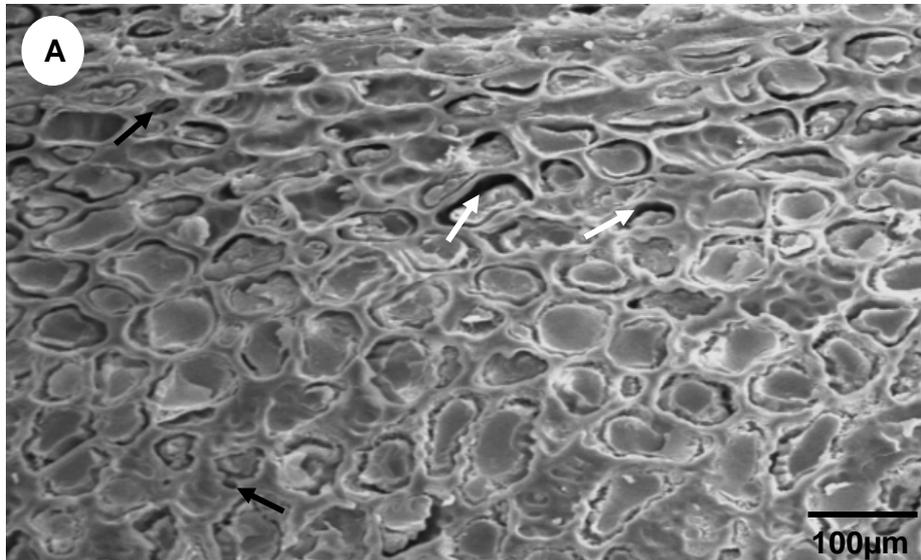


FIGURA 21 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem à temperatura de 60°C, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 40% (b.u.), (setas escuras) lúmen celular, (setas claras) espaços intercelulares vazios.

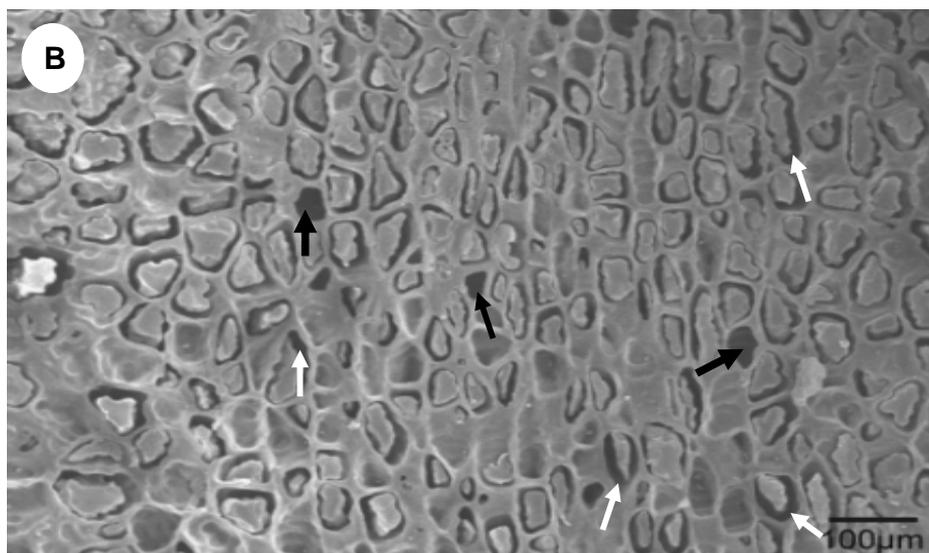
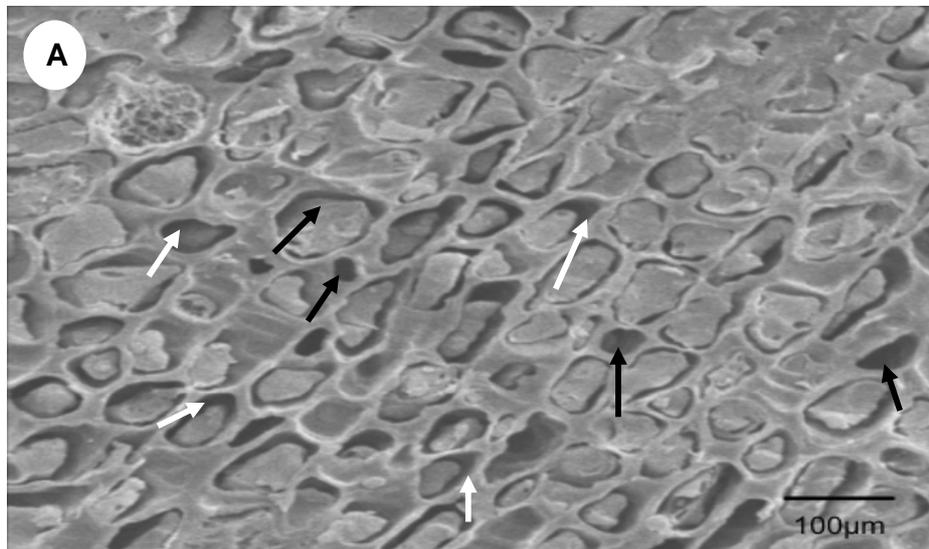


FIGURA 22 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem à temperatura de 60° C de cafés com teor de água 30% (b.u.), (A) despolpado e (B) natural, (setas escuras) espaços intercelulares vazios, (setas claras) lúmen celular.

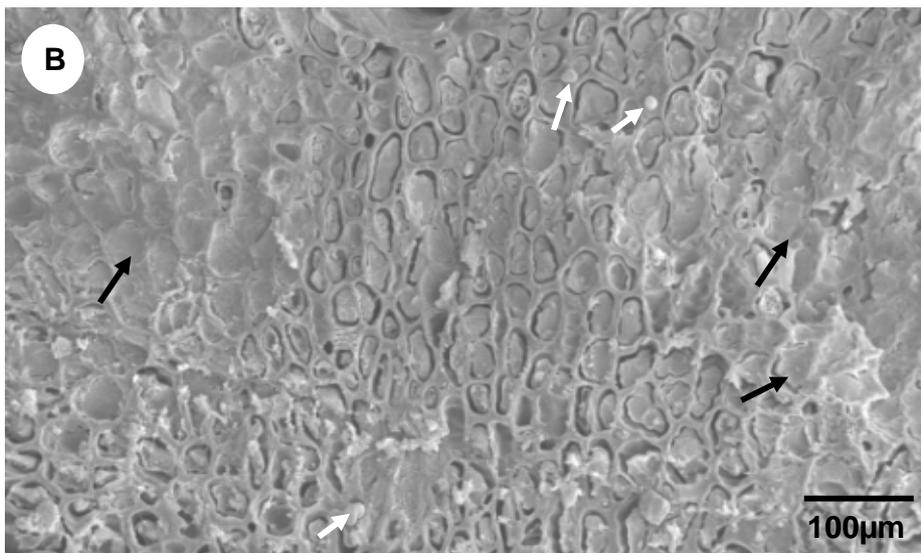
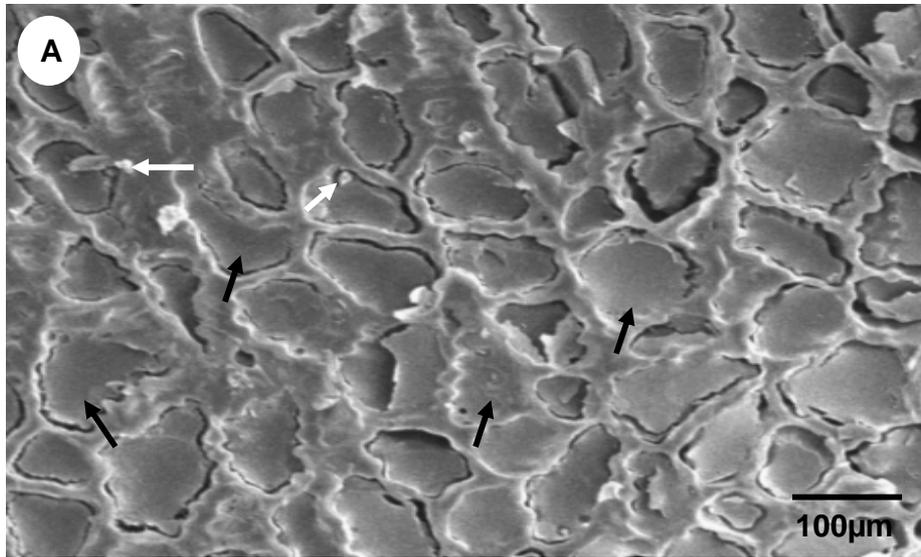


FIGURA 23 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem à temperatura de 60°C, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 20% (b.u.), (setas escuras) espaço celular preenchido, (setas claras) pontos em forma de gota.

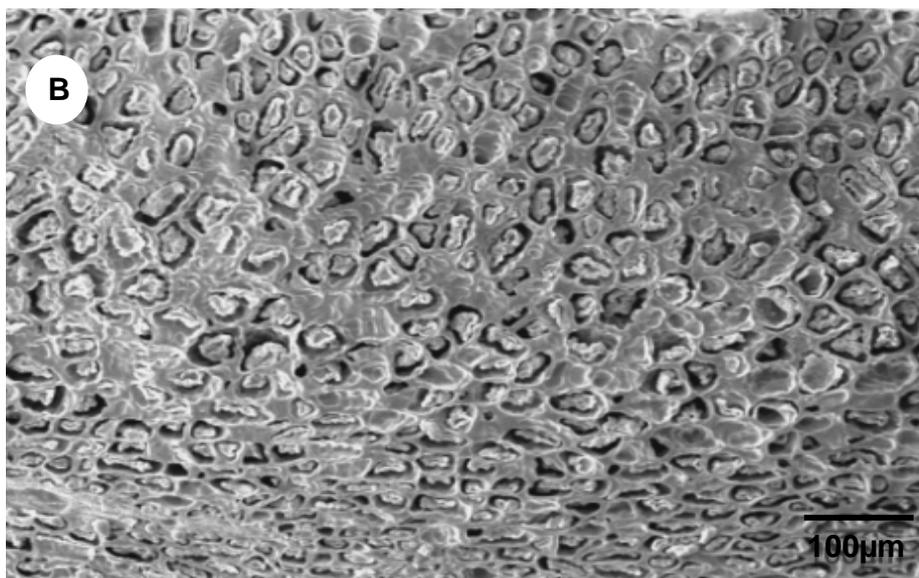
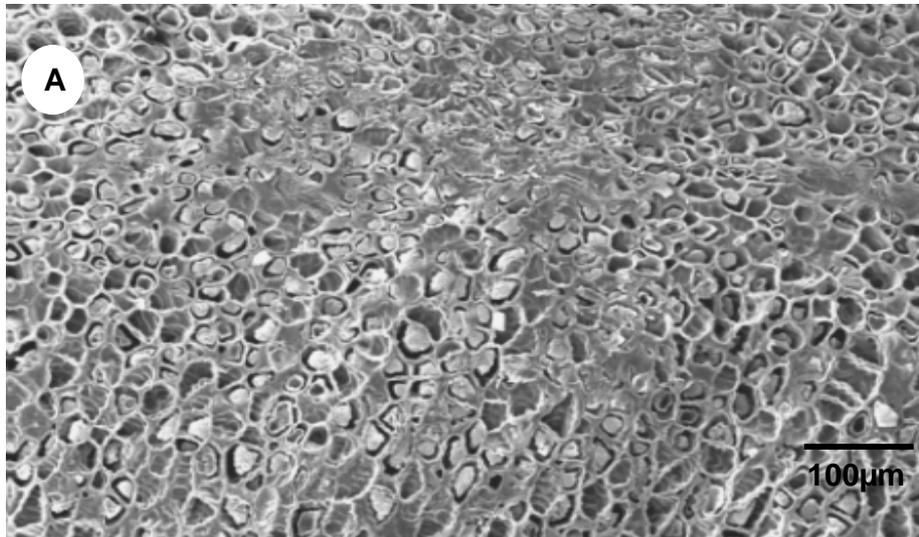


FIGURA 24 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem a 60°C, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 11% (b.u.), estrutura celular destruída.

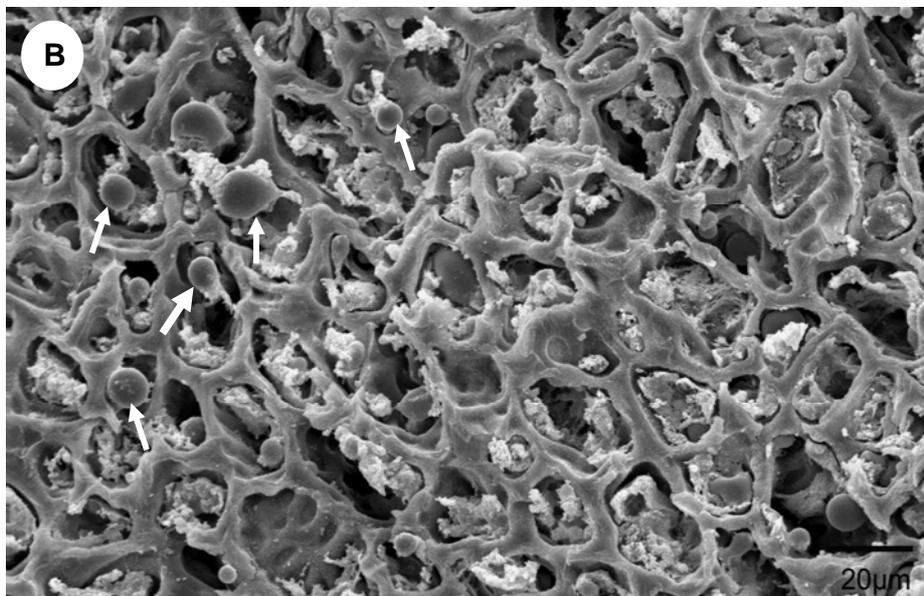


FIGURA 25 Eletromicrografia de varredura do endosperma durante a secagem a 60°C, (A) café despulpado e (B) natural com teor de água 11% (b.u.), estrutura celular destruída, (setas) gotas de óleo.

Observando-se mais de 700 imagens, concluiu-se que após a pré-secagem, a temperatura de 60°C pode ser usada, para a desidratação dos cafés despulpado e natural, entretanto, ressalta-se que o café deve estar com teor de água superior a 30% (b.u.). Durante esse período, teor de água entre 40% e 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. Entretanto, quando o teor de água foi inferior a 30% (b.u.), observou-se que a temperatura de 60°C, comprometeu à integridade celular, tanto no café natural quanto no despulpado. Segundo (Borém, 2004; Carvalho, 1994; 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 (Athié, 1998; Brooker et al., 1992; Harrington, 1972; Pabis et al., 1998) a temperatura provoca rápida e intensa secagem da superfície do grão, ocasionando endurecimento superficial, que impede a evaporação da água em seu interior. Além disso, complementando as observações desses autores, o fenômeno causa tensões no interior da célula, as quais podem comprometer a integridade de 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 et al. (2006) nas análises sensoriais.

#### **4.3 Variação da área das células do endosperma dos cafés despulpado e natural durante a secagem em terreiro e à temperatura de 40°C e 60°C**

Os resultados da variação média da área do citoplasma em função do teor de água são apresentados na Figura 23.

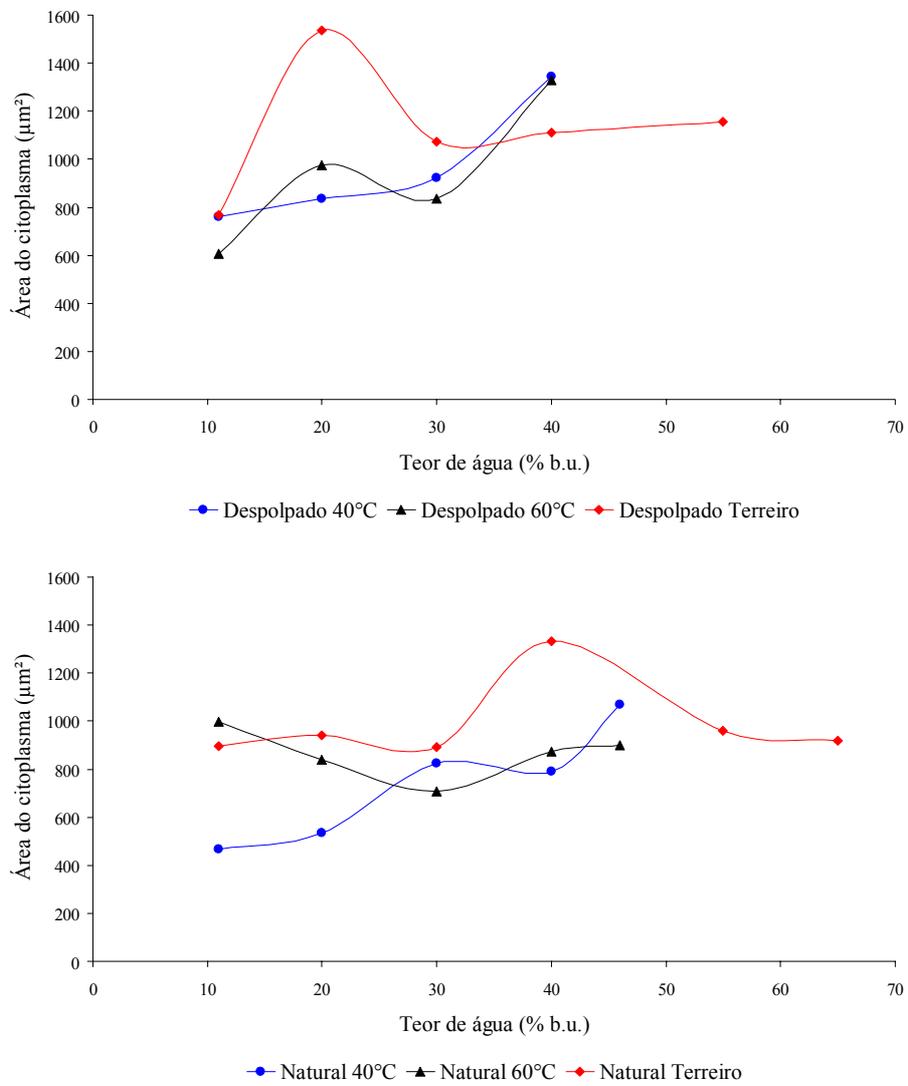


FIGURA 23 Variações médias do citoplasma em função do teor de água durante secagem dos cafês despolpado e natural

Observou-se, na Figura 23, que as variações na área das células do endosperma do café dependem do tipo de processamento usado e das condições de secagem.

Nos cafés despulpados submetidos à secagem a 40 e 60°C, verificou-se uma intensa redução na área celular até o teor de água de 30% (b.u.). Pela ausência do epicarpo e da mucilagem, barreira natural dos frutos do café à remoção da água, pode-se explicar esse fato. No entanto, considerando esse valor, o padrão de variação difere entre as temperaturas usadas, observando-se que, para a temperatura de 40°C, a contração celular é gradativa, ao passo que para a temperatura de 60°C, ocorre expansão da área celular entre os teores de água de 30% - 20% (b.u.), voltando a contrair-se até o teor de água de 11% (b.u.) ser atingido. Essas observações podem ser interpretadas como um indicativo de que a integridade celular foi mantida na secagem com temperatura de 40°C e comprometida com a secagem com temperatura de 60°C. Na secagem do café despulpado no terreiro, observou-se um padrão similar à secagem a 60°C, diferenciando-se, no entanto, na intensidade em que o fenômeno ocorreu na fase inicial da desidratação quando o teor de água é superior a 30% (b.u.). Esse fato, a princípio, mostrou-se contraditório, considerando que a secagem em terreiro ocorreu com temperatura ambiente em torno de 24°C. Entretanto, nessas observações, não se está considerando o tempo necessário para ocorrerem as variações descritas. Acredita-se que, ao se analisar a contração da área celular ao longo do tempo de secagem, novas informações poderão ser obtidas auxiliando, assim, a interpretação dos resultados apresentados.

Durante a secagem do café natural a 40°C, observou-se que o citoplasma contraiu-se gradativamente, com pequenas oscilações na área até atingir o teor de água de 11% (b.u.). Por outro lado, na secagem a 60°C, o citoplasma contraiu-se de forma gradual até o teor de água 30% (b.u.), expandindo-se, em seguida, até atingir o teor de água de 11% (b.u.). Na secagem do café natural em

terreiro, verificou-se um padrão de variação na área celular similar ao observado no café despolpado. Porém, a expansão da área celular do café natural ocorreu a partir de 50% de teor de água, ao passo que no despolpado essa expansão ocorreu mais tardiamente. Acredita-se que no fruto intacto, devido ao epicarpo e à mucilagem ocorreu certa resistência à remoção da água na fase inicial e, na ausência dessas à remoção do líquido pode-se explicar porque a evaporação da água, nessa fase, não encontra resistência. Na fase final, a água está fortemente ligada e exigindo mais energia para ser retirada, em ambos os cafés, porém, no natural, a barreira natural protege as células, dando tempo para a água que está no interior da célula migrar para a periferia dessa célula. Com esse fenômeno, supõe-se explicar essa diferença.

Os resultados da variação média da razão citoplasmática/lúmen em função do tempo de secagem são apresentados na Figura 24

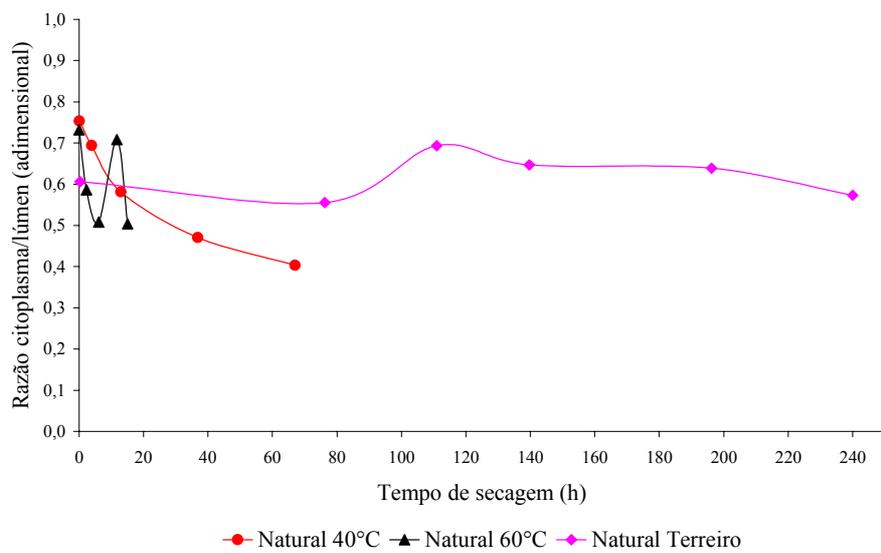
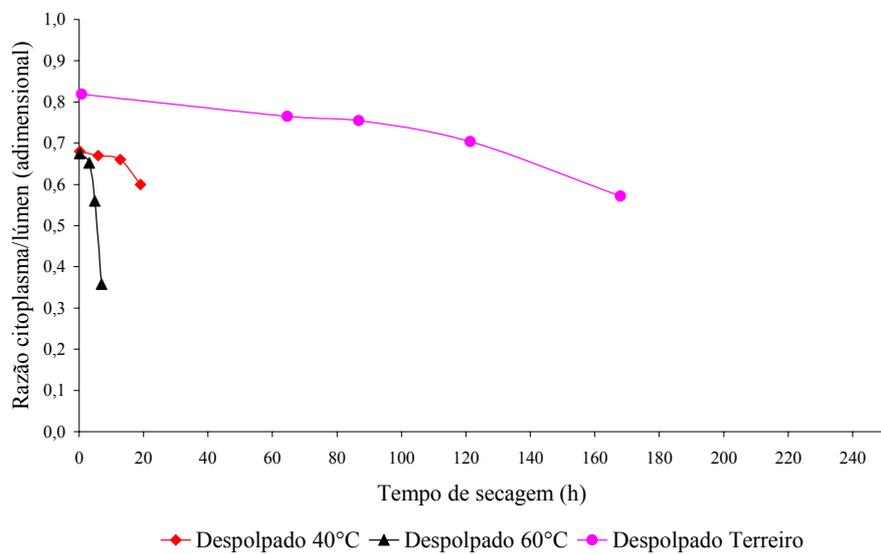


FIGURA 24 Razão da variação média de área citoplasma/lúmen durante a secagem dos cafês despolpado e natural.

Observou-se, na Figura 24, que a variação da área do citoplasma, em relação à área do lúmen das células do endosperma do café, depende do tipo de processamento usado e das condições de secagem. Observou-se semelhança no padrão de variação dos cafés despulpado durante a secagem a 40°C e 60°C e em terreiro. Apesar de se ter observado o mesmo padrão para todos os métodos de secagem, a intensidade em que ocorre a contração relativa é variável sendo maior na secagem a 60°C. Essa rápida redução pode comprometer a integridade da membrana citoplasmática, resultando no extravasamento do citoplasma. Por outro lado, na secagem em terreiro, a variação é lenta e gradual. Nesse caso, a integridade citoplasmática não é alterada. Complementando, talvez essa seja uma das razões de esse café superar os demais na qualidade da bebida, conforme os resultados sensoriais obtidos por Coradi (2006). Para o café natural nos mesmos processos de secagem, observaram-se divergências no padrão de variação da CCR dos cafés. Na secagem a 40°C, foram observadas variações contínuas e gradativas. Nesse caso, verificou-se que a integridade da membrana plasmática foi mantida. No entanto, na secagem a 60°C, a contração celular relativa oscilou, ocorrendo uma contração gradual até o teor de água 30% (b.u.), seguida de uma expansão até o teor de água 20% (b.u.), contraindo-se novamente até atingir o teor de água de 11% (b.u.). Essas oscilações podem estar relacionadas com o comprometimento da integridade da membrana citoplasmática. Na secagem em terreiro, observou-se que a contração celular relativa foi lenta e gradativa, com pequenas oscilações, até atingir o teor de água de 11% (b.u.), ocorrendo evaporação da água lentamente, sem aparente comprometimento da estrutura celular. Deve-se lembrar que, em decorrência do elevado período de secagem, o café ficou exposto à interferência de agentes externos os quais podem trazer conseqüências negativas à qualidade. Essa suposição foi reforçada pelos resultados obtidos por Coradi (2006) que relata, nas análises sensoriais, bebidas inferiores para o café natural comparativamente

ao café despulpado. Com base nessas observações, verificou-se que o processo de secagem a 60°C é inadequado para os cafés, sendo mais prejudicial ao café natural.

Os resultados da taxa de contração celular durante a secagem dos cafés despulpado e natural são apresentados na Figura 25.

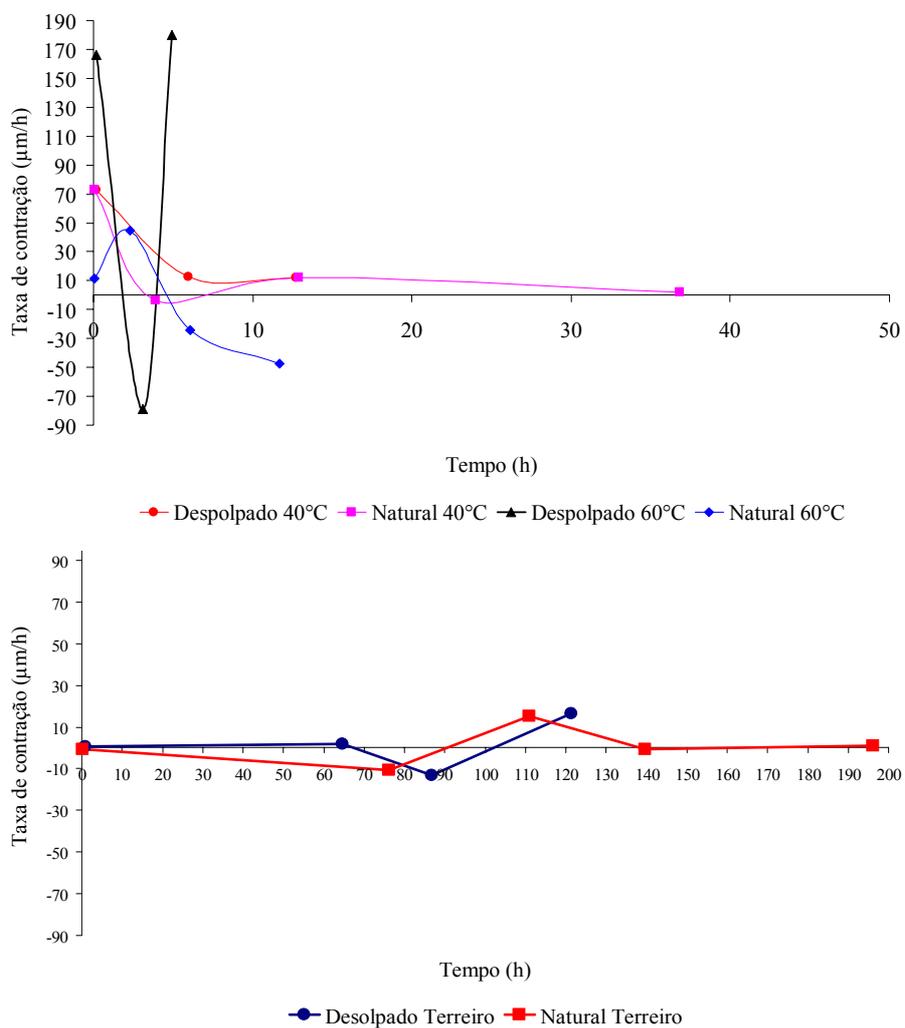


FIGURA 25 Taxa de contração celular durante a secagem dos cafés despulpado e natural.

Na Figura 25, observou-se que a taxa de contração celular depende do tipo de processamento usado e das condições de secagem. Observou-se para o café despolpado e natural, na secagem a 60°C, a maior taxa de contração celular na fase intermediária, de -78,56  $\mu\text{m/h}$  a 180,06  $\mu\text{m/h}$  e de 44,79  $\mu\text{m/h}$  a -24,00  $\mu\text{m/h}$ , respectivamente. Na secagem a 40°C, a maior taxa de contração celular, ocorreu no início da secagem, tendo variação de 73,00  $\mu\text{m/h}$  a 11,96 $\mu\text{m/h}$  e de 72,91  $\mu\text{m/h}$  a -3,60 $\mu\text{m/h}$ , respectivamente. Por outro lado, na secagem em terreiro, a maior taxa de contração celular do despolpado ocorreu a partir do momento que o teor de água no café foi inferior a 30% (b.u.) sendo de -13,32  $\mu\text{m/h}$  a 16,22  $\mu\text{m/h}$ ; no café natural a maior taxa de contração celular ocorreu entre os teores de água 40% - 30% (b.u.) de -10,77 $\mu\text{m/h}$  a 15,30  $\mu\text{m/h}$ .

Para os frutos de café despolpado e natural, observou-se na secagem a 40°C, com redução gradual do teor de água de 40% a 11% (b.u.), que na fase inicial da secagem ocorreu a maior taxa de variação do citoplasma, bem como contração celular, à medida que o teor de água foi decrescendo, observou-se uma lenta expansão celular no café despolpado, a expansão inicia quando o teor de água na celular encontrou-se a 20% (b.u.) e o fenômeno ocorreu até a secagem ser interrompida e, no natural observou-se, a expansão quando o teor de água foi 30% (b.u.), seguida, de leve contração, nos teores de água de 20% a 11% (b.u.), quando o fruto do cafeeiro estava com teor de água em torno de 11% (b.u.), o processo de secagem foi interrompido, em ambos os cafés. Na secagem a 60°C, para o café despolpado, na fase inicial observou-se elevada taxa de variação, nessa fase ocorreu contração e expansão celular. Observou-se, a contração, durante a taxa de variação positiva e, na taxa de variação negativa, observou-se expansão. Pôde-se observar expansão e contração tanto na fase inicial quanto na final da secagem, porém, a taxa de variação do citoplasma foi maior quando o teor de água foi inferior a 20% (b.u.), com base nos dados do gráfico, nesse período, ocorreu expansão celular, considerando-se, a taxa de variação na faixa

negativa e, contrações celulares, considerando-se, a positiva. Entretanto, na secagem do café natural, observou-se expansão celular quando o teor de água encontrou-se entre 40% e 30% (b.u.), seguida de contração celular, faixa no gráfico mostra-se positiva, voltando a expandir, até atingir, o teor de água em torno de 11% (b.u.). Por outro lado, na secagem dos frutos de café em terreiro, a taxa de variação do citoplasma, no início, praticamente, foi constante para ambos os cafês, nessa fase, ocorreu uma leve contração celular, no café despulpado e, no natural, uma leve expansão celular. Esse fenômeno, observou-se no gráfico, na faixa que o fruto de café apresentou-se com teor de água superior a 30% (b.u.), contudo, para o café despulpado, a taxa de variação do citoplasma foi maior, da fase intermediária ao fim da secagem, nos teores de água inferiores a 30% (b.u.), período no qual ocorreu expansão celular, graficamente, representada na faixa negativa e, ocorreu contração celular, na positiva. No café natural, a taxa de variação foi maior na fase intermediária do processo de secagem, nos teores de água entre 40% e 30% (b.u.), nesse período, observou-se, no gráfico uma expansão celular (área negativa), seguida de contração celular (área positiva), até o fim da secagem, quando o café atingiu teor de água em torno de 11% (b.u.).

Os resultados corroboram com as observações nas variações na área das células e nas da área do citoplasma e, em relação à área do lúmen das células do endosperma do fruto de café, anteriormente descritas. Relacionando esses valores com a qualidade do café confirmaram-se os resultados das análises sensoriais obtidos por Coradi (2006), nas quais, essa qualidade é alterada em função do processamento e da temperatura de secagem, que interfere com maior intensidade nessa etapa. Além disso, complementando as observações desse autor, observa-se que a perda ou alteração da qualidade ocorre ao longo da secagem à temperatura de 60°C, tanto do café despulpado quanto do natural quando o teor de água é inferior a 30% (b.u.).

## **5 CONCLUSÕES**

- Nos estudos ultra-estruturais de microscopias eletrônicas de varredura, verificou-se que o endosperma de café natural e despulpado, durante a secagem à temperatura de 40°C e em terreiro, manteve as estruturas ultra-estruturais com integridade das membranas celulares e espaços intercelulares vazios.
- Nos cafés durante a secagem à temperatura de 60°C, interferiu-se na integridade da estrutura celular, comprometendo as membranas celulares, observando na célula, o preenchimento do conteúdo celular, juntamente, com a perda da plasticidade da parede celular. As membranas se mantiveram íntegras até a célula do endosperma dos grãos de café atingir o teor de água de 30% b.u. Identificou-se, o comprometimento da estrutura celular das células do endosperma nos teores de água entre 30% e 20% b.u.
- Nos estudos das medições, verificou-se que, a variação na área das células do endosperma do café depende do tipo de processamento usado e das condições de secagem.
- O citoplasma, no decorrer da secagem, sofreu contração e expansão, fenômeno que pode comprometer a membrana celular na temperatura de 60°C, estando a célula do endosperma com teor de água inferior a 30% (b.u.).
- A maior taxa de variação da área do citoplasma foi na secagem à temperatura de 60°C, na fase intermediária, na qual o teor de água encontrou-se entre 30% e 20% (b.u.), observando-se o comprometimento da estrutura celular nessa fase.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos ultra-estruturais devem ser intensificados e trabalhos que envolvam medições para se conhecer a área celular devem receber atenção especial dos pesquisadores para validar a metodologia deste trabalho, pois ajudam a compreender os fenômenos internos dessa área.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** 2001. 384 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; SILVA, F. S. da Contribuição das etapas do pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 29, n. 8, p. 6-53, 2004. Edição Especial.

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.** St. Paul, 1995. v. 1, paginação irregular.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade.** 1978. 85 p. Tese (Livre Docência em Bioquímica) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

AMORIM, H. V.; CRUZ, A. R.; DIAS, R. M.; GUTIERREZ, S. E.; TEIXEIRA, A. A.; MELLO, M.; OLIVEIRA, G. D. de Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p. 15-18.

ARCILA-PULGARIN, J. Influência de la temperatura de secado em la germinacion de lãs semillas de café. **Cenicafé**, Caldas, v. 27, n.2, p. 89 -91. apr./jun. 1976.

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

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

BASAVARAJAPPA, B. S.; SHETTY, H. S.; PRAKASH, H. S. Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated ageing of maize seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 19, n. 2, p. 279-286, 1990.

BATISTA, L. R.; CHALFOUN, S. M.; PRADO, G. Isolados de fungos ocratoxigênicos da secção Circundati (Grupo *Aspergillus ochraceus*) associados a grãos de café verdes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG). **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2 v, p. 270-272.

BEGAZO, J. C. E. O. **Colheita e processamento do café**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1979. (Boletim de Extensão).

BICUDO, L.P. Para fazer café fino não é indispensável gastar muito. **Lavoura e Criação**, São Paulo, n.155, p.17-20, 1962.

BORÉM, F. M. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.). híbrido AG-303**. 1992. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SATH, R. Qualidade do café natural e despolpado após a secagem e durante o armazenamento: Variações nos teores de açúcares totais e redutores. 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 35., 2006, Poços de Caldas - MG. **Anais...** Poços de Caldas, 2006. p. 145-146.

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SATH, R.; REINATO, C. H. Avaliação sensorial dos cafés natural e despolpado submetidos a diferentes tipos de secagem e armazenados a 60% de umidade relativa 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 35., 2006, Poços de Caldas - MG. **Anais...** Poços de Caldas, 2006a. p. 154-155

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Alterações na bebida do café despolpado secado em terreiro de concreto, lama asfáltica, terra, leite suspenso e em secadores rotativos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003a. p. 155.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Caracterização dos gradientes de temperatura e umidade do café nos sentidos radial e longitudinal

em secadores rotativos. In: IMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003b. p. 162.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; SILVA, P. J.; FARIA, L. F. Processamento do café verde descascado II: secagem e qualidade. **Coffea** - Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira, Varginha, v. 1, n. 4, p. 16-18, nov./dez. 2004.

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

BRANDÃO JUNIOR, D. da S. **Marcadores da tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro**. 2000. 144 p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BRANDO, C. H. J. Cereja descascado, desmucilado, fermentado, despulpado ou lavado In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1999. p. 342-346.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Departamento Nacional de Defesa Vegetal, 1992. 365 p.

BRENAC, P.; HORBOWICZ, M.; DOWNER, S. M.; DICKERMAN, A. M.; SMITH, M. E.; OBERNDORF, R. L. Raffinose accumulation related to desiccation tolerance during maize (*Zea mays L.*) seed development and maturation. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 150, n. 4, p. 481-488, Mar. 1997.

BRETT, C. T.; WALDRON, K. W. **Physiology and Biochemistry of Plant cell walls**. 2.ed. London: Chapman and Hall, 1996.

BRISSON, L. E.; TENHAKEN, R.; LAMB, C. Function of oxidative cross-linking of cell wall structural proteins in plant disease resistance. **Plant Cell**, Rockville, v. 6, n. 12, 1703-1712, Dec. 1994.

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

BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; SCHIEBERLE, P.; TEUTSCH, I.; SELMAR, D. Influence of processing on the generation of  $\alpha$ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, London, v. 220, p. 245-250, 2005.

BYTOF, G.; SELMAR, D.; SCHIEBERLE, P. New aspects of coffee processing: How do the different post harvest treatments influence the formation of potential flavour precursors? **Journal of Applied Botany**, Berlin, v. 74, n. 3/4, p. 131-136, Sept. 2000.

CAMPA, C.; BLLESTER, J. F.; DOULBEAU, S.; DUSSERT, S.; HAMON, S.; NOIROT, M. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, Oxford, v.88, n. 1, p.39-43, Nov. 2004.

CARPITA, N. C. Structure and biogenesis of the cell walls of grasses. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 47, 455-176, 1996.

CARPITA, N. C.; McCANN, M. The cell wall. In: BUCHAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Ed.). **Biochemistry, and molecular Biology of Plants**. Rockville, MD: American Society of Plant Biologists, 2004. p. 52-108.

CARVALHO, A. A secagem do café em terreiro. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 31, n. 353, p. 34-35, jul. 1956.

CARVALHO, N. M. de. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165 p.

CASTRO, L. H. **Efeito do despulpamento, em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 1991. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CHABRILLANGE, N.; DUSSERT, S.; ENGELMANN, F.; DOULBEAU, S. Desiccation tolerance in relation to soluble sugar contents in seeds of ten coffee (*Coffea* L.) species. **Seed Science Research**, Wallington, v. 10, n. 3, p. 393-396, Sept. 2000.

CHEDIAK, M. P. **Processamento de café por via úmida: uma alternativa para produção de cafés especiais**, 2003. 45f. Trabalho (Graduação) – Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, 2003.

CICERO, S. M.; JUNIOR, H. L. B. Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 25, n. 1, p.29-36, 2003.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea**. Elsevier Science Publischer, 1985. v.1. 306 p.

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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2005/2006 e 2006/2007. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: jan. 2007.

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, MG.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; SATH, R. OLIVEIRA, E. Efeito dos diferentes tipos de secagem e armazenamento na cor dos grãos de café natural e despulpado armazenados a 60% de umidade relativa. 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas - MG. **Anais...** Poços de Caldas, 2006. p. 153-154.

CORBINEAU, F.; PICARD, M. A.; FOUGEREUX, J. A.; LADONNE, F.; CÔME, D. Effects of dehydration conditions on desiccation tolerance of developing pea seeds as related to oligosaccharide content and cell membrane properties. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 10, n. 3, p. 29-339, Sept. 2000.

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

CÔRREA, P. C.; HARA, T.; SIMÃO JÚNIOR, R. Análise da secagem de café em leito fixo, para temperaturas de ar a 40, 50 e 60°C. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 4, n. 7, p. 1-6, 1994.

CORTEZ, J.G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café.** Tese (Doutorado) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba ., 2001. 71p.

CORTEZ, J. G.; BARROS, U. V.; BARBOSA, C. M.; TOLEDO, J. J. B. Sistemas de colheita e processamento do “Café da montanha” no leste mineiro e suas influências sobre a bebida e industrialização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Anais...** Manhuaçu: IBC, 1997. p. 144-148.

COSGROVE, D. J. Loosening of plant cell walls by expansins. **Nature**, London, v. 407, n. 6802, p. 321-326, Sept. 2000.

COSGROVE, D. J. Relaxation in a high-stress environment: The molecular bases of extensible cell walls and cell enlargement. 1997. **Plant Cell**, Rockville, v. 9, n. 7, p. 1031-1041, July 1997

CROWE, J. H.; CROWE, L. M. Differential desiccation sensitivity of corn an Pennisetum pollen linked to their sucrose contents. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 83-91, Jan. 1989.

DE PAULA, M.; DARDER, M.; TORRES, M.; MARTÍNEZ-HONDUVILLA, C. J. Electrical conductivity changes in deteriorated sunflower seeds. **Acta Horticulture**, Wageningen, v. 362, p. 273-279, 1994.

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

FRANCA, A. S.; MENDONÇA, J. C. F.; OLIVEIRA, S. S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT**, Amsterdam, v.38, n. 7, p.709-715, Aug. 2004.

FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C. Seed production and technology for the tropics. In: **Tropical ropical soybean – improvement and production.** EMBRAPA–CNPSO ; Rome: FAO, 1994. p.217- 240. (Plant Production and Protection Series No. 27).

GIRANDA, R. do N. **Aspectos qualitativos de cafés (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes processos de secagem.** 1998. 83 p. Dissertação

(Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOULART, P. de. F. P. **Purificação da polifenol oxidase e avaliação de métodos bioquímicos para aferir a qualidade da bebida do café.** 2002. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

GUIDA, V. F. A. **Influência da temperatura, fluxo do ar e altura da camada de grãos na secagem de café (*coffea arábica* L.) despulpado em secador experimental de camada fixa.** 1994. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

GUIMARÃES, R. M. **Fisiologia de sementes.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 129 p. (Curso de especialização pós-graduação “Latu Sensu”).

GUIMARÃES, R. M. **Tolerância à dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2000. 180 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, R. M.; VIEIRA, M. G. G. C.; FRAGA, A. C.; PINHO, E. V. R. V.; FERRAZ, V. P. Tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 128-139, jan./fev. 2002.

GUPTA, R. K.; DAS, S. K. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. **Journal of Food Engineering**, Dublin, v.46, n.1, p.1-8, Oct. 2000.

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

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

HASHIZUME, H. Estudo comparativo de principais tipos de terreno pavimentado para secagem de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu, MG. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1985. p. 95-97.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 6, n. 9, p. 431-438, Sept. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ-GERCA. **Cultura de café no Brasil: processamento, classificação e armazenamento do café.** 5.ed. Rio de Janeiro: IBC GERCA, 1985. p. 423-461.

JOHN, M.; RÖHRIG, H.; SCHMIDT, J.; WALDEN, R.; SCHELL, J. Cell signaling by oligosaccharides. **Trends Plant Science**, London, v. 2, p. 111-115, 1997.

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

KREYGER, J. Practical observations on the drying of seed. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 3, p. 645-70, 1973.

KUO, T. M.; VANMIDDLESWORTH, J. F.; WOLF, W. J. Content of raffinose oligosaccharides and sucrose in various plant seeds. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 36, n. 1, p. 32-36, Jan./Feb. 1988.

LACERDA FILHO, A. F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade de café (*Coffea arabica* L.).** 1986. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LASSERAH, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 17-46, 1979.

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

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 4, p. 231-246, Dec. 1993.

LEPRINCE, O.; WERF, A. van der.; DELTOUR, R.; LAMBERS, H. Respiratory pathways in germinating maize radicles correlated with desiccation tolerance and soluble sugars. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 84, n. 4, p. 581-588, Apr. 1992.

LIN, S. S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica do solutos celulares e qualidade fisiológica da semente de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Viçosa, v. 10, n. 1/2, p. 59-67, 1988.

MAIER, H. G. Kaffee. **Grundlagen and Fortschritte der Lebensmitteluntersuchung and Lebensmitteltechnologie**. Berlin, Hamburg, v.18, gen./avr. 1981.

MAIER, H. G. Les acides du café. **Café Cacao Thé**, Paris, v.31, n.1, p.49-57, 1987.

MALTA, M. R.; Chagas, S. J. R.; Oliveira, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, Especial Café (6): 37-41, 2003.

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

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

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; SAATH, R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio de grãos de café cereja descascado submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas - MG. **Anais...** Poços de Caldas, 2006. p. 261.

McLOY, J. F. Mechanical drying of arabica coffee. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 44, n. 516, p. 13-26, 1979.

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, MG.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1978. 742 p.

MORAES, M. L. P.; LUCHESE, R. H. Ochratoxin A on green coffee: influence of harvest and drying processing procedures. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 51, n. 19, p. 5824-5828, Sept. 2003.

NELSON, N. A photometric adaptation of somogy method for the determination of glucosa. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, n. 1, p. 375-384, July 1994.

NEYA, O.; GOLOVINA, E. A.; NIJASSE, J.; HOEKSTRA, F. A. Ageing increases the sensitivity of neem (*Azadirachta indica*) seeds to imbibitional stress. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 14, n. 2, p. 205-217, June 2004.

OBANDO-FLOR, E. P.; CARVALHO, M. L.; COSTA, P. S. C. Utilização dos raios-X na avaliação da qualidade fisiológica em sementes de melão (*Cucumis melo*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 12., 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRATES, 2001. p.57.

OBANDO-FLOR, E. P.; CÍCERO, S. M.; FRANÇA NETO, J. de; BARROS, KRZYZANOWSKI, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 68-76, 2004.

OCTAVIANI, J. C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liquefeito de petróleo**. 2000. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

OLIVEIRA, G. A. de. **Qualidade dos cafés cereja, bóia e mistura submetidos a diferentes períodos de amontoamento e tipos de secagem**. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, G.A.; VILELA, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; ANDRADE, E. T. Efeito de diferentes graus de maturação do café (*Coffea arabica L.*) e diferentes temperaturas de secagem na qualidade. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, ES: IBC, 2001, p. 864-871.

OSÓRIO, A. G. S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café.** 1982. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OTTE, O.; BARZ, W. The elicitor-induced oxidative burst in cultured chickpea cells the rapid insolubilization of two cell wall structural proteins. **Planta**, Berlin, v. 200, n. 2, p. 238-246, Oct. 1996.

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

PAMMENTER, N. W.; GREGGAINS, V.; KIOKO, J. I.; WESLEY-SMITH, J.; BERJAK, P.; FINCH-SAVAGE, W. E. Effects a differential drying rates on viability retention of recalcitrant seeds of ekeberger capensis. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 8, n. 4, p. 463-471, Dec. 1998.

PARIZZI, F. C. **Incidência de fungos da pré-colheita ao armazenamento de café.** 2005. 70 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEREIRA, R. G. F. A.; VILLELA, T. C.; ANDRADE, E. T. de. Composição química de grãos de cafês (*Coffea arabica L.*), submetidos a diferentes tipos de pré processamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 826-831.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e polifenóis em café (*Coffea arabica L.*), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 23-30, 2000. Especial.

PINTO, F. de A. de C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrentes/ concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea***

*arabica L.*). 1993. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PINTO, N. A. V. D.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; CARVALHO, V. D. de. Efeito da polifenoloxidase, lixiviação de potássio e condutividade elétrica nos grãos crus em diferentes padrões de bebida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2000, Marília. **Anais...** Marília, 2000. v. 26, p. 330-331.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.

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

QUEIROZ, D. M. ; PEREIRA, J. A. M. ; MELO, CASTRO, E. Determinação de vazões mínimas de ar para secagem de milho em baixas temperaturas na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 11/12, n. 7, p. 31-36, 1987.

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

REDGWELL, R. J.; TROVATO, V.; CURTI, D.; FISCHER, M. Effect of roasting on degradation and structural features of polysaccharides in Arabica coffee beans. **Carbohydrate Research**, Oxford, v. 337, n. 5, p. 421-431, Mar. 2002.

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, MG.

REINATO, C. H. R. **Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

REINATO, C. H. R. Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial, n. 7, p. 3-13, 2003.

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; CARVALHO, F. de M.; PEREIRA, R. G. F. A. Eficiência de secadores rotativos com diferentes pontos para o controle da temperatura do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial Café, n. 6, p. 3-9, 2003.

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; SILVA, P.; ABRAHÃO, E. J. Qualidade da bebida dos cafés descascado, cereja, bóia e roça secados em terreiros de terra e lama asfáltica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Anais.....** Guarapari, 2005. p. 314-315.

REVISTA ELETRÔNICA DO CAFÉ. **Qualidade do café**. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br>>. Informe da cultura do café. Acesso em: 12 nov. 2006.

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

RIBEIRO, D. M. C. A. **Adequação do teste de condutividade elétrica de massa e individual para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays L.*)**. 1999. 105 p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem**. 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROGERS, W. J.; MICHAUX, S.; BASTIN, M.; BUCHELI, P. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in development grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. Arabica*) coffees. **Plant Science**, London, v. 149, n. 2, p. 115-123, Dec. 1999.

ROSE, J. K.C.; BENNETT, A. B. Cooperative disassembly of the cellulose-xyloglucan network of plant cell walls: Parellels between cell expansion and fruit ripening. **Trends Plant Science**, London, v. 4, n. 5, p. 176-183, May 1999.

ROSE, J. K. C.; LEE, H. H.; BENNETT, A. B. Expression of a divergent expansion gene is fruit-specific and ripening-regulated. 1997. **Proceedings of the National Academic Science of the United States of America**, Washington, v. 94, n. 11, p. 5955-5960, May 1997.

SALAZAR, G. M. R.; RIANO, H. N. M.; ARCILA, P. J.; PONCED, C. A. Studio morfológico, anatômico y ultraestructural del fruto de café (*Coffea arabica* L.) **Cenicafé**, Caldas, v. 45, n. 3, p. 93-105, jul./sept. 1994.

SANTOS, A. C. dos; MATOS, N.; LIMA, A. R.; FONSECA, R.; CORREIA, C.; MEXIA, J. T. Estudo preliminar de terreiros para secagem de café. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 5., 1971, Lisbonne, Portugal. **Annales...** Paris, Francia: ASIC, 1971. p. 235-245.

SCHOETTLE, A. W.; LEOPOLD, A. C. Solute leakage from artificially aged soybean seeds after imbibition. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 5, p. 835-838, Sept./Oct. 1984.

SCHOPFER, P. Hydroxyl radical cell-wall loosening in vitro and in vivo: Implications for the control of elongation growth. **Plant Journal**, Oxford, v. 28, n. 5, p. 679-688, Dec. 2001.

SEEWALDT, V.; PRIESTLEY, D. A.; LEOPOLD, A. C.; FEIGENSON, G. W.; ZALDUONDO, F. G. Membrane organization in soybean seeds during hydration. **Planta**, Berlin, v. 152, n. 1, p. 19-23, 1981.

SELMAR, D.; BYTOF, G. Green Coffee is ALIVE ! A Review on the Metabolic Processes taking Place in Coffee Beans during Processing and their Implication for Modern Coffee Research. **In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ**. Montpellier: ASIC, 2006

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

SENARATNA, T.; MCKERSIE, B. D. Characterisation of solute efflux from dehydration injured soybean (*Glycine Max* L. Merr) seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 72, n. 4, p. 914 -991, Aug. 1983.

SENARATNA, T.; MCKERSIE, B. D. Loss of desiccation tolerance during seed germination: a free radical mechanism of injury. In: LEOPOLD, A. C. (Ed.). **Membranes, metabolism and dry organisms**. Ithaca: Corneill University Press, 1986. p. 85-101.

SILVA, C. G.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H. Qualidade da bebida do café (*Coffea arabica* L.) em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 45-48, 1998.

SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem do café**. Viçosa, MG: UFV Jard Editora, 2000. 162 p

SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Instituto Maria, 1995. 509 p.

SILVA, R. G. Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenados em coco com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 3, p. 10-15, Mar. 2001.

SILVA, R. F. **Qualidade do café cereja descascado produzido na região Sul de Minas Gerais**. 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology**. USA: The Avi, 1963. 598 p.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. **Coffee technology**. Westport, 1979. p. 527-575.

SODHA, M. S.; BANSAL, N. K.; KUMAR, A.; BANSAL, P. K.; MALIK, M. A. S. **Solar crop drying**. Boca Raton, CRC Press, 1987. v.1. 141p.

SOUZA, S. M. C. de. **Produção de café com qualidade**. Lavras: EPAMIG-CRSM, 2000. 4 p. (EPAMIG-CRSM. Circular técnica; n. 119).

SUÁREZ-QUEIROZ, M.; GONZÁLEZ-RIOS, O.; BAREL, M.; GUYOT, B. SCHORR-GALINDO, S.; GUIRAUD, J. -P. Study of ochratoxin A-producing strains in coffee processing. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 39, n. 5, p. 501-507, May 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Ed. Artmed, 2004. p 719

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

TEIXEIRA, A. A.; NOGUEIRA, V. S.; FALSARELLA, M. C.; BARALDI, D.; SELLSCHOP, J.; NUNES, J. B. P.; LACERDA, L. A. O.; BARCELLOS, L. C. R. de. Estudo do desempenho de secadores mecânicos e barcaças ventiladas na secagem do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8., 1980, Campos do Jordão. **Resumo...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1980. p. 262-280.

TEIXEIRA, A. A.; GÓMEZ, F. P. O defeito que mais prejudica a bebida do café. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 45, n. 1, p. 3-8, mar. 1970.

TOSELLO, A. Colheita, preparo por via seca e armazenamento de café. **Curso de cafeicultura**. São Paulo: Instituto Agrônômico, 1956. p.247-257.

URBANO, G. R.; TANIWAKI, M. H.; LEITÃO, M. F. de F.; VICENTINI, M. C. Occurrence of ochratoxin A – Producing fungi in raw Brazilian coffee. **Journal of Foods Protection**, Des Moines, v. 64, n. 8, p. 1226-1230, Aug. 2001.

VIEIRA, G. **Secagem intermitente de café em secadores de fluxo cruzado e secador experimental de camada fixa**. 1994. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VEIGA, S. D. F. da; BRANDÃO JÚNIOR, D. da S.; VON PINHO, E. V. de R.; VEIGA, A. D.; SILVA, L.; CASTRO, H. de. Effects of different drying rates on the physiological quality of Coffea canephora Pierre seeds. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 199-205, maio/ago. 2005.

VILELA R. V. Qualidade do café; Secagem e Qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 55-63. 1997.

VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas – Pós-colheita e qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas–MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, 1998. p. 219-274.

VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Pós-colheita e qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA:

armazenamento e processamento de produtos agrícolas, 2000, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 2000. p. 219-274.

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

VILLELA, F. A.; PESKE, S. T. Secagem de sementes. In: PESKE, S.; ROSENTHAL, M; ROTA G. (Ed.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** Pelotas: UFPel, 2003. p. 283-321.

WINTGENS, J. N. **Coffee: growing, processing, sustainable production.** Weinheim, 2004. 711 p.