

SÍLVIA DE CARVALHO CAMPOS

**USO DA MORFOMETRIA CELULAR NA ANÁLISE DA QUALIDADE DE
GRÃOS DE CAFÉ NAS ETAPAS DO PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA E
DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção
do título *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

SÍLVIA DE CARVALHO CAMPOS

**USO DA MORFOMETRIA CELULAR NA ANÁLISE DA QUALIDADE DE
GRÃOS DE CAFÉ NAS ETAPAS DO PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA E
DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 08 de julho de 2010.

Prof^a. Luzimar Campos da Silva
(Co-orientadora)

Dr. Paulo César Afonso Júnior

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho

Prof. Evandro de Castro Melo

Prof. Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

A Deus,

Aos meus pais, Nilo e Marinalda,

Às minhas irmãs, Juliana, Fernanda e Adriana,

À vó Tita (in memoriam) e à tia Lia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença infinita e por me permitir, ao longo de todo este doutorado, percebê-Lo ao meu lado.

Aos meus pais, minhas irmãs e tia Lia, pelo carinho e cuidados comigo, por terem entendido e suportado a ausência em tantos momentos e por estarem sempre comigo!

Ao professor Paulo Cesar Corrêa pela orientação, oportunidade, conselhos, confiança, ensinamentos.

À professora Luzimar pela co-orientação, amizade, apoio nesta marcante etapa de minha formação pessoal e profissional.

Aos professores Paulo Roberto Cecon, Evandro de Castro Melo e Adílio Flauzino de Lacerda Filho pelo auxílio e sugestões.

Ao Fernando, pelo amor, apoio e, principalmente, por todo incentivo nesta tese.

Aos “colegas de trabalho” que se tornaram grandes amigos Gabriel, Ana Paula e Bruna.

Aos amigos do laboratório Fábria, Fernanda, Aline, Mayra, Guillermo, Pedro, Davi, Rafael e Anderson pela amizade, incentivo, companheirismo e apoio na condução dos experimentos.

Aos professores e estudantes do Laboratório de Anatomia Vegetal, do Departamento de Biologia Vegetal – UFV, pela ajuda no experimento e também toda paciência comigo, principalmente, Tia Nay, Dya, Day, Vinícius, Advânio, Clébio e Karina.

Às amigas Andréia, Janaína, Fernanda, Jullyana e Michele, pela amizade “sempre e em qualquer lugar”...

Aos amigos da Capela Imaculado Coração de Maria – UFV, que desde o tempo da graduação sempre foram minha família em Viçosa, de forma especial o pessoal do Grupo de Oração Cenáculo do Senhor.

Aos tios e primos pelo incentivo e apoio.

Aos amigos do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar), pela amizade incentivo e apoio constantes.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e pela ajuda na realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso.

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

A todos que de alguma forma contribuíram para que essa importante etapa da minha vida se concretizasse.

MUITO OBRIGADA!!!!

BIOGRAFIA

SÍLVIA DE CARVALHO CAMPOS, filha de Nilo Antônio de Oliveira Campos e Marinalda de Carvalho Campos, nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, em 05 de maio de 1982.

Em fevereiro de 2000, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em janeiro de 2005. Em março deste mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, no Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, na área de Produção e Tecnologia de Sementes da Universidade Estadual do Norte Fluminense, obtendo o título de *Magister Scientiae* em Produção Vegetal, em março de 2007.

Em março de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa da tese, requisito indispensável para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*, em julho de 2010.

SUMÁRIO

NOMENCLATURA	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1 - <i>Qualidade de grãos de café armazenados oriundos de diferentes etapas do processamento via úmida</i>	11
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	13
1.2.1 Teor de água	14
1.2.2 Análise sensorial	14
1.2.3 Morfometria da parede celular	15
1.2.4 Integridade das membranas celulares	16
1.2.5 Massa específica aparente	16
1.2.6 Perda de matéria seca	16
1.2.7 Determinação dos índices de cor	17
1.2.8 Determinação do potencial hidrogeniônico – pH	17
1.2.9 Análise estatística	18
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
1.3.1 Teor de água	18
1.3.2 Análise sensorial	20
1.3.3 Morfometria da parede celular	22
1.3.4 Integridade das membranas celulares	26
1.3.5 Massa específica aparente	29
1.3.6 Perda da matéria seca	30
1.3.7 Determinação dos índices de cor	32
1.3.7.1. Evolução da coordenada L*	32
1.3.7.2. Evolução da coordenada a*	34
1.3.7.3. Evolução da coordenada b*	36
1.3.8 Determinação do potencial hidrogeniônico – pH	38
1.4 CONCLUSÕES	39

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
CAPÍTULO 2 - <i>Estudo da secagem dos grãos de café de diferentes etapas do processamento via úmida</i>	45
2.1 INTRODUÇÃO	46
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.2.1 Secagem do produto.....	49
2.2.2 Cálculo do coeficiente de difusão efetivo	50
2.2.3 Parâmetros termodinâmicos ligados ao coeficiente de difusão efetivo	52
2.2.4 Modelagem do processo de secagem	53
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.4 CONCLUSÕES	64
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
CAPÍTULO 3 - <i>Influência da pré-hidratação dos grãos de café na condutividade elétrica</i>	68
3.1 INTRODUÇÃO	68
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	70
3.2.1 Obtenção das amostras.....	71
3.2.2 Tratamentos de pré-hidratação.....	71
3.2.3 Caracterização inicial do café quanto às características físicas	72
3.2.3.1 Determinação do teor de água.....	72
3.2.3.2 Condutividade elétrica	72
3.2.3.3 Massa de mil grãos.....	73
3.2.3.4 Massa específica aparente.....	73
3.2.3.5 Índices de cor	73
3.2.4 Delineamento experimental	73
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
3.4 CONCLUSÕES	80
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
CONCLUSÕES GERAIS	84
APÊNDICES.....	86

NOMENCLATURA

- etapa 1*: primeira etapa do processamento via úmida dos grãos, após o lavador;
- etapa 2*: segunda etapa do processamento via úmida, após a separação dos grãos verdes e cerejas dos bóias;
- etapa 3*: terceira etapa do processamento via úmida, após o descascamento dos grãos;
- etapa 4*: quarta etapa do processamento via úmida, após a desmucilagem dos grãos;
- ρ_{ap} : massa específica aparente, kg m^{-3} ;
- PMS*: perda de matéria seca, %;
- m*: massa de matéria seca, g;
- L^* : coordenada L da cor dos grãos;
- a^* : coordenada a da cor dos grãos;
- b^* : coordenada b da cor dos grãos;
- h*: ângulo de cor hue, °h;
- CE*: condutividade elétrica, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$;
- TA*: tempo de armazenamento, dias;
- RU*: razão de umidade (adimensional);
- U^* : teor de água, $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$;
- D_{ef} : coeficiente de difusão efetivo, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$;
- r*: raio equivalente do produto, m;
- n*: número de termos da série;
- t*: tempo, s;
- V_g : volume do grão, mm^3 ;
- a*: maior dimensão característica do grão, m;
- b*: dimensão característica média do grão, m;
- c*: menor dimensão característica do grãos, m;
- D_0 : fator pré-exponencial, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
- E_a : energia de ativação, kJ mol^{-1}
- T*: temperatura, K
- R*: constante universal dos gases, $\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
- ΔH^* : entalpia de ativação, kJ mol^{-1} ;

- k : constante de secagem, s^{-1} ;
- D_{ef} : coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;
- P : constante equivalente à $\pi^2 r^{-2}$, m^{-2} ;
- $\alpha, \beta, \delta, \eta$: parâmetros de ajuste dos modelos;
- Y : valor observado experimentalmente;
- \hat{Y} : valor calculado pelo modelo;
- n : número de observações experimentais;
- GLR : grau de liberdade do resíduo ;
- R^2 : coeficiente de determinação, %;
- P : erro médio relativo;
- SE : erro médio estimado;
- U : teor de água, %;
- C_r : índice croma de cor;
- $mmil$: massa de mil grãos, g;
- AS : atmosfera saturada;
- SU : substrato umedecido;
- τ : tempo de pré-hidratação, h;
- CV : coeficiente de variação, %.

Subscritos

- ap: aparente;
- t: dado instante de tempo;
- 0: instante inicial;
- e: condição de equilíbrio;
- g: grão.

RESUMO

CAMPOS, Sílvia de Carvalho, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2010. **Uso da morfometria celular na análise da qualidade de grãos de café nas etapas do processamento via úmida e durante o armazenamento.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Co-orientadores: Luzimar Campos da Silva e Paulo Roberto Cecon.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência das etapas do processamento via úmida, da presença da mucilagem e do período de armazenamento na qualidade e na secagem do café (*Coffea arabica* L). Foi utilizado café da variedade Catuaí Vermelho, obtido de propriedade comercial da região da Zona da Mata de Minas Gerais (MG) e processado na Unidade Piloto de Processamento Coletivo de Café Cereja, Viçosa/MG. A primeira etapa do processamento constituiu a retirada de folhas, galhos e pedras misturados aos frutos. Após esse procedimento, foi retirada uma quantidade de frutos de café para a composição da amostra “Lavador” (etapa 1). Em seguida, separaram-se os cerejas e verdes dos frutos bóias e outra amostra foi retirada, composta pelos frutos mais densos (cereja e verde), sendo denominada “Separador” (etapa 2). Na sequência, os frutos seguiram para o descascador e nesse processo foram retirados os frutos verdes. Após serem descascados, retirou a terceira amostra, “Descascador” (etapa 3). Descascados, os grãos de café cereja envolvidos apenas com o pergaminho e a mucilagem passaram pela desmucilagem mecânica por meio do atrito entre os grãos e entre os grãos e um cilindro metálico. Após essa etapa, foi obtido o café desmucilado e a etapa denominada “Desmucilador” (etapa 4). Na primeira parte do trabalho, a fim de verificar a influência das etapas do processamento via úmida e do período de armazenamento na qualidade do café (*Coffea arabica* L.) foram analisados o teor de água dos grãos, a qualidade da bebida, a estrutura anatômica do endosperma, a integridade das paredes celulares pelo teste de condutividade elétrica, a massa específica aparente, a perda de matéria seca, as coordenadas de cor e o pH. A influência das etapas do processamento sobre o processo de secagem dos grãos foi analisada com a presença e a ausência da mucilagem. Os frutos cereja das etapas 1 e 2 tiveram seu pericarpo removido manualmente. Parte dos grãos de cada etapa foi secada com a presença da mucilagem

naturalmente aderida ao pergaminho e outra parte teve sua mucilagem e resíduos do processamento retirados por meio de lavagem em água corrente abundante. A secagem dos grãos dos dois tratamentos (com e sem mucilagem) foi conduzida com temperatura controlada e umidades relativas médias do ar de: 40 °C e 26 %; 50 °C e 16 % e 60 °C e 10 %, em estufa com circulação forçada em duas repetições, em bandejas de com fundo telado. A redução do teor de água foi acompanhada pela diferença de massa, sendo as bandejas pesadas periodicamente. Os grãos apresentavam teor de água inicial de $1,0 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$ e a secagem do café prosseguiu até que o produto atingisse teor de água final de aproximadamente $0,12 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$. O coeficiente de difusão efetivo para o processo de secagem dos grãos de café foi obtido pelo ajuste do modelo da difusão líquida baseado na segunda lei de Fick aos dados observados e sua relação com a temperatura foi descrita pela equação de Arrhenius. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que: (a) não foi possível obter uma relação direta entre a etapa de processamento via úmida do café e o aumento do número de células rompidas, quantificadas pela morfometria, entretanto os dados da morfometria refletiram a qualidade pelo teste de bebida; (b) a técnica da morfometria foi útil para relacionar a estrutura anatômica do endosperma dos grãos de café com a qualidade; (c) a qualidade da bebida variou entre a etapa 1 (Lavador) e as demais etapas, sendo classificada como de padrão inferior na primeira etapa; (d) de modo geral, a etapa 3 (Descascador) apresentou os menores valores de condutividade elétrica; (e) verificou-se redução da qualidade do café medido pelas características físicas (cor e massa específica aparente) e químicas (pH); (f) os coeficientes de difusão efetivo foram maiores à medida que se avançaram as etapas de processamento, provavelmente, em função ao efeito cumulativo da danificação mecânica; (g) os valores da entalpia e energia de ativação dos grãos com mucilagem foram maiores que os dos grãos sem a presença da mucilagem para as etapas correspondentes, principalmente para aquelas em que os grãos de café possuíam maior quantidade de mucilagem; e (h) o modelo de Midilli modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem dos grãos de café para as diferentes condições testadas.

ABSTRACT

CAMPOS, Sílvia de Carvalho, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, July 2010. **Cellular morphometry in analysis of coffee beans quality of the wet processing stages and during storage.** Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Co-Advisers: Luzimar Campos da Silva and Paulo Roberto Cecon.

The aim of this work was to evaluate the influence of the wet processing stages, presence of the mucilage and storage period over the quality and drying of coffee (*Coffea arabica L.*). Catuaí Vermelho variety was used, obtained from a commercial property located at Zona da Mata region of Minas Gerais state and processed at the pilot unity of coffee berries processing, Viçosa (MG). The beginning of the processing consisted in the removal of leaves, sticks and rocks among the fruits. Afterwards, an amount of coffee fruits was retrieved in order to compose the “Lavador” sample (stage 1). Further, green and mature fruits were separated and another sample was created, denominated “Separador” (stage 2). In the sequence, the fruits were dehulled and in this process were retrieved green fruits composing the third sample, “Descascador” (stage 3). Dehulled coffee was lead to mechanical equipment in order to remove the mucilage by means of the friction among the grain and a metallic cylinder. After this procedure, coffee without mucilage was acquired and the stage was denominated “Desmucilador” (stage 4). At the first part of the experiment, moisture content, drink test, endosperm anatomic structure, integrity of cell walls by means of electrical conductivity test, bulk density, loss of dry matter, color coordinates and pH were analyzed in order to evaluate the influence of the wet processing stages and storage period over the coffee quality (*Coffea arabila L.*). The influence of the processing stages over the drying of coffee grain was analyzed with and without the presence of mucilage. Mature fruits from stages 1 and 2 had their pericarp removed manually. Part of grain from each stage was dried with mucilage naturally attached to the parchment and another part had its mucilage and processing residues removed by means of washing in abundant running water. Grain drying from both treatments (with and without mucilage) was conducted with controlled temperature and average relative humidities of air: 40 °C and 26 %; 50 °C and 16 % and 60 °C and 10 %, at a forced circulation oven in two repetitions, in trays of mesh

bottom. Moisture content decrease was measured through mass difference, being the trays weighed periodically. Grain presented an initial moisture content of $1.0 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$ and coffee drying progressed until the product reached the final moisture content of approximately $0.12 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$. Effective diffusion coefficient regarding the drying process of coffee grain were obtained through the fitting of the liquid diffusion model, based on Fick's second law, to experimental data and its relationship with temperature was described by Arrhenius equation. According to the obtained results, it was concluded that: (a) a direct relationship between wet processing stages of coffee and the number increase of ruptured cells, quantified by morphometric, was not observed; however, the morphometric data reflected the coffee quality by means of drink test; (b) morphometric technique was useful to relate anatomic structure of coffee grain endosperm with quality; (c) drink test varied between stage 1 (Lavador) and the remaining stages, being classified as an inferior standard at first stage; (d) in general, stage 3 (Descascador) presented lowest values of electrical conductivity; (e) it was verified a reduction of coffee quality measured by physical (color and bulk density) and chemical (pH) characteristics; (f) effective diffusion coefficients were higher while the processing stages advanced, probably due to cumulative effect of mechanical damage; (g) enthalpy and activation energy values of grains with mucilage were higher than the grains without the mucilage at correspondent stages, specially to those in which coffee grain possessed higher amount of mucilage; and (h) modified Midilli model was the one that best fitted experimental data of drying of coffee grain over the different tested conditions.

INTRODUÇÃO GERAL

O café desempenha importante papel na economia brasileira, visto que contribuiu com mais de 2 % do valor total das exportações nacionais. Segundo o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ), em 2009 as exportações de café verde do Brasil atingiram 27,33 milhões de sacas de 60 kg, crescimento de 5 % em relação a 2008. Ainda segundo o CECAFÉ, estão previstas exportações entre 27,3 e 27,8 milhões de sacas em 2010. Com a possibilidade de obtenção de preços melhores em 2010, diante dos verificados em 2009, projeta-se que os embarques totais resultem em algo entre 4,6 e 4,8 bilhões de dólares, contra 4,27 bilhões de dólares no ano passado (CECAFÉ, 2010).

A previsão atual para a produção nacional de café beneficiado indica 47,04 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado. O resultado representa um acréscimo de 19,2 %, ou de 7,57 milhões de sacas, quando comparado com a produção de 39,47 milhões de sacas obtidas na safra 2009. Tal crescimento é justificado pelo ano de bienalidade positiva, aliado às condições climáticas favoráveis até o mês de dezembro de 2009. O maior acréscimo se dará na produção de café arábica, estimada em 35,31 milhões de sacas, o que representa um ganho sobre a safra anterior de 6,44 milhões de sacas, ou seja, 22,3 % (CONAB, 2010).

No Brasil é a segunda bebida mais consumida, atrás apenas da água, onde encontra consumidores cada dia mais exigentes em qualidade, com um paladar mais apurado, além de atentos para a produção econômica e ambientalmente sustentável.

A qualidade da bebida é afetada por diferentes fatores, entre eles a quantidade de frutos verdes e bóias, manejo da produção e colheita, além dos procedimentos de pós-colheita, como processamento, via úmida ou seca, secagem e armazenamento dos frutos ou grãos.

Segundo Borém (2008) pode-se dizer que três aspectos são fundamentais na escolha do método de processamento do café: a relação custo/benefício; necessidade de atendimento à legislação ambiental e o padrão desejado de qualidade.

O preparo por via úmida do café arábica é a forma predominante e são produzidos grãos em pergaminho. Neste processo, a remoção da casca e da mucilagem e os devidos cuidados com a secagem resultam, em geral, em café com melhor qualidade de bebida.

A técnica por via úmida foi modificada com a exclusão da fase de fermentação, dando início à produção de cafés cereja descascados e desmucilados mecanicamente. Neste processo, a casca e a polpa do fruto são removidas de forma mecânica e a mucilagem é secada juntamente com o pergaminho, num processo conhecido como intermediário entre o natural e o despulpado ou desmucilado, tendendo comumente para as características do café natural, pois os produtos da mucilagem são transferidos para o grão (BRANDO, 1999; COELHO & PEREIRA, 2002).

Avaliando as alterações na cor dos grãos, Afonso Júnior & Correa (2003) concluíram que os grãos de café pré-processados por via úmida apresentaram-se mais estáveis com relação à sua coloração, quando comparados com os obtidos pelo pré-processamento via seca, durante oito meses de armazenamento.

O sabor característico do café como bebida é proveniente do grão, estando diretamente relacionado com as variedades e influenciado por tratamentos agrícolas, processos de secagem, fermentação, torrefação, moagem e embalagem (Caixeta, 1999). A qualidade global da bebida pode ser definida como a percepção conjunta de todas as características sensoriais do café percebidas durante a avaliação do produto permitindo a sua classificação (BRASIL, 2010).

Um fator importante que afeta a qualidade do café são as alterações devido à danificação mecânica dos grãos, que contribuem largamente para a deterioração do produto. A temperatura do ar de secagem, a presença de tensões de quebra e as características genótípicas influenciam o produto quanto à susceptibilidade à quebra (GUNASEKARAN & MUTHUKUMARAPPAN, 1993). A susceptibilidade refere-

se ao potencial de fragmentação do produto quando este é submetido a forças de impacto durante as etapas de processamento pós-colheita, como descascamento, desmucilagem mecânica, beneficiamento e transporte.

Os danos mecânicos em frutos e grãos devem-se à atuação de forças externas, sob condições estáticas e/ou dinâmicas, ou a forças internas resultantes de alterações em função das variações de temperatura (secagem ou armazenagem) e no teor de água, bem como mudanças biológicas e químicas (MOHSENIN, 1986; ZAPP et al., 1990).

A danificação mecânica causada pelo pré-processamento do café foi avaliada por Afonso Júnior et al. (2004) que observaram que a adoção de cuidados e tecnologias adequadas durante as etapas de pré-processamento contribuem para a melhoria da qualidade do café.

A injúria mecânica tem efeito cumulativo de modo que um dano causado soma-se ao anterior. Os danos internos e pequenas rupturas, difíceis de serem detectados, predispõem o produto ao ataque de insetos e microrganismos, além de incrementar o processo de respiração dos grãos, afetando a qualidade final do produto. A integridade das membranas celulares é responsável, dentre outras coisas, pela manutenção dos atributos sensoriais e aromáticos desejáveis no café e sua ruptura pode expor óleos e gotas lipídicas à oxidação, o que por sua vez leva à formação indesejável de compostos que alteram o aroma e sabor do café (BORÉM et al., 2008; MARQUES et al., 2008).

O teor de lipídios nos grãos depende de muitos fatores entre eles a espécie e variedade do café. Aguiar et al. (2005), trabalhando com seis variedades de *Coffea conefora* encontraram teores de lipídios variando de 6,61 a 12,27 %, com média de 10,91%. Para *Coffea arabica*, os valores encontram-se entre 12 e 16 % (CLIFFORD, 1985; MAZZAFERA et al., 1998; QUAST & AQUINO, 2004). Os lipídios possuem um efeito benéfico na qualidade da bebida do café (aroma e sabor), pois durante a torração, concentram-se nas áreas externas, protegendo o grão de eventuais perdas do componente durante este processo (PIMENTA, 2004).

Avaliando aspectos histoquímicos e morfológicos de diferentes qualidades de café, Goulart et al. (2007) observaram que cafés de qualidade superior apresentavam maior concentração de lipídios próximo às paredes celulares, com as paredes e membranas mais íntegras. Nos cafés de qualidade inferior, as paredes e membranas celulares apresentavam-se rompidas e os lipídios concentrados no centro da célula.

Diversos fatores podem causar o rompimento das paredes celulares e a consequente redução da qualidade da bebida. Desta forma, a análise morfológica da estrutura dos grãos de café torna-se de grande interesse e importância na identificação da qualidade do café e como resposta às alterações do sabor e aroma da bebida.

De acordo com Carvalho et al. (1994), é necessário o complemento de métodos objetivos (físico-químicos e, ou químicos) juntamente com as classificações tradicionais pela prova de xícara já existentes proporcionando, assim, uma avaliação mais segura da qualidade deste produto.

Neste sentido, utilizando técnicas de microscopia eletrônica de varredura, Borém et al. (2008) observaram que a temperatura de secagem de 40 °C preservou a integridade das membranas e que os grãos não apresentaram danos ultra-estruturais. Quando secados a 50 °C, os autores observaram alguns pontos de rompimento nas membranas. A secagem a 60 °C causou grandes danos à estrutura celular, o que foi confirmado por um maior extravasamento de solutos e visíveis rompimentos da membrana.

Além disso, também a microscopia de força atômica foi utilizada para caracterizar o epicarpo de frutos de café por Cardona et al. (2008), que observaram diferença na rugosidade do epicarpo de frutos maduros e verdes, indicando a possibilidade de uso de tais resultados para desenvolvimento de equipamentos mais sensíveis na separação de frutos verdes e maduros.

Localizar e compreender as alterações causadas por danos mecânicos, como os impactos sofridos pelos grãos durante as etapas do processamento pode se tornar uma ferramenta de interesse para contribuir com a manutenção da qualidade do café.

Para Amorim (1978), qualquer fator ambiental que altere a estrutura da membrana como, por exemplo, ataque de insetos, infecções por microrganismos, alterações fisiológicas e danos mecânicos, provocam uma rápida deterioração dos grãos de café, pois, uma vez rompida a membrana celular, ocorre maior contato entre as enzimas e os compostos químicos presentes intra e extracelular no grão, provocando, dessa forma, reações químicas que modificam a composição original do café, e em consequência, as propriedades organolépticas das infusões que são preparadas com esse tipo de café.

Uma das operações pós-colheita mais importante que afeta a qualidade do café é a secagem. A secagem do café permite a manutenção das características do

produto no armazenamento, eliminando, assim, riscos de desenvolvimento de fungos e bactérias, fermentação e oxidação. Entretanto, se não for bem realizada, a secagem pode acarretar perda da qualidade pelas alterações físicas, químicas e sensoriais.

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 da desuniformidade de maturação dos frutos. Uma secagem rápida, para os cafés preparados via seca ou via úmida, permite um bom padrão de qualidade, evitando a deterioração por microrganismos. Um processo de secagem eficiente 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).

Para que ocorra a difusão de água em grãos durante a secagem é necessário, basicamente, que exista uma força motriz, ou seja, um gradiente de concentração de água entre a superfície e o interior do produto. Todavia, mudanças físico-químicas ocorrem em paralelo à difusão de água nos produtos agrícolas, alterando a composição química e a estrutura física desses produtos. Em produtos capilares porosos, como a maioria dos produtos agrícolas, os possíveis mecanismos de transporte de água são: difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica (BROOKER et al., 1992).

A diversidade da composição química e a estrutura física dos produtos contribuem para a complexidade do mecanismo da difusão. Desta forma, os dados disponíveis na literatura especializada apresentam elevada variação nos seus valores, não só devido à complexidade dos produtos, como também dos diferentes métodos de estimação, tipo de material, teor de água, processo de secagem e metodologia utilizada para sua obtenção (ZOGZAS et al., 1996).

As primeiras mudanças que afetam a qualidade das sementes 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 comprometimento pode ser manifestado pela quebra da permeabilidade celular, resultando em um aumento da lixiviação de eletrólitos (DE PAULA et al., 1994).

Em vários trabalhos, evidenciou-se a existência da relação entre a ruptura das membranas celulares e a perda de constituintes celulares, com o aumento da quantidade de exsudados determinados na água de embebição, por meio do teste de

condutividade elétrica (PRETE, 1992; MARCOS FILHO et al., 1990). Este teste é largamente utilizado para classificar lotes de sementes e tem se servido para acusar alterações nas membranas como indicador de qualidade de grãos (MARQUES et al., 2008; GONELI et al., 2007; BORÉM et al., 2006; FAVARIN et al., 2004). O princípio dessa técnica é a medição da quantidade de eletrólitos liberados pela semente ou pelo grão na água de embebição. Essa quantidade é diretamente proporcional ao grau de desorganização da membrana plasmática e de sua permeabilidade (KRYZANOWSKI et al. 1999; VIEIRA, 1994).

Sementes com baixo teor de água, submetidas à rápida hidratação podem sofrer danos por rompimento das membranas. Assim, amostras de sementes em diferentes estádios do processo de deterioração poderão apresentar danos de diferentes intensidades causados pela rápida hidratação que afeta a taxa de lixiviação de eletrólitos e conseqüentemente, influencia a eficiência do teste de condutividade em evidenciar diferenças de potencial fisiológico entre lotes (RODRIGUES et al., 2006).

A quantidade de exsudatos liberados pode ser influenciada pelo grau de deterioração, velocidade de embebição, teor de água e número de sementes, além de características genéticas, como citados por Rodrigues et al. (2006).

Assim, apesar do café ser um dos produtos agrícolas mais estudados no Brasil, além de um dos principais produtos da pauta de exportação brasileira, apresentando seu valor comercial fortemente afetado por parâmetros qualitativos, vários são os pontos que seguem em estudo ou carecem de pesquisa científica nesta cultura.

Assim, na tentativa de se encontrar testes objetivos e confiáveis para averiguação da qualidade da bebida produzida, estudos da anatomia dos grãos de café são altamente interessantes principalmente quando relacionados a testes qualitativos, uma vez que o teste de condutividade elétrica nem sempre é conclusivo, além do resultado sofrer facilmente interferências.

Portanto, de modo geral, com este trabalho, objetivou-se avaliar alterações morfológicas, quantitativas e qualitativas, causadas pelo processamento via úmida do café (*Coffea arabica* L.) durante doze meses de armazenamento dos grãos.

Especificamente pretendeu-se:

- Verificar e quantificar rompimentos na parede celular dos grãos causados por quatro diferentes etapas do processamento via úmida do café;
- Relacionar a estrutura celular dos grãos, o teor de água, condutividade elétrica, massa específica aparente, cor e pH dos grãos de café armazenados com qualidade da bebida;
- Calcular o coeficiente de difusão efetivo de grãos de café obtidos de quatro etapas de processamento para três temperaturas de secagem;
- Avaliar o efeito de diferentes períodos da pré-hidratação dos grãos de café retirados de quatro etapas do processamento no teste de condutividade elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORREA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1268 - 1276, 2003.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORREA, P. C.; GONELI, A. L. D.; SILVA, F. S. Contribuição das etapas de pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 8, p. 46 - 53, 2004.

AGUIAR, A. T. E.; FAZUOLI, L. C.; SILVA, T. J. G.; FAVARIN, J. L. Diversidade química de cafeeiros na espécie *Coffea canephora*. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 577 - 582, 2005.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão do café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Piracicaba, 1978. 85 p. (Livre-Docência, ESALQ/USP).

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**, v. 19, n. 2, p. 279 - 286, 1990.

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

BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 62 - 66, 2008.

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

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n.16, de 24 de Maio de 2010. Dispõe sobre Regulamento Técnico para o Café Torrado em Grão e Café Torrado e Moído. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de maio de 2010, seção 1, n. 98, p. 11 - 12.

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

CAIXETA, G. Z. T. Economia cafeeira, mercado de café, tendências e perspectivas. In: **I Encontro sobre Produção de Café com Qualidade**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitopatologia, 1999. 259 p.

CARDONA, Y. P.; OLIVEROS, C. E.; ARIAS, D. F., ALVAREZ, F.; ALFONSO-DEVIA, A. Epicarp characterization of coffee fruits by atomic force microscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 2, p. 167 - 171, 2008.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. I. Atividades de polifenoloxidase e peroxidase, índice de coloração de acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449 - 454, 1994.

CECAFÉ, 2010. Cecafé prevê exportações estáveis em 2010 e preços melhores. Disponível em: <http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=29624&cecafe-preve-exportacoes-estaveis-em-2010-e-precos-melhores.html>. Acesso em 01 jun. 2010.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N. & WILLSON, K. C., eds. **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. Westport, Connecticut, Avi Publishing, 1985. p. 305 - 374.

COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A. Influência de grãos defeituosos em algumas características químicas do café cru e torrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 2, p. 375 - 384, 2002.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café - Safra 2010. Segunda estimativa, maio/2010. Brasília: Conab. Disponível em: <http://dev.ico.org/news/conab0510.pdf>. Acesso em 01 jun. 2010.

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

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

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Electrical Conductivity for Quality Evaluation of Popcorn Kernels subjected to Mechanical Damage. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 3, p. 361 - 367, 2007.

GOULART, P. F. P.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M.; FRIES, D. D.; MAGALHÃES, M. M.; MELO, H. C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662 - 666, 2007.

GUNASEKARAN, S.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Breakage susceptibility of corn of different stress-cracks categories. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 5, p. 1445 - 1446, 1993.

KRYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218 p.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R.; NOVEMBRE, 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**, v. 25, p. 1805 - 1815, 1990.

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

MAZZAFERA, P.; SOAVE, D.; ZULLO, M. A. T.; GUERREIRO FILHO, O. Oil content of green beans from some *Coffea* species. **Bragantia**, v. 57, p. 45 - 48, 1998.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986, 841 p.

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café**. Lavras: Editora UFLA, 2004. 304p.

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.

QUAST, L. B.; AQUINO, A. D. Oxidação dos lipídios em café arábica (*Coffea arabica* L.) e café robusta (*Coffea canephora* P.). **Boletim do CEPPA**, v. 22, n. 2, p. 325 - 336, 2004.

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.

RODRIGUES, M. B. C.; VILLELA, F. A.; TILLMAN, M. A. A.; CARVALHO, R. Pré-hidratação em sementes de soja e eficiência do teste de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 168 - 181, 2006.

VIEIRA, R. D. Testes de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D. & CARVALHO, N. M. de. **Testes de vigor em sementes**. FUNEP, Jaboticabal, SP, 1994. p. 103 - 132.

ZAPP, H. R.; EHLERT, G. K. B.; ARMSTRONG, P.; SOBER, S. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 3, p. 955 - 960, 1990.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; Marinos-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225 - 2253, 1996.

CAPÍTULO 1

Qualidade de grãos de café armazenados oriundos de diferentes etapas do processamento via úmida

1.1 INTRODUÇÃO

O café desempenha importante papel na sociedade e economia brasileiras. Somente nos quatro primeiros meses de 2010, o Brasil exportou 531.504 toneladas de café verde (aumento de 17,51% em comparação com o mesmo período do ano anterior), com faturamento de US\$ 1,380 bilhão (CAFÉ, 2010).

O processamento do café é considerado tanto mais eficaz quanto mais homogêneo tornar-se o lote colhido ao longo de todas as operações pós-colheita. A escolha do modo de processamento do café é decisiva na rentabilidade da atividade cafeeira, e depende de diversos fatores tais como: condições climáticas da região; disponibilidade de capital; tecnologia e equipamentos; exigências do mercado consumidor quanto às características do produto. Assim, pode-se dizer que três aspectos são fundamentais na escolha do método de processamento do café: relação custo/benefício do método de processamento; a necessidade de atendimento à legislação ambiental; e o padrão desejado de qualidade (BORÉM, 2008).

Conforme sugerido por Amorim (1978), a qualidade do café está relacionada à integridade das membranas celulares, uma vez que sua estrutura e permeabilidade quando afetadas, levam o café a se deteriorar física e organolepticamente. Neste

sentido, alguns autores tentaram relacionar a estrutura das membranas celulares, por meio de testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, principalmente, com a qualidade do café (MALTA et al., 2002; FAVARIN et al., 2004).

Vários fatores, como condições inadequadas de secagem, presença de tensões de quebra causadas por choques e/ou abrasões dos grãos contra superfícies duras ou contra outros grãos e características genótípicas, influenciam na redução de qualidade de produtos agrícolas (GUNASEKARAN & MUTHUKUMARAPPAN, 1993). Entretanto, danos internos e rupturas de baixa intensidade são difíceis de serem detectados e tornam os frutos e grãos susceptíveis ao ataque de insetos e microrganismos, influenciando diretamente a qualidade final do produto (CHAVES, 1990).

Afonso Júnior et al. (2004) observaram diferença significativa na integridade das membranas celulares causada pelo processamento via úmida do café, medido pelo teste de condutividade elétrica, entre o café cereja, descascado e desmucilado, processados via úmida e secados mecanicamente a 40 °C. Goulart et al. (2007), avaliando aspectos morfológicos, verificou paredes celulares do endosperma mais íntegras nos grãos de qualidade superior.

Utilizando técnicas de microscopia eletrônica de varredura, Borém et al. (2008b) observaram que os grãos secados a 40 °C não apresentaram danos ultra-estruturais nas membranas. Entretanto, com o aumento da temperatura de secagem foi possível observar pontos de rompimento nas membranas, sendo que a secagem a 60 °C causou grandes danos à estrutura celular, o que foi confirmado por um maior extravasamento de solutos.

Diante da expansão do uso do processamento via úmida pelos cafeicultores e da busca pela produção de cafés de qualidade percebe-se a necessidade de se pesquisar se o processamento do café pode promover rompimento das paredes celulares do endosperma dos grãos de café. Assim, objetivou-se com este trabalho:

- Verificar a influência das etapas do processamento via úmida e do período de armazenamento na qualidade do café (*Coffea arabica* L.);
- Relacionar a qualidade e as características físicas do café de quatro etapas do processamento via úmida ao rompimento de paredes celulares, por meio da análise estrutural do endosperma por microscopia de luz;
- Avaliar as perdas quantitativas e qualitativas do café durante o armazenamento.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), variedade Catuaí Vermelho, usadas em cada etapa do processamento foram obtidas na Unidade Piloto de Processamento Coletivo de Café Cereja. Essa unidade é uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Viçosa por meio da Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente, a Universidade Federal de Viçosa por meio do Departamento de Fitotecnia, a empresa italiana Illycaffè, a Fundação Arthur Bernardes, a Associação Regional de Cafeicultores e o Centro de Excelência do Café das Matas de Minas. Os frutos, provenientes de única fazenda produtora, da região de Viçosa, foram colhidos manualmente por derriça no pano e, no mesmo dia da colheita, transportados para a Unidade de Processamento sendo processados por via úmida, no lavador/separador (LSC-20, Pinhalense, Pinhalense Agrícola S/A, Brasil) e despulpador (Pinhalense, Pinhalense Agrícola S/A, Brasil).

Ao chegarem à unidade de processamento, os frutos foram depositados na moega do equipamento de onde seguiram para as grades de separação e passaram pela primeira etapa, caracterizada pela retirada de impurezas que vieram do campo de cultivo junto com os frutos, como galho, folhas, torrões e separação dos cafês mais leves (bóias) dos mais densos (frutos cerejas e verdes). Antes dessa etapa, logo após os frutos saírem da moega para caírem no lavador, foi retirada uma quantidade de frutos de café para a composição da amostra “Lavador” (etapa 1). Ao final da etapa, outra amostra foi retirada, composta pelos frutos mais densos (cereja e verde) e essa foi denominada etapa “Separador” (etapa 2).

Na sequência, os frutos verdes e os cerejas passaram em um cilindro janelado, tipo gaiola, onde, por regulagem de pressão, os cerejas são descascados e os verdes não. Após descascados, os grãos de café cereja envolvidos apenas com o pergaminho, passaram pelo crivo do cilindro juntamente com as cascas, enquanto os verdes foram separados lateralmente. Dos grãos que passaram pelo cilindro foi retirada outra amostra, sendo denominada “Descascador” (etapa 3).

A etapa de desmucilamento mecânico ocorreu por meio do atrito entre os grãos e entre os grãos e um cilindro metálico. Após essa etapa, foi obtido o café desmucilado e a etapa foi denominada “Desmucilador” (etapa 4).

Os frutos e grãos foram transportados ao Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Grãos, localizado no CENTREINAR, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para a secagem e realização das análises.

Foram retirados os grãos verdes da amostra “Separador” para que a mesma fosse composta basicamente por cerejas, como as etapas 3 e 4.

Os frutos e grãos foram dispostos em bandejas de alumínio com fundo perfurado e levadas a estufa de circulação forçada, regulada a 40 °C para a secagem. A perda de água foi acompanhada por diferença de massa, pelo método gravimétrico até atingir o teor de água de, aproximadamente, 11 %. Em seguida, foi embalado em sacos de juta, com capacidade para 60 kg e mantido armazenado em condições ambiente para a realização das análises, iniciando logo após a secagem, isto é, no início do armazenamento e a cada 3 meses, até completar 12 meses.

As condições do ambiente de armazenamento (temperatura e umidade relativa do ar) foram monitoradas ao longo do período de armazenamento por meio de um termômetro de mercúrio e de um hidrômetro de fio de cabelo, com leituras sempre no mesmo horário.

1.2.1 Teor de água

As determinações do teor de água do café foram feitas empregando-se o método da estufa, a 105 ± 3 °C durante 24 h, conforme recomendado em Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). Foram utilizadas três repetições de 30 g de grãos de café.

1.2.2 Análise sensorial

A análise sensorial, por meio da prova de xícara, foi realizada por provadores da Cafeteira Incofex – Viçosa, MG, segundo a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003).

1.2.3 Morfometria da parede celular

Aproximadamente 100 grãos de cada etapa foram descascados manualmente e fixados em FAA 70 (5 mL de formaldeído, 5 mL de ácido acético e 90 mL de álcool etílico) de acordo com Johansen (1940), por 72 h. Após a fixação, os grãos foram imersos em uma solução de etilenodiamina 20 % (Carlquist, 1982) e mantidos em ambiente natural por 50 dias, sendo a solução renovada a cada 7 dias. Após este período, grãos inteiros e sadios de cada etapa foram desidratados em série etílica crescente (50 % a 100 %) e incluídos em parafina purificada com DMSO (Histosec[®]).

O tempo de repouso na solução de etilenodiamina e de imersão em cada série alcoólica (8 h) foi determinado a partir de testes preliminares.

Cortes transversais dos grãos incluídos em parafina, com 15 µm de espessura, foram obtidos em micrótomo rotativo de avanço manual (Modelo Spencer, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA). As secções foram distendidas em banho maria a 40 °C, aderidas em lâminas histológicas e submetidas à dupla coloração com Safranina e Azul de Astra (Kraus & Arduin, 1997), sendo montadas entre lâmina e lamínula com resina sintética (Permount[®]).

As fotomicrografias foram obtidas com auxílio de fotomicroscópio (Modelo AX70TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) equipado com sistema U-photo e câmera digital acoplada (Modelo Spot Insightcolour 3.2.0, Diagnostic Instruments Inc., New York, USA), no Laboratório de Anatomia Vegetal, Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa.

Para cada etapa do processamento e em cada tempo de armazenamento, foram utilizados seis grãos incluídos em parafina. A partir de cada grão foram confeccionadas oito lâminas histológicas com oito cortes em cada uma. Foram capturadas três imagens de um mesmo corte por lâmina, perfazendo um total de 144 imagens para cada etapa avaliada nos tempos de armazenamento, totalizando, em todo experimento, 2.880 imagens.

Para análise micromorfométrica foi realizada a contagem do número de paredes celulares rompidas. Esses dados foram obtidos com auxílio do software Image-Pro Plus versão 4.5 para Windows[®] (Media Cybernetics, Silver Spring, MD, USA).

Os dados micromorfométricos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

1.2.4 Integridade das membranas celulares

Para cada tratamento analisado, uma amostra de 50 grãos de café foi pesada e, em seguida, imersa em 75 mL de água deionizada (no interior de copos plásticos com capacidade para 180 mL) e colocada em uma câmara do tipo BOD (Modelo 347-CD, FANEM Ltda, São Paulo, Brasil), a 25 °C, durante 24 h (BRASIL, 1992). Após este período, foi medida a condutividade elétrica da solução de embebição, por meio de um condutivímetro (DM3, Digimed Instrumentação Analítica, São Paulo, Brasil) calibrado com solução KCl (cloreto de potássio), padrão de condutividade $1,412 \mu\text{S cm}^{-1}$. Foram realizadas cinco repetições por tratamento, além de um “branco” (leitura da condutividade elétrica da água deionizada contida no copo sem os grãos).

1.2.5 Massa específica aparente

A massa específica aparente (ρ_{ap}) do café beneficiado, obtida em kg m^{-3} , foi determinada utilizando-se uma balança analítica (Modelo AS 2000, Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil), com resolução 0,01 g, e um recipiente com capacidade de 1 L, em cinco repetições para cada tratamento.

1.2.6 Perda de matéria seca

No momento do armazenamento, depois de homogeneizada a amostra, cinco repetições de 100 g de café foram colocadas em pequenas embalagens individuais de dimensões de 15×15 cm, confeccionadas em tecido tipo organza (renda fina e transparente produzida a partir de fios sintéticos de nylon), e mantidas armazenadas nos mesmos sacos juntamente com o restante do café da etapa. A cada 3 meses, estas amostras foram pesadas e a porcentagem de perda de matéria seca foi calculada pela Equação 1.1.

$$PMS = \frac{m_{t-1} - m_t}{m_{t-1}} \times 100 \quad (1.1)$$

Em que:

PMS: perda de matéria seca (%);

m_{t-1} : massa de matéria seca da amostra no tempo $t-1$ (g);

m_t : massa de matéria seca da amostra no tempo t (g).

1.2.7 Determinação dos índices de cor

A quantificação da cor dos grãos de café foi realizada com auxílio de um colorímetro tristímulo (MiniScan XE Plus 45/0-L, HunterLab, Reston, Estados Unidos), com leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidades vermelha ou verde) e b^* (tonalidades amarela ou azul), empregando a escala Hunter-Lab (Figura 1.1) e utilizando o *iluminante* 10°/D60.

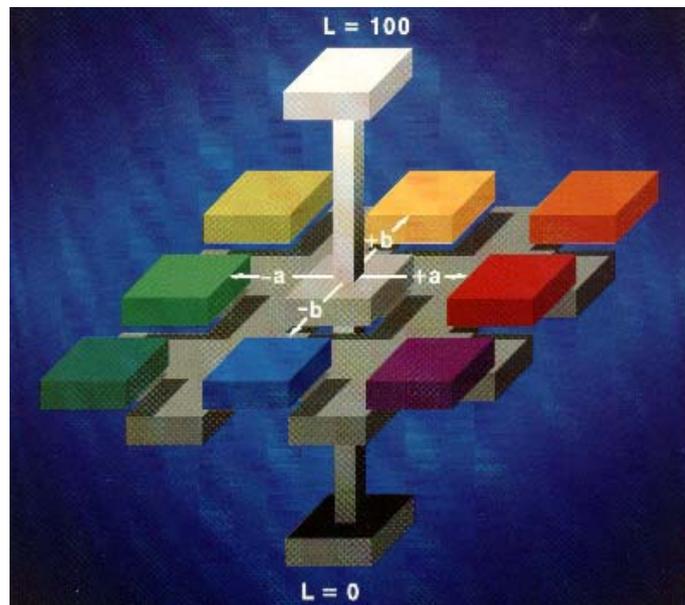


Figura 1.1. Esquema do sólido de Hunter

1.2.8 Determinação do potencial hidrogeniônico – pH

O pH do grão foi determinado de acordo com a técnica adaptada, descrita pela AOAC (1995). Três amostras de 5 g de café, de cada tratamento, foram moídas,

peneiradas em peneira de 20 mesh e colocadas em um erlenmeyer com 37,5 mL de álcool etílico 80 %. A solução permaneceu no erlenmeyer por 16 h, sofrendo revolvimentos ocasionais. Posteriormente, foi filtrada em papel Whatman nº 1. O pH do extrato filtrado foi medido utilizando-se um pHmetro digital (Modelo PHS-3B, Phtek, São Paulo, Brasil).

1.2.9 Análise estatística

O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as etapas de processamento e nas subparcelas os períodos de armazenamentos no delineamento inteiramente casualizado com número de repetições diferente para cada variável analisada.

Os dados submetidos à análise de variância e de regressão. As médias do fator qualitativo (etapa) foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5 % de probabilidade. Para o fator quantitativo (períodos), os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando-se o nível de 10 %, no coeficiente de determinação, R^2 (obtido pela relação entre a soma de quadrado da regressão e a soma de quadrado do tratamento) e no comportamento biológico.

Independentemente de a interação ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma em função do interesse no estudo.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Teor de água

A colheita dos frutos de café foi realizada em agosto de 2008. Na Figura 1-2 estão apresentados os valores médios quinzenais de temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante os 360 dias de armazenamento.

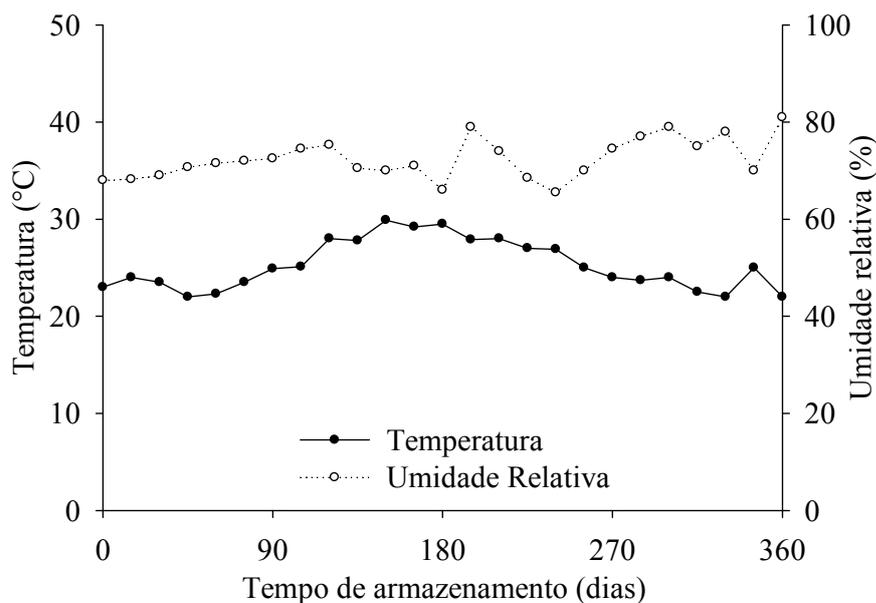


Figura 1.2. Médias quinzenais de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento dos frutos e grãos de café em ambiente não controlado.

Apenas pequenas variações foram observadas nas propriedades psicrométricas do ar, caracterizadas na Figura 1.2 pela temperatura e umidade relativa, onde o café foi mantido armazenado. O café foi armazenado no próprio laboratório onde foram feitas as análises físicas, pois neste local o ar sofre pouca influência das condições externas.

Verificou-se pela Figura 1.3 que o teor de água dos grãos de café aumentou principalmente até os 180 dias de armazenamento, permanecendo-se praticamente constante a partir deste ponto para a maioria das condições. O menor valor do teor de água observado foi de 10,2 % e o maior de 12,7 %.

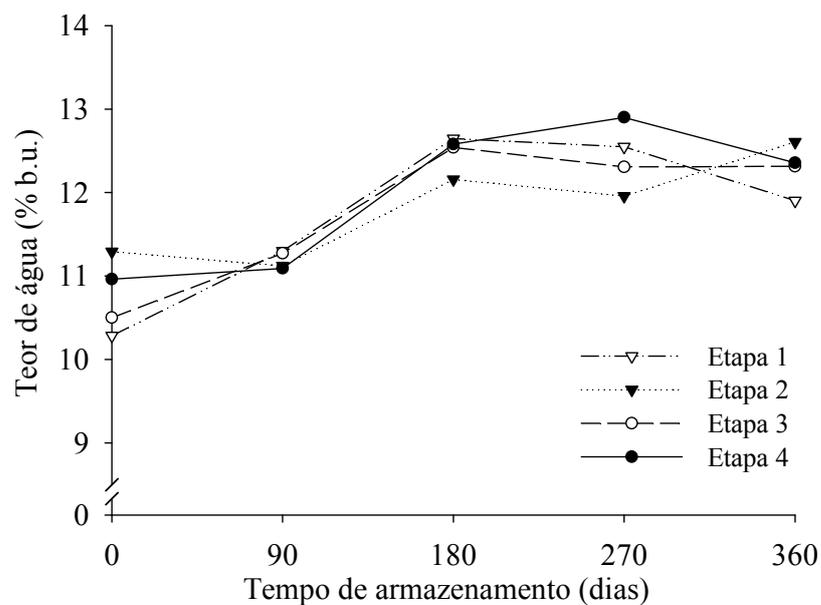


Figura 1.3. Teores de água dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, observados durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

O acréscimo no teor de água do produto ocorreu em função da propriedade de ceder ou adsorver água, que todo material higroscópico, inclusive o café, possui, tendendo a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e a umidade relativa do ar ambiente. Observa-se ainda que o teor de água do produto se manteve dentro da faixa aceitável para o armazenamento do café e que a presença ou não da casca nas amostras não afetou o teor de água dos grãos.

1.3.2 *Análise sensorial*

Os resultados da qualidade do café pela análise sensorial da bebida estão apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Resultados da classificação dos grãos de café de diferentes etapas do processamento via úmida ao longo do armazenamento (dias), pelo teste de bebida

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	Apenas Mole	Mole	Mole	Mole
90	Apenas Mole	Mole	Mole	Mole
180	Apenas Mole	Mole	Mole	Apenas Mole
270	Apenas Mole	Apenas Mole	Mole	Apenas Mole
360	Duro	Duro	Apenas Mole	Duro

O teor de água de todas as amostras bebidas no momento da realização do teste apresentou-se entre 12,0 e 12,7 %.

Neste experimento foi utilizado café de alta qualidade, classificado como “Mole” no início do armazenamento para todas as etapas, exceto para a etapa 1, que mostrou padrão inferior “Apenas mole”. A presença de grãos verdes ou bóias na etapa 1 (Lavador) possivelmente contribuiu para que essa etapa não tenha atingido o padrão “Apenas mole” em nenhum tempo de armazenamento. A presença de grãos verdes, ardidos e pretos altera significativamente a qualidade do café cru e torrado (COELHO & PEREIRA, 2002).

A etapa 3, composta por grãos descascados e não desmucilados, manteve a melhor bebida, em relação às demais etapas, até 270 dias de armazenamento, enquanto após 180 dias a etapa 4 já foi classificada como bebida “Apenas mole”, mesmo padrão alcançado pela etapa 2 aos 180 dias. Santos et al. (2009) avaliando alguns indicadores de qualidade de cafés bóia, descascado e desmucilado concluíram que o café cereja descascado, obtido via úmida, apresentou o maior número de indicadores positivos de qualidade.

Ao final do tempo de armazenamento, todas as etapas apresentaram o padrão de bebida “Duro”, exceto a etapa 3, classificada como “Apenas Mole”. De acordo com a Tabela Oficial de Classificação do Café Quanto à Bebida (Brasil, 2003), a bebida “Mole” apresenta aroma e sabor agradáveis, brandos e adocicados, a “Apenas mole” apresenta sabor levemente doce e suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar e a “Dura” sabor acre, adstringente e áspero, porém sem paladares estranhos. Assim, nota-se que para todas as amostras analisadas, houve uma queda qualitativa deste atributo.

A partir da classificação das amostras pelo teste de bebida, verifica-se que a danificação mecânica causada ao café pelo processamento via úmida não foi suficiente para alterar a qualidade da bebida, pelo tempo de armazenamento analisado. Essa prática, entretanto, é indispensável para gerar lotes de café homogêneos e livres de grãos verdes e bóias, causadores das principais alterações na qualidade que são agentes que causam depreciação dos parâmetros qualitativos.

1.3.3 Morfometria da parede celular

A partir da análise microscópica dos grãos foi possível verificar a estrutura íntegra ou rompida das paredes das células que compõem o endosperma dos grãos (Figura 1.4).

Nesta figura, observa-se também que os grãos de café apresentam endosperma externo com células em formato poligonal e um mais interno com células retangulares. Segundo De Castro & Marracini (2006), o endosperma externo é rígido enquanto que o interno é mais macio. As paredes de ambos os tipos são atravessadas por plasmodesmos que permitem o intercâmbio de compostos entre as células (DENTAN, 1985a, 1985b). De acordo com Wolfrom et al. (1961) e Wolfrom & Patin (1964), o endosperma é um tecido enrijecido em função da alta deposição de polissacarídeos nas paredes celulares.

Pela microscopia de luz podem-se identificar paredes celulares rompidas do endosperma que favorecem a liberação de corpos e gotas lipídicas e a perda do aroma e sabor característicos do café.

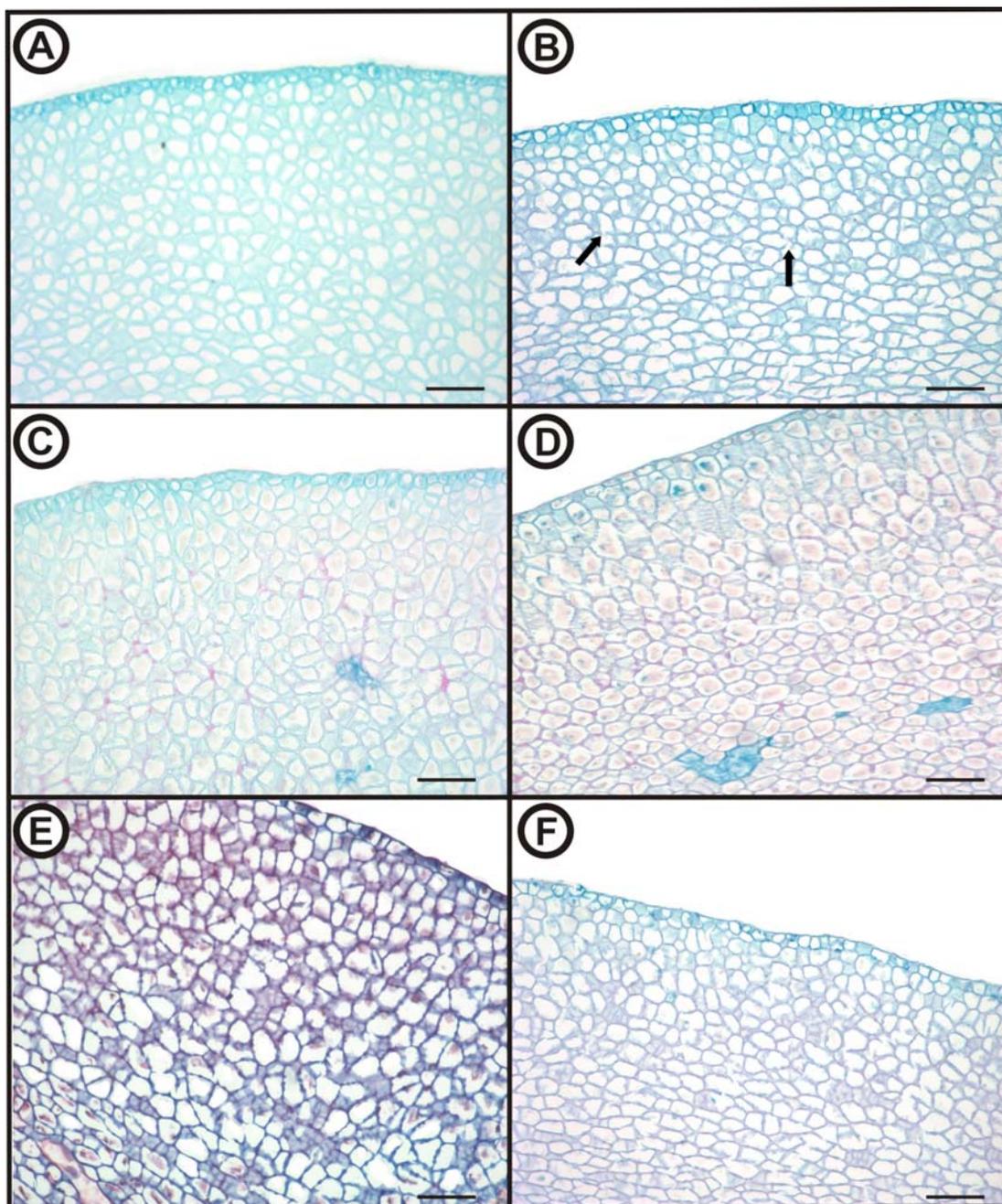


Figura 1.4. Endosperma intacto (A) e danificado (B) de grãos de café (*C. arabica*) da etapa 2 aos 180 dias de armazenamento e das etapas 1 - Lavador (C), 2 - Separador (D), 3 - Descascador (E) e 4 - Desmucilador (F) no início do armazenamento.

Na Figura 1-5 é mostrada a quantificação do rompimento das células dos grãos de café, em cada tempo de armazenamento. Observa-se que não foi possível obter uma relação direta entre o nível de danificação celular dos grãos obtidos nas etapas do processamento via úmida e o tempo de armazenamento.

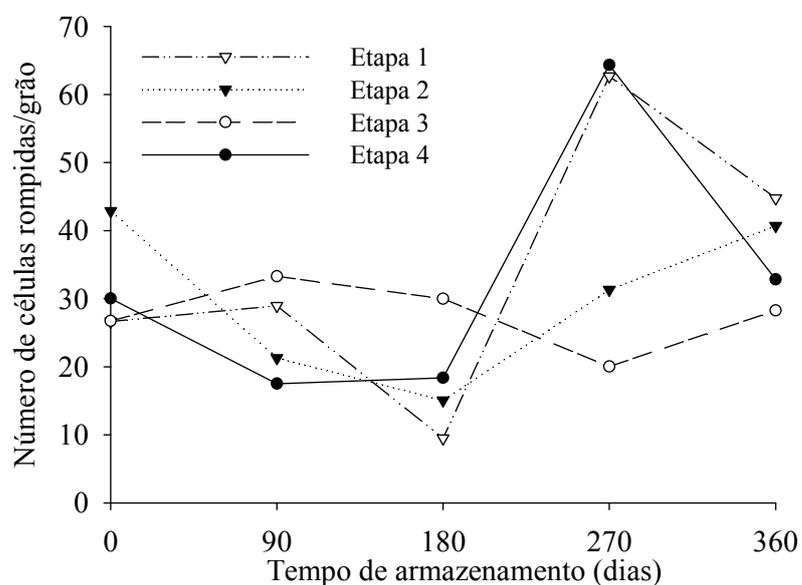


Figura 1-5. Número de células rompidas por grão de café de diferentes etapas do processamento via úmida, observados durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

Na Tabela 1-2 estão contidos os valores médios do número de células rompidas. Verifica-se que não houve diferença significativa entre as etapas nos tempos de 0, 90, 180 e 360 dias de armazenamento. Aos 270 dias de armazenamento, as etapas 1 e 4 superaram estatisticamente as demais.

Tabela 1·2. Valores médios do número de células rompidas por grão de café de diferentes etapas do processamento via úmida ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	26,63 a	42,88 a	26,72 a	30,02 a
90	28,96 a	21,29 a	33,29 a	17,51 a
180	9,48 a	15,07 a	29,98 a	18,36 a
270	62,66 a	31,32 b	20,03 b	64,31 a
360	44,75 a	40,69 a	28,27 a	32,83 a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

De um modo geral, observou-se a presença de células rompidas nos grãos em todas as etapas do processamento. Entretanto, como não foi verificada diferença significativa entre as etapas, pode-se inferir que o processamento via úmida não alterou significativamente o nível de danificação dos grãos. O rompimento da parede celular pode ter ocorrido em diferentes fases anteriores ao processamento, sendo causados por alguns fatores como condição fisiológica da cultura, estágio de maturação dos frutos e grãos, estresses hídrico ou danificação no momento da colheita e na secagem, impossibilitando identificar a etapa causadora do rompimento.

Assim, não é possível concluir que somente as etapas pós-colheita afetaram negativamente a integridade das paredes podendo, no entanto, ter potencializado os rompimentos iniciados durante o desenvolvimento e colheita do produto.

As técnicas de microscopia têm sido utilizadas em diversas pesquisas com café (Goulart et al., 2007; Borém et al., 2008b; Cardona et al., 2008; Saath et al., 2010), entretanto, a utilização de ferramentas estatísticas (morfometria) aliada à análise das imagens ainda não foi estudada. Assim, esses trabalhos relacionam a qualidade da bebida de café às alterações da estrutura celular por meio de análises qualitativas das imagens obtidas.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível verificar que a quantidade de células rompidas dos grãos descascados (etapa 3) apresentou pequenas variações ao longo dos 360 dias de armazenamento, indicando um menor nível de danos em relação às demais etapas.

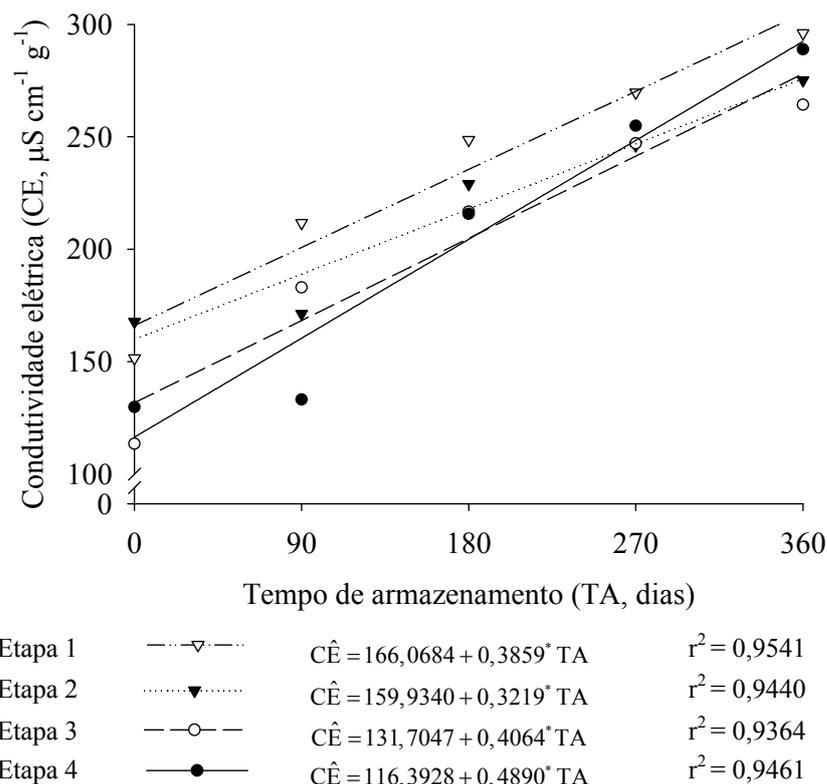
Assim, de acordo com a morfometria, os grãos da etapa 3 conservaram de forma mais eficiente sua qualidade no armazenamento e alcançaram os melhores resultados do teste de bebida. Observou-se que em geral, os resultados da morfometria quantificando a danificação a nível celular dos grãos apresentaram o mesmo comportamento que o teste de bebida para todas as etapas.

A morfometria foi uma ferramenta segura para indicar os rompimentos das paredes celulares do endosperma do café. Esse resultado concorda com alguns autores que relacionaram respostas anatômicas a fatores externos, como por exemplo, poluentes e herbicidas, com sucesso a partir de avaliações quantitativas (SANT'ANNA-SANTOS et al., 2006, 2007; TUFFI-SANTOS et al., 2008; PITA-BARBOSA et al., 2009).

1.3.4 Integridade das membranas celulares

A condutividade elétrica da solução de embebição dos grãos de café das quatro etapas do processamento é apresentada na Figura 1-6.

Observou-se que houve incremento na condutividade elétrica para todas as etapas ao longo do armazenamento, sendo que a etapa 1 apresentou valores superiores as demais em todos tempos analisados, confirmando a menor qualidade dos grãos desta etapa, como apresentado pelo teste de bebida.



Etapa 1	---▽---	$\hat{C}\hat{E} = 166,0684 + 0,3859 \cdot TA$	$r^2 = 0,9541$
Etapa 2▼.....	$\hat{C}\hat{E} = 159,9340 + 0,3219 \cdot TA$	$r^2 = 0,9440$
Etapa 3	---○---	$\hat{C}\hat{E} = 131,7047 + 0,4064 \cdot TA$	$r^2 = 0,9364$
Etapa 4	---●---	$\hat{C}\hat{E} = 116,3928 + 0,4890 \cdot TA$	$r^2 = 0,9461$

* Significativo a 5 % de probabilidade, teste F.

Figura 1-6. Condutividade elétrica dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

De acordo com Bewley & Black (1985) membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas por insetos, mecanicamente e, ou por ação do armazenamento prolongado estão, geralmente, associadas ao processo de deterioração, o que favorece o extravasamento de solutos da célula para a solução de embebição e aumenta o valores da condutividade elétrica.

As amostras das etapas 1 e 2 apresentaram os maiores valores iniciais de condutividade elétrica. Entretanto, a maior perda da permeabilidade se deu pelas amostras das etapas 3 e 4 o que é evidenciado pelo coeficiente angular das curvas de regressão.

As médias dos valores de condutividade elétrica de cada etapa durante o armazenamento estão apresentadas na Tabela 1-3. Houve aumento no extravasamento de solutos ao longo do armazenamento para todas as etapas.

Tabela 1-3. Valores médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	151,50 b	177,76 a	113,42 c	129,68 bc
90	211,66 a	171,26 b	182,93 b	133,07 c
180	248,64 ab	229,03 bc	216,66 c	255,63 a
270	199,71 b	246,14 a	247,02 a	254,82 a
360	296,13 a	265,15 b	224,24 c	288,85 ab

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

De modo geral, entre as etapas do processamento, observa-se que a etapa 3 apresentou os menores valores de condutividade elétrica na solução de embebição, exceção apenas ao tempo 270 dias de armazenamento. Essa etapa foi a que apresentou o melhor resultado para o teste de bebida além dos menores valores de rompimento das paredes celulares.

O teste de condutividade elétrica tem sido utilizado por alguns autores na tentativa de identificar a qualidade do café, principalmente, em função da rapidez da resposta e da facilidade de execução do teste, comparado à necessidade de pessoal treinado para o teste de bebida, além do alto valor para a realização deste. Desde os estudos de Amorim (1978), que relacionou a qualidade do café à composição química dos grãos por meio do teste de condutividade elétrica, diversos autores têm comprovado o aumento da lixiviação de solutos em função do armazenamento prolongado, tipo de processamento e temperatura de secagem (BORÉM et al., 2008a; BORÉM & REINATO, 2006; PRETE, 1992). Entretanto, Favarin et al. (2004) concluíram que nem sempre os testes rápidos se correlacionam à análise sensorial da bebida e sugeriram que, para o uso com a finalidade de classificar lotes de café, estudos relacionados às condições climáticas, cultivar e época devem ser feitos.

1.3.5 Massa específica aparente

A massa específica aparente é um parâmetro que depende do teor de água do produto. Para a maioria dos grãos agrícolas, incluindo-se o café beneficiado, este índice diminui com o aumento do teor de água (RESENDE et al., 2008; RODRIGUES, 2009). Esse comportamento também pode ser observado neste trabalho comparando-se a Figura 1·7 à Figura 1·3, em que a partir dos 180 dias de armazenamento observou-se um aumento mais acentuado do teor de água do café e, assim, conseqüente decréscimo dos valores da massa específica aparente.

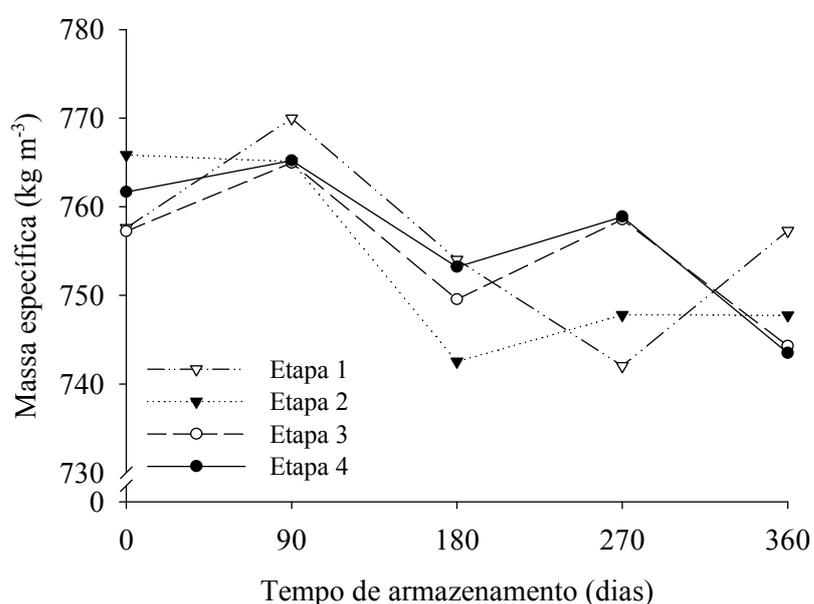


Figura 1·7. Variação da massa específica aparente dos grãos de café obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

Observa-se na Tabela 1·4 que a massa específica aparente dos grãos de café desmucilados (etapa 4) foi superior à dos cafés das demais etapas aos 90, 270 e 360 dias de armazenamento.

Tabela 1.4. Valores médios de massa específica aparente (kg m^{-3}) dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	757,61 bc	765,84 a	757,23 c	761,68 ab
90	765,22 b	765,11 b	764,96 b	769,97 a
180	754,03 a	742,52 c	749,55 b	753,20 ab
270	742,03 c	747,74 b	758,56 a	758,87 a
360	743,48 c	747,74 b	744,28 bc	757,28 a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com Rodrigues (2009) que observou os maiores valores de massa específica aparente dos grãos de café quando o produto foi submetido ao processo de secagem descascado, em relação ao secado em coco. Também, trabalhando com café descascado e natural, Nogueira (2009) observou que a massa específica aparente, durante 180 dias de armazenamento, do café descascado foi superior à do café natural. Portanto, a etapa de retirada da casca dos frutos de café parece ter contribuído positivamente para a manutenção da qualidade do produto avaliada a partir dessa propriedade.

1.3.6 *Perda da matéria seca*

Os valores de perda de matéria seca estão apresentados na Figura 1.8.

As etapas 3 (Descascador) e 4 (Desmucilador) apresentaram os menores valores de perda de matéria seca ao longo de todo o armazenamento. A etapa 1 apresentou a maior a variação na perda de massa seca ao longo do armazenamento. Para essa etapa também foram obtidos bebida de qualidade inferior e os maiores valores de condutividade elétrica.

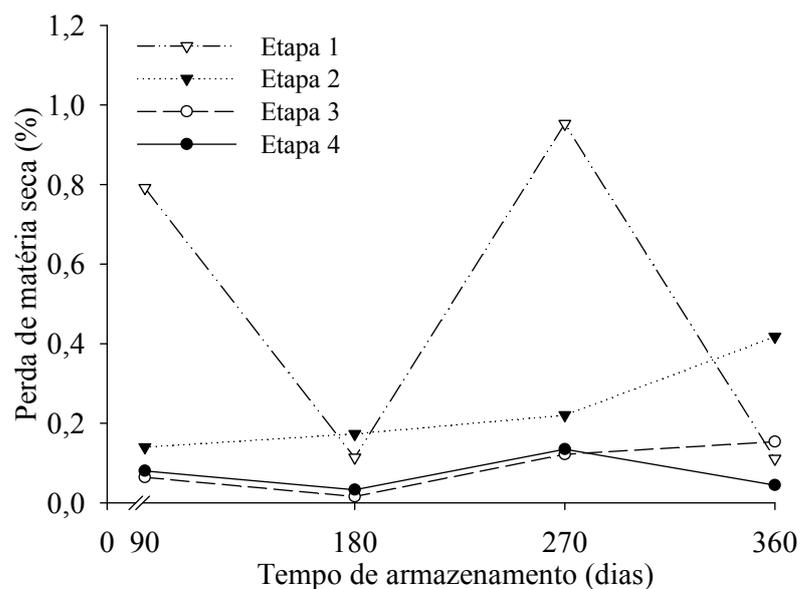


Figura 1·8. Perda de matéria seca dos grãos de café obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

Segundo Thompson (1972), o histórico da cultura, o teor inicial de água dos grãos e a interação entre temperatura de armazenagem e umidade relativa do ambiente são fatores que afetam a perda de matéria seca do produto durante o armazenamento, uma vez que podem influenciar a taxa respiratória. Portanto, com base nos resultados obtidos sugere-se que a maior perda observada para a etapa 1 resultou de um aumento na taxa respiratória dos grãos desta etapa, principalmente dos bóia, que podem ter iniciado um processo de fermentação. Além disso, segundo Prete (1992), a degradação de constituintes dos grãos, durante a respiração, pode levar à perda de massa do produto.

Nota-se pela Tabela 1·5 diferença significativa na perda de matéria seca no tempo de armazenamento para a etapa 1, sendo que a maior perda registrada aos 90 e 270 dias. As demais etapas não apresentaram variação significativa durante o período de armazenamento. Aos 270 dias de armazenamento, verifica-se que a perda de matéria seca da etapa 1 foi estatisticamente superior às etapas 3 e 4. Não houve diferença, entre as etapas durante os demais períodos de armazenamento para a perda de matéria seca.

Tabela 1·5. Valores médios de perda de matéria seca (%) dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
90	0,7912 a	0,1397 a	0,0637 a	0,0802 a
180	0,1138 a	0,1734 a	0,0153 a	0,0328 a
270	0,9529 a	0,2203 ab	0,1217 b	0,1345 b
360	0,1108 a	0,4176 a	0,1531 a	0,0442 a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Verificou-se que perda de matéria seca do café das etapas analisadas manteve-se em níveis aceitáveis para o armazenamento, sendo, no geral, inferior a 0,5 %. Esse valor de referência é indicado como máximo permissível para avaliação da perda de qualidade dos grãos (NG et al., 1998; GUPTA et al., 1999; SOROUR & UCHINO, 2004; NOGUEIRA, 2009). Observou-se que a percentagem de perda de matéria seca de grãos de café descascados foi inferior à perda observada para o café em coco. Resultados semelhantes foram verificados por Nogueira (2009) para o café armazenado por 180 dias.

1.3.7 Determinação dos índices de cor

1.3.7.1. Evolução da coordenada L^*

A Figura 1·9 contém os resultados relativos ao comportamento decrescente da coordenada L^* da cor dos grãos de café, ao longo do armazenamento. A maior redução da coordenada L^* , para todas as etapas pode ser verificada a partir de 180 dias do armazenamento. A redução observada nos valores de L^* caracteriza a alta qualidade do produto no início e ao longo do armazenamento.

Pode-se observar, ao comparar com a Figura 1-3, que após 180 dias de armazenamento, o teor de água dos grãos atingiu a faixa máxima favorecendo o realce na cor dos grãos observada pela coordenada L^* .

Alguns fatores contribuem para a redução desta coordenada na cor do café, entre eles a proteção causada pela casca quando os frutos são armazenados de forma natural (Godinho et al., 2000; Matiello, 2001) ou altas temperaturas de secagem (CORADI, 2006).

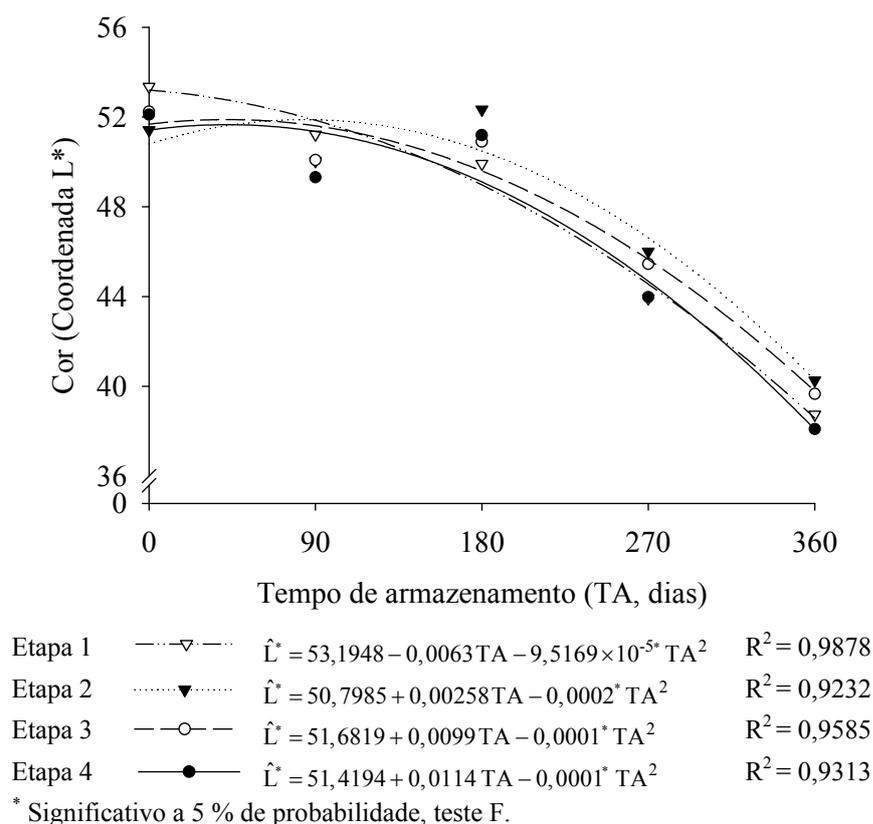


Figura 1-9. Evolução da coordenada L^* dos grãos de café obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

Em grãos de café armazenados, geralmente se observa o aumento da coordenada L^* , indicando o branqueamento dos grãos, conforme primeiramente descrito por Bacchi (1962) e confirmado por diversos autores (GODINHO et al., 2000; CORADI et al., 2008). O branqueamento, entretanto, é característico da perda na qualidade do café. De acordo com Matiello (1991) quando armazenados em condições adequadas, com teor de água entre 11 e 12 %, os grãos mantidos com a casca e o pergaminho mantêm sua cor inicial e conservam-se bem durante anos.

Na Tabela 1·6 estão contidas as médias da coordenada L^* para todas as etapas de processamento ao longo do período de armazenamento. Observa-se, no início e após 90 dias de armazenamento, diferença significativa entre a etapa 1 (Lavador) e a demais, sendo que essas apresentaram valores da coordenada inferior à primeira etapa do processamento.

Tabela 1·6. Valores médios da coordenada L^* dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	53,35 a	51,41 b	52,23 b	52,10 b
90	51,22 a	50,03 b	50,07 b	49,31 b
180	49,92 c	52,33 a	50,89 bc	51,18 b
270	43,92 b	46,00 a	45,44 a	43,97 b
360	38,73 bc	40,26 a	39,65 ab	38,08 c

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A partir de 180 dias do armazenamento, a etapa 1 apresentou os menores valores da coordenada em relação às demais, não diferindo estatisticamente, entretanto, da etapa 3 e da etapa 4 aos 180 dias e nos dois últimos tempos avaliados, respectivamente.

1.3.7.2. Evolução da coordenada a^*

Nota-se na Figura 1·10 que houve variação nos valores da coordenada a^* apenas dos grãos da etapa 1. Não houve variação significativa, ao longo do armazenamento, para as etapas 2, 3 e 4, sendo que a etapa 4 apresentou a menor média para essa coordenada.

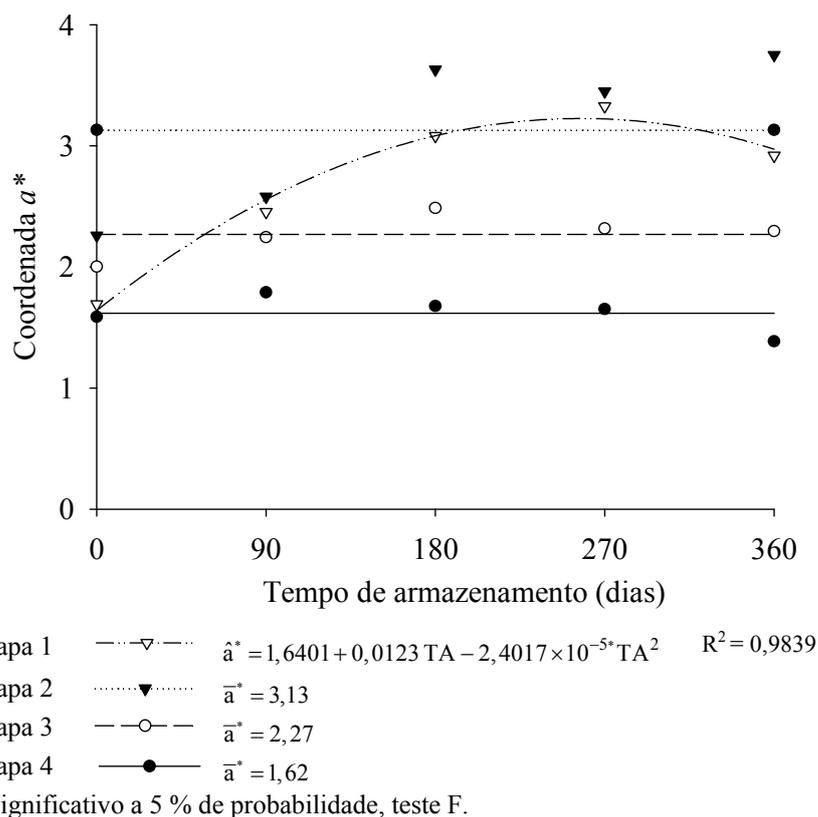


Figura 1·10. Evolução da coordenada a^* dos grãos de café obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

Foi possível separar as amostras armazenadas com e sem a casca pelo índice colorimétrico a , verificando-se que aquelas armazenadas em pergaminho (etapas 3 e 4) durante o tempo de armazenamento apresentaram maior intensidade da cor verde ($< a^*$), característico de produtos de melhor qualidade. Afonso Júnior & Correa (2003) observaram o mesmo comportamento quando analisaram o café processado por via seca e por via úmida, secados a 40°C.

Os valores médios ao longo do armazenamento são apresentados na Tabela 1·7. A etapa 2 apresentou os maiores índices de a^* em todos os tempo analisados. Ao longo do armazenamento, a intensidade de a^* aumentou para todas as três primeiras etapas.

Tabela 1·7. Valores médios da coordenada a^* dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	1,69 b	2,26 a	2,00 a	1,59 b
90	2,45 ab	2,58 a	2,24 b	1,79 c
180	3,08 b	3,63 a	2,48 c	1,67 d
270	3,33 a	3,45 a	2,32 b	1,65 c
360	2,91 b	3,75 a	2,29 c	1,38 d

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

1.3.7.3. Evolução da coordenada b^*

Na Figura 1·11, observa-se aumento dos valores da coordenada b^* da cor dos grãos de café durante o armazenamento, caracterizando um afastamento da coloração azul ($> b$).

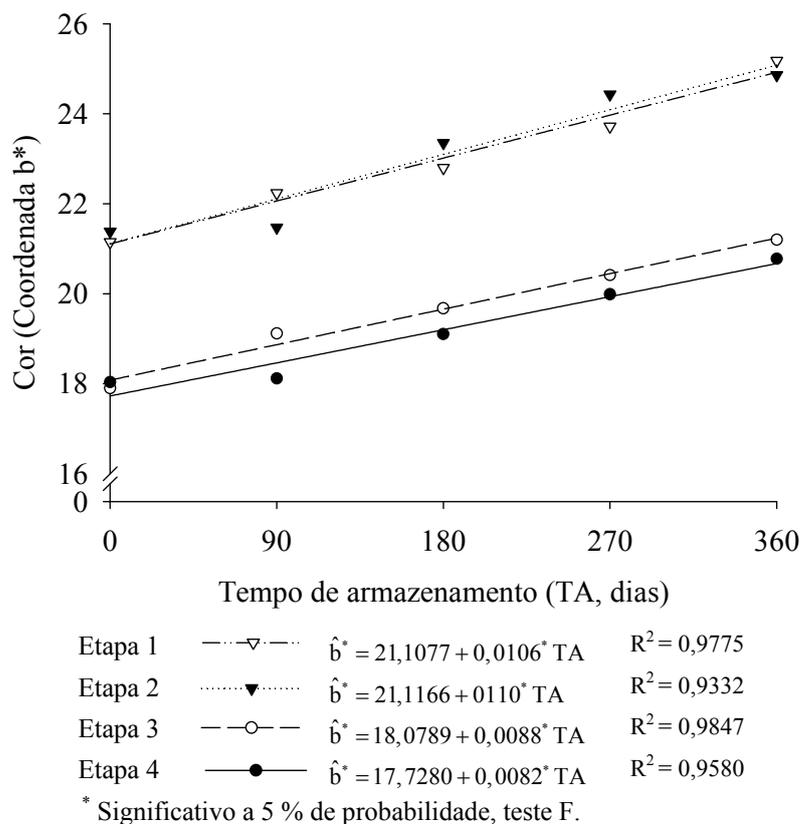


Figura 1·11. Evolução da coordenada b^* dos grãos de café obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

O incremento nos índices de coloração a^* e b^* indicam um afastamento da cor verde-azulada, característica do café de boa qualidade.

Da mesma forma que para a coordenada a^* , as etapas armazenadas em pergaminho (etapas 3 e 4) apresentaram os menores valores da coordenada b^* . O menor valor de b^* indica maior intensidade da coloração azul e, conseqüentemente, melhor qualidade do produto. À medida que a intensidade de b^* aumenta, a coloração se aproxima do amarelado, indesejável para a qualidade do café.

Em todos os tempos de armazenamento houve diferença significativa para os valores de a^* das etapas 1 e 2 (armazenadas com casca) em relação às etapas 3 e 4 (armazenadas sem casca), como observado na Tabela 1-8. Afonso Júnior & Corrêa (2003), comparando cafés obtidos via úmida com aqueles obtidos via seca, mostraram que os primeiros apresentaram maior uniformidade na manutenção da cor que os cafés via seca.

Tabela 1-8. Valores médios da coordenada b^* dos grãos de café, obtido de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	21,15 a	21,38 a	17,90 b	18,03 b
90	22,24 a	21,47 a	19,11 b	18,11 b
180	22,79 a	23,35 a	19,67 b	19,10 b
270	23,72 a	24,43 a	20,41 b	19,98 b
360	25,18 a	24,86 a	21,19 b	20,77 b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de armazenamento, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O processamento não retira por completo a mucilagem após a retirada da casca (etapa 3 – Descascador). Assim, após a secagem, o pergaminho torna-se escurecido em função do processo de caramelização do açúcar ainda presente nos grãos. Essa camada escurecida, entretanto, não foi suficiente para servir como proteção aos grãos contra a luminosidade.

1.3.8 Determinação do potencial hidrogeniônico – pH

A variação do pH dos grãos de café está apresentada na Figura 1-12, observando-se que a acidez dos grãos de café aumentou durante o armazenamento para todas as etapas do processamento. De acordo com Carvalho et al. (1994), a acidez do café é inversamente proporcional à sua qualidade e tende a aumentar ao longo do armazenamento (AMORIM, 1978; RODRIGUES, 2009).

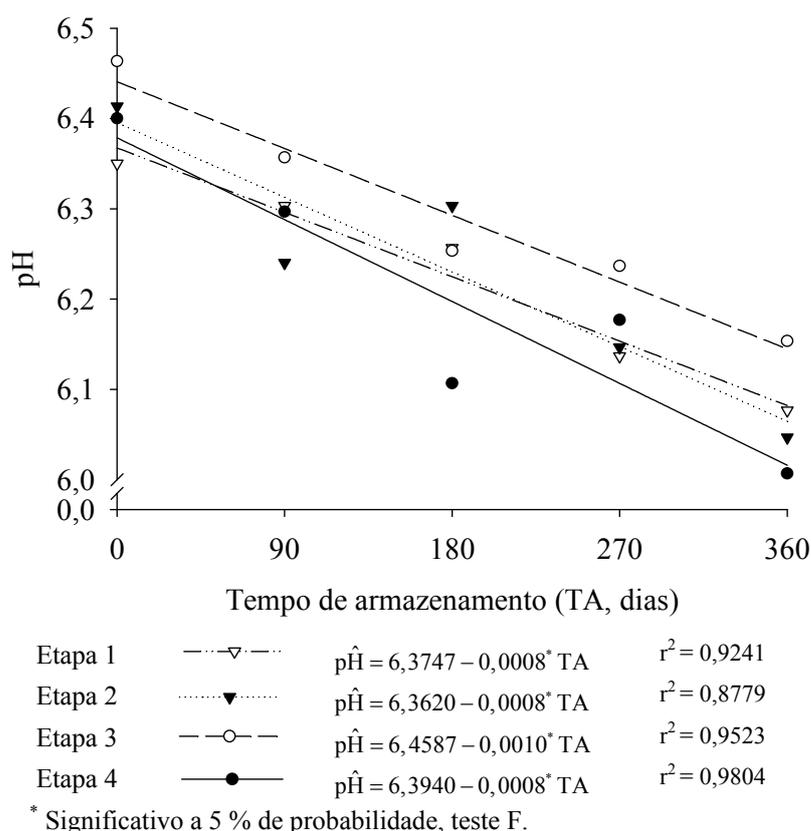


Figura 1-12. Variações do pH dos grãos de café obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, observados durante o armazenamento (etapa 1: Lavador; 2: Separador; 3: Descascador; 4: Desmucilador).

A etapa 3 (Descascador) apresentou, em todos os tempos de armazenamento os maiores valores de pH. A etapa 4 apresentou, em todos os períodos analisados a partir de 90 dias maior acidez.

Os valores médios de pH estão apresentados na Tabela 1-9. Observa-se em todas as etapas do processamento, diminuição dos valores de pH ao longo do tempo

de armazenamento, caracterizando aumento na acidez do produto e consequentemente redução da qualidade.

Tabela 1-9. Valores médios de pH dos grãos de café, obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
0	6,35 b	6,41 ab	6,46 a	6,40 ab
90	6,30 ab	6,24 b	6,36 a	6,30 ab
180	6,29 a	6,30 a	6,25 a	6,07 b
270	6,14 b	6,15 b	6,34 a	6,18 b
360	6,08 a	6,05 a	6,25 a	6,01 a

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

No início do armazenamento (Tempo 0), a etapa retirada do Lavador (etapa 1) apresentou o menor valor de pH possivelmente em função da presença de grãos verdes. Aos 90 e 270 dias, a etapa 3 atingiu os maiores valores, sinalizando menor acidez da amostra e consequentemente menor queda na qualidade. Esse resultado foi comprovado pelo teste de xícara qualificando essa etapa, após 270 dias, como “Apenas Mole”. De acordo com Leite et al. (1996) e Borém et al. (2008a), o despolpamento é eficiente para reduzir a acidez do café.

Aos 360 dias, não houve diferença significativa na acidez entre as etapas de processamento.

A etapa 3, em todos os tempos avaliados, apresentou os maiores valores de pH, caracterizando um produto de melhor qualidade, o que pode ser comprovado pelo teste de bebida.

1.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foram realizados os experimentos, conclui-se que:

- Não foi obtida uma relação crescente entre a etapa de processamento do café e o número de células rompidas por grão;

- Por meio da morfometria, foi possível relacionar a estrutura anatômica do endosperma dos grãos de café com a qualidade, aferida pelo teste de bebida;
- O café da etapa 1 (Lavador) apresentou qualidade inferior ao café das demais etapas pelo teste de bebida, além dos maiores valores de condutividade elétrica ao longo do armazenamento;
- De modo geral, a etapa 3 (Descascador) apresentou os menores valores de danos estruturais e condutividade elétrica, além dos maiores valores de pH. Essa etapa foi a que manteve por mais tempo a qualidade do produto;
- Ao longo do armazenamento, houve aumento na luminosidade (coordenada *L*) dos grãos, sendo que esses tornaram-se mais amarelados (coordenada *b*). Os grãos das etapas 2 (Separador), 3 (Descascador) e 4 (Desmucilador) mantiveram a coloração verde (coordenada *a*) ao longo dos 360 dias de armazenamento.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; SILVA, F. S. Contribuição das etapas de pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial Café, n. 8, p. 46 - 53, 2004.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORREA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1268 - 1276, 2003.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão do café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Piracicaba, 1978. 85p. (Livre-Docência, ESALQ/USP).

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyses of AOAC International**. 15 ed. Washington:AOAC, 1995.

BACCHI, O. O branqueamento dos grãos de café. **Bragantia**, v. 21, n. 28, p. 467 - 468, 1962.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 1985. 367 p.

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

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1609 - 1615, 2008a.

BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 62 - 66, 2008b.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. Qualidade do café despulpado submetido a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, n. 9, p. 25 - 31, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Aprova o regulamento técnico da identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Disponível em: http://www.abic.com.br/arquivos/abic_nm_a1d_inst_normativa08.pdf. Acesso em 02 abr. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regra para Análise de Sementes. Brasília, D. F., 1992. 155p.

CAFÉ – Revista Cafeicultura. Disponível em: <http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=32534&exportacao-brasileira-de-cafe-verde--teve-aumento-de-17-51-.html>. Acesso em 15 jun. 2010.

CARDONA, Y. P.; OLIVEROS, C. E.; ARIAS, D. F. ALVAREZ, F.; DEVI, A. Epicarp characterization of coffee fruits by atomic force microscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 2, p. 167 - 171, 2008.

CARLQUIST, S. The use of ethylenediamine in softening hard plant structures for paraffin sectioning. **Stain technology**, v. 57, n. 5, p. 311 - 317, 1982.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 449 - 454, 1994.

CHAVES, M. A. **Efeitos de impactos na germinação de três cultivares de sementes de soja**. Viçosa, 1990. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A. Influência de grãos defeituosos em algumas características químicas do café cru e torrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 2, p. 375 – 384, 2002.

CORADI, P. C. **Alterações na qualidade do café cereja natural e despulpado submetidos a diferentes condições de secagem e armazenamento**. 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

DE CASTRO, R. D.; MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 175 - 199, 2006.

DENTAN, E. Etude microscopique du développement et de la maturation du grain de café. **Proceedings of the 11th International Scientific Colloquium on Coffee**, Lomé, International Scientific Association on Coffee, Paris, p. 381 - 398, 1985a.

DENTAN, E. The microscopy structure of the coffee bean. In: CLIFFORD, M.N. & WILSON, K.C. (Eds) **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**, p. 284 - 304. Croom Helm, London, 1985b.

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

GODINHO, R. P.; VILELA, E. R.; OLIVEIRA, G. A.; CHAGAS, S. J. R. Variações na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em côco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 1, p. 38 - 43, 2000.

GOULART, P. F. P.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M.; FRIES, D. D.; MAGALHÃES, M. M.; MELO, H. C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662 - 666, 2007.

GUNASEKARAN, S.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Breakage susceptibility of corn of different stress-cracks categories. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 5, p. 1445 - 1446, 1993.

GUPTA, P.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of dry matter loss on corn quality. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 15, n. 5, p. 501-507, 1999.

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Company. 1940.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal. Seropédica: Edur. 1997.

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

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

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

McGUIRE, R. G. Reporting of objective colour measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, 1254 - 1255, 1992.

NG, H.F.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Mechanical damage and corn storability. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 4, p. 1095-1100, 1998.

NOGUEIRA, B. L. **Características físicas, químicas e biológicas do café (*Coffea arabica* L.) natural e descascado**. Viçosa, 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PITA-BARBOSA, A., SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; SILVA, K. L. F.; AZEVEDO, A. A.; ROCHA, D. I. Efeitos fitotóxicos do fluoreto na morfoanatomia foliar de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1027 - 1033, 2009.

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.

RESENDE, O.; CORREA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 225 - 230, 2008.

RODRIGUES, A. P. L. **Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais**. Viçosa, 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAATH, R.; BORÉM, F. M.; ALVES, E.; TAVEIRA, J. H. S.; MEDICE, R.; CORADI, P. C. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 196 - 203, 2010.

SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; DUQUE-BRASIL, R.; AZEVEDO, A. A.; SILVEIRA, A. S.; ARAÚJO, J. M.; AGUIAR, R. Utilização de parâmetros morfoanatômicos na análise da fitotoxicidade do flúor em folhas de *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) Spreng. (Magnoliaceae). **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 761 - 771, 2007.

SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; AGUIAR, R. Effects of simulated acid rain on leaf anatomy and micromorphology of *Genipa Americana* L. (Rubiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 2, p. 313 - 321, 2006.

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

SOROUR, H.; UCHINO, T. Effect of changing temperature on the deterioration of soya beans. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 4, p. 453-462, 2004.

THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using ontinuous aeration. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 2, p. 333-337, 1972.

TUFFI-SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; MELO, C. A. D.; SILVA, E. F. S. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta daninha**, v. 26, n. 1, p. 9 - 16, 2008.

VOSS, D. H. Relating colourimeter measurement of plant colour to the royal horticultural society colour chart. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1256 - 1260, 1992.

WOLFROM, M. L.; PATIN, D. L. Isolation and characterization of cellulose in the coffee bean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 12, p. 376 - 377, 1964.

WOLFROM, M. L.; PLUNKETT, R. A.; LAVER, M. L. Carbohydrates of coffee beans. II. Isolation and characterization of a mannan. **Journal of Organic Chemistry**, v. 26, p. 4533 - 4535, 1961.

CAPÍTULO 2

Estudo da secagem dos grãos de café de diferentes etapas do processamento via úmida

Resumo: Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da possível danificação mecânica, causada nas diferentes etapas de processamento via úmida sobre a cinética de secagem dos grãos de café arábica com e sem a presença de mucilagem. Foram utilizados grãos de café com teor de água médio de $1 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$ retirados de quatro etapas do processamento via úmida e submetidos a dois tratamentos; sendo que em um mantiveram-se a mucilagem e os resíduos do descascamento (Tratamento I) e no outro as amostras foram lavadas em água corrente ficando completamente limpas (Tratamento II). A secagem foi realizada nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A partir dos dados experimentais da secagem dos grãos de café, foram calculados o coeficiente de difusão efetivo, a energia e a entalpia de ativação, além de ajustar diferentes modelos matemáticos utilizados para representar o processo de secagem de produtos agrícolas. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com o aumento da temperatura sendo sempre maior para o Tratamento I, quando comparado as mesmas etapas. Observou-se ainda que os valores deste coeficiente aumentaram com o avanço do processamento para os dois tratamentos e foram maiores para o Tratamento II. A entalpia e a energia de ativação apresentaram os maiores valores para a secagem dos grãos com a presença de mucilagem. O modelo de Midilli foi o

que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem dos grãos de café para todas as condições testadas, sendo o recomendado para representar o processo.

Evaluation of the drying process of coffee grain at different stages of coffee wet processing

Abstract: The aim of this work was to evaluate the effect of mechanical damage caused by the different stages of coffee processing over the drying kinetics of arabic coffee grain, with and without mucilage. Coffee grains were used with average moisture content of $1 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$ retrieved from the four stages of coffee processing. Afterwards, the product was submitted to two treatments: the first one kept the mucilage and the residues from the dehulling process (Treatment I) and in the second the samples were washed in running water until total cleaning of them (Treatment II). The drying process was accomplished in the temperatures of 40, 50 and 60 °C. By means of the experimental data of the coffee grain dehydration, calculations to obtain the effective diffusion coefficient, the activation energy and enthalpy were made. Also, different mathematical models frequently used to represent the drying process of agricultural products were fitted to the experimental data. The effective diffusion coefficient increased with the increase of temperature, being always higher at the Treatment I when compared at the same stages. It was also observed that these values increased with the advance of the processing procedures for both treatments. The enthalpy and the activation energy presented higher values in coffee grain with the presence of the mucilage. The Midilli model best adjusted to the experimental data of the drying process of coffee grain at all tested conditions, being recommended to represent the process.

2.1 INTRODUÇÃO

O processamento do café pode ocorrer por duas vias, seca e úmida, sendo que a via úmida é uma técnica que origina cafés descascados e desmucilados. O processamento via úmida é importante por reduzir, ou eliminar determinados defeitos como, por exemplo, a separação dos grãos verde e bóia, proporcionando lotes mais

homogêneos. Embora essa técnica requeira investimentos mais elevados, utilização mais intensiva da mão-de-obra e maiores gastos de água em relação ao preparo natural agrega valor ao café e contribui para aumentar o valor comercial do produto no mercado (STEGEN, 2003).

Recentemente no Brasil, o processamento por via úmida, foi inovado com a exclusão da fase de fermentação (AFONSO JÚNIOR et al., 2001), surgindo a produção de cafés cereja descascados e desmucilados mecanicamente. Na obtenção do cereja descascado, a casca e a polpa do fruto são removidas de forma mecânica e a mucilagem é secada juntamente com o pergaminho, num processo conhecido como intermediário entre o natural e o despulpado ou desmucilado, que apesar de ter características próprias, tende comumente para as características do café natural, uma vez que as substâncias da mucilagem são transferidas para o grão.

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 da desuniformidade de maturação dos frutos. Submeter o produto à secagem logo depois da sua colheita ou processamento, permite atingir um bom padrão de qualidade, evitando a deterioração por microrganismos. Entre outros fatores, a secagem é uma das mais importantes fases no processamento do café, tanto sob o aspecto de consumo de energia, como na influência que essa operação tem sobre a qualidade final do produto. (BORÉM & REINATO, 2006).

A diminuição do teor de água de produtos biológicos reduz sua atividade de água bem como as mudanças físicas e químicas que podem ocorrer durante o armazenamento. Esta redução do teor de água dos grãos é um fenômeno que envolve simultaneamente processo de transferência de calor e massa, e que podem alterar substancialmente sua qualidade, dependendo do método empregado e das condições de secagem (HALL, 1980).

Em produtos capilares porosos, como a maioria dos produtos agrícolas, os possíveis mecanismos de transporte de água são: difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica (BROOKER et al., 1992).

Para que ocorra a difusão de água em grãos durante a secagem é necessário, basicamente, que exista uma força motriz, ou seja, um gradiente de concentração de água entre a superfície e o interior do produto.

Para o cálculo teórico do coeficiente de difusão de diversos produtos agrícolas, muitos pesquisadores têm se baseado na teoria da difusão líquida, conhecida como segunda lei de Fick, que estabelece uma relação do coeficiente de difusão com o gradiente de concentração de um meio. O coeficiente de difusão pode ser usado quando o produto é considerado como um material homogêneo (IGUAZ et al., 2003). Este coeficiente determinado é considerado como efetivo ou aparente porque os modelos baseados na segunda Lei de Fick não são rigorosamente representativos dos diversos mecanismos que prevalecem no transporte de água em produtos agrícolas (ROCA et al., 2008).

A diversidade da composição química e a estrutura física dos produtos contribuem para a complexidade do mecanismo da difusão. Desta forma, os dados disponíveis na literatura especializada apresentam elevada variação nos seus valores, não só devido à complexidade dos produtos, como também dos diferentes métodos de estimação, tipo de material, teor de água, processo de secagem e metodologia utilizados para sua obtenção (ZOGZAS et al., 1996). Além disso, fatores como temperatura elevada do ar de secagem, presença de tensões internas, características genótípicas do produto e danificação física devido ao seu processamento podem influenciar o processo difusivo.

Embora o processamento via úmida contribua de forma significativa para agregar valor ao café, os grãos são submetidos a esforços de compressão e abrasão na separação e descascamento dos frutos que podem acarretar desde sua quebra até danos imperceptíveis a olho nu, sendo que as injúrias têm efeito cumulativo e afetam sua estrutura física e fisiológica, não só no armazenamento como também no seu beneficiamento e qualidade do produto final.

Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da possível danificação mecânica, causada pelas diferentes etapas de processamento via úmida dos grãos de café, sobre a cinética de secagem do café arábica com e sem a presença de mucilagem.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado na Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG.

Foram utilizados grãos de café cereja, *Coffea arabica* L. var. Catuaí Vermelho, com teor de água inicial de, aproximadamente, $1,0 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$ (quilograma de água por quilograma de matéria seca) provenientes de uma única plantação comercial e processados na Unidade de Processamento Coletivo de Café, Viçosa – MG.

Sugerindo que o processamento via úmida do café seja causa de danificação mecânica, principalmente interna ao produto, amostras de café foram retiradas de quatro etapas do processamento: depois da lavagem (etapa 1), após a separação de frutos verdes e cerejas (etapa 2), depois do descascamento (etapa 3) e após a desmucilagem (etapa 4). Depois de serem transportados para o laboratório, os frutos imaturos presentes nas etapas 1 e 2 foram descartados e os maduros descascados manualmente de forma a se obter grãos em pergaminho, semelhante aqueles descascados mecanicamente e retirados das etapas 3 e 4.

2.2.1 Secagem do produto

A secagem do produto, dos dois tratamentos, foi conduzida com temperatura controlada e umidades relativas médias do ar de: 40 °C e 26 %; 50 °C e 16 % e 60 °C e 10 %. No Tratamento I, os grãos foram secados imediatamente após a obtenção das amostras e a retirada do pericarpo dos frutos das etapas 1 e 2. Este tratamento, então, caracterizou-se por amostras de grãos com parte do mesocarpo (mucilagem) aderida ao endocarpo (pergaminho), além de resíduos, principalmente partes das cascas dos frutos (pericarpo), sendo denominado ‘com mucilagem’.

No segundo tratamento, os grãos após as etapas 1 e 2 foram descascados manualmente, todas as amostras foram submetidas a lavagem em água corrente abundante para a retirada da mucilagem e dos resíduos do processamento.

O teor de água do produto foi determinado pelo método de estufa, a $105 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 24 h (BRASIL, 1992).

Os grãos foram submetidos à secagem, em duas repetições, em estufa com circulação forçada de ar, acondicionados em bandejas com fundo telado, sendo que cada bandeja continha, inicialmente, 1 kg de café.

Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente sendo que o teor de água foi acompanhado por diferença de massa. A secagem do café prosseguiu até que o produto atingisse seu teor de água final de aproximadamente $0,12 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$.

2.2.2 Cálculo do coeficiente de difusão efetivo

A taxa de secagem influenciada pela possível danificação mecânica causada pelas etapas de processamento via úmida nos grãos de café foi avaliada por meio da análise do coeficiente de difusão efetivo.

O coeficiente de difusão efetivo para cada etapa foi calculado por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrito pela Equação 2·1, aos dados experimentais da secagem do café.

$$RU = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2 D_{ef} t}{r^2} \right] \quad (2\cdot1)$$

Em que:

RU : razão de umidade (adimensional);

D_{ef} : coeficiente de difusão efetivo, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$;

r : raio equivalente do produto, m;

n : número de termos da série; e

t : tempo, s.

A Equação 2·1 é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica esférica e a condição de contorno de teor de água conhecida na sua superfície e desconsiderando a variação volumétrica do produto. A solução analítica dessa equação apresenta-se na forma de uma série infinita de rápida convergência. Desta forma, um número finito de termos (n) pode ser utilizado para

uma precisão especificada. Entretanto, para longos períodos de secagem, a Equação 1 pode ser simplificada, utilizando apenas o primeiro termo da série, sem afetar a predição do resultado (MENDOZA et al., 2003, DOYMAZ & PALA, 2003, RAMESH et al., 2001). Este critério pode ser utilizado desde que o número de Fourier (F_0) para transferência de massa seja maior que 1,2 ($F_0 = D_{ef} \pi^2 t r^{-2} > 1,2$), situação em que o erro obtido é menor que 5 %.

Para a determinação da razão de umidade dos grãos de café, para as diferentes temperaturas de secagem, utilizou-se a Equação 2.2:

$$RU = \frac{U_t^* - U_e^*}{U_0^* - U_e^*} \quad (2.2)$$

Em que:

- U_t^* : teor de água para um dado instante de tempo, $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$;
- U_0^* : teor de água do produto no tempo zero, $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$; e
- U_e^* : teor de água no equilíbrio, $\text{kg}_a \text{kg}_{\text{ms}}^{-1}$.

O teor de água de equilíbrio para os grãos de café foi obtido segundo Afonso Júnior et al. (2008).

O volume dos grãos foi considerado como sendo metade do volume de um fruto de café e este pode ser aproximado ao volume de um esferóide prolato (Figura 2.1) e obtido pela Equação 2.3:

$$V_g = \frac{\pi}{12}(abc) \quad (2.3)$$

Em que:

- V_g : volume do grão, mm^3 ;
- a : maior dimensão característica do grão, m;
- b : dimensão característica média do grão, m; e
- c : menor dimensão característica do grãos, m.

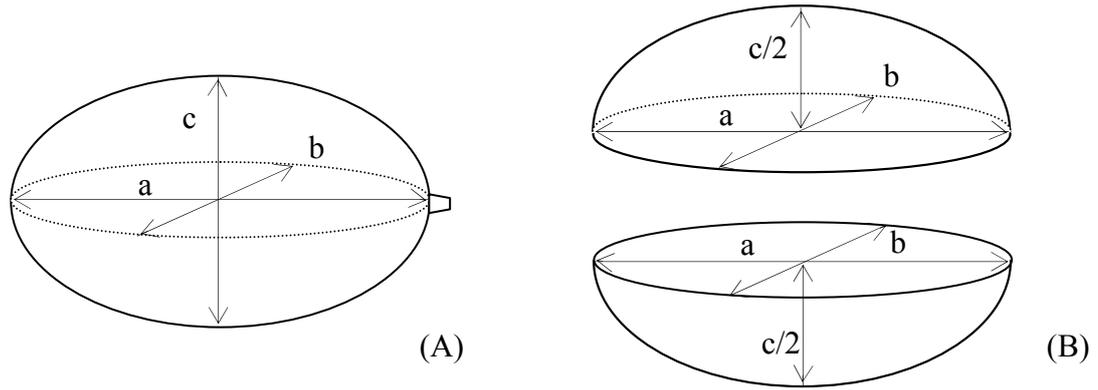


Figura 2.1. Desenho esquemático de um esferóide prolato com suas dimensões características (A) e de um esferóide prolato dividido ao meio pela sua menor dimensão característica (B).

2.2.3 Parâmetros termodinâmicos ligados ao coeficiente de difusão efetivo

Para verificar o efeito da temperatura sobre a cinética de secagem dos grãos de café, utilizou-se a equação de Arrhenius (Equação 2.4). Essa expressão é clássica em diversos estudos de termodinâmica e cinética (SWASDISEVI et al., 2009; CORRÊA et al., 2007; GELY & GINER, 2007; GONELI et al., 2007). Pela sua estrutura, é fácil observar que um gráfico de $\ln(D_{ef})$, em função do inverso da temperatura (T^{-1}), fornece uma reta cujo coeficiente angular pode estimar o valor da energia de ativação para determinado experimento.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.4)$$

Em que:

D_0 : Fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$;

E_a : Energia de ativação, $kJ mol^{-1}$;

T : Temperatura, K; e

R : Constante universal dos gases, $kJ mol^{-1} K^{-1}$.

A partir da energia de ativação, pode-se determinar diferentes parâmetros termodinâmicos (Jideani & Mpotokwana, 2009), como a entalpia de ativação, segundo a Equação 2.5.

$$E_a = \Delta H^* + RT \quad (2.5)$$

Em que:

ΔH^* : Entalpia de ativação, kJ mol⁻¹.

2.2.4 Modelagem do processo de secagem

Alguns dos modelos semi-empíricos frequentemente utilizados para modelagem do processo de secagem de produtos agrícolas são simplificações do modelo teórico descrito pela Lei de Fick para a difusão de água (Equação 2.6), em que é considerado apenas o primeiro termo da série. As expressões semi-empíricas têm uma forma básica, conforme a seguinte simplificação (BROOKER et al, 1992):

$$RU = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} \pi^2 t}{r^2}\right) = \frac{6}{\pi^2} \exp(-k t) \quad (2.6)$$

Em que:

k : constante de secagem, s⁻¹.

Desta forma, a constante de secagem se relaciona com o coeficiente de difusão efetivo conforme a Equação 2.7:

$$k \cong \frac{D_{ef} \pi^2}{r^2} \quad (2.7)$$

Os modelos semi-empíricos diferem entre si pela presença de diferentes parâmetros de ajuste e do modelo da difusão líquida pela ausência da constante $6 \pi^2$.

Assim, alguns modelos de secagem semi-empíricos podem ser simplificados utilizando o coeficiente de difusão efetivo em sua forma básica, conforme apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2·1 – Modelos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas adequados à secagem de grãos de café em função do coeficiente de difusão efetivo

Designação do modelo	Modelo	
$RU = \exp(-D_{ef} P t^\eta)$	Page	(2·8)
$RU = \alpha \exp(-D_{ef} P t^\eta) + \beta t$	Midilli	(2·9)
$RU = \alpha \exp(-D_{ef} P t) + \delta$	Logarítmico	(2·10)
$RU = \alpha \exp(-D_{ef} P t)$	Henderson e Pabis	(2·11)
$RU = \alpha \exp(-D_{ef} P t) + (1 - \alpha) \exp(-D_{ef} P \beta t)$	Aproximação da Difusão	(2·12)

Em que:

RU : razão de umidade, adimensional;

t : tempo de secagem, s;

D_{ef} : coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;

P : constante equivalente a $\pi^2 r^{-2}$, m^{-2} ;

$\alpha, \beta, \delta, \eta$: parâmetros de ajuste dos modelos.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não linear, pelos métodos Gauss Newton e Simplex, utilizando o programa Statistica 5.0[®]. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo considerou-se a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE). O coeficiente de determinação apesar de não ser recomendado para verificar o ajuste de modelos não-lineares, normalmente apresenta maiores valores para os modelos que melhor se ajustam aos dados experimentais. O erro médio relativo e o desvio padrão da estimativa, para cada modelo, foram calculados conforme as Equações 2·13 e 2·14.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (2·13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (2·14)$$

Em que:

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor calculado pelo modelo;

n : número de observações experimentais;

GLR : grau de liberdade do resíduo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2·2 estão apresentados os dados experimentais da variação do teor de água, em relação ao tempo, referentes à secagem dos grãos de café nas diferentes temperaturas utilizadas e para as diferentes etapas do processamento via úmida.

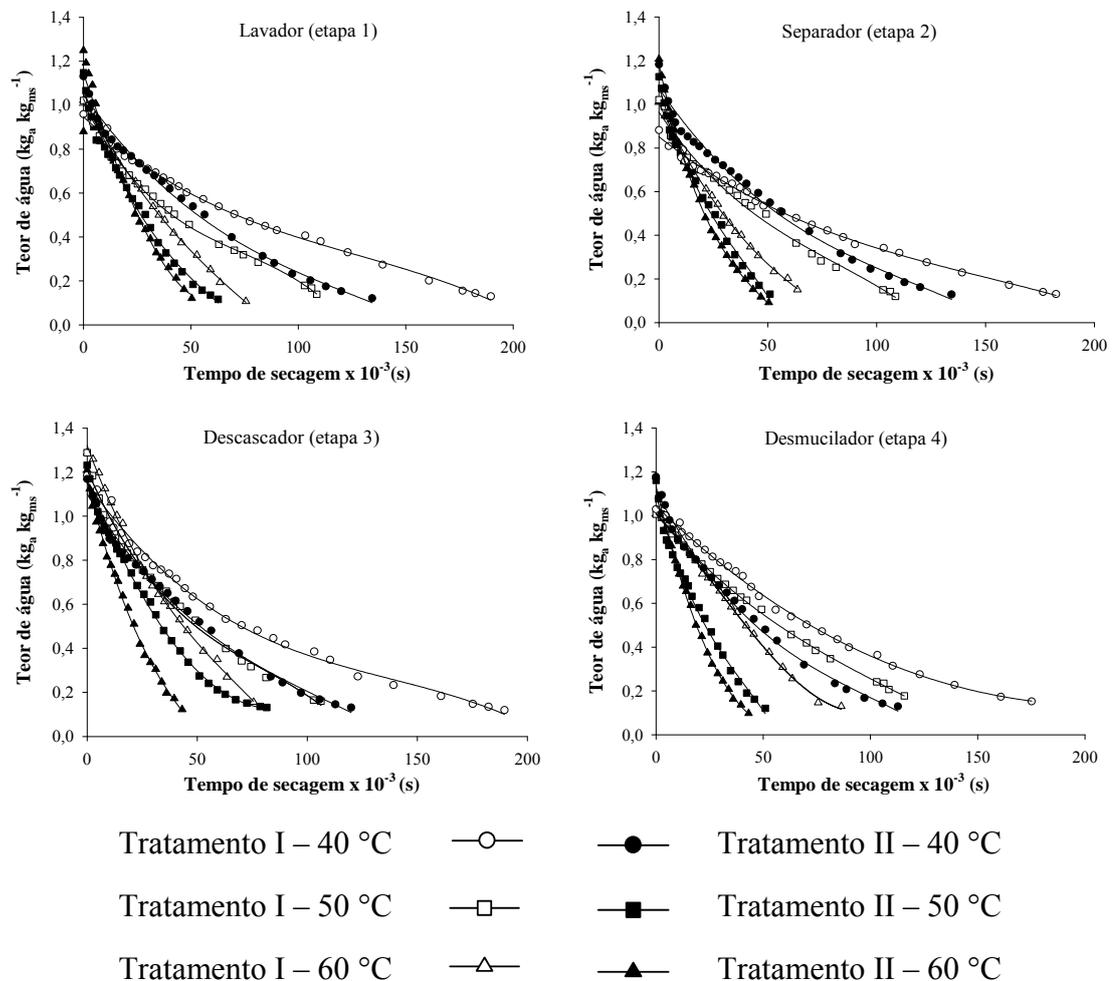


Figura 2·2. Valores observados da variação do teor de água, em relação ao tempo, referentes à secagem dos grãos de café nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C obtidos das diferentes etapas de processamento via úmida.

Observa-se, pela Figura 2·2, que à medida que se aumentou a temperatura, o tempo de secagem diminuiu independentemente da etapa de processamento e do tratamento ao qual o produto foi submetido (com e sem resíduos do processamento), conforme normalmente observa-se na secagem de produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2006; LACERDA FILHO et al., 2006). Considerando-se um mesmo tratamento, o tempo de secagem observado para a temperatura de 40 °C foi aproximadamente 2,5 vezes superior ao tempo requerido para a temperatura de 60 °C. No entanto, observou-se também que os grãos de café do Tratamento I apresentaram tempos de secagem superiores aos do Tratamento II, para uma mesma temperatura e etapa de processamento. Isto, provavelmente, ocorreu em função da presença de mucilagem que permanece aderida ao pergaminho do grão de café.

O mesocarpo do fruto (mucilagem) é muito viscoso e possui um alto teor de açúcares, sendo este um dos motivos que dificultam a secagem, principalmente no início do processo, uma vez que existe alta afinidade do açúcar por água. Com o avanço do processo de secagem, a mucilagem enrijece na superfície do pergaminho dificultando a evaporação da água e, além disso, faz com que os grãos fiquem possivelmente aderidos uns aos outros, dificultando a passagem de ar na massa de grãos.

Na Tabela 2·2 estão apresentados os valores calculados do coeficiente de difusão efetivo para os grãos de café em pergaminho dos Tratamentos I e II referentes à secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Tabela 2.2. Valores calculados do coeficiente de difusão efetivo dos grãos de café, obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida e secados em diferentes temperaturas

Tratamento	Temperatura (°C)	Coeficiente de difusão efetivo, $D_{ef} \times 10^{11}$ ($m^2 s^{-1}$)			
		Etapa			
		1	2	3	4
I	40	0,901	0,872	1,453	0,970
	50	1,994	1,913	2,343	1,717
	60	2,702	2,976	2,961	2,145
II	40	5,083	4,768	5,835	6,104
	50	7,863	8,197	8,045	9,519
	60	10,65	10,58	12,10	13,15

Nota-se pela Tabela 2.2 que os valores do coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}), para os dois tratamentos e para as quatro etapas do processamento via úmida dos grãos de café, aumentaram com o aumento da temperatura de secagem e, estão coerentes com resultados citados na literatura para secagem de produtos agrícolas, que segundo Madamba et al. (1996) apresentam valores da ordem de 10^{-11} a $10^{-9} m^2 s^{-1}$.

Este comportamento para o D_{ef} com a temperatura é frequentemente relatado em trabalhos que envolvem transporte de água em produtos agrícolas, seja por fenômenos de absorção, adsorção ou dessorção. Addo et al. (2006), estudando a embebição em duas variedades de milho, ‘Obatanpa’ e ‘Mamaba’, encontraram valores do D_{ef} variando de $7,3 \times 10^{-12}$ a $9,3 \times 10^{-12} m^2 s^{-1}$ e $6,3 \times 10^{-12}$ a $8,25 \times 10^{-12} m^2 s^{-1}$, respectivamente, para uma faixa de temperatura de 30 a 60 °C. Gely & Giner (2007) estudando o processo de secagem em uma variedade de soja observaram valores do D_{ef} entre $1,78 \times 10^{-11}$ e $28 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$ para temperaturas variando entre 19 e 75°C.

A dependência desse coeficiente com a temperatura pode ser explicada pelo fato de que, com o aumento da temperatura, a viscosidade da água diminui e, sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluido ao escoamento, variações dessa propriedade implicam alterações na difusão da água nos capilares do grão de modo a favorecer a movimentação desse fluido no produto. Outro fator a que pode ser atribuída essa variação do coeficiente de difusão efetivo é que com o aumento da

temperatura aumenta o nível de vibração molecular das moléculas da água, o que também contribui para uma difusão mais eficaz.

Os valores de D_{ef} para os grãos de café do Tratamento I não apresentaram comportamento definido entre as etapas de processamento. Além disso, os valores de D_{ef} observados para o Tratamento I foram sempre inferiores (pelo menos 3,5 vezes menor) aos observados no Tratamento II, provavelmente em função da presença de mucilagem nas etapas iniciais e dos resíduos do beneficiamento nas etapas finais, refletindo o que foi observado na Figura 2·1.

Para o Tratamento II, notou-se que os valores de D_{ef} aumentaram com o avanço das etapas de processamento. Como neste tratamento os grãos de café foram previamente processados para retirada da mucilagem e resíduos de beneficiamento em todas as etapas, sugere-se que o aumento nos valores de D_{ef} seja reflexo dos danos mecânicos ocorridos no processamento do café.

Nas etapas de separação, descascamento e desmucilagem que ocorrem no processamento via úmida, os frutos de café são submetidos a impactos e esforços mecânicos abrasivos que podem danificar os grãos externa e, principalmente, internamente criando assim canais preferenciais para a movimentação da água ao longo do processo de secagem, refletindo em maiores valores para o D_{ef} .

Com base nos coeficientes de difusão observados pode-se concluir que assim como a temperatura, a integridade física do produto interferiu de forma expressiva no processo de secagem. No entanto, no caso dos grãos de café, este resultado pode ser influenciado pela presença ou não de mucilagem e de resíduos do processamento.

A dependência do coeficiente de difusão efetivo dos grãos de café obtidos em diferentes etapas do beneficiamento via úmida, submetidos aos Tratamentos I e II, com a temperatura esta representada na Figura 2·3, correspondente à linearização da Equação de Arrhenius.

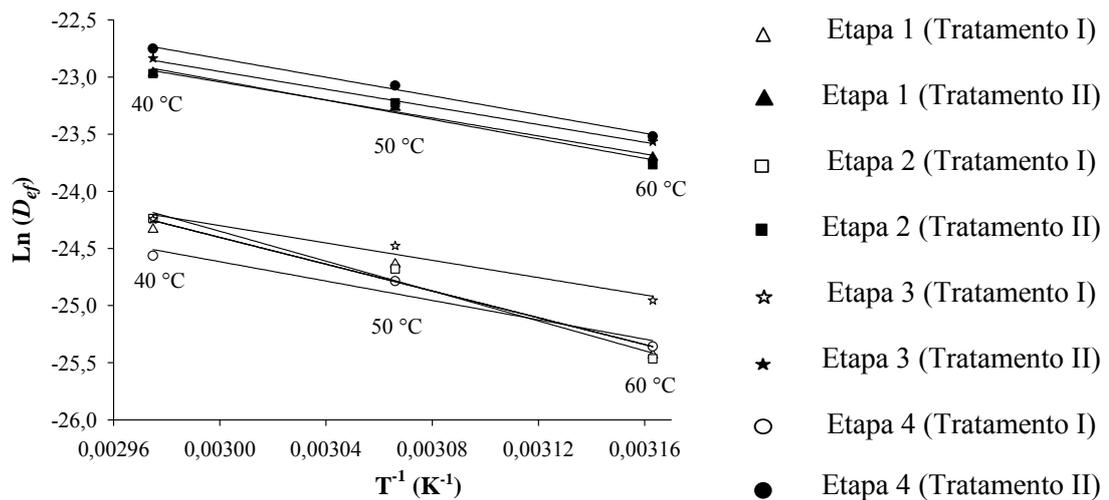


Figura 2.3. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}) dos grãos de café obtidos das diferentes etapas de processamento via úmida.

Observa-se, pela Figura 2.3, que no intervalo de temperatura experimentado (40 a 60 °C), houve uma uniformidade na variação do D_{ef} com a temperatura para todas as etapas estudadas e uma boa relação entre os dados observados e os estimados pelo modelo de Arrhenius, principalmente para os dados obtidos para o Tratamento II.

A Tabela 2.3 apresenta as energias de ativação obtidas a partir da equação de Arrhenius ajustada aos coeficientes de difusão efetivos da secagem dos grãos de café dos Tratamentos I e II e para a faixa de temperatura entre 40 e 60 °C.

Tabela 2.3. Valores observados da energia de ativação (E_a) referentes à secagem dos grãos de café, obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, em diferentes temperaturas

Etapa	E_a (J mol ⁻¹)	
	Tratamento I	Tratamento II
1	48.731,7	32.727,2
2	54.368,6	35.331,2
3	31.541,7	30.258,0
4	35.228,9	33.941,1

Nota-se, pela Tabela 2.3, que a energia de ativação das etapas 1 e 2 do Tratamento I foram superiores as demais etapas, provavelmente devido à presença de mucilagem nos grãos, fazendo com que o processo de secagem seja dificultado. Além disso, as energias de ativação, referentes ao Tratamento II, foram sempre menores que os do Tratamento I (para uma mesma etapa), e mantiveram-se praticamente constantes para todas as etapas, o que vem a reforçar a influência da mucilagem presente nos grãos no processo de secagem do café. Nota-se também que os valores das etapas 3 e 4 do Tratamento I, apresentam valores semelhantes aos do Tratamento II, justamente pelo fato de que nestas etapas o café já perdeu parte de sua mucilagem no processamento. A energia de ativação, por definição, é a energia mínima exigida para que um determinado processo seja desencadeado, sendo que, neste caso, quanto menor o seu valor mais facilmente será desencadeado o processo difusivo nos grãos de café. Assim, de acordo com os resultados obtidos quanto maior a presença de mucilagem no produto, maior será a energia requerida e, conseqüentemente, menor a difusão de água no mesmo.

Os valores de E_a encontrados neste trabalho estão coerentes com os encontrados na literatura, que segundo Zogzas et al. (1996), em se tratando de produtos agrícolas, variam entre 12,7 a 110 kJ mol⁻¹.

Na Tabela 2.4 estão apresentados os valores da entalpia de ativação (ΔH^*) para a secagem dos grãos de café dos Tratamentos I e II, obtidos indiretamente a partir dos valores da E_a , para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Tabela 2.4. Valores observados da entalpia de ativação (ΔH^*) referentes à secagem dos grãos de café, obtidos de diferentes etapas do processamento via úmida, em diferentes temperaturas

Etapa	ΔH^* (kJ mol ⁻¹)					
	Temperatura (°C)					
	40	50	60	40	50	60
	Tratamento I			Tratamento II		
1	46,13	46,05	45,96	30,12	30,04	29,96
2	51,77	51,68	51,60	32,73	32,64	32,56
3	28,94	28,85	28,77	27,65	27,57	27,49
4	32,63	32,54	32,46	31,34	31,25	31,17

Pode-se observar pela Tabela 2.4 que o comportamento para a entalpia de ativação é muito semelhante ao apresentado para a energia de ativação, ou seja, os valores apresentados pelo Tratamento I foram sempre superiores aos do Tratamento II, independentemente da temperatura. Além disso, novamente pode-se observar a influência da mucilagem no processo de secagem dos grãos de café, uma vez que os maiores valores de entalpia de ativação observados foram justamente para as etapas 1 e 2 do Tratamento I (não desmucilados).

A entalpia de ativação (ΔH^*) diminuiu com o aumento da temperatura, para todas as etapas e tratamentos utilizados. Analisando a equação utilizada para se obter este parâmetro termodinâmico (Equação 2.5), pode-se concluir que, de fato, este seria o comportamento esperado. Bayram et al. (2004), estudando variações nas propriedades físicas dos grãos de soja durante o cozimento também observaram esta tendência para a entalpia de ativação.

De acordo com estes resultados, pode-se concluir que o processo de difusão da água nos grãos de café durante a secagem é dependente de calor e necessita de energia (ou um incremento de energia) para ser desencadeado ($\Delta H^* > 0$), como normalmente se observa durante a secagem de produtos agrícolas. A avaliação dos valores da entalpia de ativação permite analisar como um incremento de energia pode contribuir energeticamente no processo de difusão de água, durante a secagem.

Na Tabela 2.5 estão apresentados os resultados dos parâmetros estatísticos utilizados para modelagem do processo de secagem dos grãos de café das diferentes etapas dentro de cada tratamento.

Baseando-se nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 2.5, é possível observar que apenas o modelo de Midilli modificado (Equação 2) apresentou valores para o erro médio relativo (P) menores que 10 % para todas as condições testadas, o que é tido na literatura como um valor de referência para um ajuste satisfatório do modelo aos dados experimentais (MOHAPATRA & RAO 2005; CORRÊA et al., 2007; RESENDE et al., 2009). Além disso, o modelo de Midilli modificado apresentou os menores valores para o desvio padrão da estimativa para todas as condições testadas em relação aos demais modelos.

O modelo de Midilli é frequentemente recomendado para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas, como por exemplo, folhas de *Cymbopogon citratus* (MARTINAZZO et al., 2007) e maçã (MENGES & ERTEKIN, 2006), e no caso deste trabalho, apesar de inserido o coeficiente de difusão efetivo no modelo, o que diminui um dos parâmetros de ajuste, este ajustou-se satisfatoriamente aos dados experimentais.

Tabela 2.5. Coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativo (P) e estimado (SE) para os cinco modelos analisados durante a secagem de grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida, com e sem mucilagem, nas diversas condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Etapa	PE*	Tratamento I					Tratamento II				
		Modelos									
		8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
Temperatura 40 $^{\circ}\text{C}$											
1	P	7,44	3,83	4,13	44,93	4,08	8,23	4,17	10,42	8,09	8,70
	SE	0,029	0,020	0,023	0,165	0,024	0,045	0,030	0,039	0,044	0,045
	R^2	98,99	99,54	99,36	66,48	99,32	97,09	98,70	97,86	97,07	97,07
2	P	5,34	2,40	3,39	40,95	2,98	6,72	2,10	9,52	6,84	8,55
	SE	0,023	0,014	0,018	0,150	0,018	0,046	0,026	0,037	0,040	0,047
	R^2	99,21	99,72	99,51	64,70	99,53	96,95	99,04	98,12	97,68	96,94
3	P	7,55	7,22	11,86	44,98	11,49	12,40	4,62	16,43	10,45	11,66
	SE	0,038	0,032	0,045	0,132	0,046	0,041	0,027	0,045	0,052	0,042
	R^2	97,90	98,51	97,14	73,78	96,92	97,82	99,09	97,47	96,39	97,77
4	P	12,39	6,33	9,59	61,75	7,19	8,76	2,99	11,28	8,21	8,67
	SE	0,038	0,022	0,030	0,175	0,025	0,036	0,016	0,027	0,180	0,024
	R^2	98,26	99,41	98,89	61,76	99,24	98,34	99,35	98,33	97,55	98,30
Temperatura 50 $^{\circ}\text{C}$											
1	P	13,24	3,77	4,45	52,07	6,63	9,32	5,70	11,62	8,04	8,86
	SE	0,041	0,030	0,029	0,120	0,036	0,042	0,042	0,040	0,044	0,045
	R^2	97,94	98,97	98,98	81,18	98,51	98,56	99,31	98,35	97,80	98,55
2	P	5,18	4,52	6,71	35,80	5,26	10,51	5,08	7,07	6,76	10,47
	SE	0,024	0,021	0,033	0,117	0,028	0,074	0,041	0,042	0,040	0,075
	R^2	99,24	99,43	98,61	81,30	99,00	92,00	93,01	92,45	92,15	91,99
3	P	10,42	6,45	10,67	48,97	6,51	14,00	6,47	15,41	11,11	11,96
	SE	0,031	0,026	0,030	0,119	0,028	0,047	0,033	0,055	0,069	0,042
	R^2	98,78	99,19	98,85	81,48	99,06	97,46	98,78	96,43	94,51	98,06
4	P	20,01	1,94	2,10	74,82	2,12	12,27	8,39	15,31	11,29	12,06
	SE	0,042	0,008	0,008	0,147	0,009	0,034	0,008	0,008	0,126	0,009
	R^2	98,36	99,95	99,95	79,06	99,93	96,20	97,47	96,19	95,25	96,15
Temperatura 60 $^{\circ}\text{C}$											
1	P	34,46	8,02	15,36	80,27	8,12	12,18	2,15	14,26	11,58	10,92
	SE	0,064	0,023	0,035	0,152	0,022	0,034	0,024	0,037	0,042	0,034
	R^2	95,60	99,47	98,76	73,78	99,50	99,00	99,78	98,38	97,30	99,19
2	P	13,97	5,27	6,08	46,29	10,95	8,33	5,74	8,71	7,39	8,00
	SE	0,036	0,019	0,020	0,130	0,030	0,030	0,023	0,034	0,038	0,030
	R^2	98,34	99,59	99,54	77,41	98,93	98,81	99,32	98,55	98,14	98,90
3	P	10,31	7,38	9,16	37,81	7,50	14,60	5,02	17,56	13,08	13,34
	SE	0,034	0,033	0,038	0,113	0,033	0,036	0,019	0,046	0,056	0,034
	R^2	97,56	97,98	97,72	78,72	97,99	98,43	99,58	97,48	95,99	98,59
4	P	40,20	8,71	17,98	84,59	34,31	14,56	3,64	16,50	12,34	13,19
	SE	0,089	0,030	0,051	0,179	0,084	0,034	0,033	0,038	0,113	0,033
	R^2	92,01	99,60	97,48	66,26	93,33	98,29	99,68	97,33	95,94	98,55

* Parâmetros estatísticos.

Na Tabela 2-6 estão apresentados os coeficientes ajustados do modelo para as diferentes condições testadas.

Tabela 2-6. Coeficientes ajustados do modelo de Midilli modificado para todas as etapas dos Tratamentos I e II e para as temperaturas de secagem de 40, 50 e 60 °C dos grãos de café

Temperatura (°C)	Etapa	Coeficientes					
		α	η	$\beta (\times 10^7)$	α	η	$\beta (\times 10^6)$
		Tratamento I			Tratamento II		
40	1	0,9644	1,0586	-6,43	0,9226	0,9688	-0,84
	2	0,9688	1,0623	-6,62	0,9508	0,9669	-1,67
	3	0,9485	1,0661	-1,29	0,9339	0,9589	-1,18
	4	1,0198	1,0703	-7,10	0,9417	0,9671	-1,11
50	1	0,9457	1,0306	-12,9	0,9508	0,9669	-1,67
	2	0,9721	1,0567	-1,39	0,9396	0,9663	-2,64
	3	0,9659	1,0449	-7,72	1,0026	0,9450	-2,86
	4	1,0084	1,0275	-14,3	0,9310	0,9577	-2,56
60	1	0,9887	0,9411	-84,1	0,9851	0,9569	-3,02
	2	0,9768	1,0134	-39,3	0,9859	0,9659	-3,00
	3	0,9974	1,0444	-12,1	0,9592	0,9447	-4,32
	4	1,017	0,0005	-13,0	0,9656	0,9373	-5,81

2.4 CONCLUSÕES

- Os coeficientes de difusão efetivo foram maiores à medida que se avançaram as etapas de processamento, provavelmente, em função ao efeito cumulativo da danificação mecânica;
- Os valores da entalpia e energia de ativação do Tratamento I foram maiores que os do Tratamento II para as etapas correspondentes, principalmente para aquelas em que os grãos de café possuíam maior quantidade de mucilagem;
- O modelo de Midilli modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem dos grãos de café para as diferentes condições testadas.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDO, A.; BART-PLANGE, A.; DZISI, K. Water absorption characteristics of Obatanpa and Mamaba maize hybrids (*Zea mays*). **International Journal of Food Engineering**, v. 2, n. 3, Art. 7, 2006.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; BORÉM, F. M.; CORREA, P. C. Propriedades físicas e térmicas dos frutos e dos grãos de café. In.: Borém, F. M. **Pós-Colheita do Café**. 1ª Ed. Lavras: Editora UFLA, 2008, p. 89 - 126.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÉA, P. C.; OLIVEIRA, T. T.; OLIVEIRA, M. G. A. Avaliação da qualidade de grãos de café preparados por "via seca" e "via úmida" em função da condição e período de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, v. 23, n. 3, p. 46 - 53, 2001.

BAYRAM, M.; ÖNER, M. D.; EREN, S. Thermodynamics of the dimensional changes in the wheat kernel during cooking for bulgur production. **Food Science and Technology International**, v. 10, n. 4, p. 243 - 253, 2004.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. Qualidade do café despulpado submetido a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 9, Especial Café, p. 25 - 31, 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análises de sementes**. Brasília, 1992, 365 p.

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

CORREA, P. C.; RESENDE, O.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; NOGUEIRA, B. L. Determinação do coeficiente de difusão líquida dos grãos de feijão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p. 117 - 126, 2006.

CORREA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501 - 510, 2007.

DOYMAZ, I.; PALA, M. The thin-layer drying characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 25 - 130, 2003.

GELY, M. C; GINER, S. A. Diffusion coefficient relationships during drying of soya bean cultivars. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 2, p. 213 - 222, 2007.

GONELI, A. L. D.; CORREA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 135 - 140, 2007.

HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980. 381 p.

IGUAZ, A.; SAN MARTIN, M. B.; MATÉ, J. I.; FERNANDEZ, T.; VÍRSEDA, P. Modelling effective moisture diffusivity of rough rice (Lido cultivar) at low drying temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 253 - 258, 2003.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 182 - 188, 2009.

LACERDA FILHO, A. F.; FERREIRA, A. L. B.; SILVA, J. S. RAMOS, A. M. Secagem de arroz parboilizado em secador de fluxos concorrentes. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 31, n. 2, p. 170 - 180, 2006.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLEB, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75 - 97, 1996.

MARTINAZZO, A. P.; CORREA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 301 - 306, 2007.

MENDOZA, M. G. V.; VERA, C. M.; DOMINGUEZ, F. V. C. Thermal and moisture diffusion properties of amaranth seeds. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 4, p. 441 - 446, 2003.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 119 - 125, 2006.

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

RAMESH, M. N.; WOLF, W.; TEVINI, D.; JUNG, G. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 63 - 72, 2001.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 189 - 196, 2009.

ROCA, E.; GUILLARD, V.; BROYART, B.; GUILBERT, S.; GONTARD, N. Effective moisture diffusivity modeling versus food structure and hygroscopicity. **Food Chemistry**, v. 106, n. 4, p. 1428 - 1437, 2008.

STEGEN, V. G. H. D. Enhancement of coffee quality by mold prevention. **Food Control**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 245 - 249, 2003.

SWASDISEVI, T.; DEVAHASTIN, S.; SA-ADCHOM, P.; SOPONRONNARIT, S. Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 1, p. 100 - 106, 2009.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225 - 2253, 1996.

CAPÍTULO 3

Influência da pré-hidratação dos grãos de café na condutividade elétrica

3.1 INTRODUÇÃO

O teste de condutividade elétrica é usualmente proposto para a análise do vigor de sementes e como parâmetro de qualidade para grãos, por ser rápido, de baixo custo e fácil execução.

O princípio deste teste baseia-se na condutividade elétrica, medida em função da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes, relacionada diretamente com a integridade das membranas celulares.

Diversos fatores influenciam a quantidade de exsudatos liberados na água de embebição, entre eles o estágio de desenvolvimento da semente no momento da colheita, a qualidade da água, o teor de água inicial, o genótipo, o grau de deterioração e a incidência de dano causado pela velocidade de embebição (VIEIRA & KRYZANOWSKI, 1999). Além disso, membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas por insetos, mecanicamente e, ou por consequência de um armazenamento prolongado estão, geralmente, associadas ao processo de deterioração das sementes (BEWLEY & BLACK, 1994).

A integridade das membranas é responsável pela manutenção dos atributos sensoriais e aromáticos desejáveis no café. Assim, a fim de se estabelecer um teste objetivo que relacione a qualidade dos grãos de café ao padrão estabelecido pelo teste de bebida, o teste de condutividade elétrica tem sido extensivamente utilizado (MALTA et al., 2002; FAVARIN et al., 2004; MALTA et al., 2005; GOULART et al., 2007; RODRIGUES, 2009).

As transformações indesejáveis nas membranas e nas paredes celulares podem ser consequência de variações na temperatura e umidade relativa do ar ou de injúrias na secagem, provocando permeabilidade e desorganização dessas membranas nos grãos do café (AMORIM, 1978). A danificação mecânica causada por choque e, ou abrasões dos grãos contra superfícies duras ou contra outros grãos, provoca o surgimento de grãos quebrados, trincados, fragmentados, arranhados ou inteiramente danificados (DELOUCHE, 1967). Entretanto, danos internos e rupturas de baixa intensidade são difíceis de serem detectados, além de tornarem os frutos e os grãos susceptíveis ao ataque de insetos e microrganismos, influenciando, diretamente, a qualidade final do produto (CHAVES, 1990).

As primeiras mudanças que afetam a qualidade das sementes 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 (PRETE, 1992). 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 reidratadas (GUIMARÃES, 1999). Entretanto, se o processo de reidratação for por embebição em água, a velocidade com que esse processo ocorre pode acentuar os danos às membranas.

Simon & Raja Harum (1972) observaram que a absorção de água por sementes de soja com teor inicial de água em torno de 10 e 11 % (b.u.) tem velocidade favorecida pelos altos gradientes de potencial hídrico entre seu interior e a água circundante, não permitindo, em tempo hábil, que os sistemas de membranas recuperem sua característica semipermeável. Rodrigues et al. (2006) confirmaram tal observação trabalhando com sementes de soja pré-hidratadas quando observaram a redução nos valores de condutividade elétrica com o aumento gradual do teor de água.

Com a secagem, as membranas celulares dos grãos e sementes sofrem um processo de desorganização estrutural, estando tanto mais desorganizadas quanto menor seu teor de água, perdendo assim, temporariamente, a sua integridade organizacional (SIMON & RAJA HARUN, 1972). Além disso, o mecanismo de dano por embebição tem sido considerado como um dano físico aos grãos, ou seja, como um bloqueio ao sistema metabólico e, ainda como uma combinação de dano metabólico e físico, possivelmente em nível molecular (POLLOCK, 1969).

A intensificação do estudo de variáveis que podem influenciar os resultados dos testes de condutividade elétrica, como o teor de água, possibilita visualizar alternativas capazes de aumentar a eficiência deste teste na separação de lotes em função da qualidade, considerando que é um teste relativamente simples, não exige equipamentos sofisticados e não apresenta dificuldades consideráveis para sua padronização. O teor de água inicial influencia os valores de condutividade elétrica (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS, 1983; LOEFFLER et al., 1988; HAMPTON et al., 1992; CARVALHO, 1994; VIEIRA et al., 2002).

Assim, objetivou-se com este trabalho estabelecer a condição adequada de teor de água capaz de proporcionar decréscimos significativos na condutividade elétrica dos grãos de café, visando alcançar metodologia confiável do teste de condutividade elétrica para discriminar amostras de café quanto à sua qualidade. Especificamente, objetiva-se analisar a influência das etapas do processamento via úmida do café sobre a condutividade elétrica dos grãos com duas formas de pré-hidratação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado na Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG. Foram utilizados grãos de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí, colhidos manualmente na região de Viçosa, MG.

3.2.1 Obtenção das amostras

Amostras de café foram obtidas de quatro etapas do processamento pós-colheita por via úmida: etapa 1 – após os grãos serem lavados (‘Lavador’), etapa 2 – depois de separados os grãos verdes dos cerejas (‘Separador’), etapa 3 – após o descascador (‘Descascador’) e etapa 4 – após retirada a mucilagem (‘Desmucilador’).

Os frutos obtidos nas duas primeiras etapas foram descascados manualmente, sendo os frutos verdes previamente descartados. Os grãos foram secados a 40 °C e, após a secagem, o pergaminho foi retirado manualmente para realização das análises.

3.2.2 Tratamentos de pré-hidratação

Para a variação do teor de água, os grãos foram pré-hidratados em duas condições (tratamentos). Uma condição de chamada “atmosfera saturada” e outra denominada “substrato umedecido”.

Para a primeira condição (atmosfera saturada), os grãos de café de cada etapa foram colocados em sacos *nylon* (organza), com dimensões de 15 × 15 cm. A atmosfera saturada foi criada em um recipiente plástico com capacidade de 2 L contendo uma caixa de *gerbox* com água e coberta com tela, para impedir o contato direto do grão com a água. Os grãos de café foram mantidos no interior do pote e esse em câmara tipo BOD, regulada a 25 °C. A umidade no interior dos recipientes foi medida e monitorada por meio de um psicrômetro, constituído por um termômetro de bulbo seco e um termômetro de bulbo molhado, mantendo-se o ambiente em 99 ± 1 %.

Na segunda condição (substrato umedecido), os grãos foram colocados entre duas camadas de seis folhas de papel *germitest* umedecidos com água deionizada na proporção de 2,5 vezes a quantidade de água por 1 vez a massa do papel, sobre telas fixadas no interior das caixas de *gerbox* funcionando como câmaras individuais, onde se adicionou 40 mL de água destilada, conforme descrito por Villela et al. (2003). As caixas tampadas foram mantidas em câmara tipo BOD, à temperatura de 25 °C.

Os grãos de cada etapa foram mantidos nas condições de pré-hidratação por 4, 8 e 12 h. Após cada período de pré-hidratação, determinou-se o teor de água dos grãos e procedeu-se o teste da condutividade elétrica.

O controle correspondeu ao tempo zero, isto é, o procedimento padrão do teste de condutividade elétrica na condição inicial dos grãos (com teor de água de 11 % b.u.), sem tratamento de pré-hidratação.

3.2.3 Caracterização inicial do café quanto às características físicas

Para avaliação das características físicas dos grãos retirados de cada etapa do processamento e da possível influência da danificação mecânica, procedeu-se ainda à avaliação da massa de 100 grãos, massa específica aparente e determinação da cor, em quatro repetições, conforme metodologias descritas a seguir:

3.2.3.1 Determinação do teor de água

O teor de água dos grãos de café foi obtido empregando-se o método da estufa, a 105 ± 3 °C durante 24 h, utilizando-se uma balança analítica com resolução de 0,001 g, em três repetições (BRASIL, 1992).

3.2.3.2 Condutividade elétrica

A alteração na integridade celular e os danos naturais nas membranas dos grãos foram avaliados pelo extravasamento de solutos celulares de acordo com a metodologia descrita em Brasil (1992), com modificações.

Uma amostra de 50 grãos de café foi pesada e imersa em 75 mL de água deionizada (no interior de copos de plásticos de 180 mL de capacidade) e colocada em câmara do tipo BOD a 25 °C durante 24 h.

A condutividade elétrica da água de embebição foi medida em condutivímetro (DM3, Digimed Instrumentação Analítica, São Paulo, Brasil) depois de calibrado com solução KCl (cloreto de potássio) padrão de condutividade $1,412 \mu\text{S cm}^{-1}$. O resultado da leitura de condutividade elétrica foi obtido pela relação da condutividade lida pela massa da amostra, expressa em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

3.2.3.3 Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi obtida multiplicando-se por 10 a massa média de 8 subamostras de 100 grãos de cada etapa (BRASIL, 1992).

3.2.3.4 Massa específica aparente

A massa específica aparente (ρ_{ap}) do café beneficiado, foi determinada utilizando-se uma balança analítica, com resolução 0,01 g, e um recipiente com capacidade de 1 L, em cinco repetições para cada tratamento.

3.2.3.5 Índices de cor

A quantificação da cor do café foi realizada com auxílio de um colorímetro tristímulo (MiniScan XE Plus 45/0-L, HunterLab, Reston, Estados Unidos), com leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidades vermelha ou verde) e b^* (tonalidades amarela e azul), empregando a escala Hunter-Lab e utilizando o *iluminante* $10^\circ/D_{60}$.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , foram calculados o ângulo hue de tonalidade (h°) (Equação 3-1) e o croma (C_r) que definem a intensidade e pureza de uma cor (Equação 3-2).

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad 3-1$$

$$C_r = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad 3-2$$

3.2.4 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os períodos de pré-hidratação e nas subparcelas um fatorial 4×2 (quatro etapas do processamento e 2 tratamentos de pré-hidratação), com quatro repetições. Os dados experimentais de condutividade elétrica de cada tratamento de pré-hidratação foram submetidos à análise de variância e as médias, para cada etapa,

comparadas pelo teste de Tukey e análise de regressão polinomial, para os tempos de pré-hidratação. O teor de água após os períodos de pré-hidratação foram submetidos à regressão polinomial.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.1 estão apresentados o teor de água e a caracterização física do café obtido das etapas do processamento por meio da comparação das médias, pelo teste tradicional de condutividade elétrica, massa de mil grãos, massa específica aparente e índices croma e hue de cor. Os baixos valores do coeficiente de variação (*CV*) refletem a boa homogeneidade dos dados.

Tabela 3.1. Valores médios de teor de água (U), condutividade elétrica (CE), massa de mil grãos (mmil), massa específica aparente (ρ_{ap}), ângulo hue ($^{\circ}h$) e croma (C_r) dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida

Etapas	U (%)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	mmil (g)	ρ_{ap} (kg m^{-3})	h ($^{\circ}$)	C_r
1	10,98	46,85 a	143,75 a	755,07 b	85,37 a	21,05 a
2	10,79	42,55 b	140,79 a	765,56 a	83,63 b	21,44 a
3	10,88	23,63 c	143,11 a	756,73 b	84,03 ab	18,36 b
4	10,96	24,37 c	139,88 a	760,42 ab	84,62 ab	17,82 b
CV(%)	-	4,95	2,19	0,34	0,83	3,35

Os valores do teor de água não foram submetidos à análise estatística, sendo, em geral, semelhante para todas as etapas.

O teste de condutividade elétrica mostrou que não houve diferença significativa entre as etapas 3 (Descascador) e 4 (Desmucilador). Entretanto, estas diferiram das etapas 1 (Lavador) e 2 (Separador), permitindo separar as amostras em três níveis de danificação diferentes. Avaliando o efeito de algumas etapas do

processamento via úmida, Afonso Júnior et al. (2004) verificaram, pela condutividade elétrica, diferentes níveis de danificação dos grãos de café, influenciando a qualidade final do produto. Neste trabalho, no entanto, sugere-se que outros fatores envolvidos no processamento possam interferir nos valores de condutividade elétrica como a presença de mucilagem nas etapas 1 e 2 enquanto parte desta é retirada na etapa 3 e a etapa 4 não apresenta a mucilagem e o maior tempo de contato entre os grãos das etapas finais do processamento e a água utilizada no processamento via úmida.

Segundo alguns autores, parte da mucilagem pode ser transferida para o grão tornando a película prateada mais escura e aderida ao endosperma comparativamente aos cafés produzidos por via úmida (BRANDO, 1999; BORÉM, 2008). De acordo com Blyeny (2004), o café seco em coco é mais doce e encorpado, pois os açúcares presentes na casca e na mucilagem migram para o interior do grão e o café cereja despulpado é mais fraco e com menos corpo, já que os grãos foram torrados sem os revestimentos. O café cereja descascado tem um corpo intermediário aos dois. Rodrigues (2009) analisando os constituintes químicos dos grãos de café concluiu que aqueles secos e armazenados em pergaminho tinham menor teor de açúcar, quando comparados aos secos e armazenados de forma natural.

O outro fator que poderia influenciar a menor condutividade elétrica apresentada dos grãos nas etapas 3 e 4 refere-se ao maior período de exposição destes à água durante o processamento via úmida. Durante o processamento via úmida, elevada quantidade de água é utilizada o que permite sugerir que parte dos solutos dos grãos são perdidos nestas etapas e que os menores valores de condutividade elétrica estão associados a diferentes fatores, além da danificação mecânica das estruturas celulares.

Os resultados da massa de mil grãos indicaram que não houve diferença significativa entre as etapas (Tabela 3.1). As diferenças obtidas na condutividade elétrica não foram influenciadas pela massa e tamanho dos grãos. De acordo com Malta et al. (2005), o tamanho dos grãos pode influenciar o teste de condutividade elétrica, reforçando a hipótese de Teixeira et al. (1974) de que a concentração de defeitos aumenta à medida que as classes de tamanho de grãos diminuem. Para Prete (1992), entretanto, a separação dos grãos em classes de tamanho não influencia a separação em níveis de condutividade elétrica.

Em geral, a massa específica aparente não apresentou diferença estatística significativa entre as etapas, exceto entre as etapas 1 e 2 (Tabela 3·1).

Os valores de ângulo hue cor mostraram diferenças entre as etapas 1 e 2, porém, todas as etapas permaneceram localizadas no quadrante III, verde-azul, indicando a cor característica do bom café. A saturação da cor (croma) mostrou diferença significativa entre as etapas 1 e 2 e as etapas 3 e 4.

O teor de água dos grãos após os períodos de pré-hidratação são apresentados na Tabela 3·2. Verifica-se, conforme esperado, que o teor de água atingido pelos grãos no substrato umedecido foi superior ao atingido pelos grãos na atmosfera saturada para todas as etapas.

Tabela 3·2. Valores médios do teor de água (%) dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida após os períodos de pré-hidratação em atmosfera saturada (AS) e substrato umedecido (SU)

Etapas	4 h		8 h		12 h	
	AS	SU	AS	SU	AS	SU
Lavador (1)	12,60	20,55	12,50	23,23	13,68	25,26
Separador (2)	11,76	16,73	11,86	20,21	12,61	25,71
Descascador (3)	11,78	18,71	11,76	22,33	14,35	24,44
Desmucilador (4)	12,47	17,99	12,10	20,77	12,47	26,79

Observa-se que, em geral, o teor de água atingido pela etapa 1 foi superior às demais para ambos os tratamentos de pré-hidratação e para todos os tempos. Os grãos retirados nesta etapa continham grãos bóias e verdes oriundos da colheita. Para o descascamento manual, os grãos verdes foram retirados em função da dificuldade de retirada da casca, mas foram mantidos os grãos bóia. Estudando as características da superfície dos grãos defeituosos, Illy et al. (1982) verificaram que a desorganização celular aumenta dos verdes para os ardidos e destes para os pretos. Essa desorganização permite que a água penetre e se difunda com mais facilidade com o aumento da intensidade dos danos celulares. Confirmando essa hipótese, Prete (1992) observou que os grãos normais passaram de 12 para 38,49 % (b.u.) de teor de

água após 3,5 h de embebição, enquanto os ardidos atingiram 65,77 % de teor de água, a partir de 12 % (b.u.) o teor inicial de água.

Este fato pode ser decorrente de os grãos se encontrarem em um processo de embebição, semelhante ao que ocorre com as sementes antes do início da germinação, conforme o modelo trifásico de hidratação de sementes proposto por Bewley & Black (1994). Segundo os autores, na primeira fase a entrada de água nos grãos é dependente apenas da diferença de potencial hídrico, sendo um processo puramente físico-químico que ocorre em qualquer semente ou grão, mesmo dormente ou deteriorado.

Para todas as condições de pré-hidratação, o aumento no teor de água para os grãos submetidos ao substrato umedecido foi superior ao observado para os em atmosfera saturada. Essa variação deve-se à maior diferença de potencial hídrico existente entre o interior dos grãos, com o teor inicial de água próximo de 11 % (b.u.), e o meio proporcionado pelo papel umedecido. O processo de adsorção é mais lento em comparação à absorção, pois resulta do equilíbrio entre a pressão parcial de vapor do interior do grão e a pressão parcial de vapor do meio circundante.

Com a redução do potencial hídrico, imposto pela exposição dos grãos de café ao longo do tempo de pré-hidratação, em ambos os tratamentos, a velocidade de absorção de água pelos grãos diminui e permite a reestruturação das membranas celulares que regulam a entrada de água e o conseqüente extravasamento de solutos. Essa reestruturação das membranas diminui a troca de íons e solutos com a água circundante, reduzindo os valores de condutividade elétrica, conforme verificado a partir de 4 h de pré-hidratação em atmosfera saturada e substrato umedecido (Tabela 3.3). Para a etapa 1, entretanto, em atmosfera saturada, o período de 4 h de pré-hidratação parece não ter sido suficiente para que grão adsorvesse água do meio e assim reorganizar as membranas, havendo a separação das etapas em três níveis diferentes de condutividade elétrica, semelhante ao observado para a testemunha.

Tabela 3-3. Dados médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) da água de embebição dos grãos de café das etapas de processamento após os tratamentos (TRAT) de pré-hidratação em atmosfera saturada (AS) e substrato umedecido (SU)

TEMPO (horas)	TRAT	ETAPAS			
		Lavador (1)	Separador (2)	Descascador (3)	Desmucilador (4)
4	AS	41,77 A a	37,59 A b	22,48 A c	23,56 A c
	SU	30,23 B a	30,23 B a	17,04 B b	19,88 B b
8	AS	34,08 A a	34,08 A a	19,62 A b	22,61 A b
	SU	25,53 B a	25,53 B a	15,39 B b	17,62 B b
12	AS	35,88 A a	35,88 A a	21,06 A b	22,24 A b
	SU	23,45 B a	23,45 B a	15,30 B b	16,78 B b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, em um mesmo tempo de pré-hidratação, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (CV(%)=7,64).

Os resultados obtidos no teste de condutividade elétrica permitem verificar que, para ambos os métodos de pré-hidratação, não houve variação marcante entre as etapas do processamento via úmida, permanecendo as etapas 3 e 4 com valores de condutividade sempre inferiores às etapas 1 e 2. Rodrigues et al. (2006), trabalhando com sementes de soja, observaram que após 6 h de pré-hidratação em atmosfera saturada ou em substrato umedecido, o teste de condutividade elétrica tornou-se mais sensível para mostrar diferenças fisiológicas entre os lotes de sementes.

Com relação aos tratamentos utilizados, nota-se que os valores da condutividade elétrica dos grãos condicionados ao substrato umedecido foram, em todas as etapas, inferiores àqueles obtidos a partir da atmosfera saturada inclusive quando comparados à testemunha (Tabelas 3-3 e 3-2). Considerando que a reidratação proporciona que a membrana celular se torne novamente seletiva, esse resultado era esperado uma vez que o tratamento SU possibilitou o aumento no teor de água.

Na Figura 3-1, pode-se observar o comportamento dos valores de condutividade elétrica da água de embebição com o aumento dos tempos de pré-hidratação, nos tratamentos de atmosfera saturada e substrato umedecido, para cada etapa do processamento.

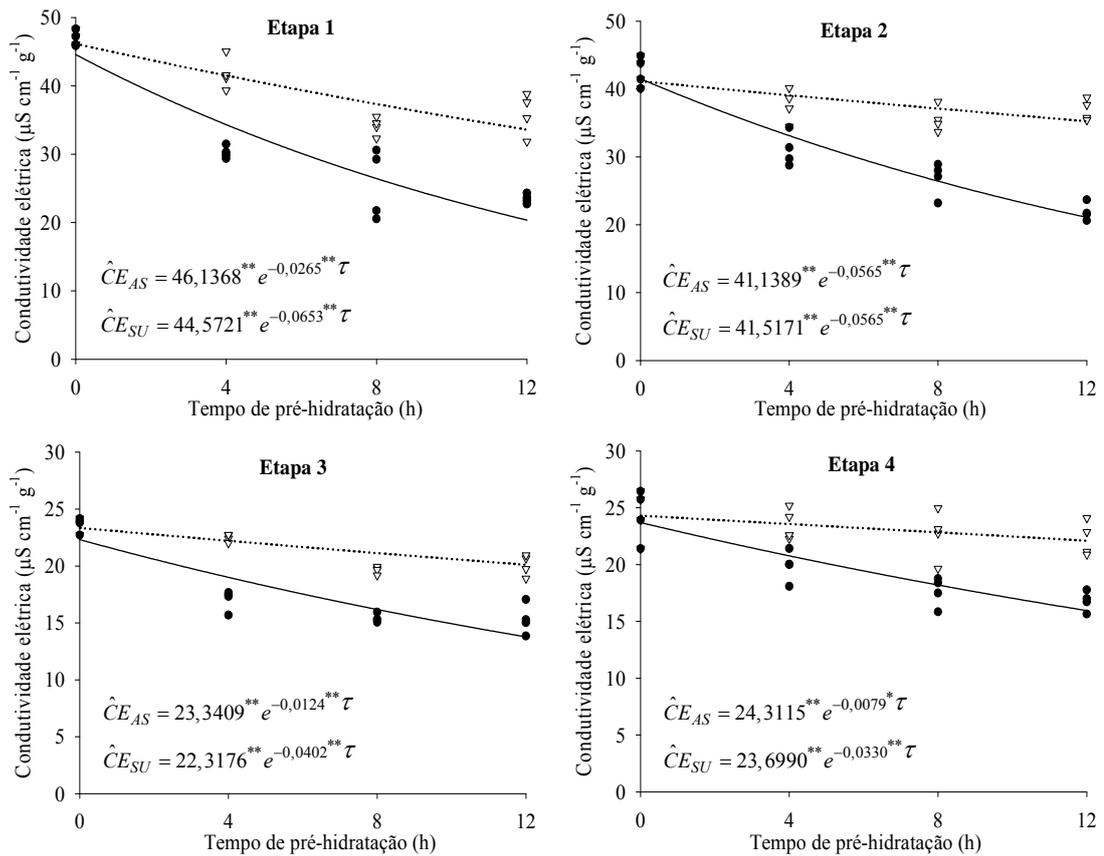


Figura 3-1. Valores observados e estimados da condutividade elétrica ($\hat{C}E$) da água de embebição dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tempo de pré-hidratação (τ) em atmosfera saturada (AS) e em substrato umedecido (SU) (** p -valor $< 0,01$ e * p -valor = $0,08$).

Legenda: $\cdots \nabla \cdots$ atmosfera saturada; $\text{---} \bullet \text{---}$ substrato umedecido.

Constata-se a redução nos valores de condutividade elétrica principalmente no intervalo de zero a quatro horas de pré-hidratação para o tratamento substrato umedecido. Produtos agrícolas de modo geral apresentam comportamentos característico quanto à absorção ou adsorção de água durante o processo de reidratação. O início do processo exibe uma alta taxa de absorção, tendendo a diminuir com o tempo, à medida que o produto se aproxima do seu teor de água de equilíbrio (TURHAN et al., 2002; BELLO et al., 2004; RESIO et al., 2006; BOTELHO, 2009). Desse modo, aparentemente o tempo para que as membranas celulares sejam restabelecidas parece ser relativamente curto.

No método da atmosfera saturada ocorreram valores mais elevados da condutividade elétrica do que no método do substrato umedecido em todos os tempos avaliados e para todas as etapas (Figura 3·1). De acordo com Simon & Mathavan (1986), o que ocorre é que os grãos tem maior oportunidade para recuperação de suas membranas, o que resultou em menores incrementos de condutividade elétrica, indicando que o estado de equilíbrio foi atingido mais rapidamente.

Os valores de condutividade elétrica dos grãos de café das etapas 3 e 4 foram inferiores aos observados para as etapas 1 e 2 independente do tempo e do tratamento de pré-hidratação utilizado, indicando que a possível danificação mecânica causada pelo processamento via úmida não pôde ser aferida por meio da condutividade elétrica. Conforme já discutido, é possível que outros fatores envolvidos no processamento possam interferir nos valores de condutividade elétrica como a presença de mucilagem e o tempo maior tempo de contato dos grãos descascados e desmucilados e a água utilizada no processamento via úmida. Dessa forma, os maiores valores de condutividade elétrica observados de grãos provenientes de frutos secados em coco podem dever-se à transferência de mucilagem para o grão ou de danos à estrutura celular causados pelo maior período de secagem.

Neste sentido, Lima et al. (2008), avaliando o comportamento da condutividade elétrica de grãos de café descascados e despulpados, observaram valores menores para os despulpados em relação aos primeiros, e concluíram que tal resultado pode ser devido à perda de solutos durante o processo de embebição para a retirada da mucilagem.

3.4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados deste trabalho, foi possível concluir que:

- Os valores de condutividade elétrica dos grãos de café obtidos do processamento via úmida após as etapas de descascamento e desmucilagem foram sempre menores que os das primeiras etapas (Lavador e Separador);
- A menor condutividade elétrica dos grãos descascados e desmucilados deve-se à maior perda de solutos durante o processamento;
- A técnica de pré-hidratação não influencia os resultados de condutividade elétrica de grãos de café.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. CORREA, P. C., GONELI, A. L. D, SILVA, F. S. Contribuição das etapas de pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, Especial Café, n. 8, p. 46 - 53. 2004.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão do café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Piracicaba, 1978. 85 p. (Livro-Docência, ESALQ/USP).

ARMSTRONG, H.; McDONALD, M. B. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybean seeds. **Seed Science and Technology**, v. 20, p. 391 - 400, 1992.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (East Lasing, USA). **Seed vigor testing handbook**. East Lasing, 1983. 93 p. (Contribution, 32).

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**, v. 19, n. 2, p. 279 - 286, 1990.

BELLO, M.; TOLABA, M. P.; SUAREZ, C. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, p. 811 - 816, 2004.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. Ed. New York: Plenum Press, 1994. 443 p.

BLYENY, H. P. A. **Análise comparativa da composição química de cafés do cerrado mineiro e do sul de Minas Gerais**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

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

BOTELHO, F. M.. **Absorção de água por grãos de milho com diferentes níveis de danificação mecânica**. Viçosa, 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regra para Análise de Sementes**. Brasília, D. F, 1992. 155 p.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 449 - 454, 1994.

CHAVES, M. A. **Efeitos de impactos na germinação de três cultivares de sementes de soja**. Viçosa, 1990. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DELOUCHE, J. C. Mechanical damage to seed. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMAN, 3, Mississippi, 1967. **Proceedings...** Mississippi: Seed Technology Laboratory, 1967. p. 69 - 71.

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

GOULART, P. F. P., ALVES, J. D., CASTRO, E. M., FRIES, D. D., MAGALHÃES, M. M., MELO, H. C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662 - 666, 2007.

GUIMARÃES, R. M. **Fisiologia de sementes** – produção e tecnologia de sementes. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 129p.

HAMPTON, J. G.; JOHNSTONE, K. A.; EUAUMPON, V. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 20, n. 3, p. 677 - 686, 1992.

ILLY, E.; BRUMEN, G.; MASTROPASQUA, L.; MAUGHAN, W. Study on the characteristics and the industrial sorting of defective beans in green coffee lots. In: COLÓQUIO CIENTÍFICO INTERNACIONAL SOBRE O CAFÉ, 10., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador, 1982. p. 99 - 126.

LIMA, M. V.; VIEIRA, H. D.; MARTINS, M. L. L.; PEREIRA, S. M. F. Preparo do café despulpado, cereja descascado e natural na região sudoeste da Bahia. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, p. 124 - 130, 2008.

LOEFFLER, T. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, v. 12, n. 1, p. 37 - 53, 1988.

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

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

POLLOCK, B. M. Imbibition temperature sensitivity of lima bean seeds controlled by initial seed moisture. **Plant Physiology**, v. 44, p. 907 - 911, 1969.

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.

RESIO, A. C.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Hydration kinetics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 247 - 253, 2006.

RODRIGUES, A. P. L. **Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais.** Viçosa, 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUES, M. B. C.; VILLELA, F. A.; TILLMANN, M. A. A.; CARVALHO, R. Pré-hidratação em sementes de soja e eficiência do teste de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 168 - 181, 2006.

SIMON, E. W.; MATHAVAN, S. The time-course of leakage from imbibing seeds different species. **Seed Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 9 - 13, 1986.

SIMON, E. W.; RAJA HARUN, R. M. Leakage during seed imbibition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.23, n.77, p.1076 - 1085, 1972.

TEIXEIRA, A. A.; PEREIRA, L. S. P.; PINTO, J. C. A. **Classificação de café: noções gerais.** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1974. 88 p.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 153 - 159, 2002.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.; Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed). **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, 1999. p. 4.1 - 4.26.

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1333 - 1338, 2002.

VILLELA, F. A.; MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A. D. L. C. Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 95 - 100, 2003.

CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Não foi possível obter uma relação direta entre a etapa de processamento via úmida do café e o aumento do número de células rompidas, quantificadas pela morfometria;
- A técnica da morfometria foi útil para relacionar a estrutura anatômica do endosperma dos grãos de café com a qualidade;
- A qualidade da bebida variou entre a etapa 1 (Lavador) e as demais etapas, sendo classificada como de padrão inferior na primeira etapa;
- De modo geral, a etapa 3 (Descascador) apresentou os menores valores de condutividade elétrica, de rompimento de paredes celulares, maior valor de pH e melhor avaliação pelo teste de xícara;
- Verificou-se redução da qualidade do café medido pelas características físicas (cor e massa específica aparente) e químicas (pH);
- Os coeficientes de difusão efetivo foram maiores à medida que se avançaram as etapas de processamento, provavelmente, em função ao efeito cumulativo da danificação mecânica;
- Os valores da entalpia e energia de ativação do Tratamento I (grãos com mucilagem) foram maiores que os do Tratamento II (grãos sem a presença da mucilagem) para as etapas correspondentes, principalmente para aquelas em que os grãos de café possuíam maior quantidade de mucilagem;
- O modelo de Midilli modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem dos grãos de café para as diferentes condições testadas;

- Os valores de condutividade elétrica dos grãos de café obtidos do processamento via úmida após as etapas de descascamento e desmucilagem foram sempre menores que os das primeiras etapas (Lavador e Separador);
- A menor condutividade elétrica dos grãos descascados e desmucilados deve-se à perda de açúcares e íons durante o processamento;
- Os tratamentos de pré-hidratação (atmosfera saturada e substrato umedecido) permitiram a separação dos grãos em dois lotes distintos;
- Não houve influência da forma de pré-hidratação sobre a separação das etapas quanto à condutividade elétrica.

APÊNDICES

APÊNDICE A

RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ DE DIFERENTES ETAPAS DO PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA DURANTE O ARMAZENAMENTO.

Tabela 1A – Resumo da análise de variância da morfometria dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tempo de armazenamento

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Etapa	3	262,9490
Tempo	4	2474,2080*
Etapa × Tempo	12	1043,3130*
Resíduo	80	408,8099
Coeficiente de variação (%):		64,69

*Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 2A – Resumo da análise de variância da condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tempo de armazenamento

Fontes de variação	CE		pH	
	GL	Quadrado médio	GL	Quadrado médio
Etapa	3	2364,5650*	3	0,9523*
Tempo	4	42446,3200*	4	4,9646*
Etapa × Tempo	12	3245,6950*	12	1,2583*
Resíduo	48	190,1340	32	0,0452
Coeficiente de variação (%):		6,21	1,77	

*Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 3A – Resumo da análise de variância da massa específica aparente (MEP) e da perda de matéria seca (PMS) dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tempo de armazenamento

Fontes de variação	MEP		PMS	
	GL	Quadrado médio	GL	Quadrado médio
Etapa	3	38,2134*	3	5,9235*
Tempo	4	1209,2320*	3	7,7011*
Etapa × Tempo	12	189,2654*	9	3,3937*
Resíduo	64	5,9172	48	0,2423
Coeficiente de variação (%):	0,32		77,15	

*Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 4A – Resumo da análise de variância das coordenadas de cor (L , a , b) e índice hue dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tempo de armazenamento

Fontes de variação	L		a		b		hue	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Etapa	3	7,21*	3	14,61*	3	154,86*	3	48,03*
Tempo	4	832,91*	4	3,47*	4	52,91*	4	11,13*
Etapa × Tempo	12	5,72*	12	0,98*	12	0,92*	12	5,23*
Resíduo	96	0,68	80	0,05	96	0,21	80	0,32
Coeficiente de variação (%):	1,74		8,94		2,16		0,68	

*Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste t.

APÊNDICE B

RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ DE QUATRO ETAPAS DO PROCESSAMENTO VIA ÚMIDA.

Tabela 1B – Resumo da análise de variância da condutividade elétrica (CE), massa de mil grãos (Mmil), massa específica aparente (MEP), croma e hue dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		CE	Mmil	MEP	croma	hue
Etapa	3	584,1916 [*]	0,5796 ^{ns}	86,5791 [*]	13,5958 [*]	2,2867 [*]
Resíduo	12	2,8861	0,1369	6,6056	0,4348	0,4961
Coeficiente de variação (%):		4,95	2,63	0,34	3,35	0,83

^{*}Significativo e ^{ns}não significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 2B – Resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos de café de quatro etapas do processamento via úmida em função do tratamento (condição) e tempo de pré-hidratação.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Etapa (E)	3	1217,4260 [*]
Condição (C)	1	1423,5660 [*]
Tempo (T)	2	134,9249 [*]
E × C	3	62,1829 [*]
T × E	6	13,6925 [*]
T × C	2	23,2819 [*]
T × E × C	6	8,8643 ^{ns}
Resíduo	48	3,8269
Coeficiente de variação (%): 7,64		

^{*}Significativo e ^{ns}não-significativo, a 5 % de probabilidade, pelo teste t.