

LUCIANA TEIXEIRA DE PAULA

**ESTUDO DA SECAGEM DO CAFÉ
CEREJA DESPOLPADO
EM DIFERENTES TEMPOS DE
FERMENTAÇÃO**

São José do Rio Preto/SP

2005

Paula, Luciana Teixeira de .

Estudo da secagem do café cereja despulpado em diferentes tempos de fermentação / Luciana Teixeira de Paula – São José do Rio Preto : [s.n.], 2005

116 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Antônio Gomes Vieira

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Engenharia de alimentos. 2. Café - Tecnologia de pós-colheita. 3. Café - Fermentação. 4. Café - Secagem. 5. Café - Controle de qualidade. I. Vieira, José Antônio Gomes. II. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 663.932

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis

Profa. Dra. Patrícia Mara Onofre Colombo da Silva

Prof. Dr. Javier Teles Romeiro

Profa. Dra. Ana Lúcia Gabas

Dados Curriculares

LUCIANA TEIXEIRA DE PAULA

NASCIMENTO
FILIAÇÃO

20/11/1971 - FRANCA
Vasco de Paula Leão
Célia Maria Teixeira de Paula

Julho de 1999

Curso de Graduação em Engenharia
Agrônômica – Universidade Estadual
Paulista(UNESP) Campus de Ilha
Solteira/SP.

Março de 2005

Curso de Pós – Graduação em Engenharia
de Alimentos, nível Mestrado -
Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Campus de
São José do Rio Preto/SP.

À minha Mãe

Grande exemplo de vida,
caráter , dedicação,
sabedoria e amor .

Meus Agradecimentos Sinceros

A Deus, por me dar forças para prosseguir e superar as dificuldades com paciência .

A meu Orientador Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira, pelos ensinamentos, paciência, apoio e especialmente pelo grande auxílio e dedicação na orientação e conclusão deste trabalho.

A meu Marido Alicio por ter me apoiado com tanto carinho e paciência durante estes anos .

A meus Pais e Irmãos por todo amor e solidariedade.

A Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis pelo apoio, paciência e principalmente pelo exemplo reunindo conhecimentos, dedicação prontidão e grande consideração por seus alunos.

Ao Prof. Dr. Javier Telis Romeiro pelas sugestões e participação no Exame de Qualificação.

A Profa. Dra. Patrícia Mara Onofre Colombo da Silva pela prontidão, sugestões pertinentes, correção da dissertação e sua participação na comissão julgadora juntamente com a Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis.

Á Rosemar, Rosana, Silvia , Sueli, Oscar e todos os técnicos da Secretaria, Laboratório e Biblioteca pelo auxílio em informações e prontidão em atender às solicitações meus sinceros agradecimentos.

Aos que contribuíram com trocas sinceras de amizade e incentivo para o êxito deste trabalho , em especial a Cristiane , Raquel, Luci Kelly, Vânia, Glauco, Ricardo , Marcos e Hemerson.

Toda evolução deriva da busca
pelo conhecimento.
Conhecer as ciências, conhecer
as letras.... conhecer a alma, é
buscar evolução sempre.

Autor desconhecido

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1. O Café.....	8
2.1.1. Principais Variedades e Suas Características.....	8
2.1.2. Classificação do Café no Brasil.....	13
2.1.2.1. Classificação por Tipo ou Defeitos.....	13
2.1.2.1 Classificação pela Qualidade.....	14
2.2. Fundamentos da Secagem.....	29
2.3. Secagem do Café.....	38
2.3.1. Secagem Natural.....	39
2.3.2. Secagem Artificial.....	45

2.4. Propriedades Físicas.....	47
2.4.1. Densidade.....	48
2.4.2. Volume e Área Superficial.....	50
2.4.3. Coloração dos Grãos de Café.....	52
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
3.1. Matéria-Prima.....	54
3.2. O Secador.....	57
3.3. Curvas de Secagem.....	58
3.4. Propriedades Físicas.....	59
3.4.1. Densidade.....	59
3.4.1.1. Densidade Aparente.....	59
3.4.1.2. Densidade Real.....	60
3.4.2. Volume e Área Superficial.....	61
3.4.3. Coloração dos Grãos Secos.....	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1. Composição Química.....	64
4.2. Curvas de Secagem.....	64
4.3. Efeito do Tempo de Fermentação na Secagem do Café Despolpado.....	68

4.4.Efeito da Velocidade do Ar Sobre a Secagem do Café Despolpado.....	72
4.5.Variação da Densidade do Café Despolpado Durante a Secagem.....	76
4.5.1. Densidade Real.....	76
4.5.2. Densidade Aparente.....	78
4.6.Estudo do Encolhimento do Café Cereja Durante a Secagem.....	80
4.7.Coloração dos Grãos Secos.....	88
5. CONCLUSÕES.....	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Principais diferenças entre os cafés arábica e conillon.....	12
Tabela 2. Classificação por bebida.....	17
Tabela 3. Composição química média do café cereja despoldado.....	64
Tabela 4. Valores dos coeficientes da equação 6 e respectivos coeficientes de correção, considerando as temperaturas do ar de secagem.....	67
Tabela 5. Valores dos coeficientes da Equação 7 e respectivos coeficientes de correção, 0 considerando as temperaturas do ar de secagem.....	68

Tabela 6 . Valores dos parâmetros das equações 14 e 15 correspondentes aos valores estimados da figura 12.....83

Tabela 7. Valores dos parâmetros das equações 14 e 15 correspondentes aos valores estimados da figura 13.....85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de secagem genérica.....	30
Figura 2. Esquema do secador de leito fixo.....	58
Figura 3. Desenho esquemático de um fruto de café.....	62
Figura 4. Curvas de secagem do café cereja despulpado com tempo de fermentação 0h em função da temperatura. (-) estimada pela equação.....	66
Figura 5. Curvas de secagem do café despulpado a 40 ⁰ C e 1m/s em função do tempo de fermentação, pelo ajuste de Page.....	70
Figura 6. Curvas de secagem do café despulpado a 50 ⁰ C e 1m/s em função do tempo de fermentação, pelo ajuste de Page.....	71
Figura 7. Curvas de secagem do café despulpado a 60 ⁰ C e 1m/s em função do tempo de fermentação , pelo ajuste de Page.....	72

Figura 8. Efeito da velocidade do ar durante a secagem a 40 ⁰ C com tempo de fermentação 0h.....	74
Figura 9. Efeito da velocidade do ar durante a secagem a 60 ⁰ C com tempo de fermentação 0h.....	75
Figura 10. Valores da densidade real do café despulpado com zero hora de fermentação em função do teor de água.....	78
Figura 11. Valores da densidade aparente do café despulpado com zero hora de fermentação em função do teor de água.....	77
Figura 12. Valores estimados e calculados da área superficial, em função do teor umidade do fruto de café para diferentes variedades analisadas.....	84
Figura 13. Valores estimados e calculados do volume, empregando-se os valores experimentais, em função do teor de umidade dos frutos do café com casca despulpado.....	86

RESUMO

A cultura do café representou grande destaque no setor econômico essa posição ainda é muito expressiva por ser o maior produtor exportador. Atualmente o café produzido no Brasil vem sofrendo perdas em virtude da falta de qualidade dos grãos, prejudicando a bebida final. A qualidade dos grãos está diretamente ligada a diversos fatores especialmente ao tipo de colheita, estágio de maturação e tempo de fermentação anterior à secagem. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tempo de fermentação na secagem e nas propriedades físicas do grão de café cereja despulpado. Os tempos de fermentação foram de 0, 24 e 48 horas. Utilizou-se um secador de leito fixo, com velocidade do ar de 1 e 2 m/s a temperaturas de 40, 50 e 60°C, por um período de 24 horas. Durante o processo de secagem acompanhou-se a variação da densidade real e aparente e o encolhimento do grão. Avaliou-se como parâmetro de qualidade a coloração dos grãos. O modelo que melhor representou os dados experimentais foi de Page. A velocidade de secagem foi afetada pela temperatura e a velocidade do ar teve efeito somente a 40°C. Quanto menor o tempo de fermentação maior é a velocidade de secagem, sendo que o teor final de umidade não foi afetado. As propriedades físicas do café despulpado variam com a secagem segundo uma relação linear. A cor dos grãos é afetada pela temperatura de secagem, enquanto que a velocidade do ar e o tempo de fermentação não tiveram efeito visível.

ABSTRACT

The culture of coffee represents great prominence in the economic sector of our country that still occupies prominence for being the biggest exporting producer. Currently the coffee produced in Brazil has suffered losses in virtue from the quality lack of the grain, harming the finish drink. The quality of the grains is directly related to several factors especially to the type of harvest, period of training of maturation and time of previous fermentation to the drying. It had with the objective to evaluate the effect of the time of fermentation in the drying and in the physical properties of the grain of pulped coffee cherry the fermentation times had been of 0, 24 and 48 hours. A drier of fixed stream bed was used, with 2 air speed of 1 and m/s the temperatures of 40, 50 and 60⁰ C, for a period 24-hour. During the drying process it was accompanied by variation of the real and apparent density and the shrinking of the grain. The coloration of the grains was evaluated as quality parameter. The model that better represented the experimental data was of Page. The drying rate was affected by the temperature and the air speed only had effect 40⁰ C. How much lesser the time of bigger fermentation is the drying speed, being the final text of humidity was not affected. Isicas properties f of the pulped coffee vary with the drying as a linear relation. A color of the grains is affected by the temperature of drying. While, that the air speed and the time of fermentation visible did not have effect.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade de grande importância no cenário do agronegócio brasileiro. O Brasil é o maior produtor e exportador de café, correspondendo a 32% da produção mundial GUERREIRO et al., 2000.

Hoje, o Brasil possui 5,5 bilhões de pés de café, o equivalente a uma produção de 35,7 milhões de sacas de 60 quilos por ano-safra. A cafeicultura se baseia no cultivo de duas espécies: *Coffea arabica* (arábica) e *Coffea canephora* (conillon). A bebida do café é muito apreciada em todo mundo pelo seu aroma e sabor agradável.

Embora o Brasil detenha alta tecnologia na produção do grão, para a produção de bebida ainda são necessários grandes avanços em pesquisas que definam parâmetros para assegurar boa qualidade ao produto final .

A busca por qualidade é hoje uma das maiores preocupações nos diversos segmentos produtivos. O café é um dos poucos produtos cujo valor aumenta muito com a melhoria da qualidade. Um

produto de características inferiores pode sofrer redução significativa no seu valor de comercialização. Os processos de preparo, secagem e armazenagem apresentam contribuições expressivas sobre o produto final, sendo, portanto, muito importante a escolha correta da infra-estrutura para atender à fase final da produção do café.

O manejo racional do sistema de processamento está fortemente ligado à viabilidade econômica de produção e qualidade final do produto.

O termo qualidade do café pode ser definido como conjunto de características físicas, químicas, sensoriais e de segurança que atendam o gosto de diversos consumidores. Os fatores que determinam esta qualidade estão relacionados ao clima, tratamentos culturais, colheita, preparo da matéria-prima, secagem, armazenamento, torrefação, moagem, além das misturas entre espécies e variedades.

A composição dos grãos torrados, por sua vez, é influenciada tanto pela composição da matéria-prima quanto pelo processamento pós-colheita. O sabor e aroma que caracterizam o café são resultantes da combinação de centenas de compostos químicos produzidos pelas reações que ocorrem durante a torrefação. Esse

processo não é satisfatoriamente compreendido, em razão do número de compostos envolvidos nas reações ser elevado.

Segundo Silva e Salvador (1998), o cultivo dos cafezais de forma adequada por si não garante a obtenção de um bom produto, cuidados na colheita e processamento devem ser incluídos como por exemplo colher o café evitando o contato com o solo, lavar os frutos colhidos e separar as impurezas, realizar a secagem sem expor o café às chuvas, entre outras práticas. A colheita e a secagem constituem fatores de fundamental importância para a qualidade do produto final. Para garantir o sucesso da colheita na preservação da qualidade, três fatores são de grande relevância: a época de início, o período de duração e o tipo de colheita.

O café só deve ser colhido quando os grãos estiverem na fase de maturação adequada, isto é, vermelho cereja ou amarelo de acordo com a variedade. Nessa fase, o fruto já atingiu o ponto ideal de maturação, no qual os componentes químicos que conferem qualidade ao café já foram sintetizados

Atualmente os frutos de café vêm sendo colhidos de forma seletiva a dedo um a um no estágio "cereja" (maduros), recolhidos em cestos apropriados, sacos ou peneiras. A colheita seletiva a dedo

fornece matéria prima ideal para o despulpamento e, muito embora o seu rendimento seja menor, o produto é mais limpo que o obtido pela colheita no pano, facilitando consideravelmente as operações posteriores de preparo e secagem. O despulpamento tem se mostrado um método auxiliar ao processo de secagem, diminuindo o seu tempo em virtude da diminuição da umidade com a retirada da casca. Porém, juntamente com a casca existem substâncias mucilaginosas que favorecem o desenvolvimento de reações desejáveis para a formação do flavor, mas dependendo do tempo e tipo de fermentação, podem ocorrer reações indesejáveis afetando a qualidade da bebida.

A fim de minimizar os custos de produção para maior competitividade e melhoria da qualidade do produto processado, a secagem e o conhecimento do comportamento das propriedades físicas dos frutos de café são os principais fatores a contribuir para o adequado desenvolvimento de equipamentos, processos e simulações que visem aperfeiçoar o sistema produtivo dessa cultura.

Considerando a grande produção e a baixa qualidade da bebida produzida no Brasil e, sabendo-se que, o grão maduro despulpado proporciona uma bebida de alta qualidade, associado a uma secagem adequada, este trabalho tem por objetivos:

OBJETIVOS:

- Caracterizar o processo de secagem dos grãos de café cereja despulpado em função dos parâmetros de secagem.
- Verificar o efeito do tempo de fermentação dos grãos no processo de secagem.
- Conhecer o comportamento da densidade dos grãos durante a secagem.
- Estudar o encolhimento do grão de café durante a secagem.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O CAFÉ

O grão do café tem cor cinza amarelado, variando segundo a região de produção, a maneira como é preparado e o tempo que é escorrido depois da colheita. O mais freqüente, sendo também a regra para os cafés de qualidade, é a colheita das cerejas vermelhas, na perfeita maturidade, feita a mão. Para preparar o café para ser exportado, uma série de precauções são necessárias: deve-se eliminar as folhas, as bagas ainda verdes, as pedras e outras impurezas, pela peneira ou pela rinsagem

2.1.1 Principais variedades e suas características

No Brasil são produzidos basicamente duas espécies de café: a Arábica e a Conillon. Estas espécies se diferenciam pelo fato da Arábica ter um grão maior, mais claro e que resulta em uma bebida

de melhor qualidade, em relação a Conillon (VENEZIANO & FAZUDI, 2000) .

A espécie Conillon, no entanto, é muito utilizada na indústria de café solúvel devido ao seu alto rendimento na extração de sólidos solúveis e baixo valor da saca.

As empresas de café solúvel utilizam as duas espécies de café, desta forma obtendo um alto rendimento na extração do Conillon, e uma melhor qualidade no sabor da bebida, na extração do café Arábica. Pode-se “blendar” a bebida extraída dos dois cafés, em várias proporções, dessa forma obter vários tipos de bebidas, combinando as vantagens apresentadas pelas duas espécies .

A espécie *Coffea arábica* é de grande significação econômica para as regiões que a cultivam, especialmente as Américas, uma vez que seu produto é de qualidade superior (aroma e sabor mais apreciados no mundo inteiro) e de maior aceitação em todos os mercados consumidores. Possui aroma intenso e os mais variados sabores, com inúmeras variações de corpo e acidez. Ao que parece, é originária das regiões montanhosas a sudeste da Etiópia, entre 1.000 e 2.000 metros de altitude VEIGA et al (2000).

As grandes lavouras brasileiras formaram-se, a princípio, com sementes de café “Nacional” ou ‘ Comum” (*C. Arabica L.var. arábica*), derivadas em grande parte da primeira introdução de café que se fez no Brasil. A produção atual mundial de café exportável é de, 75% arábica e 25% a *canéfora*, aproximadamente.

O termo Arábica é bastante usado para designar, de uma maneira generalizada, não só os cultivares pertencentes à espécie *Coffea arábica* (ao invés de designar apenas a variedade arábica), como também ao café produzido por todas as variedades desta espécie; já os cultivares da espécie *Coffea canéphora* e o café por eles produzidos recebem a designação genérica de conillon ou também conhecida como robusta.

A espécie *C. Canéphora* produz um café hoje mundialmente conhecido. Não possui sabores variados nem refinados como o *C. Arábica*; diz-se que tem um sabor típico e único. Sua acidez é mais baixa e, por ter mais sólidos solúveis (25 a 31%, enquanto o arábica possui 24 a 27%), é utilizado intensamente nos cafés solúveis. Seu teor de cafeína é o dobro do arábica. Devido a sua ampla distribuição geográfica na África, é capaz de adaptar-se a variedades climáticas, aceitando um trato mais rude e podendo ser cultivado ao nível do mar (altitudes inferiores a 400m). Apresenta um

desenvolvimento inicial mais lento que o C. Arábica. Atualmente vem sendo cultivado principalmente na Costa do Marfim, Angola, Indonésia e na Índia. Nas Américas, é cultivada em menor escala no Equador e Guatemala. Seu produto faz hoje concorrência ao café do Brasil pois, embora de qualidade inferior, vem tendo aceitação no mercado norte-americano e europeu, em virtude do seu preço mais reduzido e emprego na indústria de café solúvel. Os principais cultivares *C.canephora* são : “Kouillou” (conillon), “Guarani”, “Robusta”, “Lauratii”, “Oka”, “Uganda”, “Crassifolia”, “Bukobensis”, “Ambroio”, ‘Cazengo”,etc.

No Brasil o Conillon é um cultivar largamente difundido nas regiões quentes do Espírito Santo e, em menor escala, no Estado do Rio de Janeiro e Zona do Vale do Rio Doce em Minas Gerais. Além das áreas tradicionais, o Conillon também vem sendo introduzido na Bahia, Mato Grosso, Rondônia e Rio de Janeiro (VEIGA et al., 2000).

As lavouras deste cultivar instaladas nos últimos anos são bastante produtivas e com razoável homogeneidade, graças á seleção realizada, utilizando as plantas mais produtivas para a obtenção de sementes utilizadas na formação de novas lavouras. Entretanto, observa-se ainda uma grande variabilidade no que tange

ao tamanho e formato dos frutos, que variam de pequenas e grandes, podendo ainda ser arredondados ou compridos (acanoados), com ou sem disco saliente. Quanto á maturação observa-se, com freqüência, a existência de plantas de maturação tardia, média e precoce. Os frutos, quando maduros, apresentam uma coloração que varia de vermelho claro ao intenso, com ou sem estrias longitudinais.

Tabela1. Principais diferenças entre os cafés Arábica e Conillon, (CARVALHO et.al.,1983)

Característica	Arábica	Conillon
Aroma	Intenso	Suave
Sabor	Grande variedade de nuances	Único, característico
Cor dos grãos	Esverdeada	Marron pronunciado
Acidez	Alta	Baixa
Cafeína	Menor quantidade	Maior quantidade
Altitude para Cultivo	De 400 a 1000 metros	Abaixo de 400 metros

Cada tipo de café tem atributos especiais cuja denominação resulta numa composição balanceada das melhores qualidades. Fazer um “blend” significa combinar cafés com características complementares: acidez com doçura, muito corpo com pouco corpo, torra clara com torra escura, etc.

2.1.2. Classificação do café no Brasil

O Brasil adota como sistema de classificação de café um padrão para determinação da qualidade que compreende duas fases distintas: classificação por tipos ou defeitos e a classificação pela qualidade da bebida.

Na classificação comercial o produto é ainda caracterizado pelo porto de exportação.

2.1.2.1. Classificação por tipos ou defeitos

O tipo se refere aos defeitos existentes no café, como grãos deteriorados, pretos, ardidos, verdes, quebrados, conchas, chochos, cocos, marinheiros, cascas, torrões, pedras, etc.

A classificação por tipos admite valores decrescentes de 2 a 8 em 7 níveis, resultantes da análise de uma amostra de 300g de café beneficiado segundo as normas estabelecidas na Tabela Oficial Brasileira de Classificação. Cada tipo corresponde a um nível, sendo estabelecido de acordo com o maior ou menor número de defeitos TOLEDO & BARBOSA (1998)

Os defeitos podem ser de natureza intrínseca, neste caso, constituídos por grãos alterados, provenientes da imperfeita aplicação dos processos agrícolas e industriais e por modificações de origem fisiológica ou genética, como por exemplo, grão preto, ardido, chocho, mal granado, quebrado e brocados. Podem ser também de natureza extrínseca, neste caso, constituídos por elementos estranhos ao café beneficiado, como por exemplo o coco, “marinheiro”, casca, paus e pedras.

2.1.2.2. Classificação pela qualidade

A classificação por bebida se faz em estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada e rio, em ordem decrescente de valor.

A qualidade do café é determinada por fermentações favoráveis ou desfavoráveis e as reações enzimáticas podem ser responsáveis pela obtenção de boa ou má qualidade da bebida. O desenvolvimento de microrganismos, fungos e bactérias nos grãos de café afeta a qualidade da bebida, e, associada a essas fermentações, existe uma série de microrganismos que podem contribuir de forma positiva ou negativa, quando se referir à qualidade do produto (KRUG, 1940).

A incidência de microrganismos nas fases de pré e pós-colheita tem sido um dos fatores envolvidos na qualidade do café, principalmente na modalidade de colheita e preparo adotados no Brasil, que são colheita através da derriça obtendo-se uma mistura de frutos com diferentes estágios de maturação, e preparo "via seca", ao contrário de outros países, como Colômbia, em que o

processo de colheita é seletivo (colheita a dedo) e os frutos são despoldados.

Trabalhos realizados por Carvalho et al. (1989) e Meirelles (1990) demonstraram elevada taxa de infecção por fungos nos cafés de pior qualidade (rio e riado). Constatou-se também que, nesses cafés a umidade dos grãos beneficiados achava-se em teores superiores a 12%, valor esse, segundo Moreau (1979), favorável ao desenvolvimento de *Aspergillus flavus* e *niger*, que são produtores de aflatoxinas. O perigo de contaminação se agrava, uma vez que essa umidade do grão já pode favorecer o desenvolvimento desses fungos durante a fase de armazenamento.

Para a determinação da qualidade de um produto devem ser analisados os diversos fatores que determinam o seu grau de aceitação, estabelecido pelo mercado consumidor, dentro de uma escala de comparação.

O Decreto lei número 27.173, de 14/9/1949, aprova as especificações e tabelas para a classificação por descrição, nas quais são apreciadas as seguintes qualificações: café, fava, peneira, aspecto, cor, seca, preparo, torrefação e bebida.

Café: Classifica-se o café pela estirpe ou variedade de sua origem. O café cultivado comercialmente é do gênero *Coffea*, sendo as espécies mais importantes: *Coffea arabica* e o *Coffea canephora*.

A espécie *Coffea arabica* é de grande significado econômico para as regiões que a produzem pois é um café de qualidade superior, com sabor e aroma apreciados pelo mundo inteiro e portanto de maior aceitação em todos os mercados consumidores.

A bebida produzida por esta espécie de café pode ser qualificada em tipos e o padrão utilizado para classificação da bebida de acordo com a Tabela 2 :

Tabela 2. Classificação por bebida CARVALHO et al., 1994)

BEBIDA	CARACTERÍSTICAS
ESTRITAMENTE MOLE	Sabor agradável doce e brando mais acentuados.
MOLE	Sabor agradável doce e brando.
APENAS MOLE	Leve e suave, inferior aos demais, sem adstringências e asperezas

DURA	Gosto acre, adstringente e áspero.
RIADA	Leve sabor típico de iodofórmio
RIO	Cheiro e gosto acentuado de iodofórmio
RIO ZONA	Características bem mais acentuadas que as da bebida Rio.

A prova da xícara que classifica o café por bebida surgiu no Brasil no início do século XX e foi adotada pela Bolsa Oficial de Café e Mercadorias de Santos, a partir de 1917, pouco depois de sua instalação em 1914. No entanto, até hoje ainda não se estabeleceu um critério uniforme para a sua realização, e o critério varia de entidade para entidade.

Não há dúvida de que o fator mais importante na determinação da qualidade do café é a bebida. Esta avaliação é feita pelos degustadores treinados, em função, principalmente, dos sentidos do gosto, do olfato e do tato da língua.

A espécie *C. canephora* é vulgarmente conhecida por conillon ou robusta não precisando de condições tão favoráveis para a sua produção como a espécie *C. arabica*, por isso é uma matéria-prima mais barata.

A bebida produzida por esse tipo de café é classificada como neutra não possuindo toda a variedade de sabores que o café arábico produz, por ser um café com menores atributos, é comercialmente mais barato, CARVALHO et al (1994).

Fava: são os grãos destacados dos frutos e classificados segundo a forma e tamanho. Quanto ao tamanho recebem as denominações de graúda, boa, média e miúda e quanto a forma recebem a denominação de chatos e mocas.

O café chato é constituído pelos grãos provenientes de frutos desenvolvidos normalmente, tendo as suas dimensões proporcionais, segundo as propriedades de onde provêm. O seu comprimento é sempre maior que a largura, a parte dorsal dos grãos é convexa e a sua parte ventral é plana ou levemente côncava, com uma ranhura central disposta no sentido longitudinal.

O grão denominado moca é arredondado, também mais comprido do que largo e afinado nas pontas. Há também a ranhura

central no sentido longitudinal. O café moca é proveniente da não fecundação de um dos óvulos do fruto que normalmente apresenta duas lojas. Assim, apenas um grão se desenvolve, preenchendo o vazio deixado pelo outro e tomando a forma conhecida como moca.

Peneira: Com relação ao seu tamanho ou peneira, como são mais conhecidas, as favas são qualificadas segundo as dimensões dos crivos das peneiras que as retêm. Essas peneiras são designadas por números, os quais divididos por 64, indicam o tamanho dos furos em polegadas. Há peneiras de crivos redondos para a medição dos cafés chatos e de crivos alongados para os mocas. Sob o ponto de vista técnico é de suma importância a separação por peneiras, pois permite a seleção das favas de acordo com o seu tamanho separando-as em grupos para uma torrefação mais uniforme.

A classificação por peneiras é a seguinte:

- Chato grosso - peneira 17 e maiores;
- Chato médio - peneira 15 e 16;
- Chatinho - peneira 12,13 e 14;
- Moca grosso - peneira 11, 12 e 13;

- Moca médio - peneira 10;
- Moquinha - peneira 8 e 9.

Aspecto: O aspecto do café é de fundamental importância no julgamento de sua qualidade, pois permite prever sua boa ou má torrefação. Pela simples inspeção podemos classificá-lo em bom, regular ou ruim.

O aspecto é considerado bom quando a maioria dos grãos são perfeitos, uniformes no tamanho, na cor, na secagem. O aspecto é considerado ruim quando algumas ou todas as características acima referidas não estão uniformes apresentando também grãos defeituosos. O aspecto regular é aquele que apresenta condições intermediárias.

Cor: A coloração dos grãos influi decisivamente no aspecto, variando de acordo com o envelhecimento do café. Contribuem para a variação da cor: o grau de secagem, o tempo de exposição ao ar livre e a luz solar, o método de preparo da matéria-prima (via úmida ou seca), as condições de armazenamento, etc. A classificação

adotada para a exportação é a seguinte: verde, esverdeada, clara, amarelada e amarela.

Preparo: Quanto ao preparo, o café é classificado em café de terreiro e despulpado. Pode-se conhecer o sistema de sua preparação pela cor dos grãos e pelo aspecto da "película ". Sendo o café de terreiro conhecido por preparo "via seca" e o despulpado "via úmida".

Entende-se por preparo "via seca" os cafés chamados de "não lavados". Esse tratamento consiste em submeter o café colhido (café da roça) a um processo de limpeza que pode ser feito pelos seguintes métodos:

a – Tanques lavadores/separadores: Esse método de limpeza depende principalmente de maior ou menor disponibilidade de água na propriedade. Na dependência da abundância de água, podemos utilizar um dos dois tipos abaixo:

Tipo maravilha - Lava e separa por densidade o Café da Roça em:

Café bóia- Café seco, que por ser mais leve flutua no tanque, sendo dessa forma conduzido por uma canaleta a uma parte específica do terreiro para completar a secagem.

Cafés maduros e verdes - Esses cafés devido ao seu peso, sedimentam, sendo conduzidos por outra abertura a outra área do terreiro de secagem.

Pedras e torrões - Essas impurezas são eliminadas por uma abertura existente no fundo do tanque. Esse tipo de tanque é geralmente utilizado em regiões onde a água é abundante, pois ela é o principal agente transportador, lavador e separador do café a ser preparado.

Tipo Mecânico - Nesse caso são feitas as mesmas operações do tipo anterior. Só que a separação dos bóias, verdes e maduros, bem como pedras e torrões, é feita através de uma combinação de paletas e condutores que auxiliam o trabalho realizado pela água. Devido ao auxílio de agentes mecânicos, os tanques lavadores/ separadores desse tipo necessitam de menos água que os de tipo "maravilha".

b - Seletores: Este modo é utilizado onde não existe muita disponibilidade de água e a separação do "café da roça" é feita por meio de peneiras, que retiram as impurezas (terra, pedras, galhos, etc), depois dessa primeira limpeza o café é submetido a ventilação onde são separados os cafés secos (mais leves) dos maduros e verdes, seguindo então para terreiros diferentes, já separados em lotes de tamanho e peso (pequenos, médio e grandes).

Preparo por “via úmida”

Os cafés preparados por esse método são chamados de "lavados". Esse tratamento visa principalmente a obtenção de um produto de melhor qualidade, com a retirada da casca (epicarpo) e da mucilagem açucarada (mesocarpo) que revestem o grão do café e que normalmente constituem-se em foco de microorganismos que atuam negativamente na qualidade da bebida. No preparo por "Via úmida" iremos obter os despulpados, é desejável que se faça esse processamento sempre com frutos maduros (cerejas). O tratamento do café por "Via úmida" é feito em três fases:

a– Lavagem: O "café da roça" deverá passar por um tanque lavador com intuito de limpá-lo das impurezas e separar os cafés secos do verde e cereja, que por sua vez será selecionado e conduzido para o despulpamento. Em alguns casos o próprio despulpamento já possui um dispositivo destinado à separação dos frutos verdes.

b – Despulpamento: Essa separação é feita em máquinas denominadas despulpadores, constituindo-se basicamente de uma moenga, um cilindro de ferro recoberto por uma chapa de cobre com mamilos, e um encosto de borracha ou ferro regulável por parafusos, que vão determinar a distância entre o cilindro e o encosto, de

acordo com o tamanho dos frutos (pequenos, médios e grandes) a serem despolidos.

O café é colocado na moenga e submetido a pressão entre o cilindro e o encosto de borracha, já devidamente regulado para operar com determinado tamanho de fruto. Os frutos de café ao passarem entre as duas peças (cilindro e encosto) perdem a casca que sai de um lado, enquanto os grãos de café envolvidos no pergaminho (endocarpo) e mucilagem (mesocarpo) saem do outro lado.

Esse processo é feito acrescentando-se água para facilitar o despolidamento. Os despolidadores devem ser muito bem regulados para evitar que ocorram ferimentos no grão (muito apertado) ,ou passem frutos sem despolidar (muito solto). A utilização do despolidador deve ser feita apenas com cafés "cerejas", mas ocasionalmente, costuma-se colocar cafés que já passaram do estágio ideal para maturação de molho em água para depois serem despolidos. Esse tipo de despolidado é conhecido por "macerado" e é facilmente reconhecível pois apresenta a membrana prateada (espermodermis) de cor bem escura, além do que, no preparo da bebida apresentam uma torração "não característica" o que o exclui da comercialização como despolidado.

Os cafés despulpados têm a vantagem de diminuir consideravelmente a área de terreiro e o tempo necessário para secagem.

Cafés despulpados levam menos tempo para a secagem, por não conterem a mucilagem, que se encontra entre a casca e o grão. Esse processo é realizado para se obter cafés de melhor qualidade, pois a falta da mucilagem reduz os riscos de ocorrer a fermentação excessiva da semente.

c – Degomagem: Essa operação é feita com a finalidade de separar a goma açúcarada do pergaminho. A degomagem pode ser através dos seguintes métodos:

Mecânica: É a menos aconselhável, pois além de não tirar completamente a mucilagem, não raro, ocasiona lesões no pergaminho. prejudicando a qualidade do despulpado obtido.

Biológica: É o método mais utilizado no Brasil. Essa degomagem é feita em tanques especiais onde os cafés recém-despulpados vão sofrer uma fermentação natural na qual os microorganismos existentes no meio ambiente é que vão destruir a goma açúcarada que envolve o pergaminho. Durante o processo, a fermentação rápida dos açúcares da mucilagem, irá provocar uma elevação na

temperatura, reduzindo a goma açucarada a películas facilmente elimináveis com a lavagem. Essa fermentação não deve ser muito prolongada para não comprometer a qualidade do café. Além disso, é sabido que durante as fermentações há perda no peso do café pela oxidação do material orgânico, sólido, o que é proporcional ao tempo de fermentação. A degomagem de cafés despulpados leva de 12 às 48h para se completar variando principalmente segundo as condições climáticas, para acelerá-las, não raro, utilizam-se algumas modificações no processo, tais como, água quente, fermentos ou líquidos de degomagens anteriores.

Química: Esse método é bem mais caro que o biológico e só deve ser utilizado quando a fermentação natural for muito lenta na região ou quando existir pequena disponibilidade de tanques de degomagens na propriedade. Geralmente é utilizado um preparo químico (mucilax) capaz de abreviar sensivelmente a fermentação para às vezes, até 3 horas, com a retirada rápida da mucilagem e sem apresentar problemas para o manipulador. Na prática, verifica-se que o café está degomado quando através do tato, ficar evidenciado a ausência de resíduos da mucilagem que envolvem o pergaminho o que é observado quando o grão fizer um ruído característico entre os dedos. Após a degomagem o café é levado a

um tanque com água e lavado com auxílio de pás manuais ou mecânicas com a finalidade de livrá-los de qualquer vestígio da goma açucarada. Feito isso, estará o café despulpado pronto para a secagem CARVALHO et al (1994).

Secagem: No que diz respeito à boa qualidade do produto, a secagem é um fator essencialmente importante, influenciando, de maneira decisiva, no aspecto e na torrefação do café.

Boa secagem é aquela que confere ao café uniformidade na cor e na consistência dos grãos, indicando ter sido bem conduzida desde a colheita. A má secagem é aquela em decorrência da qual os grãos se apresentam manchados ou úmidos. A secagem regular é intermediária á duas anteriores.

Atualmente, com a existência de aparelhos eletrônicos, o estado da seca do produto é determinado pela porcentagem de umidade encontrada nos grãos. Um café tecnicamente preparado deve apresentar, após o beneficiamento, uniformidade na cor e na consistência dos grãos e possuir um teor de umidade entre 11,0 e 11,5 %, uma vez tratado por "via seca", e entre 12,0 e 12,5 % se obtido por "via úmida".

A secagem pode ser classificada, então, em:
boa, regular ou má.

Torrefação: A prova de torrefação é, sem dúvida, um ponto de fundamental importância na classificação do café, por ser de grande ajuda para definir a sua qualidade. Defeitos não observados no café cru aparecem na torrefação.

A torrefação é classificada pelo aspecto, ou pela contagem de grãos que deixaram de torrar ou de mostrar a cor característica.

Na torrefação, os grãos verdes e ardidos ficam amarelados e os grãos pretos parecem carbonizados; os quebrados, conchas e os mal granados, devido ao seu volume reduzido em relação aos grãos perfeitos, tornam-se mais escuros.

2.2. FUNDAMENTOS DA SECAGEM

A secagem é uma operação unitária que envolve a transferência simultânea de calor e massa. A transferência de calor, necessária para evaporação da umidade, é geralmente baseada no

mecanismo de convecção. Quanto à transferência de massa, existem dois aspectos importantes a ser considerados: o transporte da água no interior do sólido a ser seco até a superfície e a remoção do vapor a partir da mesma.

O processo, usualmente representado por uma curva de secagem (figura 1), pode ser dividido em três fases, descritas abaixo.

1ª Fase (AB) - Aquecimento do material até a temperatura de secagem desejada: a elevação da temperatura causa um rápido aumento na taxa de secagem.

2ª Fase (BC) - Período de taxa constante: a velocidade de transferência de massa (umidade) no interior do sólido poroso é igual à velocidade de evaporação da água na superfície do mesmo.

3ª Fase (CD) - Período de taxa decrescente: a velocidade de transferência de massa no interior do sólido é menor que a taxa de evaporação na superfície; ocorre a elevação da temperatura do produto.

No estudo da secagem, depois da obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, é interessante descrever o

processo matematicamente, de forma que as equações obtidas possam ser utilizadas em estudos da cinética de secagem ou em projetos de secadores.

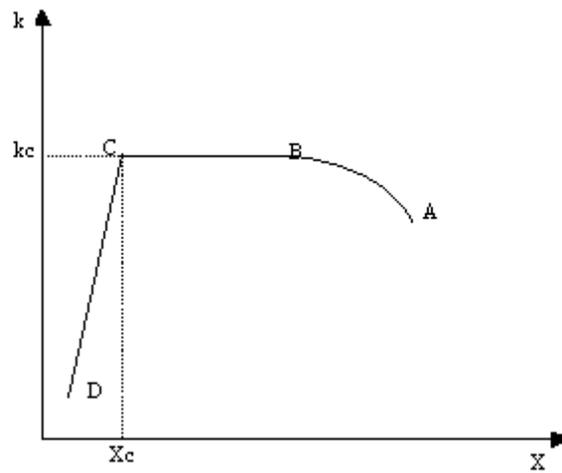


FIGURA 1. Curva de secagem genérica, onde X é a umidade em base seca (kg água/ kg matéria seca), κ é a taxa de evaporação de umidade (kg água/ kg matéria seca. h), X_c é a umidade crítica e κ_c a taxa crítica correspondente.

No período de secagem a taxa constante, a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás-sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, pode-se representar a taxa de secagem da seguinte forma (Crank, 1975):

$$Na = \frac{h(T_g - T_{bu})}{\lambda} \quad (1)$$

onde Na é o fluxo mássico, h é o coeficiente de transferência de calor, T_g é a temperatura do ar, T_{bu} é a temperatura de bulbo úmido do ar e λ é o calor latente de vaporização da água a T_{bu} .

Segundo Chirifre (1983), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da mesma. O conteúdo de umidade correspondente a esse ponto é denominado "umidade crítica" (X_c). Os valores da umidade crítica não são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependem de outros fatores, os quais

controlam a razão da transferência de umidade interna/ externa, tais como espessura da peça e condições do ar (velocidade, temperatura e umidade relativa).

O período de taxa decrescente, segundo Chirifre (1983), se inicia quando a migração interna de umidade passa a controlar o processo. Para a primeira fase do período de taxa decrescente, os principais mecanismos de transporte sugeridos são o escoamento capilar, a difusão de líquido e a difusão de vapor, podendo estes mecanismos ocorrer simultaneamente.

De acordo com Daudin (1983), a teoria de migração de água por difusão apoia-se exclusivamente sobre a lei de Fick, expressa em termos do gradiente de umidade, que enfoca principalmente o estudo dos efeitos globais do fenômeno interno, não descrevendo os possíveis mecanismos de migração.

Para descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos. Esses modelos são geralmente baseados no fenômeno de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor.

O modelo teórico utilizado para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas é a teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor, representada pela segunda lei de Fick (Crank, 1975):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{\text{eff}} \nabla X) \quad (2)$$

onde X é a umidade em base seca, t é o tempo e D_{eff} é a difusividade efetiva.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com a difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a segunda lei de Fick aplicam-se a sólidos de forma geométrica simples e constante ao longo do processo.

Considerando-se que o sólido seja uma esfera completamente exposta ao ar de secagem, de difusividade constante, variação do volume desprezível e que o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra também seja desprezível, tem-se a seguinte solução analítica (Hawlander et al., 1991):

$$M = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{r^2}\right] \quad (3)$$

onde M é a umidade adimensional $(X-X_{\text{eq}})/(X_0-X_{\text{eq}})$, X é a umidade da partícula em base seca, X_{eq} é a umidade de equilíbrio em base seca, X_0 é a umidade inicial em base seca, D_{eff} é a difusividade aparente, t é o tempo e r é o raio da amostra.

A maioria dos cereais (arroz, trigo, feijão, soja, café, etc.) apresentam uma pequena mudança de volume durante a secagem. Desta maneira, a solução analítica pode ser aplicada satisfatoriamente no estudo destes materiais. Para alimentos de alto conteúdo de umidade como a maioria das frutas (uva, caqui, abacaxi, maçã, etc.) a variação de volume é grande e, por esta razão, as soluções analíticas não podem ser aplicadas de forma exata e devem ser consideradas como aproximações da solução real.

Alguns modelos semi-teóricos são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre numa fina camada na

superfície das partículas, como o modelo de Lewis, análogo à lei de resfriamento de Newton, que na sua forma integrada é comumente chamada de modelo exponencial. Este modelo estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre dada pela equação 4 (Parry, 1985):

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_{eq}) \quad (4)$$

onde o fator de proporcionalidade K é denominado de constante de secagem, X é a umidade absoluta e X_{eq} é a umidade de equilíbrio.

A equação 4 é normalmente utilizada na forma integrada como:

$$M = \exp(-Kt) \quad (5)$$

onde M é a unidade adimensional, t é o tempo e K a constante de secagem.

Nos modelos empíricos há duas importantes modificações do modelo exponencial na forma integrada com dois a três parâmetros que apresentam bons ajustes experimentais, sendo dadas pelas equações:

$$M = \exp(-kt^n) \quad (6)$$

$$M = a \cdot \exp(-kt) \quad (7)$$

A equação 7 é similar à solução do modelo de Fick para tempos de secagem longos, quando apenas o primeiro termo da solução em série for significativo, ou seja, $n=1$ (Mc CORMICK, 1983). Esta correlação é utilizada por muitos pesquisadores da área de secagem para determinação da difusividade efetiva a partir da constante de secagem, como observado nos trabalhos de Aguerre et

al. (1982) para arroz, Tobinaga & Pinto (1992) para filés de peixes, Vaccarezza et al. (1974) para beterraba, Carbonell et al. (1986) para pimenta, Saravacos & Raouzeous (1986) para amido, Yshgeny & Poulsen (1988) para batata e Mazza & Lemaguer (1980) para cebola. A relação entre estes parâmetros é:

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{r^2} \quad \text{Para lâminas (secagem por um lado)}$$

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{L^2} \quad \text{Para lâmina (secagem pelos dois lados)}$$

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{r^2} \quad \text{Para esferas}$$

A equação 6 é conhecida como modelo de Page, sendo freqüentemente utilizada nos estudos de secagem de produtos

agrícolas, em particular para grãos e sementes, por apresentar excelentes resultados (Parti & Dugmanics, 1990; Pathak et al., 1991). Misra & Booker (1980) compilaram dados de secagem de milho em camada fina, de nove fontes diferentes, e os ajustaram através da Equação de Page, observando que n reflete a resistência interna à secagem, enquanto K representa os efeitos das condições externas.

O gerenciamento correto das operações de secagem e armazenagem é decisivo na busca de bons resultados. Para a obtenção de café de boa qualidade, é necessário um cuidado especial no controle da temperatura da massa de grãos durante toda a secagem. Dependendo do sistema de secagem utilizado, há uma tendência da temperatura da massa de grãos se igualar à temperatura do ar de secagem

De acordo com Holdsworth (1971), os principais fatores que afetam a taxa de secagem são as propriedades físicas do produto, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, as propriedades físicas do ambiente de secagem e a característica do equipamento de secagem.

2.3- SECAGEM DO CAFÉ

A secagem é uma das etapas mais importantes durante o processo de pós – colheita. No Brasil, o processo de secagem artificial em secadores teve maior impulso somente a partir da década de 70. Antes desta época, a maioria dos produtos eram secos no próprio campo ou em terreiros (SILVA et al., 1995)

A secagem, tanto do café “lavado” como do “não lavado “ ,deverá ser sempre muito bem conduzida levando-se em consideração que quanto mais homogêneo for o produto da colheita melhor será a qualidade da secagem. Nesse aspecto deve-se ter maiores cuidados com os” não lavados “, pois, como se sabe o "café da roça" apresenta teores de umidade muito variáveis de acordo com o grau de maturação que os frutos são colhidos. É justamente na secagem que os frutos de diferentes estágios de maturação deverão se tornar uniformes, pois, frutos mal secos originam fermentações prejudiciais à qualidade do café e frutos excessivamente secos originam quebras no peso, ou o aparecimento dos ressecados que

invariavelmente quebram nos descascadores, além do uso desnecessário da mão-de-obra na secagem.

A secagem tanto dos "lavados" como dos "não lavados" pode ser feita por meios naturais ou artificiais.

2.3.1. Secagem natural

A secagem natural pode ser feita de várias maneiras:

Secagem na Tulha: As tulhas funcionam mais como reguladoras ou igualadoras da umidade do café do que propriamente como secadoras. Esse processo proporcionará ao café, que iniciou a secagem por outros meios, uma secagem mais uniforme, sem que haja o aparecimento de grãos ressecados pelo excesso de exposição ao sol. As tulhas possuem em geral 4 faces providas de canaletas invertidas que possibilitam a passagem dos ventos. Quando cheias, o café pode ter movimentação retirando-o pela parte de baixo e recolocando-o por cima.

Secagem à sombra: É a maneira recomendada, que irá gerar um produto mais uniforme resultante de um processo de secagem mais lento, o que proporciona em uma mesma padronização do

produto que normalmente é bastante heterogêneo tendo em vista a variação do teor de umidade dos diferentes tipos de frutos. Esse processo, embora seja o ideal, considerando a grande variação nos teores de umidade do café colhido nas condições brasileiras, é raramente usado. Seu emprego é maior quando se trata de pequenas partidas e principalmente quando o café a ser seco se destina a produção de sementes para o plantio.

Secagem em tabuleiros: Esse processo consiste em se esparramar o café em tabuleiros de madeira, evitando assim que entre em contato direto com o chão. Apesar de apresentar um bom produto final, este método é muito pouco usado devido as dificuldades naturais do processo, sendo sua utilização restrita a pequenas quantidades de café.

Secagem em terreiros: Esse tipo de secagem é o mais comumente utilizado no Brasil. Na sua implantação, nas propriedades ou armazéns, deve-se ter alguns cuidados a saber:

Localização: Os terreiros devem estar bem localizados na propriedade, possibilitando a circulação do produto e das pessoas que trabalham na secagem para as demais construções de preparo e industrialização do café. Na sua localização, deve-se evitar regiões

baixas onde é pequena a incidência dos raios solares, uma vez que o principal agente da secagem nesse processo é o sol. Além disso os terreiros deverão preferencialmente serem construídos em nível inferior ao das instalações de armazenagem e benefício.

Construção: Podem ser construídos de terra, tijolo, cimento, asfalto, pedras etc. Porém, o mais recomendável é o de tijolos por permitir maior absorção da umidade, irradiar calor, ser barato e não transmitir gostos estranhos ao café. A utilização da área a ser construída pode ser com um só terreiro grande ou subdividido em quadras, o que é mais vantajoso, por proporcionar que o café a ser seco possa ser dividido em lotes homogêneos. Todo terreiro bem construído deverá ter uma declividade entre 0,5 a 1.5%, a fim de facilitar o escoamento da água para a parte mais baixa, através de ralos providos de grades que não deixam passar o café, (Pimenta e Vilela, 2000).

Um processo bastante utilizado na construção dos terreiros é a confecção de "coroas" ou "meias-luas", que são pequenas muradas de um tijolo construídas em semi-círculos e com a parte aberta para o lado de baixo. Dentro destas "meias-luas" o café é amontoado e coberto com lonas nos dias chuvosos, para proteger o monte de café do contato com a água da chuva

Processo de secagem em terreiros: O café proveniente da lavoura, separador, ou tanque de degomagem, é colocado em carrinhos, em geral em forma de "V", que deixam que os grãos caiam no terreiro em camadas de 2 a 5 cm, as quais serão revolvidas em vários sentidos com o auxílio de rodos de madeira.

Nos primeiros dias, a secagem é feita em camadas finas revolvidas freqüentemente nos dois sentidos. A medida que o café for secando, é esparramado em camadas cada vez mais espessas. Durante a noite deve-se tomar os seguintes cuidados: inicialmente o café permanece no terreiro enfileirado no sentido da inclinação do mesmo, a fim de não reter as águas da chuva que por ventura possam advir. Nas noites subseqüentes, os grãos são amontoados junto aos semi-círculos e protegidos por lonas plástica ou encerados. Nesta fase, o café é chamado de "meia seca" e devemos ter cuidado para que não tome chuva. A partir desse estágio o café deverá ser seco da seguinte forma: revira-se o café durante 2 ou 3 vezes por dia ao sol, em seguida é amontoadado e coberto para que o calor concentrado proporcione uma secagem homogênea e lenta. Em algumas regiões costuma-se usar cones de zinco sob os quais o café é amontoadado durante a noite ou em dias nublados, para que o

calor absorvido do sol seja mantido na massa de grãos proporcionando a uniformização da secagem.

O café "despolpado" é amontoado também em camadas finas à semelhança do "café da roça", porém mais espessas que as requeridas para os mesmos.

O tempo de secagem vai variar de acordo com a época da colheita, temperatura, umidade do ar, e principalmente com o tipo de café a ser seco, pois, como se sabe é muito heterogêneo quanto ao teor de umidade. Assim, temos que um café verde (chumbinho) vai para o terreiro com um teor de umidade em torno de 70% ao passo que um coquinho apresentará esse teor reduzido a apenas 10 ou 20% de umidade motivo pelo qual, sempre que possível deve-se fazer a separação dos diferentes frutos para homogeneizar a secagem.

A composição média de um café derriçado, já separado do "café bóia" é de 50% de cerejas, 30% de chumbinhos e 20% de verdes. De maneira geral, podemos dizer que a média do tempo de secagem em terreiro, nas condições climáticas brasileiras é a seguinte:

"Café da roça" - (derriçado) - 30 dias

“Despolpados” - 10 dias

“Café de variação” - 2 dias

O grau de café estará em condições ideais de secagem independente do método utilizado, quando apresentar os seguintes teores de umidade:

“Não lavados” - 11 a 12%

“Lavados” - 12 a 13%

2.3.2. Secagem Artificial

Esse tipo de secagem é feita em secadores mecânicos destinados a reduzir o tempo de secagem, a área do terreno e a mão de obra, normalmente é utilizado para cafés despolpados ou cerejas.

Visando economizar combustível, costuma-se deixar os cafés no terreiro para enxugar, levando-os posteriormente aos secadores para completar a secagem.

Os secadores mecânicos basicamente são constituídos das seguintes partes: uma câmara de aquecimento onde os grãos são depositados para que o ar aquecido passe por eles, uma fornalha onde o combustível é queimado para aquecer o ar, agindo como fonte produtora de calor e um sistema de ventilação que força o ar quente a penetrar na massa de grãos.

O combustível a ser utilizado nessas máquinas pode ser óleo mineral, gás, lenha, carvão, etc.

No mercado existem vários tipos de secadores mecânicos que podem ser divididos de acordo com a alimentação das câmaras em:

- Secadores de "Fogo Direto". Nesses Secadores, o ar quente é fornecido diretamente da fornalha à câmara de armazenamento dos grãos.

- Secadores de "Fogo Indireto". Nesses secadores, existe um dispositivo destinado a lançar os gases da combustão na atmosfera,

não permitindo dessa maneira que entrem na massa de grãos, contaminando-o e prejudicando a sua qualidade.

Os secadores a óleo com fogo direto não são muito seguros, pois, quando o queimador não estiver devidamente ajustado poderá haver o desprendimento de partículas de óleo inflamável dos secadores. A lenha ou carvão devem ser preferencialmente a fogo indireto, para evitar que o ar se impregne de fuligem, o que vai transmitir aos grãos cheiro e gosto desagradável. Os secadores a gás geralmente são de fogo direto.

Na secagem do café, deve-se dar preferência a secadores do tipo fogo indireto os quais devem estar muito bem regulados para evitar a entrada de fumaça.

É aconselhável que se trabalhe no secador mecânico com partidas homogêneas, procurando-se fazer a secagem lentamente, elevando-se a temperatura à medida que o café vai perdendo a umidade, sem utilizar no entanto, temperatura superior a 45⁰ C.

Os cafés despulpados gastam aproximadamente dois dias para completar a secagem em secadores mecânicos.

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS

Informações referentes a densidade, ao volume, área superficial, forma e tamanho, entre outras características físicas dos produtos agrícolas, são consideradas de grande importância para estudos envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares. Juntamente com o teor de água, as dimensões, o volume e a área superficial são parâmetros utilizados para determinar as condições de secagem e armazenagem de grãos e cereais e, conseqüentemente, possibilitar a predição de qualidade do produto até o momento de sua comercialização.

2.4.1. Densidade

Denomina-se densidade de um material a razão entre a massa e o volume do mesmo.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

Onde:

ρ : Massa específica, kg/m³;

m: Massa do material, kg;

V: Volume do material, m³.

A densidade é dita aparente quando se refere à razão entre a massa de um material e o volume total ocupado por esta massa, incluindo, portanto, o volume relativo aos espaços intersticiais.

A densidade real é a relação entre a massa de material e o volume real ocupado por esta massa, que corresponde à subtração entre o volume total e o volume do ar intergranular existente na massa granular.

Os principais métodos usados na determinação da densidade e da porosidade dos materiais, segundo Gustafson & Hall (1972) e Mohsenin (1970) são:

- Deslocamento de líquidos;
- Deslocamento de gases;
- Interação da radiação com a matéria.

Vários pesquisadores têm adotado o método de deslocamento de gás para medidas de densidade nos grãos (FORTES & OKOS, 1972); outros têm seguido um método simples baseado no peso da água deslocada, método utilizado, por exemplo, por Olajide & Igbeka (2003) para determinação da densidade real de amendoim.

Segundo Vasconcelos (1998), o conhecimento das densidades, aparente e real, é de fundamental importância em projetos de engenharia, envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos para manuseio, armazenamento e secagem.

2.4.2. Volume e área superficial

O estudo do encolhimento é de grande importância para um melhor entendimento do processo de secagem.

Alguns autores têm admitido que o decréscimo do volume durante a secagem seja equivalente ao volume removido de umidade (Lozano et al., 1983).

Vagenas et al. (1990), ao estudarem a secagem de alimentos, verificaram que dentre as dificuldades ou problemas encontrados durante a secagem, tem-se a complexidade da composição e a estrutura do alimento.

Alguns autores indicam ser a desconsideração do fenômeno de alteração volumétrica durante o processo de desidratação uma das principais fontes de erros no desenvolvimento de modelos matemáticos para simular o processo de secagem de produtos agrícolas (Brooker et al., 1992; Lang e Sokhansanj, 1993).

A remoção de água diminui a tensão exercida pelo líquido nas paredes celulares do produto, provocando uma contração volumétrica do material (Fortes e Okos, 1980). Segundo Weber (1995), uma massa de grãos de trigo com umidade inicial de 20% base úmida, submetida a secagem até se atingir o teor de umidade de 12% b.u.; terá seu volume reduzido em 14,5% de seu volume original. Para as mesmas condições uma massa de grãos de arroz em casca sofrerá uma redução de aproximadamente 12,3% de seu volume inicial. Já Vilela (1977), verificou uma redução de 34% do volume inicial de frutos de café, variedade Mundo Novo, quando submetidos a secagem em silo-piloto para redução do teor de umidade de 67% b.u. para 19% b.u., o que afetou significativamente a densidade aparente e a área superficial do produto.

Muitos pesquisadores têm utilizado aproximações e modelos empíricos na tentativa de melhor representar o complicado fenômeno de contração em produtos de natureza biológica (Lang et al., 1994; Krokida e Maroulis, 1997).

Os grãos e sementes, de modo geral, não apresentam um formato geométrico definido, tornando necessário para a solução de problemas relacionados a sua geometria assumir para o produto uma forma conhecida, o que acarreta em aproximações e possíveis

erros. De acordo com Agrawal et al. (1972) para a maioria dos grãos muitas dessas soluções são obtidas assumindo-se para o produto as formas geométricas de um esferóide ou elipsóide composto por três dimensões características, que são os eixos maior, médio e menor.

2.4.3. Coloração dos grãos de café.

Ao escolher, selecionar ou observar um produto, o impacto visual causado pela cor, na maioria das vezes, se sobrepõe ao causado pelos demais atributos de qualidade do produto. A cor caracteriza em muito os objetos, podendo constituir-se no primeiro critério aplicado para sua aceitação ou rejeição, (Ferreira, 1981).

Na agricultura a cor pode auxiliar na determinação do ponto de maturação, de secagem, na seleção de grãos, na indicação de alguma alteração de natureza bioquímica, entre outras. A cor da matéria-prima como de tomates e frutas tem muito influência na cor do produto processado (massa, extrato, doces em compotas).

Em alguns produtos agrícolas a cor está estritamente associada à qualidade, como nos grãos de café beneficiados. Na classificação do café a cor pode levar à rejeição do produto, por

permitir revelar os cuidados na colheita, na secagem e no armazenamento (Lopes, 1988).

Segundo Sivetz e Foote (1963), a cor é um importante indicativo da qualidade do café. Estes autores citam a cor azul para verde-cinza a indicativa de grãos de melhor qualidade segundo a prova da xícara.

Lopes (1988), mostrou que a luz afeta sobremaneira a cor dos grãos de café beneficiados, inclusive a bebida, mas que nem todos os comprimentos de ondas de espectro visível afetam a qualidade dos cafés.

A mudança na cor dos grãos de café não se deve exclusivamente ao armazenamento inadequado. Segundo Rabechault, citado por Lopes (1988), a coloração dos grãos depende em grande parte do método empregado no preparo do café, sendo muito influenciado pela fermentação, pelo pH da água de lavagem e pelo processo de secagem.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Matéria - Prima

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Propriedades Físicas do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos-DETA da Universidade Estadual Paulista- Campus de São José do Rio Preto

A espécie de café utilizada foi a *Coffea Arabica* variedade Catuai Vermelho colhidos na região noroeste do estado de São Paulo no município de Mirassol. Os frutos foram colhidos manualmente de forma seletiva em cestos no estágio de maturação tipo cereja, sendo transportadas imediatamente para o laboratório, onde foi feita a seleção e limpeza das amostras. As amostras foram divididas por tratamentos identificados de acordo com o sistema de processamento, sendo conduzidas da seguinte forma: inicialmente foi selecionado uma porção da amostra que foi processada imediatamente, realizando a limpeza, seleção dos grãos e retirada da casca (despolpamento) o restante da amostra foi armazenado em sacos de polietileno trançado por um período máximo de 48 horas de fermentação. O despolpamento foi realizado manualmente

grão a grão, fazendo pressão do grão entre os dedos indicador e polegar até o rompimento da casca e sua remoção. A cada 24 horas foi retirado uma amostra, feito o despulpamento e posterior secagem em dois lotes, um com casca sendo considerado lote A e outro sem casca ou despulpado considerado lote B. Para o estudo da secagem foi desconsiderado o café com casca, sendo utilizados os dados experimentais apenas no estudo do encolhimento dos grãos.

A composição química do café cereja despulpado foi determinada segundo métodos utilizados pela (AOAC 1990). A umidade foi determinada pela perda de peso em estufa a 105°C, com circulação de ar forçado até peso constante; e o teor de carboidrato pela diferença.

O trabalho em laboratório foi conduzido de acordo com o

fluxograma :

Colheita a dedo



Transporte para o laboratório



Limpeza e seleção



Despolpamento (retirada da casca)



Determinação da composição química



Secagem



Análise visual da cor



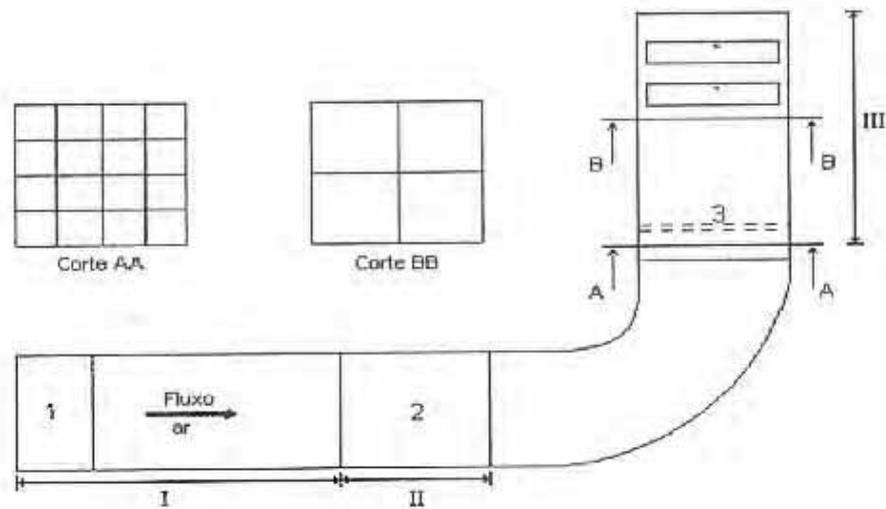
Acondicionamento das amostras em sacos plásticos

3.2- O Secador

O equipamento utilizado para a secagem é do tipo bandejas composto de três seções básicas: seção de controle de velocidade do ar, seção de aquecimento e compartimento de secagem.

O ar é forçado através do secador por meio de um ventilador centrífugo e o controle da vazão é feito por um conversor de frequência que controla a rotação do ventilador. Um conjunto de resistências elétricas é utilizado para o aquecimento do ar de secagem, sendo controladas por um variador de tensão que permite

um ajuste fino da temperatura. O compartimento de secagem consiste de bandejas, com fundo de tela metálica, dispostas perpendicularmente à seção de escoamento do ar. A umidade relativa do ar de secagem é monitorada, através de sensores. O esquema do secador de leito fixo é apresentado na Figura 2.



- | | | |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|
| I – Seção de velocidade do ar | 1 – Ventilador centrífugo | Corte AA - Colméia |
| II – Seção de aquecimento do ar | 2 – Resistências elétricas | Corte BB – Bandejas |
| III – Compartimento de secagem | 3 – Colméia | |

3.3-. Curvas de Secagem

As amostras de café foram levadas ao secador, após terem sido preparadas conforme descrito no item 3.1.

Para a pesagem foi utilizada uma balança Marconi modelo BG2000, com precisão de 0,01g.

Os testes de secagem foram conduzidos às velocidades de 1,0 m/s e 2,0 m/s, e temperaturas de 40, 50 e 60°C.

A velocidade do ar foi determinada por um anemômetro. O aquecimento do ar foi promovido por resistências elétricas, e sua temperatura, ajustada por um variador de voltagem ligado a uma resistência. Sob a bandeja com o produto, foi instalado um termopar, ligado a um indicador digital de temperatura.

A umidade de equilíbrio foi determinado deixando as amostras no secador até atingir peso constante.

As curvas de secagem foram construídas em função da razão de umidade pelo tempo de secagem.

3.4- Propriedades Físicas

3.4.1. Densidade

3.4.1.1. Densidade Aparente

A densidade aparente, ρ_a , foi determinada com dez repetições, através da relação entre a massa, m , e o volume aparente, V_a , ocupado pela mesma massa de grãos, de acordo com a equação 8.

O volume aparente é a soma do volume ocupado pela massa de grãos de café e do volume do espaço intersticial. Foi determinado utilizando-se uma proveta graduada de 2 L.

3.4.1.2. Densidade Real

A densidade, ρ_r foi determinada com dez repetições, através da relação entre a massa, m , e o volume real, V_r , ocupado pela mesma massa de grãos de café, de acordo com a equação 8.

O volume real é a diferença entre o volume total e o volume do ar intersticial na massa granular. Foi determinado pelo método de

deslocamento de líquido (tolueno), utilizando-se proveta graduada de 2 L.

A proveta foi preenchida com tolueno até o volume de 1 L, em seguida, foi inserida uma massa conhecida de grãos de café na proveta e o volume de tolueno deslocado foi anotado. O volume de tolueno deslocado pela massa conhecida de grãos é o volume real da amostra (MOHSENIN, 1970).

3.4.2. Volume e área superficial

O estudo do encolhimento foi realizado através da variação do volume e da área superficial do grão durante a secagem.

O volume e a área superficial do grão foram determinados, com dez repetições para cada tratamento, pelas medições dos três eixos ortogonais do fruto do café, considerando-se o fruto um esferóide tri-axial oblato (Figura 3), aplicando-se as equações 9 e 10 propostas por (MOHSENIN, 1970).

$$V = \frac{\pi.a.b.c}{6} \tag{9}$$

$$A = \frac{\pi a^2}{2} + \pi \frac{[(b+c)/4]^2}{\varepsilon} * \ln\left(\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) \quad (10)$$

em que

$$\varepsilon = \left\{ 1 - \left[\frac{((b+c)/2)}{a} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (11)$$

V = volume do grão, m³

A = área superficial do produto, m²

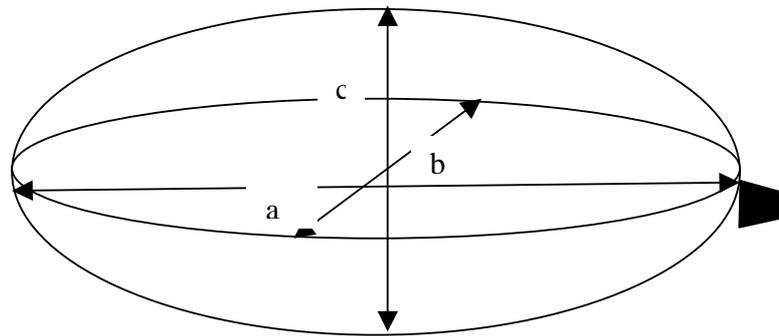


FIGURA 3. Desenho esquemático de um fruto de café considerado como um esferóide tri-axial oblato e suas dimensões características.

3.4.3. Coloração dos grãos secos

A coloração dos grãos de café após o processo de secagem, com teor de água de 11 a 12% base úmida, foram analisados e comparados visualmente com o padrão. As amostras foram

colocadas ao acaso sobre fundo preto à luz do dia. Três pessoas foram instruídas a ordenar as amostras de acordo com suas preferências, baseado num padrão (julgando somente a cor como critério de qualidade).

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição química

Na tabela 3 é apresentada a composição química média do café cereja despolpado. Os valores obtidos experimentalmente estão de acordo com a literatura (SCHOLZ et al., 2002).

Tabela 3. Composição química média do café cereja despolpado

Umidade	Proteína	Óleo	Carboidrato	Fibra	Cinza
51,75%	6,56%	2,58%	29,06%	8,25%	1,80%

4.2 Curvas de secagem

A figura 4 mostra as curvas de secagem do café cereja despolpado nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e 1m/s determinadas experimentalmente e os valores calculados pela equação 6 (Page). Os parâmetros das equações 6 e 7 são apresentados nas tabelas 3

e 4, respectivamente. Assim como o coeficiente de determinação (R^2). Observa-se que o modelo de Page descreve satisfatoriamente os dados experimentais, para as condições estudadas, podendo integrar modelos de simulação de secagem. A aplicabilidade deste modelo tem sido confirmado por um grande número de trabalhos para diferentes tipos de grãos e frutas, (MARANGONI 2004, QUEIROZ 2003 e VIEIRA 1991).

Do ponto de vista de precisão de dados a equação 7 não descreveu bem todo o processo de secagem do café nestas temperaturas.

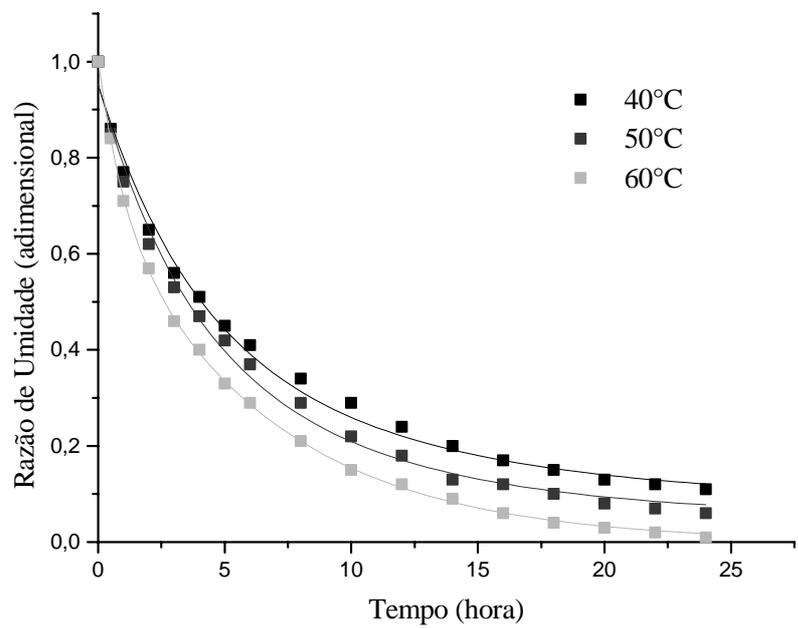


FIGURA 4. Curvas de secagem do café cereja despulpado com tempo de fermentação de 0h em função da temperatura a 1m/s. (—) estimado pela equação

TABELA 4. Valores dos coeficientes da Equação 6 e respectivos coeficientes de correlação, considerando as temperaturas do ar de secagem e velocidade do ar de 1m/s.

	Temperatura (°C)		
	40	50	60
n	0,772	0,798	0,767
k	0,019	0,021	0,031
R ²	0,991	0,998	0,995

TABELA 5. Valores dos coeficientes da Equação 7 e respectivos coeficientes de correlação, considerando as temperaturas do ar de secagem e velocidade do ar 1m/s.

	Temperatura (°C)		
	40	50	60
A	0,958	0,945	0,951
k	0,004	0,005	0,006
R ²	0,779	0,798	0,805

4.3. Efeito do tempo de fermentação na secagem do café despulpado.

As figuras 5, 6 e 7 mostram o efeito do tempo de fermentação dos grãos do café cereja despulpado durante a secagem a 40, 50 e 60°C. Observa-se que o café com tempo de fermentação zero hora, apresenta uma velocidade de secagem maior no período inicial do processo, em relação aos outros tempos de 24 e 48 horas de fermentação, independente da temperatura do ar de secagem. Este fato pode ser explicado pela maior concentração de mucilagem presente nos grãos sem fermentação, conseqüentemente maior teor de água na superfície. A medida que ocorre a fermentação essa mucilagem diminui.

Verifica-se ainda que, no final do processo a umidade dos grãos para os diferentes tempos de fermentação não diferenciaram tanto entre si. Neste período final, a velocidade de secagem é regida pela difusão de umidade dentro do grão, o que está relacionado à sua estrutura, que pelo visto, não foi afetada pela fermentação. Esse comportamento é ainda mais evidenciado à medida que aumenta a temperatura de secagem.

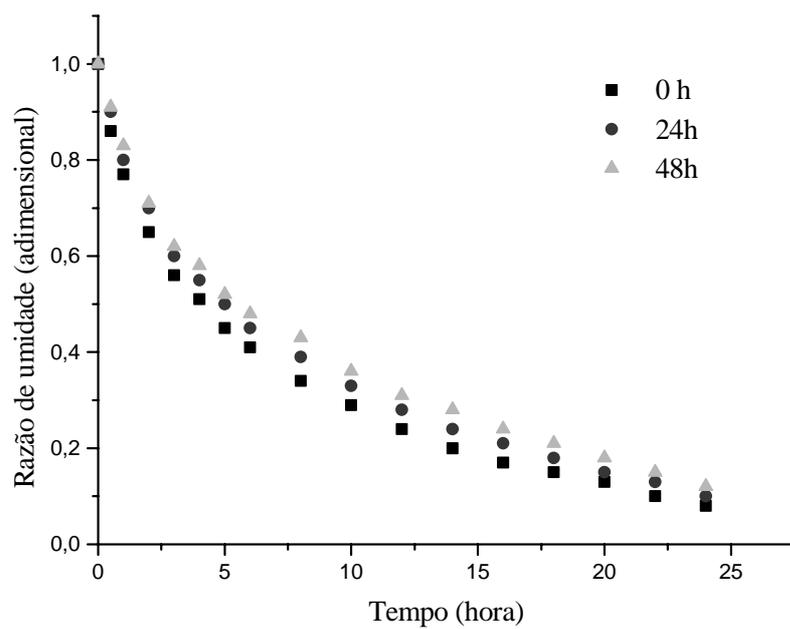


FIGURA 5. Curvas de secagem do café cereja despulpado a 40°C e 1m/s em função do tempo de fermentação, pelo ajuste de Page.

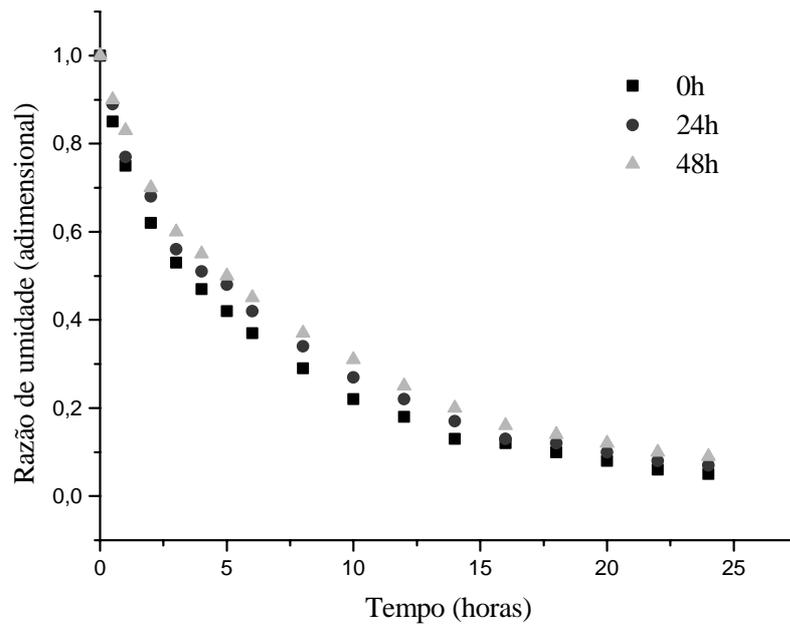


FIGURA 6. Curvas de secagem do café cereja despulpado a 50°C e 1m/s em função do tempo de fermentação, pelo ajuste de Page.

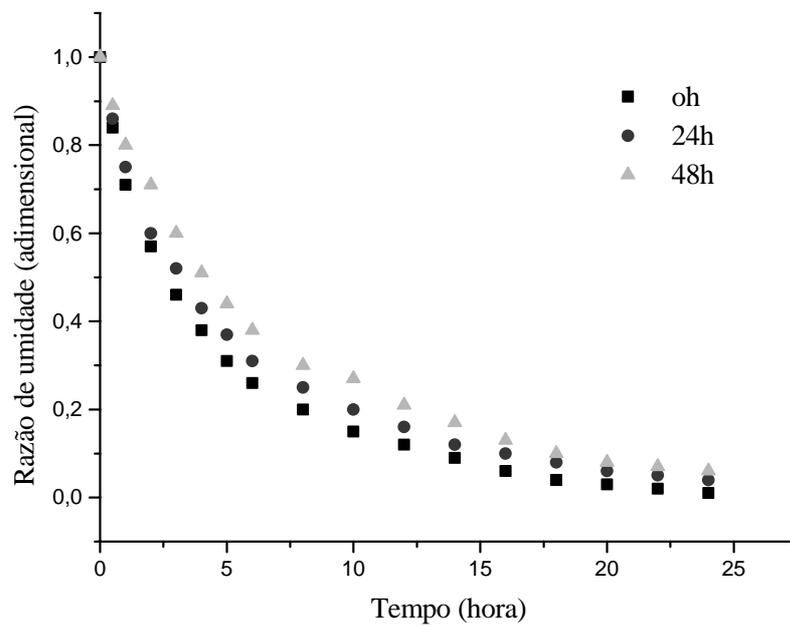


FIGURA 7. Curvas de secagem do café cereja despulpado a 60°C e 1m/s em função do tempo de fermentação, pelo ajuste de Page

4.4. Efeito da velocidade do ar sobre a secagem do café despulpado.

As figuras 8 e 9 mostram o efeito da velocidade do ar de secagem nas temperaturas de 40 e 60°C, respectivamente. Verifica-se que, para um mesmo tempo de residência do material no secador, o aumento da velocidade do ar de secagem conduziu a uma redução da razão de umidade, para a temperatura de 40°C, indicando um aumento do potencial de secagem em função da velocidade do ar e não da temperatura respectiva. Com o aumento da temperatura do ar para 60°C, o potencial promovido pela velocidade do ar diminuiu, podendo concluir que em altas temperaturas a velocidade do ar tem menos efeito do que a temperatura no processo de secagem.

Esse mesmo comportamento foi obtido na secagem de macadâmia, Marangoni (2004) e Queiroz (2003) na secagem de tomate.

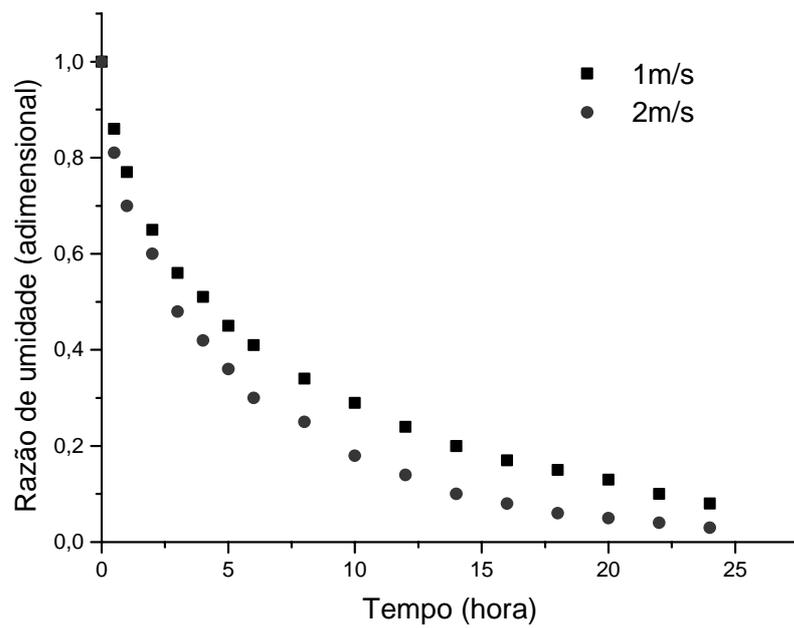


FIGURA 8. Efeito da velocidade do ar durante a secagem a 40°C com tempo de fermentação de 0h.

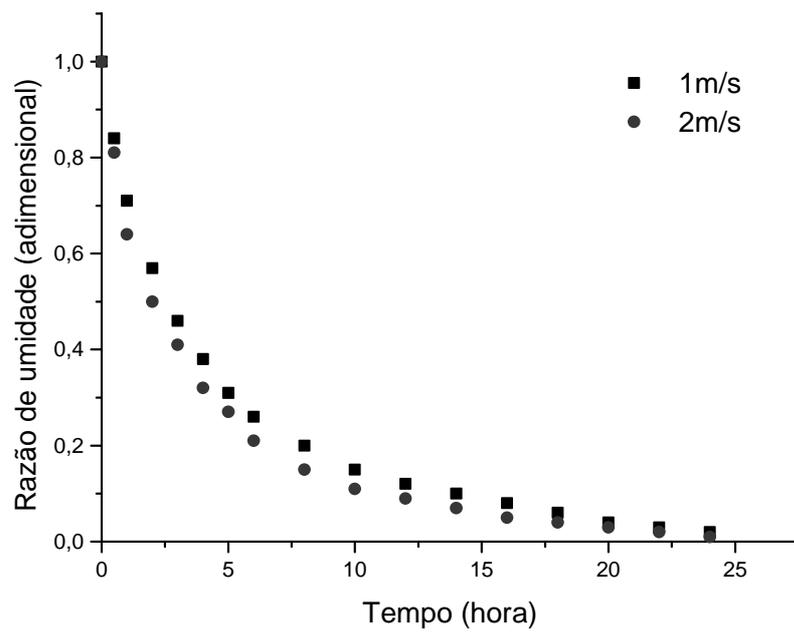


FIGURA 9. Efeito da velocidade do ar durante a secagem a 60°C e com tempo de fermentação de 0h.

4.5. Variação da densidade do café despolpado durante a secagem.

4.5.1 Densidade Real

A variação de densidade real do café despolpado seco a 40°C com zero hora de fermentação em função da umidade é apresentada na figura 10.

Verificou-se que a densidade real diminui linearmente com o aumento da umidade. Essa relação pode ser expressa conforme a equação 12.

$$\rho_r = 924,39 - 400,95M \quad (12)$$

Onde:

ρ_r : densidade real, kg/m³;

M: umidade, decimal base seca;

R²: 0,991 SD: 15,19

Esse comportamento pode ser atribuído a pequena variação do volume comparado ao decréscimo da massa do grão, resultado do processo de secagem. Resultados semelhantes foram encontrados para outros grãos como a soja, (DESHPANDE et al., 1993).

Lozzano et al. (1983) desenvolveram um modelo empírico para a densidade aparente de frutas e vegetais em função do conteúdo de umidade.

Marousis e Saravacos (1990) encontraram um modelo polinomial para ajustar os dados da densidade aparente dos grãos de milho e trigo.

Uma relação linear da densidade aparente com o conteúdo de umidade foi obtida para peixe (Balban & Pigott, 1986), ervilhas (Shepherd & Bhardway, 1986), grão de bico (Dutta et al., 1987)

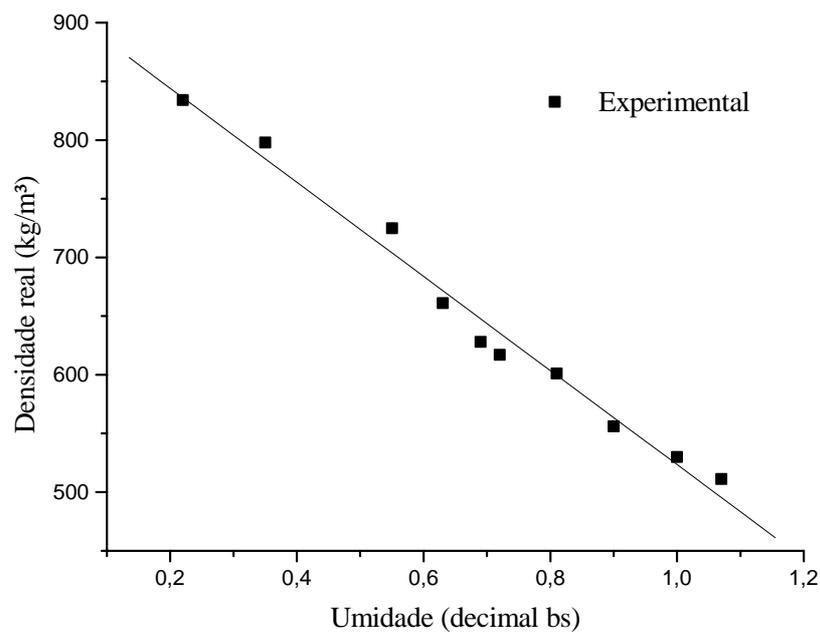


FIGURA 10. Valores da densidade real do café despulpado com zero hora de fermentação em função do teor de água.

4.5.2. Densidade Aparente

A variação da densidade do café despolpado seco a 40°C com tempo de fermentação de zero hora em função da umidade é apresentada na Figura 11.

A relação entre a densidade aparente e a umidade pode ser escrita matematicamente de acordo com a equação 13.

$$\rho_{ap} = 445,90 - 28,25 M \quad (13)$$

Onde:

ρ_{ap} : densidade aparente, kg/m³;

M: umidade, decimal base seca;

R²: 0,997 SD: 0,11,09

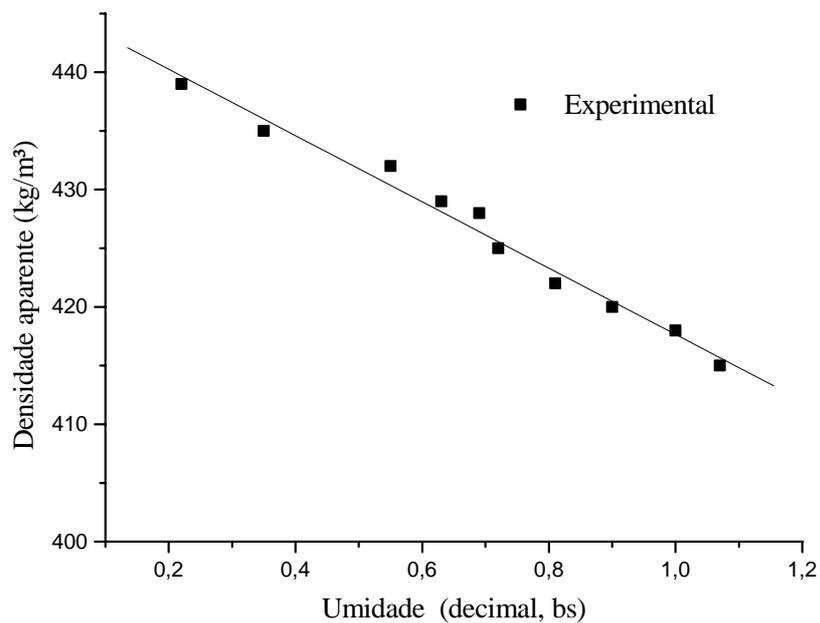


FIGURA 11. Valores da densidade aparente do café despolpado com zero hora de fermentação em função do teor de água.

4.6. Estudo do encolhimento do café cereja durante a secagem.

Observa-se nas Figuras 12 e 13, que a área superficial diminui com a redução da umidade dos frutos de café, acompanhando o comportamento do volume. Segundo Macminn e Magee (1997), tal

fato ocorre em consequência das modificações estruturais associadas as alterações celulares do produto, devido a retirada de água durante o processo de secagem. A desidratação dos grãos reduz os espaços intercelulares e entre constituintes modificando as suas dimensões e, por conseguinte, o seu volume, reduzindo a área da superfície do produto e fazendo com que os espaços anteriormente ocupados por água sejam agora completados pela matéria seca do grão.

Verifica-se, ainda nas figuras 12 e 13, que o grão de café com casca, cujo os frutos apresentam uma maior parcela de mucilagem, apresentaram alterações mais significativas de suas características físicas, área superficial e volume em relação ao grão despulpado.

O mesmo comportamento é verificado quando se analisa o efeito do tempo de fermentação. A zero hora, os grãos apresentaram alterações mais significativa, comparado aos tempos de 24 e 48 horas. Com o aumento do tempo de fermentação a quantidade de mucilagem diminui.

De modo geral, para todos os tempos de fermentação, observa-se nas Figuras 12 e 13, que a redução da umidade dos

frutos do café com casca, de aproximadamente 1,07 para 0,2 base seca promoveu uma diminuição de cerca de 15 a 20% do volume do produto, quando, comparado com seu volume inicial, provavelmente devido à menor presença de água e reestruturação dos elementos que compõem o fruto durante o processo de secagem. Fato esse diretamente refletido na redução de aproximadamente 5 a 10% da área superficial do produto, para a mesma faixa de redução de umidade. Verifica-se ainda, nessas figuras, que o café despulpado apresentou menores alterações, inferiores a 5% de área e volume, indicando uma tendência menos acentuada de encolhimento durante a secagem dos grãos.

Os dados foram submetidos à análise de regressão e seleção do modelo matemático que melhor representa-se a relação entre as variáveis estudadas. Os modelos matemático adequados para a descrição da relação das variáveis estudadas em função da umidade dos frutos são das formas:

$$Y = \beta + \beta_1.X \text{ (despulpado)} \quad (14)$$

$$Y = \beta + \beta_1.X + \beta_2.X^2 \text{ (com casca)} \quad (15)$$

em que: Y = representa os valores das propriedades físicas, área superficial e volume;

X = variável umidade, decimal base seca;

β = constante de regressão;

β_1, β_2 = coeficientes de regressão.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, utilizando-se a análise de variância pelo programa STATISTICA (versão 5.0), estimou-se os valores dos parâmetros do modelo em função da variável independente a umidade do produto.

Os valores de β , β_1 e β_2 das equações 14 e 15 correspondentes aos tratamentos estão nas tabelas 5 e 6.

TABELA 6. Valores dos parâmetros das equações 14 e 15 correspondentes aos valores estimados da figura 12.

	β	β_1	β_2	R^2	SD
Casca 0h	386,27	-241,34	30085	0,986	6,24
Casca 24h	353,82	-187,12	250,33	0,988	6,23
Casca 48h	324,57	-155,72	225,52	0,985	5,58
Despolpado 0h	202,07	20,79	-	0,915	2,49
Despolpado 24h	181,82	23,01	-	0,949	2,74
Despolpado 48h	173,77	17,32	-	0,996	0,666

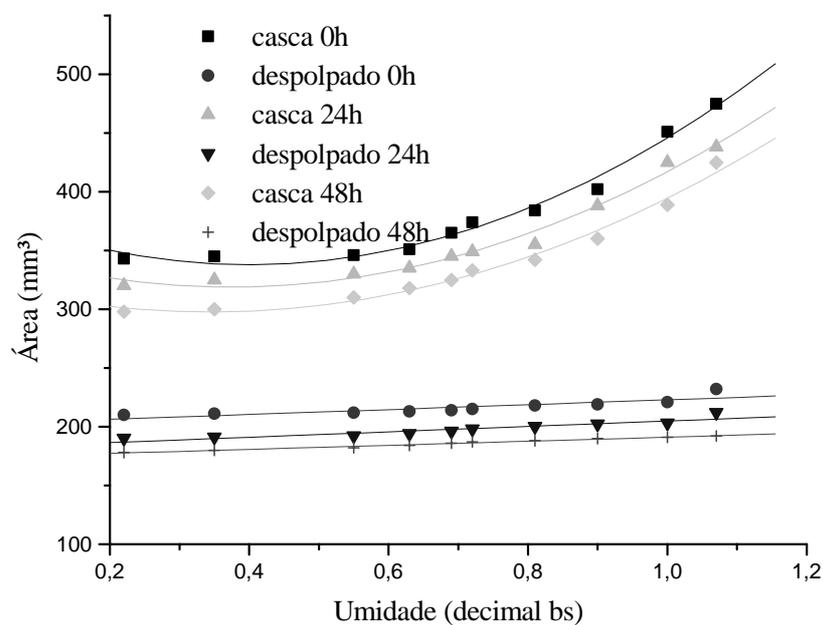


FIGURA 12. Valores estimados e calculados da área superficial, em função do teor de umidade dos frutos do café para as diferentes variedades analisadas.

TABELA 7. Valores dos parâmetros das equações 14 e 15 correspondentes aos valores estimados da figura 13.

	β	β_1	β_2	R^2	SD
Casca 0h	736,43	-318,39	430,86	0,981	11,77

Casca 24h	709,33	-272,5	373,07	0,998	8,90
Casca 48h	690,20	-274,30	320,40	0,978	10,50
Despolpado 0h	163,81	35,13	-	0,964	3,10
Despolpado 24h	157,31	34,13	-	0,941	3,83
Despolpado 48h	150,40	3717	-	0,947	3,61

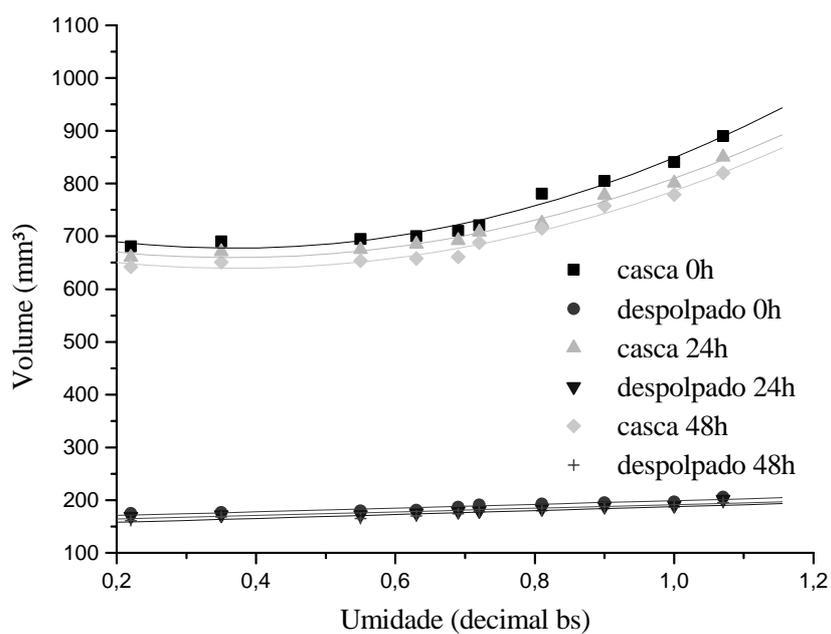


FIGURA 13 – Valores estimados e calculados do volume, empregando-se os valores experimentais, em função do teor de umidade dos frutos do café com casca e despolpado.

A secagem com frutos de café que apresenta alto teor de umidade inicial é acompanhada de uma significativa redução de volume, o produto sofre alterações em suas dimensões e forma original.

Zogzas et al. (1997) observaram que o encolhimento de produtos vegetais durante a secagem não é função exclusiva do teor de umidade, mas também depende das condições do processo e da geometria do produto, uma vez que materiais biológicos porosos quando desidratados contraem-se diferentemente nas direções longitudinais, tangenciais e radiais (Fortes e Okos, 1980).

Agrawal et al. (1972) observaram que para a maioria dos produtos agrícolas muitas das soluções para este problema são obtidas assumindo-se formas geométricas de um esferóide ou elipsoide composto por três dimensões características, que são os eixos de maior, médio e menor diâmetro.

Mudanças nas características dimensionais dos produtos, devido sua desidratação, são relatadas como as principais causas das alterações das principais propriedades físicas de produtos agrícolas (Bala e Woods, 1984; Sokhansanj e Lang, 1996).

Trabalhos realizados Agrawal et al. (1972) constataram que o fruto do café apresenta um esferoide oblato, e que a redução do teor de umidade afetou as dimensões características do produto para as variedades catuai vermelho e amarelo e a espécie Conilon, indicando não serem desprezíveis as variações das dimensões do fruto ao longo do processo de secagem.

Um dos principais fatores relacionados às perdas de qualidade de alimentos desidratados estão relacionados às alterações estruturais causadas pelo encolhimento durante a secagem.

Ratti (1994) estudou o encolhimento volumétrico de batatas, maçãs e cenouras em diferentes geometrias, descrevendo um modelo representado por uma ou duas retas, sendo que a intersecção entre as mesmas correspondia a uma umidade crítica.

4.7. Coloração dos grãos secos.

Foi observado que os grãos de café secos a 40°C e a 50°C apresentaram uma coloração mais próxima ao padrão do que a 60°C. A velocidade do ar de secagem não teve efeito sobre a coloração do grão, para uma mesma temperatura de secagem. Os grãos com tempo de fermentação de zero hora apresentaram uma coloração ligeiramente melhor do que os grãos que sofreram uma fermentação de 24 e 48 horas.

De acordo com Lopes (1988), as discordâncias observadas nas avaliações visuais na classificação do café, evidenciam a necessidade de se adotar critérios objetivos que minimize as divergências, e conduzam a uma classificação única e inequívoca da cor de grãos de café beneficiado.

Trabalho desenvolvido por (Carvalho 1994), mostrou que o café cereja apresentou coloração melhor que a mistura de grão verde, cereja e bóia. E que temperaturas acima de 55°C afetam negativamente a cor do grão, como parâmetro de qualidade.

Estudos realizados por (Godinho et al., 2000) não encontraram diferenças significativas, em relação ao índice de cor, para o café seco em terreiro e secador, armazenado em coco com diferentes teores de água.

Torna-se necessário, entretanto, outras análises que não foram feitas nos grãos como: o índice de acidez, pH, atividade da enzima polifenoloxidase e a prova de xícara, que estão sendo feitas em outro trabalho, que permitirão avaliar melhor a qualidade desses grãos.

5.CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho permitiram concluir que:

- 1- O teor de água decresce exponencialmente com o tempo de secagem, comportamento típico dos produtos biológicos. Sendo que a taxa de secagem aumenta proporcionalmente com o aumento da temperatura. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos os dados experimentais, na faixa de temperatura estudada.
- 2- Considerando os tempos de fermentação, pode-se concluir que grãos com tempo de fermentação zero hora resultou numa maior taxa de secagem no periodo inicial em relação aos tempo de 24 e 48 horas. Porém, no período final de secagem essa diferença não foi significativa.
- 3- Varificou-se que, para um mesmo tempo de residência do material no secador, o aumento da velocidade do ar de secagem do café conduziu a uma redução da razão de

umidade, para temperatura de secagem de 40°C, indicando aumento do potencial de secagem em função da velocidade do ar. O mesmo comportamento não é verificado quando a temperatura de secagem é 60°C, indicando que o aumento do potencial de secagem é função temperatura e não de velocidade do ar.

- 4- As densidades aparente e real diminuí com o aumento do teor de água do grão, segundo uma relação linear.
- 5- A redução da umidade afetou significativamente as dimensões dos grãos do café cereja, provocando redução da área superficial e do volume do produto, sendo mais significativo no café com casca.
- 6- Quanto maior o tempo de fermentação do café menor alteração de suas características físicas com a perda de água de seus frutos durante o processo de secagem, os grãos com tempo de fermentação de zero hora apresentaram as maiores modificações ao longo do processo de redução de umidade.
- 7- As expressões ajustadas nesse trabalho para estimar a área superficial e o volume, em função da umidade, representaram de forma satisfatória o fenômeno de encolhimento dos frutos do café.

8- O café seco a 40 e 50°C apresentou uma coloração melhor comparado com a temperatura de 60°C. Enquanto que, a velocidade do ar no processo não alterou a coloração dos grãos para uma mesma temperatura. Em relação ao tempo de fermentação não observou-se diferença significativa na coloração dos grãos.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, K.K.; CLARY, B.L.; SCHROEDER, E.W. Matemactical models of penaut pod geometry.**ASAE**, St. Joseph, 1972, 30p. (Paper nº 72-315).

AGUERRE, F.J., SUAREZ, C. & VIOLLAZ, P.E. 1982. Drying kinects of rough rice grain. *Journal of Food Technology*, 17:679-686.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Washington, 1990.

BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. *Journal Agricultural Engineering Reserch*, New York, v.30, n.3, p. 235-244, 1984.

BALDAN, M. & PIGOTT, G.M. 1986. A reserch note: Shrinkge in finish muscle during osmotic dehydratation of pineapple rings. *Journal Food Science and Technology*, 25:576-582.

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

CARBONELL, J., PIÑANGA, F., YASÃ, V. & PENÃ, J.L. 1986. The dehydration of paprika with ambient and heated air and the kinetics of colour degradation during storage. *Journal of Food Science*, 5:179-193.

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

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

CARVALHO, V.D.; de; CHALFOUN, S.M.S.; CHAGAS, S.J. de R. **Relação entre classificação de café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão**

beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS
CAFEIRAS, 15, Maringá, 1989. Resumo... Rio de Janeiro:
MIC/IBC, 1989. p. 25-26.

CHIRIFRE, J. 1983. Fundamentals of the drying mechanism during
air dehydration of foods. In: Advances in drying, ed. Arum S.
Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation. Washington, 73-
102.

CORTEZ, J.G. **Aplicações da espectroscopia fotoacústica na
determinação da qualidade do café.** Cafeicultura Moderna,
Campinas, v.1, n.2, p.31-33, jul./ago. 1988.

CRANK, J. 1975. **The mathematics of diffusion.** Pergamon Press,
Oxford.

DAUDIN, J. D. 1983. **Calcul des cinétiques de séchage para látir
chaud des produits biológicos solidos.** Siences des Aliments.
3(1): 1-36

DUTTA, S.K., NEMA, V.K.& BHARDWAJ, R.K. 1987 . **Physical
properties of gram.** J. Ag. Engineerring Res., 39 (4) : 259-275

Effect os sugar on water diffusivity in hydrated granular.

FERREIRA, V.L. **Princípios e Aplicações da Colorimetria em Alimentos**. Campinas : Instituto de Tecnologia de alimentos, 1981. 86p. (Instruções Técnica n. 19)

FORTES, M; OKOS, M.R. Changes in physical properties of corn during drying. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph v. 32, n.4, p.1004-1008, 1980.

FORTES, M. & OKOS, M. R. Changes in physical properties of corn during drying. **Transactions of the ASEA**, St. Joseph, 23 (4) : 1004-8, July/Aug. 1972

GODINHO, R.P., VILELA, E. R., OLIVEIRA., CHAGAS, S.J. DE R. **Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica L.*) armazenado em coco e beneficiado**. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa , Especial- Café , n.1 , p. 38-43, 2000.

GUERREIRO-FILHO, O.; DUARTE, A.P.; COSTA, W.M.; KANTHACK, R.A.D.; RECO, P.C.; RAMIRO, D.A.; & FAZUOLI, L.C. **Comportamento de linhagens do cultivar Icatu de Coffea arabica na região de Assis, SP**. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1., Poços de Caldas-MG. p.504-506, 2000.

GUSTAFSON, J. R. & HALL, G.E. Density and porosity changes of shelled corn during drying. **Transactions of the ASEA**, St. Joseph, 15 (3) : 523-5, May/June 1972.

HAWLADER, M.N.A., UDDIN, M. S., HO, A. B. & TENG, A. B. W. **Drying characteristics of tomatoes**. Journal of Food Engineering, v.14, p.259-268,1991.

HOLDWORTH, S.D. 1971. **Dehydration of food products**. A review. Journal of Foods Technology, 6 :331-370

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, New York, v.15, n.10, p.2441-2458, 1997.

KRUG, H.P. Cafés duros: II - um estudo sobre a qualidade dos cafés de varrição. Revista do Instituto do Café, São Paulo, v.27, n.163, p.1393-1396, set. 1940.

LACERDA FILHO, A. F. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influencias na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Viçosa, UFV, 1986. 68p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).

LANG, W.; SOKHANSANJ, S. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. **Journal of Food Process Engineering**, Trumbull, v.16, n.4, p.305-314, 1993.

LANG, W.; SOKHANSANJ, S.; ROHANI, S. Dynamic shrinkage and variable parameter in Bakker-Arkema's mathematical simulation of wheat and canola drying. **Drying Technology**, New York, v.12, n.7, p.1687-1708, 1994.

LOPES, L. M .V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (coffea arabica L.)**. Larvas: UFLA, 2000. 95 p. (Tese de Mestrado em Ciência dos Alimentos).

LOPES, R. P. Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café durante a secagem. Viçosa: Tese de Mestrado. UFV. 1988. 78p.

LOZANO, J.E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M.J. 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. *Journal of Food Science*, 48: 1497-1502. Lozano et al., 1983

MARANGONI, P. J. **Estudo da secagem da macadâmia e propriedades físicas da amendoa.**São José do Rio Preto: Tese de Mestrado, UNESP.2004. 89p.

MAROUSIS, S. N. & SARAVACOS, G.D. 1990. Density and porosity in drying starch materials. *Journal Food Science*, 55 (5) . 1367-13672.

MAZZA, G & LEMAGUER, M.1980. **Dehydration of onion:** some theoretical and practical considerations. *Journal of Food Technology*, 15:181-194.

MC CORMICK, P.Y. 1983. Solids Drying Fundamentals. In: PERRY,R.H.

MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes – part 1. **Journal of Food Engineering**, London, v.33, n.1-2, p.37-48, 1997.

MEIRELLES, A.M.A. **Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (Coffea arabica L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 1990. 71p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).

MISRA, M.K. & BROOKER, D.B.1980. Thin layer drying and rewetting equations for selled yellow corn. Transactions of the ASAE, 23(5):1254-1260.

MOREAU, C. **Moulds, toxins and food**. New York: John Wiley, 1979. 477p.

MOSHENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science, 1970. v.1, 734p.

OLAJIDE, J. O. & IGBEKA, J.C. Some physical properties of groundnut kernels. Journal of food engineering, 58, p. 201-204,2003

PARRY, J.L. 1985. Mathematiacal modeling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: a review. Journal of Agricultural Engeering Research, 32:1-29.

PARTI, M. & DUGMANICS, I. 1990. Diffusion coefficient for corn drying .**Transactions of the ASAE**, 33: 1652-1656.

PATHAK, P.K., AGRAWAL, Y. & SINGH, B.P. 1991. Thin-layer drying model for repressed. **Transactions of the ASAE**, 34:2505-2508.

PIMENTA, C. J.; VILELA, E.R. **Qualidade do café (Coffea arabica L), lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro.** Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa , v.2, p.3-10, 2000. Especial

PIMENTA, C.J.; CHAGAS, S.J.R.; COSTA, L. **Polifenoloxidase, lixiviação de potássio e qualidade de bebida do café colhido em quatro estádios de maturação.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.32, n.2, p.171-177, fev. 1997.

RATTI, C. 1994. Shrinkage during drying of foodstuffs. Journal of Food Engineering, 23(1) : 91-105

SARAVACOS, G.D.& RAOUZEOS, G.S. 1986. Diffusivity of moisture in air drying of raisins. In: Drying 86, ed Arum S Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation, 2: 486-491.

SCHOLZ, S.B.M. Composição química de variedades de café (Coffea arabica).In: III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Resumos expandidos, vol.II 675-678, Vitória , ES, 2002

SHEPHERD, H. & BHARDWJ, R.K. 1986. Moisture dependent physical properties of pigeonpea. J. Ag. Engineering Res., 35 (4): 227-234.

SILVA , J.S., AFONSO, A.D. L., LACERDA FILHO, A. F. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** In SILVA, J. S . Pré Processamento de Produtos Agrícolas, Juiz de Fora –MG, Instituto Maria, p. 395461, 1995

SILVA, F., SALVADOR, N. **Mecanização da lavoura cafeeira**
Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras,1998, v. 55p.

SIVETZ, M. & FOOTE, H.E. Coffee Processing Technology. Fruit-Green. Roast and Soluble Coffee. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc., 1963. 589 p. 1v.

SOKHANSAMJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. Journal Agricultural Engineering Research, New York, v. 63, n, p. 129-136, 1996.

TOBINAGA, S. & PINTO, L.A.A. 1992. Secagem de materiais fibrosos: músculos de peixes. In: Tópicos Especiais em secagem, ed. J.T. Freire & D.J. M. Sartori, UFScar, . 1:211-251.

VACAREZZA, L.J., LOMBARDI, J.L. & CHIRIFE, J. 1974. Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. Journal of Food Technology, 9:317-327.

VAGENAS, G.K., MARINOS-KOURIS, D & SARAVACOS, G.D.
1990. Na analisys of mass transfer in air-drying of foods. Dying
Technoloty, 8 : 323-342.

VASCONCELOS, L.H. Determinação das propriedades físicas da
canola (Brassica napus) variedade Iciola 41, relacionadas á
armazenagem. Caminas, FEAGRI, UNICAMP, 92 p., 1998.
Originalmete aapresentada como dissertação de mestrado,
UNICAMP, 1998.

VEIGA, R. F. A.; NAGAI, V.; GODOY, I. J.; CARVALHO, L. H. &
VENEZIANO, W.; FAZUOLI L. C. **Avaliação de Cultivares de
Cafeeiros Robusta (Coffea canephora) em Rondônia.** In:
Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Resumos Expandidos.
Poços de Caldas, vol. 1, p. 459-461. 2000.

VIEIRA, J. A . G. **Caracteísticas de secagem e propriedades
físicas da batata doce.** Lavras, ESAL, 77p, 1991. Originalmente
apresenta como dissertação de mestrado, ESAL, 1991

VILELA, E.R. **Secagem de café em terreiro e silo com energia
solar.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1977.
107p. Dissertação Mestrado.

WEBBER, E.A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre: Gráfica e Editora La Salle, 1995. 395p.

YUSHENY,Z.& POULSEN, K.P. 1988. Diffusion in potato drying. Journal of Food Engineering, 7: 249-262.

ZOGZAS, N.P. ; MAROULIS, Z.B.; KOURIS, D.M. Densitie, shirinkage and porosity of some vegetables during air drying. Drying Technology, new York, v. 12, n.7, p. 1653-1666,1994