



**RODRIGO VICTOR MOREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE  
SECAGEM DO CAFÉ NATURAL SUBMETIDO  
A DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

**LAVRAS – MG**

**2015**

**RODRIGO VICTOR MOREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DO CAFÉ  
NATURAL SUBMETIDO A DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

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

Orientadora

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Moreira, Rodrigo Victor.

Caracterização do processo de secagem do café natural  
submetido a diferentes métodos de secagem / Rodrigo Victor  
Moreira. – Lavras : UFLA, 2015.

116 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientadora: Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Bibliografia.

1. *Coffea Arábica* L. 2. Qualidade. 3. Secagem. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

**RODRIGO VICTOR MOREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DO CAFÉ  
NATURAL SUBMETIDO A DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

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

APROVADA em 05 de março de 2015.

Dr. Adílio Flauzino de Lacerda Filho    UFV  
Dr. Marcelo Ribeiro Malta                Epamig

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2015**

*Aos meus pais, Antônio Donizetti Moreira e Tereza de Nazaré Moreira,  
pelo apoio, incentivo e força para minha formação.*

*Aos demais familiares e amigos.*

***DEDICO!***

*A Deus,*

***OFEREÇO!***

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Antônio e Tereza, pela batalha constante pela minha educação.

A minha irmã e sobrinha pelas presenças.

A minha namorada, Camila, pelo amor, companheirismo, incentivo e presença constante, que foi fundamental nos últimos anos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da UFLA, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

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

À pesquisadora Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, da Embrapa Café, que, com seu conhecimento e apoio, me orientou, incentivou, se dedicou e permitiu que este trabalho fosse realizado.

Ao professor Dr. Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pelo acolhimento, oportunidade, colaboração, amizade, dedicação e ensinamentos, que foram de grande relevância.

Ao pesquisador Dr. Marcelo Ribeiro Malta, pela disponibilidade, contribuição e sugestões.

Ao professor Dr. Flávio M. Borém, pelos ensinamentos durante as disciplinas que foram de extrema importância.

Ao professor Dr. Marcelo Ângelo Cirillo, por ajudar nas análises estatísticas.

Ao Sr. Ismael Nogueira e a toda equipe da Fazenda Aleluia, pela oportunidade, dedicação e extrema colaboração.

À equipe do Laboratório de Análise de Sementes - UFLA.

Ao Samuel, pela contribuição durante a realização das análises físicas, químicas e bioquímicas.

Ao departamento de Ciência dos Alimentos - UFLA.

À Epamig.

À Cool Seed pela oportunidade e auxílio.

À equipe e amigos do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas - UFLA.

Aos amigos Kaio e Pedro pela colaboração e troca de conhecimento.

## RESUMO

A secagem é um dos principais fatores que influenciam a qualidade do café natural e conseqüentemente seu valor comercial. O desenvolvimento de secadores que proporcionem uma rápida desidratação dos frutos sem o uso de temperaturas elevadas de secagem tem se mostrado uma alternativa promissora, principalmente do ponto de vista da qualidade do café natural. Essa rápida desidratação pode ser obtida pelo uso de baixas umidades relativas do ar de secagem combinadas com temperaturas reduzidas. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o processo de secagem e a qualidade final do café, processados por via seca, submetidos a diferentes métodos de secagem. A colheita, processamento e secagem dos frutos de *Coffea Arábica* L., foram realizados em uma propriedade agrícola em Franca/SP, enquanto o beneficiamento e análises foram desenvolvidas na Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, também no município de Lavras. Os frutos, inicialmente com o mesmo teor de água, foram secados de três diferentes formas até atingirem a faixa de 11 a 12% (base úmida) de teor de água, sendo elas: secagem completa em terreiro (cimentado), secagem completa em secador bandeja que utiliza caldeira e unidade de tratamento do ar (UTA), que através de um sistema de compressão desumidifica o ar de secagem a níveis que variam na faixa de 10 a 15% de umidade relativa e secagem completa em secador rotativo alimentado por caldeira. Foram realizados três testes de secagem e, para caracterizar o processo, as curvas de secagem dos métodos mecânicos foram plotadas. Já para a caracterização da qualidade, foram realizadas as seguintes análises: sensorial, açúcares totais (AT), acidez titulável total (ATT), lixiviação de potássio (LK), condutividade elétrica (CE), atividade da enzima polifenoloxidase (PFO), assim como análises de cor, tamanho e forma. Concluiu-se que se pode obter maior taxa de secagem, utilizando secadores de bandeja com UTA, em comparação com secadores rotativos ou terreiros, sem comprometer a qualidade do produto. Mesmo com valores semelhantes de temperatura do ar de secagem, o secador de bandejas com UTA proporciona maior velocidade de secagem em comparação com secadores rotativos. É possível obter com os secadores de bandeja com UTA, cafés de melhor qualidade nos atributos CE, LK, ATT, AT e PFO. As variáveis que mais discriminam o café secado no terreiro do secador em rotativo e de bandeja são: sabor, equilíbrio e a nota final. As variáveis que mais discriminam o café do secador bandeja com UTA e rotativo são a temperatura do ar de secagem e da massa de grãos, CE, LK e ATT. Pela análise sensorial, os cafés obtidos pelos três métodos de secagem foram classificados como especiais, com pontuação entre 81,61 e 82,17. Os métodos de secagem não se diferenciaram em relação à coloração dos grãos beneficiados, entretanto, podem influenciar as dimensões e as formas dos frutos e grãos de café.

Palavras-chave: *Coffea Arábica* L. Qualidade. Secagem.



## ABSTRACT

Drying is one of the main factors that influence the quality of natural coffee and, consequently, its commercial value. The development of dryers that quickly dehydrate the fruits, without the use of elevated drying temperatures, has proven to be a promising alternative, especially for ensuring the quality of natural coffees. This quick dehydration can be obtained through the use of drying air with low relative humidity, combined with reduced temperatures. Thus, the aim of the present study was to characterize the drying process and the final quality of the coffee, which was dry-processed and dried under different methods. The *Coffea arabica* L. fruits were harvested, processed, and dried on a farm in Franca, SP, Brazil, while the beneficiation and analyses were performed at the Universidade Federal de Lavras, in partnership with the Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), both in the municipality of Lavras, MG, Brazil. The fruits, with the same initial moisture content, were dried in three different ways until reaching from 11% to 12% (wet base) water content, namely: complete drying in the sun on a cement drying patio; complete drying in a tray dryer equipped with a boiler and air treatment unit (ATU) which, by means of a compression system, dehumidifies the drying air at levels ranging from 10% to 15% relative humidity; and complete drying in a rotating dryer fed by boiler. We performed three drying tests and, to characterize the process, the drying curves of the mechanical methods were plotted. For quality characterization, we performed the following analyses: sensory, total sugars (TS), total titratable acidity (TTA), potassium leaching (KL), electrical conductivity (EC), and polyphenoloxidase enzyme activity (PPO), as well as color, size, and shape analyses. We concluded that it is possible to obtain a higher drying rate using tray dryers with ATU, compared to rotating dryers or a sun drying patio, without compromising the quality of the product. Even with similar values of drying air temperature, the tray dryer with ATU provides better drying speed compared to rotating dryers. Coffees of higher quality in the properties EC, KL, TTA, TS, and PPO may be obtained through use of tray dryers with ATU. The variables that most discriminate sun-dried coffee from coffee dried in rotating or tray dryers are flavor, balance, and final score. The variables that most discriminate coffee from the tray dryer with ATU and the rotating dryer are drying air temperature and grain weight temperature, EC, KL and TTA. In sensorial analysis, the coffees obtained from the three drying methods were classified as specialty coffees, with scores from 81.61 to 82.17. The drying methods did not differ in regard to the color of the green coffee, however, they may influence the dimensions and shapes of the coffee fruits and coffee beans.

Keywords: *Coffea Arabica* L.. Quality. Drying.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma do processamento e secagem do café natural.....	43
Figura 2	(a) Dois dos cinco módulos que compõe o sistema. (b) Vista superior dos módulos e passarela de acesso. (c) Janela de vistoria. (d) interior dos módulos .....	46
Figura 3	(a) manômetros de coluna em “U”. (b) Ponto de tomada de temperatura .....	47
Figura 4	(a) Equipamento usado. (b) Disposição dos grãos na bandeja do equipamento .....	55
Figura 5	Imagens capturadas pelo SAS e identificação dos grãos de café nas imagens .....	56
Figura 6	Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 1 .....	62
Figura 7	Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 2 .....	63
Figura 8	Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 3 .....	64
Figura 9	Gráfico dos escores para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e secagem. T- terreiro; B- bandeja com UTA; R- rotativo.....	76
Figura 10	Biplots para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e secagem. SAB- sabor; EQUI- equilíbrio; FINAL- nota final da bebida; ACI- acidez; FR_AR- fragrância e aroma; T_MAS- temperatura da massa; T_AR- temperatura do ar de secagem.....	77

Figura 11	Gráfico dos escores para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e fisiológicas.....	79
Figura 12	Biplots para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e fisiológicas .....	80
Figura 13	Intervalos de confiança das coordenadas $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ dos grãos de café, obtidos com os valores médios dos três testes .....	83
Figura 14	Intervalos de confiança para os desvios das médias de $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ .....	86
Figura 15	Intervalo de confiança para diâmetro máximo, circularidade e esfericidade .....	90
Figura 16	Intervalo de confiança para área projetada e perímetro.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores iniciais e finais dos teores de água e médias de temperatura e UR ambiente em cada condição de secagem .....58
Tabela 2	Valores médios de temperatura do ar de secagem e da massa de grãos.....60
Tabela 3	Aspectos sensoriais do café natural submetido a diferentes métodos de secagem, obtidos pela média das notas de três degustadores.....67
Tabela 4	Valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável, enzima PFO e açúcares totais, obtidos pela média das duplicatas para cada teste de secagem.....69
Tabela 5	Estimativas dos coeficientes utilizados no cálculo dos escores dos dois primeiros componentes referente às variáveis secagem e sensorial .....74
Tabela 6	Estimativas dos coeficientes utilizados no cálculo dos escores dos dois primeiros componentes das variáveis sensoriais e fisiológicas .....78
Tabela 7	Médias dos valores L*, a* e b* de grãos de café submetidos aos diferentes métodos de secagem.....81
Tabela 8	Médias de L*, a* e b* (SAS) de grãos de café .....85
Tabela 9	Médias de L*, a* e b* (SAS) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem.....85
Tabela 10	Médias de diâmetro máximo (DM), circularidade (C) e esfericidade da forma (E) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem .....88

Tabela 11	Médias de diâmetro máximo (DM), circularidade (C) e esfericidade da forma (E) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem.....	88
Tabela 12	Valores médios das áreas em função do método de secagem e tipo de café.....	91
Tabela 13	Valores médios dos perímetros em função do método de secagem e tipo de café.....	91

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Produção e mercado do café</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Qualidade do café</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Colheita do café</b> .....	22
<b>2.4</b>	<b>Processamento do café</b> .....	24
<b>2.5</b>	<b>Secagem do café</b> .....	27
<b>2.6</b>	<b>Indicadores de qualidade do café</b> .....	34
<b>2.6.1</b>	<b>Açúcares totais e acidez titulável</b> .....	34
<b>2.6.2</b>	<b>Polifenoloxidase</b> .....	36
<b>2.6.3</b>	<b>Condutividade elétrica e lixiviação de potássio</b> .....	37
<b>2.6.4</b>	<b>Características de cor do café</b> .....	39
<b>2.6.5</b>	<b>Sistema de Análise de Sementes (SAS)</b> .....	40
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	42
<b>3.1</b>	<b>Local da realização do experimento</b> .....	42
<b>3.2</b>	<b>Matéria-prima e processamento</b> .....	42
<b>3.3</b>	<b>Secagem do café</b> .....	44
<b>3.3.1</b>	<b>Terreiro</b> .....	44
<b>3.3.2</b>	<b>Secador rotativo</b> .....	44
<b>3.3.3</b>	<b>Secador de bandeja com UTA (Unidade de Tratamento de AR)</b> .	45
<b>3.3.4</b>	<b>Operação da secagem nos secadores mecânicos</b> .....	48
<b>3.4</b>	<b>Beneficiamento</b> .....	49
<b>3.5</b>	<b>Caracterização da qualidade</b> .....	50
<b>3.5.1</b>	<b>Teor de água</b> .....	50
<b>3.5.2</b>	<b>Análise sensorial</b> .....	50
<b>3.5.3</b>	<b>Açúcares totais</b> .....	51
<b>3.5.4</b>	<b>Acidez titulável total</b> .....	52
<b>3.5.5</b>	<b>Enzima polifenoloxidase (PFO)</b> .....	52
<b>3.5.6</b>	<b>Teste de condutividade elétrica</b> .....	53
<b>3.5.7</b>	<b>Lixiviação de potássio</b> .....	53
<b>3.5.8</b>	<b>Avaliação da cor por colorímetro</b> .....	54
<b>3.5.9</b>	<b>Sistema de Análise de Sementes (SAS)</b> .....	54
<b>3.6</b>	<b>Procedimento estatístico</b> .....	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	58
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do processo de secagem do café</b> .....	58
<b>4.1.1</b>	<b>Curvas de secagem dos cafés</b> .....	61
<b>4.2</b>	<b>Caracterização da qualidade do café</b> .....	66
<b>4.2.1</b>	<b>Análise sensorial e físico-química</b> .....	66
<b>4.2.2</b>	<b>Análise de componentes principais</b> .....	74

<b>4.2.3</b>	<b>Análise de cor dos grãos de café beneficiado .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Sistema de Análise de Sementes .....</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A economia brasileira está fortemente ligada ao agronegócio, que por sua vez, no país, possui grande potencial devido à possibilidade da expansão de áreas cultivadas e dos avanços tecnológicos ligados à produção agrícola. É nesse contexto que o café se torna uma importante receita para a balança comercial brasileira, gerando divisas pelas exportações, sendo o Brasil o maior exportador mundial, e pela geração de empregos ao longo de toda a sua cadeia produtiva.

Estima-se que a produção nacional de café em 2015 seja de aproximadamente 45,36 milhões de sacas beneficiadas, sendo que dessa quantia, 33,45 milhões de sacas são da espécie *Coffea arábica* L. e 11,91 milhões de *Coffea canephora* Pierre (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

Uma das principais dificuldades à exportação e comercialização do café é a crescente exigência dos mercados consumidores quanto à qualidade do produto a ser negociado. Sua valorização varia significativamente com a alteração da qualidade devido seu preço ser baseado em características qualitativas.

Vários trabalhos foram realizados com o objetivo de verificar os principais precursores que influenciam a qualidade dos cafés. As características do grão cru, assim como as principais etapas da cadeia produtiva do café, como a produção, colheita, processamento, secagem e armazenamento do produto são apontados como fatores que influenciam diretamente a qualidade.

O processamento pode influenciar a qualidade do café, e existem dois métodos mais utilizados: via seca e via úmida. Do processamento via úmida podem resultar três tipos de cafés: os descascados, os despulpados e os desmucilados. Neste processamento parte de estrutura dos frutos é retirada, enquanto que na via seca é obtido o café natural.



O processamento do café pela via seca é o mais realizado no Brasil resultando nos cafés naturais, que na literatura estão associados a cafés de pior qualidade devido ao menor cuidado que é oferecido ao produto submetido a esse processamento. Apesar disso, uma colheita seletiva, com a ausência de grãos atacados, chochos e outras impurezas, etc., seguida por uma secagem adequada, pode resultar em cafés naturais de boa qualidade.

A secagem é outro procedimento de grande influência na qualidade final do produto, além de ser a etapa de produção que mais demanda energia, envolve maiores custos financeiros e riscos de danos físicos, fisiológicos, etc. Apesar de ser uma operação de rotina, é considerada de alto risco devido aos danos térmicos que poderão ocorrer durante a exposição do produto a altas temperaturas.

A secagem é tradicionalmente realizada em terreiros, usando energia solar e movimento natural do ar para a remoção da água ou em secadores mecânicos que usam ar forçado aquecido a diferentes temperaturas. No entanto, frequentemente aplica-se a combinação desses dois métodos, utilizando-se um período de pré-secagem em terreiro, quando o café ainda possui elevado teor de água, e a complementação da secagem em secadores mecânicos, com elevação das temperaturas.

Os grãos podem ser colhidos com até 65% de base úmida (b.u.) e, durante a secagem, esse teor de água é reduzido a valores de 11,5% (b.u.). Esse decréscimo do teor de água reduz riscos com respiração, fermentação, oxidação e desenvolvimento de microrganismos. Porém, se feito de maneira incorreta, a secagem poderá influenciar negativamente a qualidade devido a alterações indesejáveis.

Sendo assim, ao mesmo tempo em que a secagem é de extrema importância, é também de alto risco, por isso busca-se um controle maior dos

principais parâmetros de secagem, tais como: temperatura e umidade do ar de secagem, fluxo de ar e temperatura da massa de grãos.

Portanto, o desenvolvimento de secadores que proporcionem uma maior taxa de secagem dos frutos, sem o uso de temperaturas elevadas do ar de secagem se torna uma alternativa promissora, principalmente do ponto de vista da qualidade do café natural, pois combina maior velocidade de secagem, diminuindo assim riscos devidos aos altos teores de água, com ausência de danos térmicos (ISQUIERDO, 2013). O uso de umidades de secagem mais baixas pode ser uma alternativa para elevar a taxa de secagem. Alguns trabalhos têm sido realizados em laboratório com resultados promissores, principalmente por possibilitar o uso de temperaturas mais baixas do que as indicadas para secagem do café natural.

Dessa forma, objetivou-se neste trabalho, caracterizar o processo de secagem e a qualidade do café natural submetido a diferentes métodos de secagem.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Produção e mercado do café**

O Brasil é o maior exportador do produto, possui também a maior produção, estimada em 45,36 milhões de sacas beneficiadas para a safra de 2015 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015), e foi responsável em 2014 por 32% da produção mundial, de acordo com a International Coffee Organization (2013).

De acordo com o levantamento da Conab (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015), o estado de Minas Gerais se confirmou em 2014, como o maior produtor de café do Brasil. A produção do estado foi de 22,62 milhões de sacas, o equivalente a 50,1% do total produzido no país. A região sul de Minas Gerais foi a que mais contribuiu para a produção mineira, com cerca de 10,73 milhões de sacas. Inserida no Sul de Minas Gerais, a microrregião da Serra da Mantiqueira é considerada uma das mais importantes regiões produtoras de cafés especiais do Brasil. Segundo Nascimento (2013), a valorização do mercado de café é importante não só para o estado de Minas Gerais, mas para o Brasil. A produção do estado representa 13,5% do PIB da cadeia produtiva nacional, porém, esse número pode ser ampliado para 15%, almejando chegar a 20%.

A economia cafeeira no Brasil abrange cinco setores: a produção, a indústria de torrado e moído, a indústria de solúvel, o comércio (interno e externo) e o consumidor (MATIELLO et al., 2005). Pereira, Bliska e Giomo (2007) afirmam que o nível tecnológico no sistema agroindustrial do café no Brasil aumentou na última década, e junto com ele, cresceram as exigências dos consumidores no mercado mundial de café.

Nos últimos anos, o mercado consumidor vem se modificando, e a procura por cafés de melhor qualidade tem aumentado significativamente. Tamanho é essa procura que a demanda por grãos de melhor qualidade, chamados de especiais, vem crescendo em ritmo acelerado quando comparada à demanda por café *commodity*. O crescimento tem sido de 15% ao ano para os cafés especiais contra 2% de *commodity*. Esse segmento representa hoje 12% do mercado internacional da bebida, e seu valor pode ser de 30 a 40% acrescidos do valor do café cultivado de maneira convencional, e em alguns casos, esse valor pode chegar a 100% (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION, 2012). Esse segmento deve crescer ainda mais nos próximos anos, pois o Brasil possui qualidades competitivas, devido às diferenças regionais de caráter social, econômico, cultural e edafoclimático não encontradas em outros países produtores, o que eleva o potencial competitivo brasileiro na produção de cafés com ampla variedade de sabores e aromas (ALVES, 2007).

## **2.2 Qualidade do café**

Os preços de comercialização da maioria dos produtos são determinados pela qualidade apresentada, sendo esta, de fundamental importância na conquista de novos mercados. No mercado consumidor de café, existe uma crescente exigência quanto à qualidade da bebida, origem e formas de preparo dos grãos (MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003).

A qualidade dos produtos é de difícil definição, uma vez que cada mercado já possui padrões estabelecidos, assim, podemos definir qualidade como um conjunto de atributos físico-químicos, sensoriais e de segurança que atenda às exigências dos consumidores. Em cada estágio de produção e processamento do café, aquele que recebe o produto como matéria-prima é denominado cliente interno. Os clientes externos incluem o público

intermediário e os consumidores finais. Com base nessas definições, a qualidade deve ser uma constante em todas as etapas da cadeia produtiva (LEME, 2007; PEREIRA, 2003; RODARTE, 2008). Nesse sentido, Favarin et al. (2004) afirmam que a fim de se obter cafés de qualidade superior, os cuidados com a colheita e o manejo pós-colheita tornam-se fundamentais para a comercialização e aumento do lucro do cafeicultor.

A qualidade do café é dependente de fatores genéticos, ambientais e culturais, dos métodos de colheita, processamento, secagem e armazenamento. Além disso, a torração e o preparo da bebida modificam a constituição química dos grãos, sendo que essas alterações são dependentes da composição original dos mesmos (LOPES, 2000).

A determinação da qualidade do café é baseada na avaliação das suas características sensoriais e físicas (determinadas por meio da classificação por peneira, tipo e pelo aspecto visual). Para Illy (2002), o perfil sensorial é um fator determinante da qualidade dos cafés. Mesmo um produto apresentando excelentes características físicas, químicas e microbiológicas, é imprescindível que as características sensoriais atendam às exigências do consumidor (DELLA LÚCIA; MININ; CARNEIRO, 2006).

No Brasil, a classificação da bebida do café é definida sensorialmente, de acordo com o aroma e o sabor pela Classificação Oficial Brasileira (COB) (BRASIL, 2003), por meio da prova de xícara, sendo realizada por provadores treinados que distinguem diferentes padrões sensoriais de bebida. Entretanto, a Specialty Coffee Association of America (2009) propõe a metodologia que avalia os atributos de fragrância do pó, aroma, defeitos, acidez, amargor, sabor, sabor residual, adstringência e corpo da bebida, com avaliação final da qualidade global e qualidade do café conforme terminologia apresentada por Lingle (1986).

A tradicional prova de xícara, adotada pela COB, é utilizada no Brasil desde 1917, e é largamente empregada para a classificação dos cafés *commodities*, pois os procedimentos são menos criteriosos que o de outras metodologias, principalmente quanto à torra do café, classificando-os em bebida “mole”, cuja característica consiste em sabor agradável, suave e adocicado; “estritamente mole”, bebida que apresenta todos os requisitos de aroma e sabor da bebida mole, mas de forma mais acentuada; “apenas mole”, bebida de sabor suave, mas sua qualidade é inferior a das anteriores, com leve adstringência ou aspereza no paladar; bebida “dura”, que consiste na bebida que apresenta gosto acre, adstringente e áspero, menos aromática que a bebida mole e mais consistente e forte que suave; “riado”, bebida que possui leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico; “rio”, bebida que possui sabor acre e, tem cheiro e gosto acentuados de iodofórmio e “riozona”, refere-se a denominações regionais para qualificar bebidas com características de sabor e odor desagradáveis ou intoleráveis, bem mais acentuadas que as da bebida rio (BRASIL, 2003). Já para a avaliação de cafés especiais, tem sido adotado o método da SCAA.

O método da SCAA identifica o potencial de qualidade e de utilização de um determinado café e segue protocolos já estabelecidos para a realização da análise sensorial. São atribuídas notas de 0 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 pontos na avaliação dos 10 principais atributos que compõem o perfil sensorial do café, sendo elas: fragrância/aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio e impressão geral do café (HOWELL, 1998). A somatória das notas individuais de todos os atributos constitui a nota final, que representa a qualidade global do café, sendo considerados como especiais aqueles que apresentam notas acima de 80 pontos (LELOUP et al., 2004). Conjuntamente, é feita a descrição das principais características organolépticas da bebida, valorizando os atributos favoráveis e penalizando os desfavoráveis à sua qualidade.

É importante ressaltar que para a análise sensorial da bebida na avaliação física do café torrado da metodologia SCAA em 100 gramas de amostra de café torrado, não é permitida a presença de grãos imaturos. Para os atributos doçura, uniformidade e a ausência de defeitos (xícara limpa), o degustador faz um julgamento de cada xícara, individualmente, concedendo dois pontos por xícara por atributo (10 pontos é o resultado máximo para o conjunto de cinco xícaras).

Pelo fato de a análise sensorial do café ser uma classificação subjetiva, podendo, ainda, variar de degustador para degustador, várias pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de relacionar as características sensoriais da bebida com características químicas e físico-químicas, como forma de complementar ou auxiliar a interpretação dos resultados obtidos na análise sensorial. Mesmo conseguindo resultados satisfatórios de correlação entre alguns métodos químicos e a qualidade sensorial do café, esses ainda não são aceitos oficialmente para avaliar a qualidade desse produto e, por isso, quando são utilizados, não dispensam a avaliação dos provadores (SCHMIDT; MIGLIORANZA, 2010).

Para Borém (2004), café de boa qualidade é aquele que apresenta sabor e aroma agradáveis, bom corpo, acidez natural e suavidade ao paladar. Ainda deve conter poucos defeitos, apresentar cor e aspecto homogêneo e estar de acordo com as normas higiênico-sanitárias (CLIFFORD, 1985; MENDONÇA, 2004).

### **2.3 Colheita do café**

O cafeeiro, por possuir mais de uma floração, caracteriza-se por apresentar, em uma mesma planta, ao longo de toda a colheita, frutos em diferentes estádios de maturação (BORÉM; REINATO, 2006). Para Pezzopane

et al. (2003), a explicação encontrada para essa desuniformidade na maturação dos frutos pode estar relacionada com as fases reprodutivas do cafeeiro, pois se tratam de processos de desenvolvimento com duração variável e marcados por alterações morfológicas, anatômicas e bioquímicas. Já durante o desenvolvimento da drupa do cafeeiro e conseqüentemente a maturação da mesma, os teores dos constituintes químicos sofrem grandes variações, até atingirem níveis ideais, característicos do fruto maduro. O estágio cereja é o ponto ideal de maturação para a colheita e refere-se ao momento em que o fruto apresenta composição química plenamente desenvolvida e equilibrada, com o máximo potencial de expressão de qualidade de bebida.

O café pode ser colhido de maneira mecanizada, semimecanizada ou manual, sendo, geralmente, realizada de duas formas: derriça completa, em que os frutos são derriçados do cafeeiro sobre o pano colocado no chão ou diretamente sobre o chão, e a colheita seletiva, sendo colhidos somente os frutos maduros. No Brasil, o método de colheita do café predominante é por derriça completa, pela qual se obtém um produto com elevado teor de água e bastante heterogêneo, constituído de frutos maduros (cereja), imaturos (verde), e sobremaduros (passa e seco), além de folhas, ramos, paus, pedras, terra, etc. (BORÉM, 2008). Assim, colheitas realizadas tardiamente podem apresentar maiores porcentagens de frutos secos e passíveis de fermentações indesejáveis. Já nas colheitas antecipadas, com maiores teores de frutos verdes, poderão resultar em defeitos verdes e verde-pretos. Para ambas as situações, ocorrendo depreciação do aspecto, do tipo e da bebida, a produção de cafés de maior qualidade estará comprometida. Uma alternativa é a colheita realizada de maneira seletiva, que reduz esses riscos, aumentando com isso, a possibilidade de produzir com qualidade. Isso porque são colhidos frutos em estágio “cereja”, considerado o ponto ideal de maturação para a colheita (CORTEZ, 2001), como relatado anteriormente.



Após a colheita por derricha no chão, no pano ou mecanizada, o café deverá ser submetido ao processo de separação de impurezas, seja por abanação e peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza, com finalidade de retirar as impurezas menos densas (folhas, gravetos e outras impurezas), maiores e menores que os frutos. Em seguida, o café deve passar pelo separador hidráulico, onde será lavado e sua separação realizada por diferença de densidade, na qual os frutos mais densos (maduros e verdes) são separados da porção de menor densidade, chamada de cafés boia (secos, brocados e mal granados, etc.). Os cafés boia são responsáveis pela formação de alguns defeitos (GUIMARÃES, 1995; ORNELLAS, 2001).

Vale a pena ressaltar que o café colhido deve seguir imediatamente para o processamento, não podendo ser armazenado por períodos superiores a 8 horas, devido aos riscos de ocorrerem fermentações indesejáveis e a formação do defeito ardido, podendo, assim, inviabilizar a produção de cafés especiais (BRANDO, 2004).

## **2.4 Processamento do café**

O processamento do café é uma das principais etapas pós-colheita, pois promove uma maior uniformidade dos frutos evitando possíveis comprometimentos da qualidade da bebida. Assim essa etapa se torna importante, uma vez que, a separação dos frutos verdes e imaturos dos frutos cereja é fundamental para a obtenção de uma bebida de melhor qualidade e, por isto, atenção especial não deve ser dispensada nesta fase (WINTGENS, 2004).

A qualidade do café está muito associada aos compostos presentes nos grãos, sendo que os teores desses compostos dependem, também, do método de processamento utilizado (MAIER, 1981; MAIER, 1983). A escolha do método de processamento dependerá principalmente das condições de capitalização do

produtor, das quantidades produzidas e do padrão desejado de qualidade (WILBAUX, 1963; WINTGENS, 2004).

O processamento do café pode ser realizado de duas formas distintas: via seca e via úmida. O processamento por via seca consiste em secar os frutos na sua forma integral, ou seja, com exocarpo (casca), produzindo frutos secos, conhecidos como café em coco ou natural. Esse método é o mais utilizado no Brasil, largamente utilizado em regiões tropicais onde há uma estação seca característica durante o período de colheita, permitindo assim a secagem em condições mais favoráveis. Já no processamento por via úmida, se produzem os cafés em pergaminho, denominados despulpados, desmucilados e descascados, quando submetidos à remoção de mucilagem por fermentação, por desmucilador mecânico e sem remoção de mucilagem (retira-se apenas a casca e parte da mucilagem), respectivamente.

Em ambos os processos, o principal objetivo é secar o café rapidamente, removendo-se a água dos grãos até níveis seguros para o seu adequado beneficiamento e armazenamento, que é de 11% (b.u.), minimizando possíveis comprometimentos da bebida (BORÉM, 2008). Assim como no Brasil, na Etiópia e no Iêmen predomina o processamento por via seca para o café arábica, enquanto a via úmida é a forma de preparo predominante do café arábica nos demais países produtores (BRANDO, 2004; VINCENT, 1987).

Segundo Illy e Viani (1995), cafés obtidos a partir das diferentes formas de processamento apresentam características distintas na qualidade final e na bebida. Geralmente, os cafés naturais originam bebidas mais encorpadas e doces, em relação aos cafés despulpados, os quais possuem acidez mais desejável. Porém são comumente encontrados na literatura, trabalhos que associam os cafés processados por via úmida a bebidas superiores, em comparação com os cafés processados por via seca (VILLELA, 2002; VINCENT, 1987) devido à ausência de cuidados durante a colheita,

processamento e secagem desses cafés produzidos por via seca. Brando (1999), em estudo sobre a qualidade do café preparado por meio de diferentes métodos de processamento, observou características superiores da bebida para os cafés descascados, despulpados e desmucilados em relação ao café natural.

Uma explicação para a menor qualidade do café processado por via seca está no fato de que no processamento por via úmida são removidos casca e mucilagem, que são substratos propícios ao desenvolvimento de microrganismos que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto (PEREIRA; VILLELA; ANDRADE, 2002), assim como à ausência de cuidados no momento da colheita e da secagem do café natural.

Vários outros estudos sobre o efeito do processamento na qualidade foram realizados (BRANDO, 1999; LELOUP et al., 2004; VILELA, 2002). Grande parte desses trabalhos indica que os cafés produzidos por via úmida resultam em maiores qualidades quando comparados aos produzidos por via seca, porém o principal motivo dessa diferenciação não é o método em si, e sim a necessidade de maiores cuidados quando se trabalha com cafés naturais, pois estão expostos a maiores teores iniciais de água, que poderão favorecer a ocorrência de fermentações indesejáveis que promoverão a depreciação do produto em caso de secagem ineficiente. Outro fato é que a maioria dos trabalhos por via seca, não se utilizou matéria-prima de qualidade. Contudo, quando feita uma colheita homogênea quanto o grau de maturação, uma secagem correta, trabalhando com uma matéria-prima de qualidade, é comum que se obtenha cafés naturais de qualidade semelhante aos produzidos por via úmida, ou até superiores. Essa informação é de extrema importância, pois os custos de produção de cafés produzidos via úmida são maiores, pois há a necessidade de tratamento da água residuária, por esse motivo os cafés naturais predominam na cadeia produtiva nacional do café.

## 2.5 Secagem do café

Após o processamento do café, a etapa de secagem passa a ser importante tanto sob o aspecto de consumo de energia como da influência que essa operação tem sobre a qualidade final do produto. Os frutos do café, geralmente, são colhidos com teor de água variando entre 30% a 65% (b.u.), dependendo do seu estágio de maturação, optando sempre que possível por ser colhido no estágio de maturação cereja, apresentando pleno desenvolvimento, porém com elevado teor de água, o que acelera a atividade metabólica do fruto, tornando-se assim, necessária a remoção da água pela secagem, devido aos riscos de deterioração. Por outro lado, se não forem utilizadas técnicas de secagem ideais, a qualidade poderá ser prejudicada devido a alterações físicas, químicas e sensoriais indesejáveis.

A principal função da secagem é reduzir grande parte da água contida nos frutos de café, geralmente se reduz até 11% (b.u.), e garantir seguras condições de armazenamento por longos períodos. Esse fato basea-se no fundamento de que com a redução da quantidade de água disponível, reduz-se a atividade de água e, conseqüentemente, da velocidade das reações químicas, bioquímicas e do desenvolvimento de microrganismos, contribuindo para um armazenamento seguro por períodos maiores de tempo (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974).

O processo de secagem se dá por meio da transferência simultânea de calor do ar para o grão, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, e de massa, por meio do fluxo do vapor d'água, do grão para o ar (FOUST et al., 1982). É necessário o fornecimento de calor para evaporar a água do produto e de uma quantidade acima (calor isostérico) para remover o vapor d'água formado na superfície do produto a ser secado. A secagem ocorre por diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto. A pressão de vapor do

produto deve ser maior que a pressão de vapor do ar de secagem (PABIS; JAYAS; CENKOWSKI, 1998). Já a migração de água do interior para a superfície dos grãos ainda não é bem conhecida. Numerosos mecanismos térmicos e físicos têm sido propostos para descrever o transporte de água em produtos capilares porosos higroscópicos (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992). Em trabalhos mais recentes, tem sido afirmado que essa migração ora se dá por difusão líquida de água, ora por difusão de vapor d'água.

O processo de secagem pode ser dividido em dois períodos, um denominado período de razão constante, caracterizado pelas primeiras horas de secagem (MARQUES, 2006), sendo retirada a água livre do produto, em que a taxa de migração de água do interior para a superfície do produto é maior ou igual à taxa de evaporação e outro período de razão decrescente, podendo esse ser subdividido em mais períodos e caracterizado pela migração interna de água no produto ser menor que a taxa de evaporação, sendo o período de maiores riscos de danos térmicos (SILVA, 2000).

Um parâmetro importante a ser estudado quando se trabalha com secagem dos produtos é a taxa de secagem. A taxa de secagem é a relação entre água perdida pelo produto e o tempo necessário para essa perda, sendo influenciada pelo método de secagem, temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura, umidade e velocidade do ar de secagem, umidade inicial e final do produto e tempo de secagem. Esses fatores possuem efeito significativo sobre a qualidade do produto (BORÉM, 2008).

Uma taxa elevada pode causar descoloração e manchas, assim como trincas e rupturas nos grãos (BORÉM, 1992). Enquanto taxas baixas poderão ser prejudiciais à qualidade do café, uma vez que o teor de água inicial é muito alto, aumentam os riscos de deterioração. Tendo em vista esses problemas, busca-se um controle maior dos fatores de secagem para se minimizar situações adversas ao produto.

Para Burmester e Eggers (2010), a taxa de secagem é influenciada, principalmente, pela temperatura do ar de secagem, sendo o fluxo de ar coadjuvante, só tendo influência na taxa de secagem enquanto o café estiver com umidades elevadas, logo no início da secagem. Ribeiro et al. (2011) que já haviam estudado a cinética de secagem de café cereja descascado, observaram que, independentemente da temperatura do ar de secagem, o aumento do fluxo de ar de 20 para 30  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  tem efeito significativo na taxa de redução de água apenas nas primeiras horas de secagem. Os autores observaram, ainda, que o fluxo de ar não teve influência na qualidade sensorial da bebida. Particularmente na secagem com ar aquecido, fluxos inferiores a 6  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$  podem prolongar excessivamente o tempo de secagem, ao passo que acima de 20  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ , podem tornar o processo antieconômico (VILLELA; PESKE, 2003).

A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem em altas temperaturas influenciando significativamente a taxa e a eficiência de secagem, bem como a qualidade final do produto e, se não for controlada, provoca sérios danos aos grãos, causando sua depreciação (AFONSO JÚNIOR, 2001; RIBEIRO, 2003). Temperaturas mais elevadas diminuem o tempo de secagem, diminuindo custos. Porém, diversas pesquisas têm demonstrado que temperaturas na massa de café, acima de 40 °C causam prejuízos à qualidade do café (BORÉM et al., 2006; SAATH, 2010; TAVEIRA, 2009).

Visando aumentar a taxa de secagem sem riscos de danos térmicos e de forma economicamente viável, a desidratação do ar de secagem para café se torna uma opção interessante a ser estudada. Para isso, a evolução dos dispositivos para condicionamento e circulação do ar, já conhecidos pela indústria de sementes em processos de resfriamento, levou à adaptação desses sistemas para desumidificação e aquecimento do ar, originando as Unidades de

Tratamentos de Ar (UTA's). Esses equipamentos possuem a capacidade de desumidificação do ar por resfriamento, condensando o vapor de água presente no ar, com posterior aquecimento, para a obtenção de ar com menor umidade relativa. Dessa forma, ocorre aumento da capacidade de retenção de água pelo ar e redução da razão de mistura, resultando numa massa de ar mais seca, sendo possível trabalhar com temperaturas mais baixas, evitando assim, os danos térmicos aos grãos.

Ondier, Siebenmorgen e Mauromoustakos (2010) estudaram a taxa de secagem de grãos de arroz, submetidos à secagem com baixas temperaturas e umidade relativa do ar entre 19% e 47%. Os autores observaram que, para uma mesma temperatura, a redução da umidade relativa reduziu significativamente o tempo de secagem. A qualidade do arroz, avaliada em função do rendimento de grãos inteiros e da coloração dos grãos, não foi afetada negativamente pelo aumento da taxa de secagem, indicando o uso dessa técnica de desumidificação do ar para a secagem de arroz.

Isquierdo et al. (2013), estudando o efeito da taxa de secagem em função da utilização de ar com diferentes umidades relativas, combinando 35 °C com 13,1, 23,0 32,5 de UR, 40 °C com 10,0, 17,5, 25,0 de UR e por fim, 45 °C com 7,7, 13,5, 19,2 de UR do ar de secagem na qualidade do café natural, concluíram que, mesmo para baixas temperaturas, 35 e 40 °C, a elevação da taxa de secagem provocada pela redução da umidade relativa do ar de secagem tem efeito negativo na qualidade sensorial do café natural.

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, são utilizados, basicamente, três métodos para secagem de café (SILVA; BERBERT, 1999): secagem artificial em terreiro, secadores mecânicos e secagem combinada (terreiro + mecânico). O tipo de secagem utilizada depende das condições de infraestrutura e de capitalização de cada produtor.

Na secagem em terreiros, espalha-se o produto sobre pisos de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto, com o objetivo de expor o produto diretamente à radiação solar e movimentação natural do ar. Os grãos são revolvidos continuamente com o auxílio de um rodo ou de outro equipamento similar. A secagem em terreiro é ainda o tipo predominante, utilizado desde o início da cafeicultura principalmente pelos pequenos produtores, pelo seu menor custo em relação à secagem mecânica, simplicidade de construção e operação. Em condições climáticas desfavoráveis (ocorrência de chuvas, elevada umidade relativa do ar) e manejo inadequado, pode causar secagem desuniforme, com reflexos na cor dos grãos e desenvolvimento de microrganismos, fermentações indesejáveis e, conseqüentemente, o surgimento de grãos ardidos (REINATO et al., 2002; SOUSA, 2000), colocando em risco a qualidade do produto final. Outra desvantagem é o longo período de secagem, podendo chegar a 30 dias para o café natural, assim como a necessidade de grandes áreas de terreiros e a grande demanda por mão de obra. Porém, caso a secagem seja feita em terreiros revestidos, em condições climáticas favoráveis e manejo correto, pode propiciar cafés de boa qualidade (BORÉM, 2008).

Na secagem em secadores mecânicos, o ar aquecido passa através da massa de grãos por meio de um sistema de ventilação forçada e é o que caracteriza o método como mecânico, além do fato de que o processo é executado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas (CAVARIANI, 1996). Esse método apresenta as vantagens de diminuir o tempo de secagem, de permitir o controle da temperatura, do fluxo do ar e do tempo de exposição da massa ao ar aquecido, assim como sofrer menores influências das condições climáticas que é uma das principais desvantagens da secagem em terreiros, fatores fundamentais para garantir a eficiência do processo. Por outro lado, em razão da necessidade de energia para movimentar o café, aquecer e movimentar o ar, seus custos são bem mais elevados. No entanto, um manejo



correto maximiza a eficiência do secador contribuindo, assim, para a redução do custo final (REINATO et al., 2002), pois o custo da energia utilizada na secagem depende da temperatura de secagem, do fluxo de ar, do tempo de secagem e do preço do combustível. Outro problema é o fato da maioria dos secadores utilizados serem adaptações de modelos projetados para outros grãos, resultando em baixa eficiência quando utilizados para secagem de café.

A secagem de café em secadores mecânicos com altas temperaturas, geralmente é realizada no Brasil em secadores horizontais rotativos ou secadores verticais de fluxo cruzado. No Brasil, alguns secadores utilizados na secagem do café são provenientes de modificações de secadores contínuos de fluxo cruzado, utilizado para cereais. Na maioria dos casos, nos secadores de leito fixo, o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade entre o ar e o grão ocorre numa região denominada zona de secagem. Durante a secagem desenvolvem-se dois gradientes, um de umidade e outro de temperatura, estabelecidos entre as camadas inferior e superior da massa de grãos (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1974).

Teixeira, Nogueira e Arruda (1983) trabalhando com secagem de café cereja em fluxos cruzados concluíram que esta operação não deverá ser processada com temperaturas superiores a 45 °C na massa de grãos. Os resultados da prova de xícara indicaram que a utilização desta temperatura não comprometeu a qualidade da bebida.

O secador rotativo é constituído por um cilindro horizontal ou ligeiramente inclinado que gira em torno de seu eixo longitudinal com velocidade angular. O produto úmido é carregado pela parte mais elevada do secador, por meio de um transportador e é descarregado na parte mais baixa por gravidade. O fluxo de ar de secagem é injetado numa câmara situada no centro do cilindro e atravessa radialmente a massa do produto. Para a secagem de café, este equipamento tem como vantagem o funcionamento como máquina de pré-

limpeza e a uniformidade de secagem. Entretanto, o uso deste equipamento apresenta desvantagens como baixa eficiência energética, alto custo de investimento, alta incidência de danos mecânicos ao produto (SILVA; AFONSO; GUIMARÃES, 1995).

Segundo Bártholo, Magalhães Filho e Guimarães (1989) e Chalfoun e Carvalho (1997), é necessário deixar um espaço vazio na posição superior do cilindro rotativo entre 20 e 30 cm, ao final do carregamento de café, para possibilitar a movimentação dos grãos durante o processo de secagem.

Mendes et al. (1995), relataram a possibilidade de utilização dos secadores rotativos de três maneiras diferentes: a) como pré-secador, em que se trabalha, inicialmente com ar à temperatura ambiente, durante 2 horas, permitindo a remoção da água superficial. A seguir, se aquece o ar até 60 °C e se reduz a umidade do produto até que os grãos adquiram fluidez, permitindo que a secagem seja concluída em secadores verticais; b) secagem completa em que se faz a pré-secagem no próprio secador rotativo utilizando o procedimento anterior e, em seguida, eleva-se a temperatura do ar até 90 °C e concluindo o processo e c) secagem complementar, em que, após a pré-secagem em terreiro, a secagem é concluída no secador rotativo com o ar à temperatura igual a 90 °C.

Frequentemente, aplica-se um período de pré-secagem em terreiros na fase inicial, e complementa-se a secagem em secadores mecânicos, com temperaturas elevadas, esse método tem obtido bons resultados.

Alguns cuidados especiais devem ser observados em relação ao fluxo e à temperatura do ar e temperatura dos grãos ou frutos a fim de evitar depreciações na qualidade do produto final (BORÉM, 2008). As temperaturas mais elevadas tornam a operação mais rápida e, portanto, mais econômica (GIRANDA, 1998), porém temperaturas demasiadamente elevadas podem causar danos irreparáveis ao produto vindo a causar grandes prejuízos ao produtor.

## **2.6 Indicadores de qualidade do café**

Alguns dos principais indicadores de qualidade do café são descritos a seguir.

### **2.6.1 Açúcares totais e acidez titulável**

Segundo a Organização Internacional do Café (1991), a doçura é uma das características de sabor mais desejáveis nos cafés, podendo estar relacionada diretamente com a qualidade. Porém ainda é discutível quais são os tipos e as concentrações de açúcares nos grãos crus, que exercem maior influência na qualidade da bebida.

Os açúcares livres predominantes nos grãos de café são basicamente frutose, glicose e sacarose (ROGERS et al., 1999), porém, traços de outros açúcares, como estaquiase, rafinose, arabinose, manose, galactose, ribose e ramnose, também são encontrados. Sabe-se que a sacarose é o açúcar de maior concentração nos grãos de café cru, com aproximadamente 63-90 mg/g de matéria seca na espécie arábica (CLARK, 2003), a qual é degradada em quase sua totalidade, durante a torração, originando açúcares menores, precursores de ácidos carboxílicos e aldeídos, responsáveis pelo aroma (FARAH et al., 2006).

Os açúcares redutores referem-se à glicose, frutose e manose, os quais apresentam agrupamentos aldeídicos e a sacarose é um dissacarídeo não redutor. No grão de café estão presentes diversos açúcares, os quais contribuem com o aspecto de doçura da bebida, sendo um atributo de extrema importância nos cafés especiais. Estes compostos também participam de importantes reações (CORADI et al., 2007; PEREIRA; VILLELA; ANDRADE, 2002). Os teores de açúcares redutores e não redutores possuem uma associação positiva com a qualidade do café.

O teor de açúcares solúveis totais livres do grão beneficiado encontra-se numa faixa de 5 a 10% (PIMENTA; VILELA, 2002), enquanto que, para cafés de bebida mole, apenas mole e estritamente mole estes estão entre 8,6 e 10% (BARRIOS, 2001). Os açúcares redutores estão presentes em menores quantidades (BORÉM et al., 2006; SILVA et al., 2004) pois predominam os não redutores, como a sacarose. Os teores de açúcares podem ser influenciados por fatores genéticos, colheita e pós-colheita.

Pimenta et al.(2000) observaram que ocorreu um aumento gradativo nos teores de açúcares redutores à medida que a maturação dos frutos foi se intensificando, atingindo o valor máximo nos frutos de café em estágio de maturação cereja.

Salva (2007), avaliando a composição química e a qualidade da bebida de cafés em função do método de preparo e da cultivar, encontrou diferentes teores de sacarose entre as variedades, mas o mesmo não foi observado em cafés submetidos a diferentes métodos de processamento. Por outro lado, Taveira (2009) observou que o café despulpado apresentou menores teores de açúcares totais e de açúcares não redutores, quando comparado com o café natural. Uma explicação pode ser o fato de ter ocorrido quebra de exoses para a produção de energia, devido à mudança da respiração aeróbica para alcoólica ou fermentação láctica na falta de oxigênio, durante o despulpamento.

Isquierdo (2011) afirma que a taxa de secagem pode exercer influência na quantidade e na proporção dos diversos tipos de açúcares em grãos de café. Marques et al. (2008) observaram redução nos teores de açúcares não redutores, com o aumento da temperatura de 40 °C para 60 °C. Já Borém et al. (2006) verificaram redução nos valores de açúcares totais em função da elevação da temperatura. Para Rosa et al. (2004), de modo geral, a secagem lenta favorece o acúmulo de açúcares de maior peso molecular, como os oligossacarídeos, em detrimento da quantidade de açúcares redutores.

Quanto à acidez titulável dos grãos de café beneficiados, vários trabalhos têm demonstrado haver uma relação inversa entre acidez e a qualidade de bebida (SIQUEIRA; ABREU, 2006). A acidez está relacionada com fermentações indesejáveis, defeitos e grau de maturação, podendo ser influenciada desde a colheita até etapas da pós-colheita.

Carvalho et al. (1994) avaliaram a acidez em cafés classificados como de bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada e rio. Os autores observaram crescente aumento da acidez com a diminuição da qualidade do café, e os cafés de bebida inferior exibiram maior acidez.

A elevação da acidez tem sido atribuída também à fermentação durante o processo de secagem (CARVALHO et al., 1994). Afonso Júnior (2001) afirma que os grãos descascados e despolidos apresentaram menor influência da variação da temperatura e umidade relativa do ar de secagem sobre a acidez titulável, enquanto os frutos cerejas mostraram redução dos índices de acidez com a elevação da temperatura do ar de secagem. No mesmo sentido, Coradi et al. (2007) e Taveira (2009) concluíram que cafés processados pela via seca apresentam valores de acidez titulável total maiores, quando comparados aos cafés em pergaminho.

Godinho et al. (2000) verificaram diferenças significativas nos valores de acidez titulável entre os cafés em coco e beneficiado durante o armazenamento. O café em coco apresentou menores índices de acidez quando comparado ao beneficiado a partir do terceiro mês.

### **2.6.2 Polifenoloxidase**

Dentre os compostos orgânicos do café estudado, a enzima polifenoloxidase se destaca, estando associada positivamente com a qualidade da bebida do café. A polifenoloxidase é a única conhecida que cataliza a oxidação

aeróbica de compostos fenólicos, sendo estes compostos um dos que mais influenciam na qualidade, principalmente sabor e aroma, do café e de muitos produtos vegetais (AMORIM; SILVA, 1968; NORTHMORE, 1965).

As primeiras associações entre a qualidade do café e a atividade enzimática da polifenoloxidase foram realizadas por Amorim e Silva (1968), os quais observaram haver maior atividade da enzima em cafés de melhor qualidade, sugerindo a menor ocorrência de degradações das paredes celulares nestes cafés.

Em pesquisas realizadas por Carvalho et al. (1994), foi demonstrado que as análises da atividade da enzima polifenoloxidase têm uma relação positiva com a qualidade do café. Estes autores chegaram à conclusão que a atividade da polifenoloxidase aumentou com a melhoria da qualidade do café.

Arcila-Pulgarin e Valência-Aristizabal (1975), ao compararem as atividades da polifenoloxidase em grãos de café oriundos de frutos colhidos nos estádios de maturação verde, metade vermelho e metade verde e cereja, observaram menores atividades nos frutos verdes, sendo a principal explicação para isso, o desenvolvimento incompleto dos grãos.

### **2.6.3 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio**

No decorrer da secagem, as membranas sofrem um processo de desorganização estrutural estando mais desorganizadas quanto menor o teor de água (BEWLEY; BLACK, 1994), perdendo assim, temporariamente, a integridade organizacional. Grãos com membranas celulares desorganizadas lixiviam maior quantidade de solutos, podendo ser indicadas pelos testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, os quais têm sido utilizados em várias pesquisas como indicadores consistentes da integridade de membranas (ANGÉLICO et al., 2011; NOBRE et al., 2011; REINATO et al., 2012;

RIBEIRO et al., 2011; SAATH et al., 2012; TAVEIRA, 2009). Prete (1992) verificou uma relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica/lixiviação de potássio de grãos crus.

Prete e Abrahão (1995) concluíram que os dados de condutividade elétrica e lixiviação de potássio obtidos de grãos de café imersos em água por três horas e meia, correlacionam-se com os resultados da análise sensorial. Resultado contrário, foi mencionado por Favarin et al. (2004), em que os autores avaliaram amostras de grãos de café, por meio de testes rápidos, como condutividade elétrica e lixiviação de potássio e da análise sensorial, não encontrando uma correlação entre os resultados.

Malta, Pereira e Chagas (2005) avaliaram a influência dos fatores, tamanho e tipos de defeitos dos grãos de café na determinação da condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Com relação ao tamanho dos grãos de café sem a retirada de defeitos, verificou-se que as menores peneiras apresentaram maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Quando foram retirados os defeitos dessas amostras, os grãos normais apresentaram menores valores de condutividade elétrica, no entanto, os grãos de café ardidos e pretos apresentaram maiores valores.

Segundo resultados da pesquisa de Favarin et al. (2004), o teste de condutividade elétrica é mais sensível que o de lixiviação de potássio para indicar alterações nos grãos de frutos de café expostos às infecções após colheita.

Resultados recentes demonstram a importância da utilização do teste de condutividade elétrica e lixiviação de potássio como marcadores da qualidade de bebida do café (OLIVEIRA, 2010; SAATH, 2010; TAVEIRA et al., 2012).

#### 2.6.4 Características de cor do café

Durante a colheita, processamento, secagem e armazenamento, o café pode ter as características físicas alteradas, sendo a cor, formato e textura algumas delas. Essas características têm influência direta na qualidade e conseqüentemente na comercialização do produto e, principalmente a cor tem sido estudada há alguns anos pelo branqueamento ocasional do café.

Em 1931, a Comissão Internacional de Iluminação (*Commission Internationale de L'Eclairage - CIE*) adotou curvas padrão para determinação de cores, baseando na tricromacia da retina humana. Essas curvas especificam como uma cor pode ser transformada em um padrão de três números. O sistema mais conhecido para interpretação e padronização de cores, utiliza o conceito dos eixos tridimensionais “L”, “a” e “b” (CIELab).

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

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



Menchú (1967) afirma que a secagem em secadores mecânicos altera a cor dos grãos de café, originando uma massa de grãos de coloração desuniforme e que temperaturas superiores a 80 °C podem originar grãos de cor acinzentada que, ao absorverem água sofrem branqueamento irregular. Outros autores como Silva (2001), Afonso Júnior (2001) e Corrêa, Afonso Júnior e Pinto (2002) também relatam que a secagem altera a cor dos grãos de café, especialmente nos secadores mecânicos. A secagem em terreiro, em virtude de utilizar temperaturas ambientes (mais baixas) não afetam as características da cor dos grãos, quando comparadas com as de cafés secados em secadores.

#### **2.6.5 Sistema de Análise de Sementes (SAS)**

A secagem é uma das etapas pós-colheita que mais atua sobre tamanho, cor, forma e textura dos grãos de café, seja em “coco” ou beneficiado, porém, quando o produto se encontra em “coco”, essas mudanças são mais perceptíveis.

Com o aumento da produção, ocorre a necessidade crescente, nas indústrias de alimentos e beneficiamento de grãos e sementes, por produtos mais homogêneos, e a engenharia vem aprimorando os processos de beneficiamento por meio de estudos das propriedades físicas dos grãos, para o projeto de novas máquinas e equipamentos (SANTANA; BRAGA, 1999).

A análise de imagens compõe a base de diversas aplicações, tais como nas industriais e civis. Na agricultura, existe uma ampla aplicação da ferramenta de análise de imagens e equipamentos baseados na medição eletrônica que têm sido utilizados para a obtenção e análise de dados, no qual eram utilizados métodos tradicionais para tal operação (GONZALEZ; WOODS, 2010). As três áreas fundamentais de utilização de análise de imagens são os estudos sobre o objeto e análise de formas, a classificação e as avaliações (VENORA et al., 2007).

Na busca pela automatização e rapidez dos processos, o Sistema de Análise de Sementes – SAS foi desenvolvido e lançado pela Tbit tecnologias e Sistemas com o objetivo de fazer a captura de imagens de sementes e processá-las por meio de imagens, histogramas, gráficos e outros que facilitam a análise das sementes. O equipamento é composto por uma câmara de captação da imagem e um *software* de análise. A câmara é constituída de uma bandeja com fundo de acrílico transparente, no qual são dispostas as sementes, uma ou duas câmeras fotográficas (depende da versão - SAS mini, SAS Pro e o SAS Advanced) de alta resolução realizam a captura da imagem.

A imagem pode ser capturada e em seguida analisada ou capturada e analisada ao mesmo tempo. Assim que a imagem é capturada, é necessário que sejam feitas configurações no plano de fundo para melhor análise das imagens. O SAS possui os modelos de cor HSV, YCbCr e CIELab, que podem ser alterados dependendo do objeto de estudo. O SAS analisa imagens de sementes e de plântulas extraindo informações de cor, textura e geometria de cada indivíduo da imagem. Além de analisar individualmente a plântula, esse sistema de análise de imagens computadorizado fornece informações sobre vigor, uniformidade e crescimento de cada amostra por meio dos índices, cujos valores variam de 1 a 100.

O SAS é um equipamento com potencial de utilização para a avaliação do vigor de sementes por meio da avaliação de imagens de plântulas, porém, é necessário realizar pesquisas para cada espécie, de maneira a comprovar a sua eficiência na avaliação do vigor de sementes, assim como para a avaliação de grãos de café.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local da realização do experimento**

As etapas de colheita, processamento e secagem dos frutos de *Coffea arabica* L. (café arábica) foram realizadas no município de Franca, estado de São Paulo, localizado em 20°32'19" de latitude Sul e 47°24'03" de longitude oeste, com 1.040 metros de altitude, em uma propriedade agrícola denominada Fazenda Aleluia, durante a safra de 2014. Depois de seco, obtiveram-se amostras do café, provenientes de cada teste, as quais foram encaminhadas para a Universidade Federal de Lavras (Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Agricultura, Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, no Departamento de Engenharia e no Departamento de Ciências dos Alimentos), onde foram realizadas as análises, em conjunto com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Epamig, também no município de Lavras, Minas Gerais.

#### **3.2 Matéria-prima e processamento**

As etapas de colheita e pós-colheita acompanharam o fluxo normal de trabalho da fazenda Aleluia, que forneceu todo o café necessário à realização da pesquisa. O café utilizado foi da espécie *Coffea arabica* L., das cultivares Catuaí IAC 62, de predominância na lavoura, Catuaí IAC 99, em áreas novas de arrendamento e Mundo Novo 387, usado em áreas de geada e de bordaduras. Portanto o café utilizado foi uma mistura das três cultivares.

Para o processamento por via seca (cafés naturais) adotado, devido à indisponibilidade em adquiri-los por via úmida, os cafés foram colhidos por derriça, manualmente nas áreas de declive acentuado onde não era possível o

uso de colhedora mecânica, e mecanicamente, com o uso de automotriz, nas áreas onde era possível realizar a operação. Posteriormente os frutos foram submetidos à separação hidráulica para a remoção apenas de folhas, pedaços de galhos e outros materiais estranhos. Após esses procedimentos com o café natural, o teor médio de água de 32% (b.u.) para o primeiro e segundo teste, e 20% (b.u.) para o terceiro, foi determinado de forma direta, pelo método da destilação em óleo de soja e indireta, pelo método de capacitância elétrica, utilizando-se o equipamento Multi-Gran. Os valores iniciais de teor de água trabalhados não foram uma escolha técnica, e sim, uma imposição em razão de o experimento ter sido realizado já no final da colheita devido a alguns atrasos na montagem dos secadores de bandeja.

O fluxograma de obtenção do café está apresentado na Figura 1.

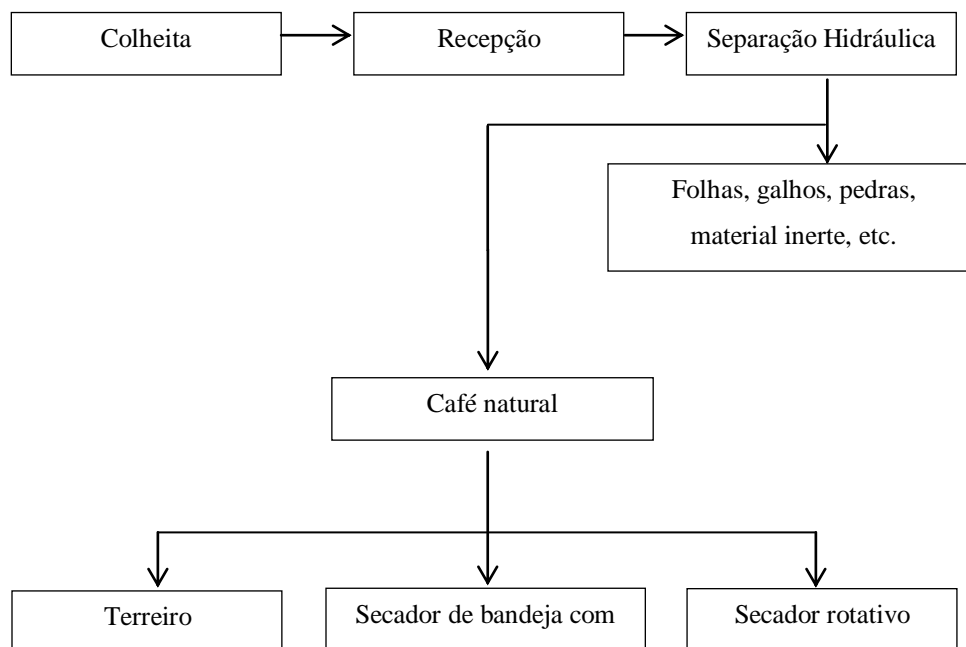


Figura 1 Fluxograma do processamento e secagem do café natural

### **3.3 Secagem do café**

Os métodos de secagem, assim como a operação realizada em cada método, são descritos a seguir.

#### **3.3.1 Terreiro**

Três lotes de café com, aproximadamente, 200 litros cada, obtidos dos mesmos lotes destinados aos secadores, foram colocados para a secagem em terreiro pavimentado com concreto e revestido com argamassa de cimento, para realizar a secagem artificial em terreiro, utilizada como testemunha ou controle. Diariamente, o produto era espalhado na superfície do terreiro às 7 horas e era enleirado às 17 horas. Durante o dia, eram realizados revolvimentos em intervalos regulares de 1 hora. Inicialmente, a espessura da camada correspondia à espessura de um fruto. Conforme ocorreu a secagem, a espessura da camada foi aumentada até um valor máximo próximo de 0,04 m, quando o produto tinha o teor final de água entre 11 e 12% (b.u.).

A temperatura e a umidade relativa do ar (UR) ambiente durante o período de secagem foram monitoradas por meio de termo-higrômetro digital instalados na propriedade.

#### **3.3.2 Secador rotativo**

O secador rotativo utilizado, fabricado pela empresa Paline & Alves Ltda, tem capacidade estática de 25 m<sup>3</sup> e vazão de ar de 3.568,356 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>. As medidas de velocidades do ar de secagem, para se obter o valor médio, foram feitas no trocador de calor de cada um dos dois secadores rotativos usados. Para tanto, a área do trocador de calor foi reticulada de modo a permitir que as

repetições de tomadas de medidas fossem realizadas sempre no mesmo ponto. A média foi obtida a partir de aproximadamente 80 leituras. Foi utilizado um termo-anemômetro de pás, com leitura digital, resolução de 0,01 m/s e precisão maior que 1%.

A temperatura do ar de secagem variou entre 60 e 70 °C, sendo monitorada no plenum, por meio de um termômetro analógico, de haste rígida, com resolução de 1,0 °C. Um instrumento com as mesmas características, instalado na câmara de secagem, foi utilizado para monitorar a temperatura da massa de grãos.

O aquecimento do ar de secagem foi feito por meio de trocadores de calor do tipo água-ar. A água, na forma líquida, era aquecida em uma caldeira projetada para a queima de lenha e a circulação da mesma era feita por meio de bombas centrífugas.

### **3.3.3 Secador de bandeja com UTA (Unidade de Tratamento de AR )**

O secador de bandeja – SBJ, fabricado pela Cool Seed, instalado na propriedade e utilizado nesse experimento possui cinco módulos individuais (Figura 2), com capacidade estática de 15 m<sup>3</sup> por módulo. O sistema de movimentação do produto é feito por meio de fitas transportadoras e elevador de caçambas, permitindo realizar a carga e descarga, além da movimentação de produtos entre os módulos.

Para que cada módulo tenha distribuição uniforme de ar, mesmo com diferentes espessuras na camada de produto na câmara de secagem, foram instalados manômetros em “U” (Figura 3a), o que possibilita monitorar a pressão estática e ajustá-las em igual valor com o objetivo de adequar a vazão específica do ar em cada módulo. Isto é feito por meio da atuação em um registro instalado nos dutos de alimentação de ar em cada módulo. Cada módulo foi equipado com

termopares localizados em três profundidades em cada uma de suas faces opostas da torre de distribuição de ar e, também, na exaustão, totalizando assim sete pontos de medida de temperatura em cada módulo. As leituras de temperatura eram feitas em um conector (Figura 3b) por meio de um potenciômetro digital.



Figura 2 (a) Dois dos cinco módulos que compõe o sistema. (b) Vista superior dos módulos e passarela de acesso. (c) Janela de visória. (d) interior dos módulos

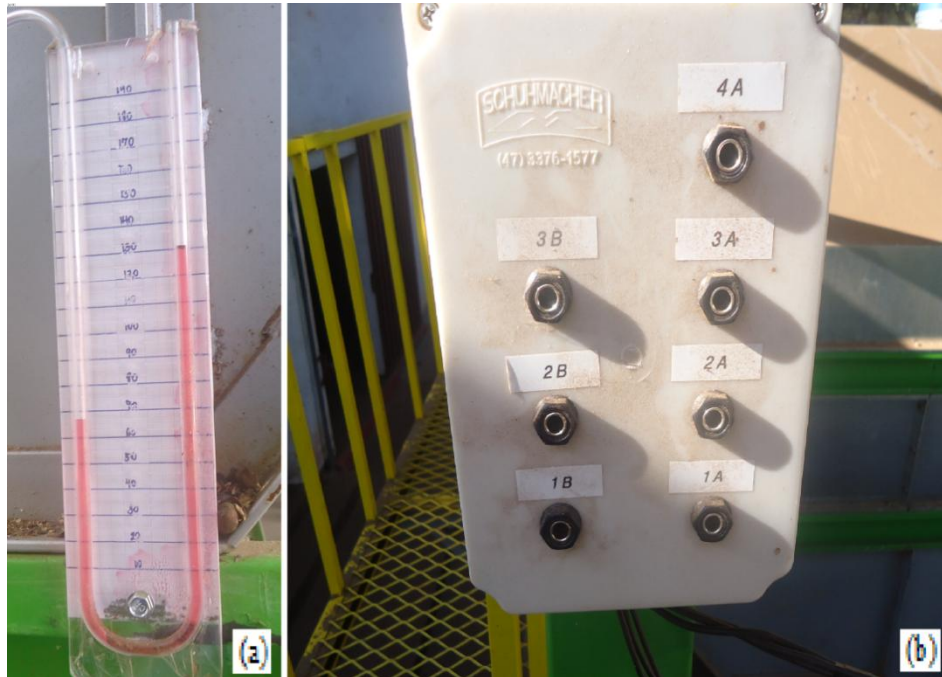


Figura 3 (a) manômetros de coluna em “U”. (b) Ponto de tomada de temperatura

Para o condicionamento do ar de secagem utilizou-se de uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA), modelo UTA 120, fabricada pela Cool Seed. A UTA operou com vazão média de  $33.399,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , calculada em função da velocidade do ar, medida nos trocadores de calor, por meio de um termomômetro de pás de leitura digital, com resolução de  $0,01 \text{ m/s}$  e precisão maior que 1%. Os trocadores de calor foram reticulados para o posicionamento dos pontos de leitura, o que permitia as repetições das mesmas. A média foi obtida a partir de 96 pontos de leitura.

Normalmente o processo de secagem é realizado com aumento da temperatura do ar, sob razão de mistura e pressão de vapor constante. Portanto, o aquecimento não seca o ar, mas reduz sua umidade relativa e aumenta o volume específico. Em consequência, proporciona aumento na capacidade de secagem



do ar, além de aumentar, em função do aquecimento, a pressão de vapor da água contida nos grãos, resultando na secagem do produto. O aquecimento pode proporcionar estresse térmico ao produto, resultando em depreciação de qualidade. A UTA proporciona a redução da razão de mistura e da pressão de vapor do ar por meio da redução da sua temperatura para valores inferiores à temperatura do ponto de orvalho. Isto é feito por meio de sistemas de refrigeração. Este ar frio, com baixa razão de mistura e alta umidade relativa, tem a temperatura aumentada até valores máximos de 45 a 50 °C, o que proporciona redução da umidade relativa para valores próximos de 15%. Dessa forma, o ar com baixa razão de mistura e baixa umidade relativa tem maior potencial de secagem, minimizando problemas relacionados a danos ao produto causados por estresses térmicos.

A UR e a temperatura do ar ambiente e do ar de secagem foram monitoradas durante toda a operação de secagem por meio de higrômetros e termômetros termoeletrônicos instalados em um painel digital da própria UTA. O trabalho foi desenvolvido com a UTA operando com UR e temperatura do ar de secagem na faixa de 10 a 15% e 45 a 50 °C respectivamente, sob quaisquer condições de UR e temperatura do ar ambiente.

#### **3.3.4 Operação da secagem nos secadores mecânicos**

Para cada um dos três testes realizados, um lote de café natural sem a presença de impurezas e materiais inertes depositado na moega de recepção do sistema de secagem era dividido em três porções: uma de aproximadamente 200 litros que era encaminhada ao terreiro, e outras duas que seguiam para um secador rotativo e um módulo do secador de bandeja com UTA.

Após o transporte do café da moega até os secadores, realizado por meio de um sistema de fitas transportadoras e elevadores de caçambas, inicia-se a

injeção de ar de secagem na massa de grãos ao mesmo tempo em cada secador (rotativo e bandeja), com o objetivo dos dois operarem em turnos iguais. A injeção de ar foi realizada durante quatro horas, sendo que após o início foram monitorados: a temperatura e a UR do ar ambiente, com um termo-higrômetro; a temperatura da massa e do ar de secagem do secador rotativo; a temperatura da massa, temperatura e UR do ar de secagem com UTA. Quinze minutos antes de encerrar as quatro horas de injeção, todas as variáveis eram novamente monitoradas, juntamente com a determinação do teor de água da massa de grãos em cada secador. Após as referidas quatro horas, já com os ventiladores dos dois secadores desligados, a massa de grãos correspondente ao primeiro teste do secador de bandeja era trocada de módulo, com o objetivo de homogeneizar e conseqüentemente resfriar e descansar a massa, provocando uma redistribuição da água no interior dos grãos, enquanto a massa do secador rotativo apenas descansava. A transilagem normalmente necessitava de duas horas para ser totalmente realizada. Com toda a massa em novo módulo, iniciava-se a injeção de ar novamente nos dois secadores, sendo feito todo o monitoramento anterior, menos a determinação de umidade da massa que era feita apenas no final da injeção. A insuflação de ar era realizada normalmente três vezes ao dia e em seqüência, sendo que este intervalo foi estabelecido por questões administrativas e de gestão de pessoas, não por caracterização técnica do processo.

Todos os procedimentos acima foram realizados para as três repetições, até a massa de grãos atingir uma faixa de 11 a 12% (b.u.) de teor de água, pelo método da destilação e capacitância.

### **3.4 Beneficiamento**

O beneficiamento foi realizado por meio de três passagens em máquina de marca Pinhalense, modelo DRC 2 e as amostras beneficiadas correspondentes

aos tratamentos foram armazenadas em câmara fria a 10 °C, até o momento das análises.

### **3.5 Caracterização da qualidade**

Para caracterização da qualidade do café, foram realizados as seguintes análises: teor de água, análise sensorial, açúcares totais, acidez titulável total, atividade da enzima PFO, condutividade elétrica, lixiviação de potássio, análise de cor, e por fim, análise de tamanho e forma.

#### **3.5.1 Teor de água**

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado em duas repetições de 10 g, pelo método de estufa, a  $105 \pm 1$  °C, por  $16 \pm 0,5$  horas, conforme o método padrão internacional da ISO 6.673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem em base úmida (% b.u.).

#### **3.5.2 Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada por três juízes certificados de cafés especiais (SCAA *certified cupping judges*). Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011) para avaliação sensorial de cafés especiais. Nesse método, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada pela fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global, que são pontuados segundo sua qualidade em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 pontos, e

outra objetiva, representada pela uniformidade, doçura e xícara limpa (ausência de defeitos). Os atributos objetivos são pontuados em uma escala de 0 a 10 pontos, sendo atribuídos dois pontos para cada xícara que apresentar normalidade quanto à uniformidade, à doçura e à xícara limpa, avaliando-se cinco xícaras por amostra. A nota final é obtida pela soma das notas de cada atributo.

Foi utilizado o ponto de torra moderadamente leve, determinado visualmente pela coloração dos grãos, correspondente a 58 e 63 pontos, respectivamente, para grãos inteiros e grãos moídos, com tolerância de  $\pm 1$  ponto, conforme o sistema de classificação de cor, por meio de discos padronizados (*SCAA/Agtron Roast Color Classification System*). Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra. Durante a torração, fatores que afetam o ponto e a curva de torra, como temperatura e tempo de torra, foram monitorados, respeitando-se a faixa de tempo entre 8 e 12 minutos. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 8 horas e máxima de 24 horas da degustação.

Em cada avaliação sensorial foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições para cada tratamento.

### **3.5.3 Açúcares totais**

Foi utilizado o método da Antrona (DISCHE, 1962), com cafés selecionados, peneira 16 acima, sem defeitos, moídas em moinho, na presença de nitrogênio líquido e antioxidante, as análises foram realizadas em duplicata. A reação de antrona se baseia na ação hidrolítica e desidratante do ácido sulfúrico concentrado sobre os carboidratos. Quando a reação é levada a efeito com carboidratos com ligações glicosídicas, estas são hidrolisadas e os açúcares

simples desidratados para furfural ou hidroximetilfurfural. Essas substâncias se condensam com a antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno) dando um produto de coloração azul petróleo. Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 620 nm, utilizando uma curva padrão de frutose (100 mg/mL) de intervalo 0 - 100 mg.

#### **3.5.4 Acidez titulável total**

O café foi selecionado, peneira 16 acima e sem defeitos, sendo posteriormente moído em moinho e em presença de nitrogênio líquido e antioxidante. A acidez titulável foi determinada em duplicata, por titulação com NaOH 0,1 N, adaptando-se a metodologia citada por AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 1990). Foram pesados 2 gramas da amostra de café moído e adicionados 50 mL de água destilada, agitando-se por 1 hora. Em seguida, realizou-se a filtragem em papel de filtro e retiraram-se 5 mL da solução filtrada, colocando-a em um *erlenmeyer* com cerca de 50 mL de água destilada. Acrescentaram-se três gotas de fenolftaleína e, em seguida, titulou-se até a viragem com NaOH 0,1N. O resultado foi expresso em mL de NaOH 0,1 N por 100 g de amostra.

#### **3.5.5 Enzima polifenoloxidase (PFO)**

A determinação da atividade da enzima polifenoloxidase foi realizada em duplicata para cada repetição de secagem. Para extração da polifenoloxidase, foi feita uma adaptação do processo descrito por Carvalho et al. (1994). Foram pesados 5 gramas da amostra de sementes peneira 16 acima e sem defeitos, previamente moídas e em presença de nitrogênio líquido e antioxidante, aos quais foram adicionados 40mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M,

pH 6,0. Em seguida, submeteu-se a amostra a um agitador magnético por 5 minutos. Todo o material utilizado foi mantido gelado. Após a agitação, foi feita a filtragem em filtro a vácuo, utilizando-se papel Whatman nº 1. A polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanina) como branco.

### **3.5.6 Teste de condutividade elétrica**

A condutividade elétrica dos grãos de café foi determinada adaptando-se a metodologia proposta por Krzyzanowski, França Neto e Henning (1991). Foram utilizadas duas repetições (duplicata) de 50 grãos de cada uma das três repetições de cada tratamento de secagem, os quais foram descascados mecanicamente, pesados com precisão de 0,001 g e imersos em 75 mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Em seguida, os grãos foram mantidos em câmara do tipo B.O.D, sob temperatura constante de 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição em aparelho BEL W12D, expressando-se o resultado em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos. O café foi anteriormente selecionado, peneira 16 acima e sem defeitos.

### **3.5.7 Lixiviação de potássio**

A lixiviação de íons de potássio foi realizada nos grãos de café, segundo metodologia proposta por Prete (1992), também em duplicata. Após a leitura da condutividade elétrica, a solução de embebição foi submetida à determinação da quantidade de potássio lixiviada. A leitura foi realizada em fotômetro de chama

Digimed NK-2002. Com os dados obtidos, foi calculada a quantidade de potássio lixiviada, expressando-se os resultados em ppm.

### **3.5.8 Avaliação da cor por colorímetro**

O índice de coloração do café em coco foi determinado em colorímetro Minolta modelo CR 300, por leitura direta das coordenadas L, a, b, descritas por Nobre (2005). As amostras foram colocadas em placas de Petri e para cada repetição de secagem, foram realizadas três repetições no colorímetro, em cinco leituras, nos quatro pontos cardeais e uma no ponto central da placa.

### **3.5.9 Sistema de Análise de Sementes (SAS)**

O SAS é um equipamento desenvolvido pela empresa Tbit, que possibilita a captura e análise de imagens e a determinação de características físicas de sementes, grãos e plântulas, em forma de gráficos, histogramas e tabelas. As análises foram realizadas no SAS em cafés em coco, beneficiados, não selecionados e sem a retirada dos defeitos. Foram realizadas quatro repetições de cada amostra. Em cada repetição, foram extraídos aleatoriamente 100 grãos de café em coco e beneficiado, os quais foram dispostos em camada única na bandeja do equipamento (Figura 4) de forma a não ter contato entre os grãos.



Figura 4 (a) Equipamento usado. (b) Disposição dos grãos na bandeja do equipamento

Para a captura das imagens, o equipamento foi calibrado para a diferenciação entre o produto e o fundo da bandeja. Na configuração de calibração da cor do fundo, foi utilizado o sistema de cor CIEL\*a\*b, em que os valores de L variaram de 0,0 a 100,00, a dimensão “a” entre -120,0 a 120,0 e a dimensão “b” entre -120,0 a 24,6, para café em coco. Já para café beneficiado, a calibração resultou em valores de L variando de 0,0 a 100,00, a dimensão “a” de -120,0 a 120,0 e a dimensão “b” entre -120,0 a 0,00.



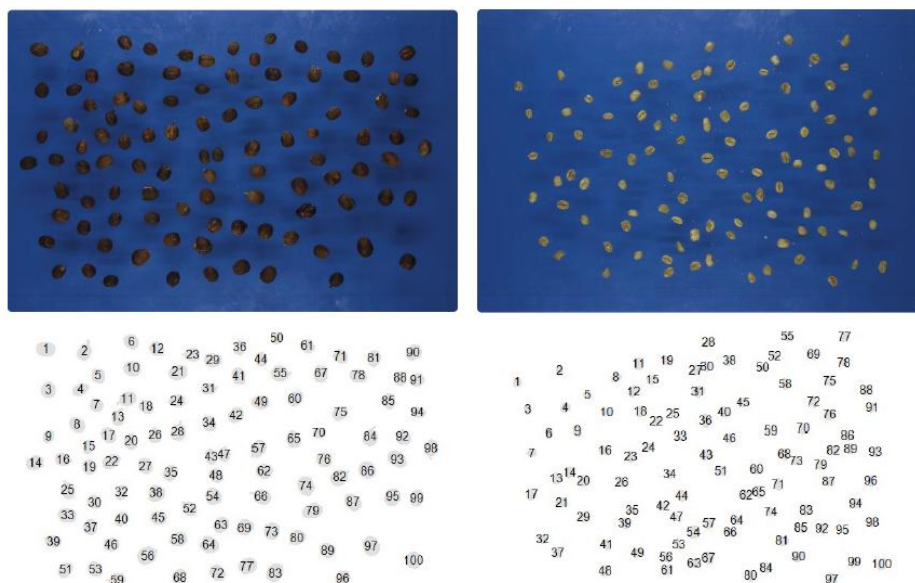


Figura 5 Imagens capturadas pelo SAS e identificação dos grãos de café nas imagens

Após a captura das imagens, foram selecionadas as seguintes variáveis de análise: coordenadas CIELab da cor dos grãos; diâmetro máximo; esfericidade; circularidade; perímetro e área dos grãos de café.

### 3.6 Procedimento estatístico

Para a curva de secagem foi feita análise de regressão utilizando um modelo que melhor se adequasse aos valores originais. A análise de componentes principais foi utilizada para verificar quais variáveis sensoriais, de secagem ou de qualidade, discriminavam os métodos de secagem trabalhados. Foram realizadas ANAVAS para verificar se os métodos de secagem promovem efeito significativo na cor dos grãos beneficiados, também foram estimados intervalos de confiança para o desvio padrão para verificar a variabilidade entre os métodos. Para comparação entre colorímetro e SAS, foi realizado ANAVAS em

fatorial, sendo três métodos de secagem (bandeja com UTA, rotativo e terreiro) e dois tipos de aparelho (SAS e colorímetro), assim como foram estimados intervalos de confiança para o desvio padrão para verificar a variabilidade entre os fatores. Para características geométricas e de cor, foi realizado ANAVAS em fatorial, sendo três métodos de secagem (bandeja com UTA, rotativo e terreiro) e dois tipos de café (beneficiado e em coco), também foram estimados intervalos de confiança para o desvio padrão para verificar a variabilidade entre os fatores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do processo de secagem do café

Os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante a secagem, assim como da umidade relativa usada no processo de secagem e os teores de água iniciais e finais dos grãos de café, em cada método de secagem e teste são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Valores iniciais e finais dos teores de água e médias de temperatura e UR ambiente em cada condição de secagem

Método de secagem	Testes	Teor de água inicial (% b.u.)	Teor de água final (% b.u.)	Temperatura média ambiente (°C)	UR média ambiente (%)	UR média do ar de secagem (%)
Bandeja com UTA	1	33,8	11,0	23,8	49,4	15,0
	2	29,0	11,7	23,3	56,3	15,0
	3	20,0	11,0	22,2	64,0	15,0
Rotativo	1	33,8	11,4	23,5	52,8	-
	2	29,0	11,0	22,9	58,4	-
	3	20,0	11,1	23,3	55,3	-
Terreiro	1	33,8	11,0	25,0	43,8	43,8
	2	29,0	12,0	23,8	49,4	49,4
	3	20,0	11,8	24,4	46,6	46,6

Os valores da temperatura e da umidade relativa do ar referem-se a condições do ar antes da passagem pelos trocadores de calor ou pela UTA, sendo os registros feitos apenas quando os secadores estavam em operação e, no caso do terreiro, quando o produto estava exposto aos raios solares. Observa-se na Tabela 1, que houve pequena variação entre os valores médios de temperaturas,

as quais oscilaram de 22,2 a 24,4 °C, enquanto que as UR's variaram mais, sendo, de forma geral, maiores para o segundo e terceiro testes do secador de bandeja com UTA, sendo explicado pela ocorrência de chuva durante o período. Para o secador rotativo e terreiro, essa alta UR ambiente não foi evidenciada, uma vez que estes métodos de secagem demandam mais tempo, possuindo maior capacidade de diluir os altos valores, ao contrário do secador de bandeja que se mostrou mais eficiente, retirando mesma quantidade de água em menor tempo. Quanto à UR do ar de secagem, observa-se que os valores trabalhados pelo secador de bandeja foram muito inferiores, devido à passagem do ar pela UTA, que tem a função de desumidificar o ar de secagem, aumentando assim sua capacidade de retenção de ar, otimizando o processo de secagem.

Também na Tabela 1, observa-se que todos os valores finais de teor de água variaram entre 11 a 12% (b.u.), obtidos pelo método da estufa. Já os valores iniciais decaíram com os testes, chegando a 20 % (b.u.) no terceiro. Pela literatura sugere-se que a variação entre os teores iniciais de água, em métodos de avaliação de secadores, sejam inferiores a 10% (b.u.), quando se trata de sistemas para a secagem de café. Entretanto, neste experimento observou-se que, no terceiro teste, a variação foi maior. Isto ocorreu em função das condições climáticas terem influenciado a velocidade de secagem dos frutos, ainda no campo, e pela realização do experimento só ter sido realizada na metade final da colheita por motivos de montagem do secador de bandeja com UTA.

Na Tabela 2, observam-se os valores médios de temperatura do ar de secagem e da massa de grãos durante a secagem.

Tabela 2 Valores médios de temperatura do ar de secagem e da massa de grãos

Método de secagem	Testes	Temperatura do ar de secagem (°C)	Temperatura da massa de grãos (°C)
Bandeja com UTA	1	50,90	32,55
	2	50,90	34,57
	3	50,90	34,95
Rotativo	1	63,75	35,38
	2	64,50	35,70
	3	63,36	35,90
Terreiro	1	25,00	-
	2	23,80	-
	3	24,40	-

Observa-se que, na secagem mecânica, menores valores de temperatura do ar de secagem ocorreram no secador de bandeja com UTA, com médias de 50,9 °C, variando entre 47 e 54 °C. O secador rotativo foi o que operou com temperaturas mais elevadas, acima de 63 °C, em todos os testes.

A temperatura da massa de grãos se comportou de maneira semelhante entre os testes e os métodos mecânicos de secagem, sendo os valores um pouco inferiores nos secadores de bandeja, principalmente para o primeiro teste, cuja temperatura média foi de 32,55 °C.

Muitos pesquisadores relatam que altas temperaturas na massa, acima de 40 °C, reduzem a qualidade dos grãos de café, o que tem sido atribuído à desorganização e desestruturação das membranas celulares, permitindo o contato entre os componentes químicos e as enzimas hidrolíticas e oxidativas, as quais estão relacionadas aos processos fermentativos, comprometendo o sabor e aroma da bebida (SAATH, 2006).

#### 4.1.1 Curvas de secagem dos cafés

Pelas curvas de secagem obtidas (Figura 6, 7 e 8), para cada teste, sendo plotados os teores de água em função do tempo de secagem, observa-se a remoção de água em cada método mecânico de secagem utilizado. Para secagem em terreiro, não serão apresentadas as curvas de secagem, devido à verificação dos teores de água ter sido feita apenas no início e final do processo de secagem, entretanto, o primeiro teste alcançou teores de água na faixa de 11 a 12 % (b.u.) em oito dias, o segundo teste alcançou em sete dias e o terceiro teste alcançou em quatro dias. O comportamento nos dois métodos mecânicos de secagem foi muito diferente em todos os testes. Para todos os testes, constata-se que o tempo de secagem em secador de bandeja com UTA foi demasiadamente menor quando comparado à secagem no secador rotativo. Essa diferença entre os tempos totais de secagem pode ser explicada pelo fato de que, mesmo o rotativo trabalhando com temperaturas mais elevadas, disponibilizava menor vazão específica de ar. Além do que, em função da redução de volume do produto durante a secagem, verifica-se nos secadores rotativos, maior perda de ar. Outra explicação seria que mesmo o rotativo operando com elevadas temperaturas, portanto, aumentando mais a pressão de vapor d'água do grão, a UTA consegue aumentar a taxa de secagem devido à redução da UR do ar de secagem, aumentando sua capacidade de retenção de água.

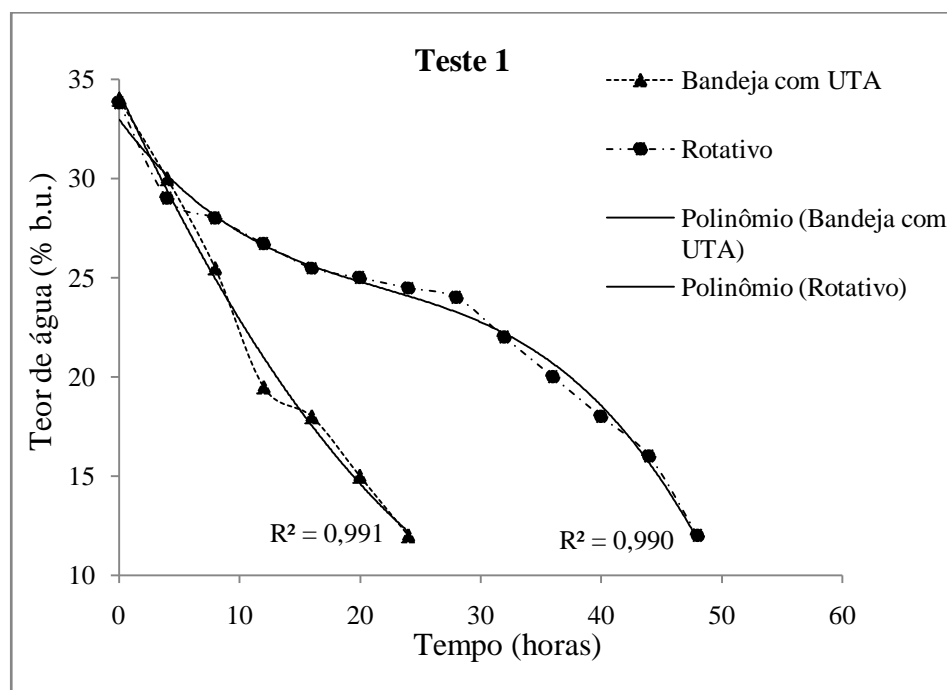


Figura 6 Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 1

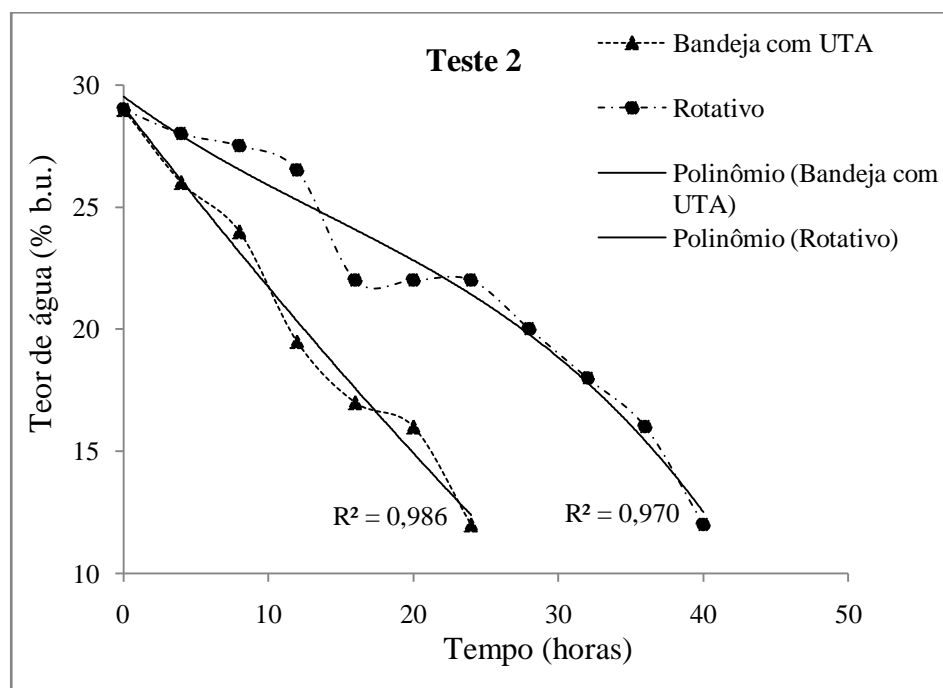


Figura 7 Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 2



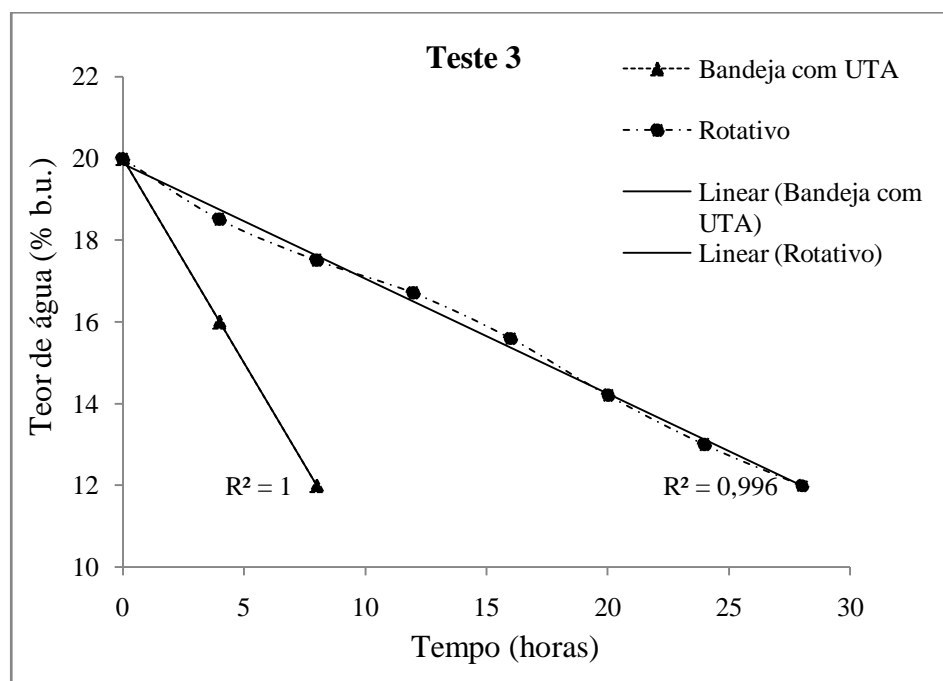


Figura 8 Curvas de secagem do café natural com o uso de secador de bandeja com UTA e secador rotativo, teste 3

Iniciando-se a secagem com valor próximo aos 34 % (b.u.) (teste 1), a secagem no rotativo teve duração de 48 horas enquanto que no secador de bandejas foi de 24 horas para reduzir o teor de água de aproximadamente 34% (b.u.) para a faixa entre 11 e 12% (b.u.). A perda de água por hora no secador rotativo foi de  $0,469\% \text{ (b.u.) h}^{-1}$ , enquanto que para UTA foi de  $0,95\% \text{ (b.u.) h}^{-1}$ . Quando iniciada a secagem com valores um pouco mais baixos, 29% (b.u.) (teste 2), a diferença entre os tempos de secagem, comparando os dois métodos foi de 16 horas, sendo 40 horas no rotativo e 24 horas no secador de bandeja com uso de UTA. As perdas percentuais por hora nos teores de água foi de 0,450 e 0,720, no secador rotativo e de bandeja com UTA respectivamente. No terceiro teste, iniciou-se a secagem com teores de água de 20% (b.u.), a diferença entre os tempos de secagem foi 20 horas, sendo 28 horas de operação no secador

rotativo, com uma taxa de remoção de água de  $0,317\%$  (b.u.)  $h^{-1}$ , e 8 horas de funcionamento do secador com UTA, retirando  $1,125\%$  (b.u.)  $h^{-1}$ . Observou-se em cada teste, por meio das curvas de secagem, que mesmo para teores de água abaixo de  $15\%$  (b.u.), a taxa de secagem se manteve constante. Esses resultados são contrários aos encontrados por outros autores, que afirmaram que conforme o grão perde água, a taxa de transporte interno torna-se menor que a evaporação superficial, reduzindo a taxa de secagem e causando, como consequência, o aquecimento da massa de grãos (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1974; FOUST et al., 1982; HALL, 1980; KREYGER, 1973; LASSERAN, 1978). Uma explicação para essa divergência de resultados, seria a utilização, por parte desses autores, de temperaturas de secagem mais elevadas que as usadas neste experimento.

Analisando-se o processo de secagem nos secadores mecânicos, é observado que ao final da secagem, abaixo de  $20\%$  (b.u.), a perda de água nos grãos de café ocorre de forma linear, nos dois métodos. Outro fator a ser considerado, é que por volta de 12 horas de operação, tanto no secador rotativo, como no de bandeja com UTA, ocorre diminuição na taxa de secagem, observado também para as 24 horas após o início da secagem no secador rotativo. Uma provável explicação para esse fato é que as condições ambientais durante a retomada da secagem, realizada na manhã do dia seguinte, eram inferiores às condições ambientais durante a tarde, resultando em menores taxas de secagem no início do dia. Alguns autores discutem que durante a noite, as temperaturas inferiores promovem o resfriamento da massa de café, sendo que no dia seguinte, durante os primeiros minutos, a massa tende a absorver energia necessária na forma de calor, para apenas depois voltar a perder água, porém o tempo entre o último turno de secagem do dia e o primeiro turno do dia seguinte era muito curto para ocorrer esse fenômeno, além dos grãos serem isolantes térmicos. Caso ocorresse esse fenômeno, seria mais bem contornado pela UTA,

que além de ejetar calor na massa, ainda proporciona aumento na taxa de secagem pela desumidificação do ar de secagem.

De forma geral, a secagem em secadores de bandeja com UTA apresentou maior taxa de secagem, portanto menor tempo de secagem e exposição do produto a fermentações depreciativas. Por outro lado, taxas de secagem elevadas podem causar problemas, pois a água sobtensão transmite uma força interna às paredes celulares, que possuem resistência e plasticidade limitadas, podendo ser desestabilizadas ou conduzidas ao colapso. A temperatura de secagem de 60 °C compromete as estruturas das membranas celulares que levam o café à fácil deterioração (AFONSO JÚNIOR, 2001; CORADI, 2006; MARQUES, 2006).

## **4.2 Caracterização da qualidade do café**

Os resultados das análises realizadas foram descritos e discutidos a seguir.

### **4.2.1 Análise sensorial e físico-química**

Na Tabela 3, são apresentadas as médias entre as notas dos três avaliadores, referentes aos atributos e nota total da análise sensorial dos cafés submetidos aos diferentes métodos de secagem. Observa-se que quando o café inicia a secagem com teores de aproximadamente 34% (b.u.) (teste 1), os cafés secados em terreiro e secador de bandeja com UTA apresentaram maiores médias de pontuação. Para os testes 2 e 3, com umidades iniciais menores, observa-se que o secador rotativo obteve maiores médias de pontuação. De forma geral, os valores encontrados nos três métodos, sugere que os mesmos, proporcionam a mesma qualidade sensorial, porém, a secagem em secador de

bandeja com UTA se assemelha mais aos valores de terreiro, quando comparados aos valores obtidos pela secagem em secador rotativo, sendo o comportamento observado em todos os testes realizados.

Segundo a escala de notas para avaliação sensorial de cafés especiais proposta pela SCAA (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA, 2009), o café com notas entre 80 e 84 pontos é considerado especial. No presente experimento, todos os cafés enquadraram-se nesse intervalo, sendo denominados cafés muito bons.

Tabela 3 Aspectos sensoriais do café natural submetido a diferentes métodos de secagem, obtidos pela média das notas de três degustadores

Mét. de secagem	Teste	Frag.	Sab.	Acid.	Corpo	Fin.	Equi.	Final	Total
Bandeja	1	7,83	8,00	7,33	7,33	7,67	7,67	7,33	83,17
Rotativo	1	7,17	7,33	7,00	7,33	7,00	7,17	7,00	80,00
Terreiro	1	7,67	7,83	7,67	7,67	7,67	7,33	7,33	83,17
Bandeja	2	7,17	7,50	7,00	7,17	7,00	7,17	7,00	80,00
Rotativo	2	7,50	7,67	7,33	7,67	7,33	7,33	7,33	82,17
Terreiro	2	7,17	7,67	7,33	7,33	7,67	7,33	7,33	81,83
Bandeja	3	7,50	7,67	7,33	7,33	7,33	7,33	7,17	81,67
Rotativo	3	7,67	7,33	7,33	7,67	8,00	7,67	7,33	83,00
Terreiro	3	7,17	7,67	7,00	7,33	7,5	7,67	7,33	81,50

Mét. de secagem: método de secagem; Frag.: fragrância; Sab.: sabor; Acid.: acidez; Fin.: Finalização; Equi.: equilíbrio.

O resultado desse experimento não se assemelhou aos encontrados na literatura, que associam a elevação da temperatura com a redução da qualidade da bebida (BORÉM et al., 2006; CORADI et al., 2007; MARQUES et al., 2008), assim, os valores de pontuação obtidos em rotativo seriam inferiores aos obtidos em bandeja e em terreiro devido a sua maior temperatura de trabalho, porém essa situação não foi observada, ocorrendo uma inversão nos testes 2 e 3, sendo o teste 1 o que mais se aproximou dos resultados encontrados na literatura,

associando a maior pontuação aos métodos que trabalham com menores temperaturas. O fato do produto ter iniciado a secagem, já com valores abaixo de 30% (b.u.), nos testes 2 e 3, provavelmente foi o que mais contribuiu para os resultados obtidos serem contrários aos esperados.

Os valores das análises físico-químicas realizadas para cada método de secagem e suas respectivas repetições encontram-se na Tabela 4. Observa-se na Tabela 4 que, de forma geral, o teste 3 obteve os piores resultados para todas as análises. Esse fato pode ser explicado pelo café do teste 3 ter sido levado à secagem já com valores mais baixos de umidade, 20% (b.u.), expondo assim o café às condições ambientais desfavoráveis durante a seca na planta, favorecendo a ocorrência de fermentações indesejáveis que promoverão a depreciação do produto. Ainda pela Tabela 4, verifica-se que a melhor qualidade foi obtida no primeiro e segundo testes para todos os métodos, evidenciando o segundo teste para o secador de bandeja e o primeiro teste para a secagem em terreiro.

Tabela 4 Valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável, enzima PFO e açúcares totais, obtidos pela média das duplicatas para cada teste de secagem

Mét. de secagem	Tes.	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Lixiviação de Potássio (ppm)	Acidez Titulável (ml NaOH 0,1N por 100g)	PFO (U/min/g)	Açúcares totais (%)
Bandeja	1	216,47	63,94	155,00	50,66	6,71
Rotativo	1	214,98	61,71	157,50	49,99	6,34
Terreiro	1	184,57	55,05	150,00	57,33	7,56
Bandeja	2	186,90	55,57	140,00	59,99	7,11
Rotativo	2	206,74	61,86	157,50	53,33	6,49
Terreiro	2	189,91	58,98	150,00	52,00	8,09
Bandeja	3	231,10	65,00	155,00	49,33	6,63
Rotativo	3	228,45	66,35	152,50	50,00	6,78
Terreiro	3	249,98	82,98	160,00	48,00	6,56

Mét. de secagem: método de secagem; Tes.: teste; PFO: polifenoloxidase.

Observando os dados da Tabela 4, no primeiro teste, os menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, que é desejável, foram obtidos na secagem em terreiro, enquanto os valores referentes ao secador rotativo e bandeja foram maiores e mais semelhantes. Para o segundo teste, os menores valores foram obtidos pelo secador de bandeja, que proporcionou valores menores que os do terreiro, porém muito semelhantes. Ainda no segundo teste os valores referentes à secagem em rotativo foram os mais elevados, provavelmente, consequência de maiores danos térmicos e físicos, o que já era esperado. Para o terceiro teste, os menores valores foram encontrados na secagem mecânica, enquanto os piores foram registrados no terreiro. Os maiores valores encontrados no terreiro certamente tiveram influência direta dos efeitos climáticos, visto que, durante o terceiro teste houve dias que ocorreram

pequenas precipitações. Em trabalho, Isquierdo (2008) observou valores parecidos com os obtidos neste trabalho para condutividade e lixiviação, mesmo trabalhando com café cereja desmucilado.

Os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio têm se apresentado como indicadores da relação entre a desorganização das membranas celulares e a perda de constituintes dos grãos (MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005; PRETE, 1992). Estes atributos apresentam correlação negativa em relação à qualidade da bebida do café, em que o aumento da quantidade de exsudados corresponde à perda de qualidade do produto (COELHO; PEREIRA; VILELLA, 2001; CORADI et al., 2007; REINATO et al., 2007).

Para sementes, o aumento da condutividade elétrica resulta em perda de vigor e de potencial germinativo, podendo o teste ser utilizado para inferir sobre processos de deterioração.

Com o avanço deste processo, as primeiras alterações que ocorrem são os danos nas paredes celulares e nas membranas, resultando em peroxidações de lipídios, comprometendo, assim, a qualidade fisiológica. Tais compostos acarretam avanço da deterioração das estruturas de membranas, refletindo em um processo de ruptura celular, sendo que, de acordo com Lima et al. (2008), quanto maiores os danos em membranas, maior quantidade de eletrólitos é liberada na solução, resultando em maiores valores de CE e LK.

Coradi et al. (2007) e Borém (2008) verificaram que o aumento da temperatura de secagem causa danos ao sistema de membranas das células dos grãos de café, aumentando a condutividade elétrica do exsudado dos grãos, assim, a princípio, a utilização de baixas umidades do ar de secagem permitem o trabalho com menores temperaturas, contornado o problema e mantendo boa taxa de secagem. Esses autores afirmam também que, com o extravasamento dos ácidos graxos presentes no interior celular devido à desorganização ou rompimento das membranas citoplasmáticas, podem ocorrer reações oxidativas

ou reações catalíticas com produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial da bebida do café.

Isquierdo (2011) observou que, independentemente do momento da análise, após a secagem ou depois do armazenamento, os cafés que foram secados à temperatura de 35 °C têm valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio menores em comparação com os dos cafés que foram secados à temperatura de 45 °C. Os cafés submetidos à temperatura de secagem de 40 °C têm valores intermediários, indicando a tendência do aumento da condutividade elétrica e lixiviação de potássio com o aumento da temperatura.

De acordo com Malta, Pereira e Chagas (2005), qualquer fator que altere as estruturas da membrana, como infestação de insetos-pragas e de microrganismos podem causar alterações fisiológicas, danos mecânicos e térmicos, e provocar rápida deterioração dos grãos de café. Essas alterações provocam reações que modificam a composição química original do grão e, em consequência, alteração nas suas propriedades sensoriais e fisiológicas. Nesse sentido, a utilização da UTA, que permite o uso de baixas temperaturas com boas taxas de secagem pode ser uma alternativa.

Para a acidez titulável (Tabela 4), os valores que melhor caracterizaram os cafés com melhor qualidade foram resultantes da secagem em secador de bandejas e terreiro, enquanto os piores foram observados no secador rotativo nos testes um e dois. Para o teste três, os valores encontrados na secagem em terreiro foram os maiores, visto que foram expostos a condições ambientais desfavoráveis e maiores tempos de secagem. Os valores encontrados nos três testes foram parecidos com os encontrados por Taveira (2009). Elevados níveis de acidez titulável, geralmente, estão associados à pior qualidade da bebida por causa da ocorrência de fermentações indesejáveis e do aumento do número de defeitos (FRANCA et al., 2005). Baixas taxas de secagem, quando o café apresenta elevado teor de água, podem permitir a ocorrência de fermentações,



causando o aumento da acidez titulável total. Afonso Junior (2001) observou o aumento da acidez titulável no café natural em função da fermentação da mucilagem sobre a acidificação dos grãos.

Os teores de açúcares totais foram visivelmente muito semelhantes para os três métodos de secagem, com maiores valores, que é desejável, encontrados na secagem em terreiro, enquanto o menor valor foi observado no rotativo para os testes um e dois. Mesmo sendo os resultados semelhantes, a secagem em secador de bandeja foi a que obteve a menor diferença para a secagem em terreiro, que é a mais usada hoje no Brasil e que tomamos como referência quando realizada de forma correta. Para o teste 3, os valores foram ainda mais parecidos, porém com média menor aos dois testes anteriores causado por condições desfavoráveis de secagem. Estes resultados encontrados nos três testes, são semelhantes àqueles obtidos por Marques (2006) e Ribeiro (2003), que observaram maiores valores de açúcares nos cafés secados com temperaturas de secagem mais baixas, correspondendo aos menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, indicadores da integridade das membranas celulares.

Quando os frutos de café são submetidos à secagem lenta, ocorre o acúmulo de açúcares não redutores, como a sacarose, que podem estabilizar membranas e proteínas em sementes secas ou promover a formação de uma fase vítrea no citoplasma, mantendo a qualidade fisiológica das sementes (GUIMARÃES et al., 2002; WOLKERS et al., 1998).

Nos resultados apresentados na Tabela 4, referentes à enzima PFO, observa-se maiores valores nos cafés que foram secados no terreiro e secador de bandejas nos testes 1 e 2 respectivamente, enquanto os menores foram encontrados na secagem em rotativo e terreiro também nos testes 1 e 2 respectivamente. Para o terceiro teste, o maior valor foi observado no rotativo, enquanto o pior no terreiro. De forma geral, a média dos valores obtidos no

terceiro teste caracteriza um café de qualidade inferior aos obtidos pela média dos testes 1 e 2, assim como ocorreu para outras variáveis analisadas. Para Amorim e Silva (1968), os compostos fenólicos exercem ação protetora, antioxidante dos aldeídos. Em virtude de qualquer condição adversa aos grãos, ou seja, colheita inadequada, problemas no processamento e armazenamento, as polifenoloxidasas agem sobre os polifenóis, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos, facilitando a oxidação destes com interferência no sabor e aroma do café após a torração. Os mesmos autores observaram, em seus estudos, maior atividade da polifenoloxidase nos cafés de melhor bebida.

Segundo Carvalho et al. (1994), a determinação da atividade da PFO permite avaliar, objetivamente, a qualidade do café, podendo por essa razão, ser um método auxiliar na avaliação da qualidade da bebida normalmente realizada através da “prova de xícara”.

De forma geral, observando os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que os valores que melhor caracterizaram os cafés de melhor qualidade foram aqueles obtidos em que os grãos foram secados no secador de bandejas com UTA e no terreiro, sendo os secados em secador rotativo os que resultaram nos piores valores em se tratando de qualidade. Podemos também observar que, devido a sua maior exposição a condições desfavoráveis de secagem e menor umidade inicial, o terceiro teste obteve valores que o caracterizam com a menor qualidade entre os testes.

Em virtude da dificuldade de interpretar e relacionar o grande número de dados das características sensoriais e físico-químicas do café aplicou-se a Análise de Componentes Principais (ACP), tornando possível a visualização da relação entre o tipo de secagem e essas características.

#### 4.2.2 Análise de componentes principais

Com o objetivo de verificar a relação entre os métodos de secagem, estudando a relação e discriminação das variáveis sensoriais e de secagem, procedeu-se com o uso da análise de componentes principais. Esta análise tem o objetivo de melhor compreender o efeito dos fatores investigados. Quando se utiliza análise multivariada para reduzir variáveis, considera-se adequada, para a sua realização, uma variabilidade acumulada acima de 70%. Por outro lado, quando o objetivo da análise é discriminar grupos, como é o caso deste experimento, considera-se adequado para a sua realização uma variabilidade acumulada acima de 60% (REINATO et al., 2012).

As estimativas dos coeficientes para cada variável encontram-se descritas na Tabela 5.

Tabela 5 Estimativas dos coeficientes utilizados no cálculo dos escores dos dois primeiros componentes referente às variáveis secagem e sensorial

<b>Variável</b>	<b>Primeiro Componente (44,1%)</b>	<b>Segundo Componente (28,3%)</b>
Temp. ar de secagem	-0,198	-0,605
Temp. da massa	-0,216	-0,585
Fragrância e aroma	0,405	-0,358
Sabor	0,332	0,225
Acidez	0,440	-0,104
Corpo	0,335	-0,317
Nota final	0,466	-0,039
Equilíbrio	0,343	-0,018

Em função dos resultados descritos na Tabela 5, nota-se que os dois primeiros componentes restituíram 72,4% da variação amostral, sendo esse um

número expressivo em relação à qualidade de ajuste ao utilizar os dois primeiros componentes para sintetizar a informação dada pelas variáveis originais. Outro resultado importante dar-se-á no fato de que os dois componentes discriminam os tipos de secagem, uma vez que a maioria das variáveis apresentam sinais opostos.

Os resultados observados na Tabela 5 indicam que as variáveis, cujas contribuições tiveram maior importância para a formação do primeiro componente foram nota final da bebida e acidez, ambas obtidas pela prova de xícara.

Em relação ao segundo componente, destacaram-se as variáveis temperatura do ar de secagem e da massa de grãos como variáveis que mais influenciaram na formação deste componente. Desta forma, com base nesses resultados, o gráfico dos escores e o biplot das variáveis são ilustrados nas Figuras 9 e 10.

Nas Figuras 9 e 10, o ângulo formado pelos vetores corresponde à correlação entre os vetores (Figura 10), representando as variáveis estudadas. Quanto menor o ângulo entre os vetores, maior a correlação entre as referidas variáveis. Já a representação da interação dos tratamentos é dada por pontos (Figura 9). Quanto mais próximo um ponto do outro, maior a similaridade entre os valores das variáveis estudadas.

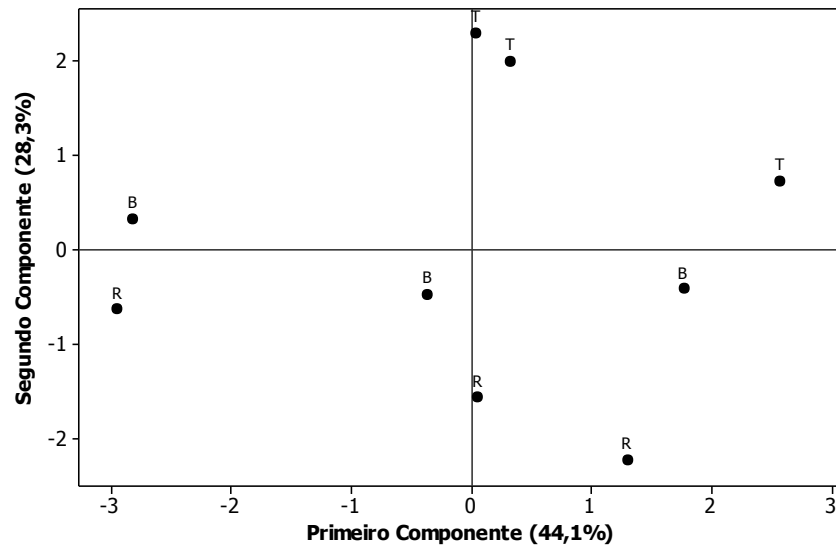


Figura 9 Gráfico dos escores para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e secagem. T- terreiro; B- bandeja com UTA; R- rotativo

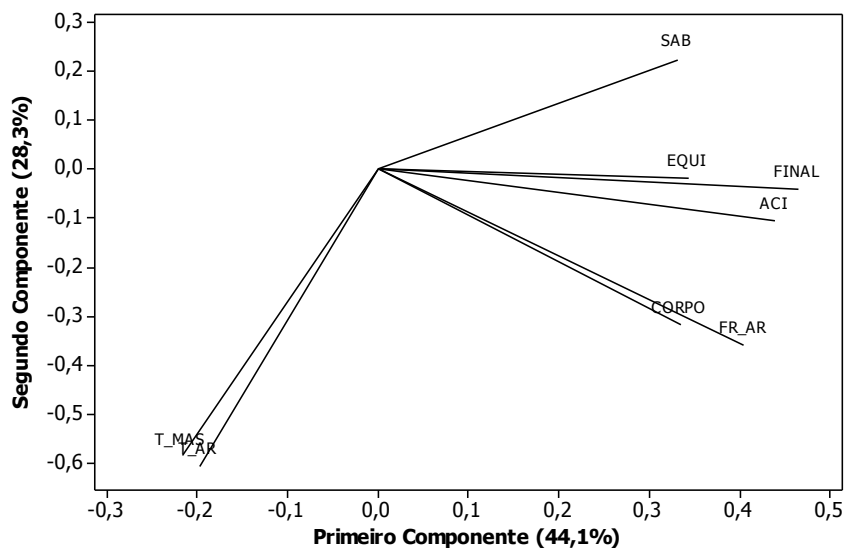


Figura 10 Biplots para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e secagem

Legenda: SAB- sabor; EQUI- equilíbrio; FINAL- nota final da bebida; ACI- acidez; FR\_AR- fragrância e aroma; T\_MAS- temperatura da massa; T\_AR- temperatura do ar de secagem.

Observando simultaneamente os resultados ilustrados nas Figuras 9 e 10, as variáveis que melhor indicaram a caracterização dos métodos de secagem em relação aos atributos sensoriais, foram sabor, equilíbrio e nota final para o terreiro (T ver 1º Quadrante). Para os demais métodos, percebe-se que as variáveis corpo, fragrância e aroma representam melhor a posição para o método rotativo. Com relação a variáveis de secagem, temperatura da massa e do ar de secagem, o segundo componente diferencia os métodos bandeja e rotativo, sendo o último com as piores características sensoriais.

Os vetores que representam a temperatura da massa e temperatura do ar de secagem apresentaram um pequeno ângulo entre eles, com alta correlação. Os vetores de corpo, fragrância e aroma apresentaram uma pequena angulação, o

que indica que os valores dessas variáveis têm comportamento similar em função das variáveis estudadas, ou seja, alta relação. Os mesmos pequenos ângulos ocorrem para equilíbrio, nota final e acidez, demonstrando ter comportamento similar.

Em se tratando das variáveis sensoriais relacionadas às variáveis físico-químicas, as estimativas dos coeficientes utilizadas na composição dos componentes principais, encontram-se descritas na Tabela 6.

Tabela 6 Estimativas dos coeficientes utilizados no cálculo dos escores dos dois primeiros componentes das variáveis sensoriais e fisiológicas

<b>Variável</b>	<b>Primeiro Componente (40,6%)</b>	<b>Segundo Componente (33,3%)</b>
Cond. Elétrica	-0,503	-0,155
Acidez titulável	-0,436	-0,267
Polifenoloxidase	0,462	0,235
Açúcares Totais	0,448	-0,025
Fragrância e aroma	0,094	-0,511
Sabor	0,177	-0,366
Acidez	0,309	-0,457
Nota final	0,076	-0,495

Seguindo os resultados descritos na Tabela 6, a proporção de variação amostral explicada pelos dois primeiros componentes é aproximadamente 73,9%, sendo um bom indicativo da simplificação das variáveis originais, ao utilizar esses componentes. Decorrente a esse indicativo, procedeu-se com a análise dos escores e variáveis, conforme as Figuras 11 e 12.

Nota-se ainda pela Tabela 6 que as variáveis que tiveram maior importância para a composição do primeiro componente são condutividade elétrica e enzima polifenoloxidase, sendo a lixiviação de potássio não incluída devido ao comportamento semelhante ao da condutividade, como também

relatado por Reinato et al. (2012). Isso ocorre porque ambos os testes avaliam os danos provocados na integridade da membrana celular do grão de café. Quanto maiores forem as injúrias ocorridas nos grãos, maiores serão os valores de condutividade elétrica. Por outro lado, como o potássio é o íon presente em maior quantidade na parede celular, quanto maior os níveis de injúrias no grão, maiores também serão os valores de potássio presentes no exsudato lixiviado. Em vários trabalhos, o comportamento do teste de condutividade elétrica tem se mostrado bastante semelhante ao do teste de lixiviação de potássio (LOPES, 2000; REINATO, 2003; RIBEIRO, 2003). Neste trabalho, confirmou-se essa correlação entre essas variáveis por meio de uma análise de componentes principais.

Já para o segundo componente, maiores contribuições foram dadas pelas variáveis fragrância e aroma e nota final da bebida.

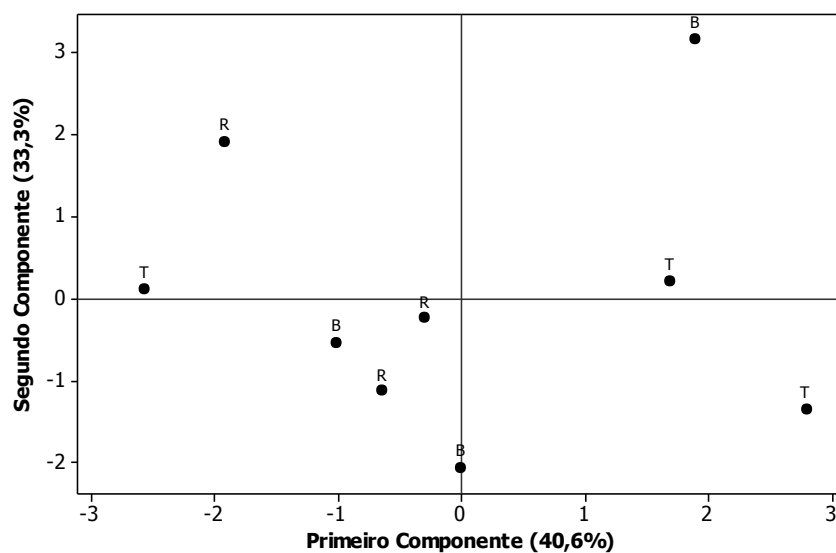


Figura 11 Gráfico dos escores para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e fisiológicas

Legenda: T- terreiro; B- bandeja com UTA; R- rotativo.



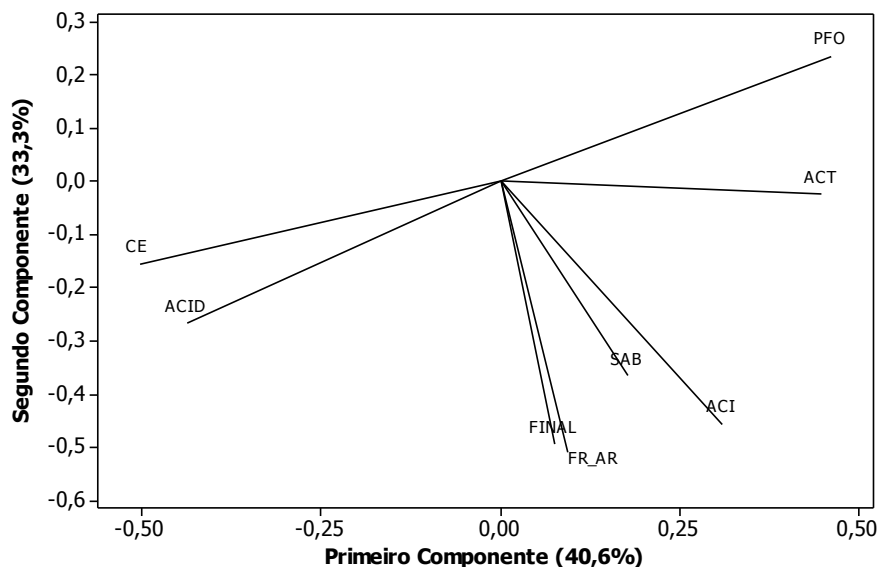


Figura 12 Biplots para os dois primeiros componentes principais utilizados na discriminação dos tipos de secagem em relação às variáveis sensoriais e fisiológicas

Legenda: CE- condutividade elétrica; ACID - acidez titulável; FINAL - nota final; ACI - acidez; FR\_AR - fragrância e aroma; SAB - sabor; ACT - açúcares totais; PFO – polifenoloxidade.

Observando simultaneamente os resultados ilustrados nas Figuras 11 e 12, nota-se que a condutividade elétrica e acidez titulável foram as variáveis que contribuíram para maior diferenciação da secagem em bandeja e rotativo em relação ao terreiro. Sabor, acidez e açúcares totais caracterizaram o terreiro como o melhor método.

Os vetores de condutividade e acidez titulável apresentam uma pequena angulação, o que indica que os valores dessas variáveis têm comportamento similar em função das variáveis estudadas, ou seja, alta relação. Esse fato pode ser explicado pelas duas variáveis estarem relacionadas à depreciação da bebida.

Atividade da enzima polifenoloxidase e açúcares totais também apresentam pequenos ângulos entre os vetores, mostrando estarem relacionadas. Seus vetores possuem sentidos opostos aos vetores de condutividade elétrica e acidez titulável, já que seus valores provocam efeitos contrários na qualidade da bebida.

#### 4.2.3 Análise de cor dos grãos de café beneficiado

A cor é uma das características que varia de acordo com a qualidade dos grãos de café afetando, conseqüentemente, o preço final do produto. Segundo Borém (2008), as alterações na cor indicam processos oxidativos e transformações bioquímicas de natureza enzimática, que irão influenciar negativamente o sabor e o aroma da bebida.

A análise de variância dos valores  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (Anexos 1A, 2A e 3A), determinados pelo aparelho SAS, indicam que os métodos de secagem empregados não causaram efeitos significativos sobre a cor do café beneficiado. Na Tabela 7, estão apresentados as médias dos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  obtidas pelos três métodos de secagem.

Tabela 7 Médias dos valores  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  de grãos de café submetidos aos diferentes métodos de secagem

Método de secagem	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Bandeja com UTA	51.26 a	-2.01 a	24.29 a
Rotativo	51.79 a	-2.10 a	24.67 a
Terreiro	51.74 a	-1.96 a	24.49 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A coordenada  $L^*$  para alguns autores é a mais importante a ser analisada, a qual está associada à luminância, variando de 0 (preto) a 100 (branco), indicando menor ou maior branqueamento do produto.

Pelos valores médios, observa-se que os valores de  $a^*$  foram baixos, indicando uma coloração verde, o que é desejável, e se afastando da coloração vermelha, indesejável. O mesmo ocorreu para a coordenada  $b^*$ , se aproximando da coloração azul e afastando da coloração amarela. Na literatura, encontram-se relatos que associam a coloração azulada a cafés de melhor qualidade em relação àqueles com coloração amarela (CORREA; AFONSO JÚNIOR; PINTO, 2002).

Observando os dados da Figura 13, pode-se afirmar que a secagem no secador de bandejas foi a que proporcionou maior uniformidade de cor entre as repetições, determinada pelos valores da coordenada  $a^*$ . No terreiro houve maior uniformidade para os valores de  $L^*$  e  $b^*$  e uma causa possível é o fato de que neste método, ocorre exposição da massa a menores temperaturas e maiores tempos de secagem. Porém vale ressaltar que esse método é mais passível de ocorrências de fermentações indesejáveis, o que pode afetar a qualidade dos grãos, com variações na coloração dos mesmos.

O secador rotativo foi o que provocou as maiores variabilidades nos parâmetros de cor dos grãos, provavelmente devido as mais altas temperaturas do ar de secagem utilizadas neste método e também pelos danos físicos promovidos pelo revolvimento da massa dentro do secador, com prováveis danos estruturais, mesmo não sendo observadas diferenças significativas.

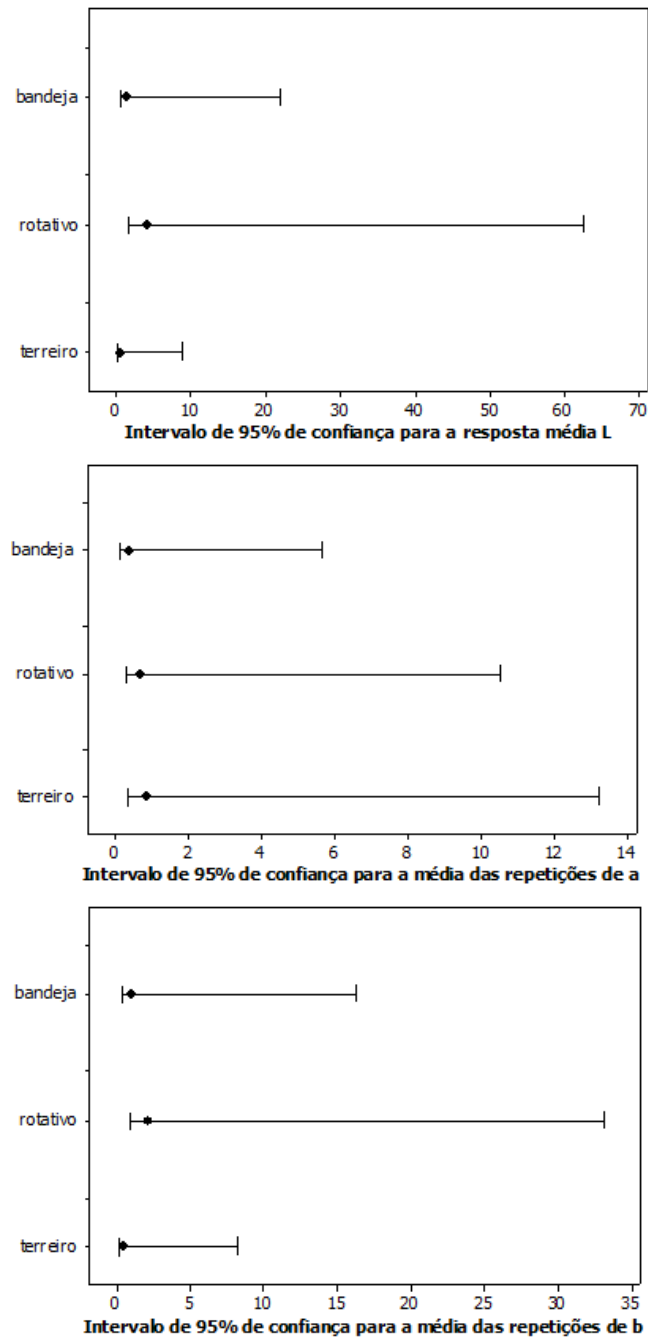


Figura 13 Intervalos de confiança das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  dos grãos de café, obtidos com os valores médios dos três testes

#### 4.2.4 Sistema de Análise de Sementes

A fim de verificar se o SAS oferece resultados equivalentes aos obtidos do colorímetro Konica Minolta, o mais usado em determinação de cores, comparou-se os resultados das coordenadas CIELab dos grãos de café obtidos pelos dois métodos.

Na análise de variância dos resultados das três coordenadas (Anexos 4A, 5A e 6A), observa-se que não houve diferenças significativas entre os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , obtidos nos aparelhos SAS e Konica Minolta. Sendo assim, é possível afirmar que o SAS reproduziu os valores encontrados pelo colorímetro.

Na Tabela 8, encontram-se os valores médios fornecidos pelos aparelhos. Outro resultado verificado na análise de variância foi a significância ocorrida entre os valores de  $L^*$  e  $a^*$  de grãos submetidos à secagem por meio dos diferentes métodos.

Na Tabela 9, apresentam-se as médias das coordenadas de cor, obtidas em cada método de secagem. Verifica-se que na secagem em secador rotativo, foram obtidos frutos de coloração mais clara quando comparados com os secados em terreiro. Esse fato pode ter acontecido devido à ocorrência de altas temperaturas no secador rotativo ou ainda ao próprio desgaste da casca do fruto durante seu revolvimento contínuo no interior deste secador, ou até mesmo algum dano no endosperma. Já para a coordenada  $a^*$ , o método em que os grãos apresentaram coloração mais afastada da cor vermelha indesejável, foi o secador rotativo.

Tabela 8 Médias de L\*, a\* e b\* (SAS) de grãos de café

Equipamento	L*	a*	b*
SAS	18.687389 a	4.999889 a	6.333806 a
Minolta	20.473704 a	4.491111 a	20.374444 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 9 Médias de L\*, a\* e b\* (SAS) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem

Método de secagem	L*	a*	b*
Bandeja	18.575403 ab	5.428333 a	24.674625 a
Rotativo	22.148083 a	3.551014 b	7.709889 a
Terreiro	18.018153 b	5.257153 a	7.677861 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Pela Figura 14, observa-se para os valores de L\* uma menor variabilidade, quando obtido pelo colorímetro para secagem mecânica, enquanto que na secagem em terreiro, o SAS apresentou menor variabilidade, o que é desejável. Analisando apenas os métodos de secagem, nota-se que no secador rotativo houve uma maior variabilidade quando comparado aos outros métodos, seja quando os valores foram obtidos pelo colorímetro ou pelo SAS. Observa-se que a secagem em secador de bandeja obteve valores da coordenada L\* mais uniformes e semelhantes às obtidas pelo terreiro.

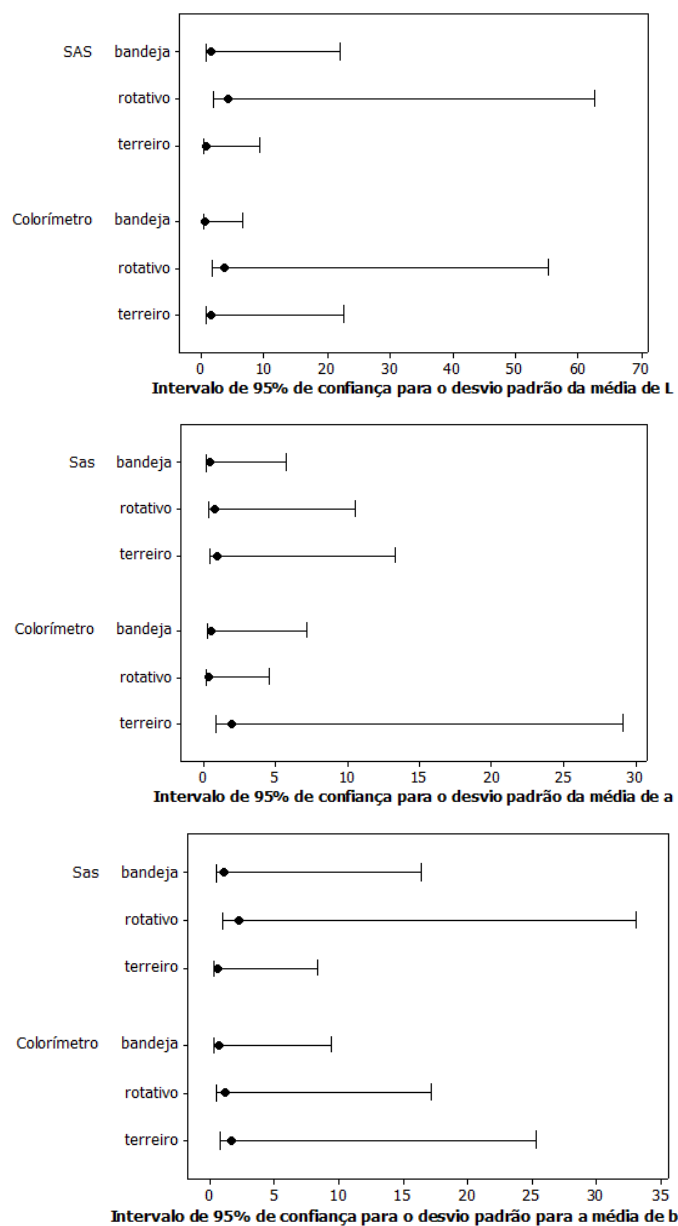


Figura 14 Intervalos de confiança para os desvios das médias de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$

Para a coordenada  $a^*$ , verifica-se que no SAS foi obtida uma boa uniformidade entre os valores obtidos pelos três métodos de secagem. Na determinação pelo colorímetro, houve menores variabilidades na secagem mecânica, sendo que o café seco em terreiro mostrou uma grande desuniformidade nos valores da coordenada  $a^*$ . Para os dois aparelhos usados, as variabilidades da coordenada  $a^*$  foram menores nos métodos mecânicos quando comparado com a secagem em terreiro.

A coordenada  $b^*$  determinada pelo colorímetro apresentou menores variabilidades na secagem mecânica. Já no SAS, foi obtida maior uniformidade nos grãos secados em terreiro, e a secagem em secador de bandeja foi a que mais se assemelhou.

De forma geral, os grãos submetidos à secagem mecânica, que tiveram as coordenadas extraídas pelo colorímetro, apresentaram resultados mais uniformes, enquanto que para o método de secagem em terreiro, a utilização do SAS teve maiores uniformidades. Quanto aos métodos de secagem, a secagem em bandeja foi a que promoveu uniformidades mais semelhantes ao terreiro, e em algumas vezes até superior ao mesmo.

Pela análise de variância das características físicas, tais como, diâmetro máximo, circularidade, esfericidade, área e perímetro (Anexos 7A, 8A, 9A, 10A e 11A), não houve influência do método de secagem, exceto da esfericidade, enquanto que o tipo de café, em coco ou beneficiado afetou todas as características, como já era esperado por se tratar de produtos tão diferentes. Vale a pena ressaltar que as condições climáticas influenciaram diretamente as características de forma e tamanho do produto na safra de 2014, devido à seca ocorrida nas diversas regiões do país.



Tabela 10 Médias de diâmetro máximo (DM), circularidade (C) e esfericidade da forma (E) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem

Métodos de secagem	DM	C	E
Bandeja com UTA	1.053333 b	0.760125 ab	15.751792 a
Rotativo	1.073333 ab	0.773250 a	17.148250 a
Terreiro	1.087917 a	0.750583 b	16.080925 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 11 Médias de diâmetro máximo (DM), circularidade (C) e esfericidade da forma (E) de grãos de café submetidos a diferentes métodos de secagem

Tipo de café	DM	C	E
Beneficiado	0.837778 b	0.747528 b	14.894278 b
Coco	1.305278 a	0.775111 a	7.759700 a

As médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem por Tukey a 5%.

Observa-se na Tabela 10, que os maiores valores de diâmetro foram obtidos nos grãos secados no terreiro, e os menores no secador de bandeja. Segundo McMinn e Magee (1997), a explicação para tal fato pode estar nas modificações estruturais e celulares do produto, devido à retirada de água durante o processo de secagem. A secagem no secador de bandeja proporcionou maiores taxas de secagem, portanto, maior o risco de ocorrer modificações estruturais nos grãos, sendo que no terreiro a secagem em temperaturas e taxas menores propiciaram aos grãos maior integridade estrutural.

Na Tabela 11, observa-se que o valor médio de diâmetro máximo para café em coco foi de 1,30 cm, muito próximo à média de 1,29 cm encontrada por Corrêa, Afonso Júnior e Pinto (2002), utilizando café Catuaí com teor de água de 12%. Magalhães (2000) trabalhando com café da variedade Catuaí com teor de umidade de 12,6%, também obteve valores do diâmetro máximos de 1,23 cm.

Para café beneficiado, a média encontrada foi de 0,83 cm, muito próxima da média de 0,84 cm encontrada por Pereira et al. (2013).

Os valores médios encontrados para circularidade foram maiores nos grãos da secagem em rotativo e menores nos grãos do terreiro. As médias de circularidade para café em coco foram de 77,51%, valores parecidos foram relatados por Corrêa, Afonso Júnior e Pinto (2002) com café Catuaí (12% b.u.), com circularidade de 78,76%. Valores de 74,75% foram encontrados para café beneficiado, próximo à faixa de 74,01% a 83,28 % encontrado por Pereira et al. (2013), trabalhando com diferentes variedades de café.

A esfericidade da forma obtida pelo SAS é uma característica que complementa a circularidade e define o quão circular é o objeto. Quanto mais próximo do valor de 12,56 mais o objeto se aproxima da forma da circunferência. Os métodos de secagem não causaram efeito significativo sobre esta característica, mas como já esperado, o tipo de café causou. Assim como a circularidade e o diâmetro, a esfericidade é uma importante propriedade, e é utilizada para dimensionamento de silos e projetos de máquinas agrícolas.

Verifica-se na Figura 15, que o café beneficiado teve valores mais uniformes de diâmetro máximo, com variabilidade baixa entre os métodos de secagem, principalmente nos grãos do secador de bandeja. Quando se analisa o café em coco, a variabilidade aumenta em todos os métodos de secagem, porém nos grãos do terreiro foram obtidos maiores intervalos.

Quanto à circularidade, não ocorreu um padrão nos grãos dos diferentes métodos de secagem e tipos de café. Para os secadores rotativo e terreiro, o café em coco obteve valores mais uniformes, enquanto que no bandeja, o mesmo foi observado para o café beneficiado.

A esfericidade ocorreu de forma semelhante ao diâmetro, em que os valores do café beneficiado obtiveram melhores precisões, enquanto que nos cafés em coco os valores foram mais desuniformes.

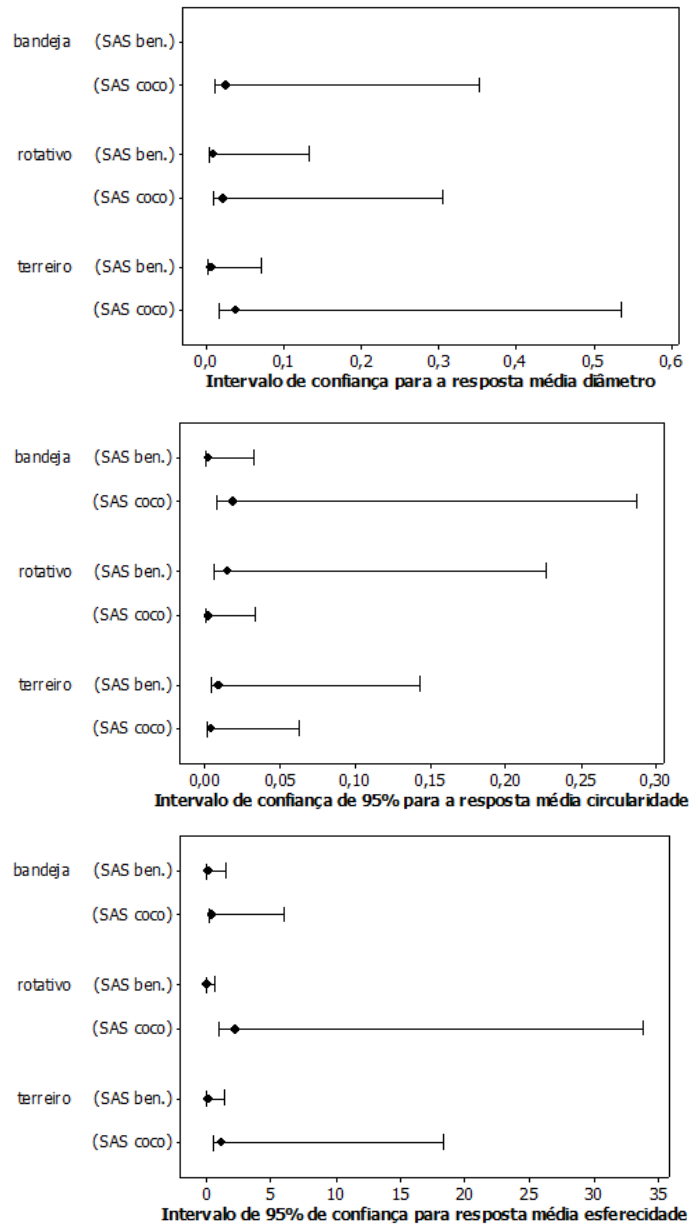


Figura 15 Intervalo de confiança para diâmetro máximo, circularidade e esferecidade

Para área projetada e perímetro, a análise de variância mostrou haver interação significativa entre os métodos de secagem e tipos de café. Na Tabela 12, observa-se que para cafés beneficiados, o tipo de secagem não influenciou nos valores das áreas, sendo que o mesmo ocorreu para o perímetro (Tabela 13). Para café em coco, obteve-se maiores valores de área para secagem em rotativo e terreiro, que não se diferenciaram, seguido por bandeja. Enquanto para o perímetro, o maior valor observado foi no rotativo, seguido de terreiro e bandeja.

Dentro de cada método de secagem, tanto para área, quanto para perímetro, os tipos de café se diferenciaram, o que já era esperado devido às diferenças geométricas entre a drupa e a semente.

Tabela 12 Valores médios das áreas em função do método de secagem e tipo de café

Método de secagem	Tipo de café	
	beneficiado	coco
Bandeja com UTA	0.404167 aB	0.993333 bA
Rotativo	0.418333 aB	1.090000 aA
Terreiro	0.413333 aB	1.065833 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 13 Valores médios dos perímetros em função do método de secagem e tipo de café

Método de secagem	Tipo de café	
	beneficiado	coco
Bandeja com UTA	2.439167 aB	4.024167 cA
Rotativo	2.484167 aB	4.467500 a A
Terreiro	2.474167 aB	4.230000 b A

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Analisando a Figura 16, observa-se que os valores de área e perímetro para café beneficiado foram precisos, com variabilidade baixa. Para café em coco, os intervalos de confiança aumentaram, ficando mais evidente para o terreiro quando investigado a área e para rotativo quando investigado o perímetro.

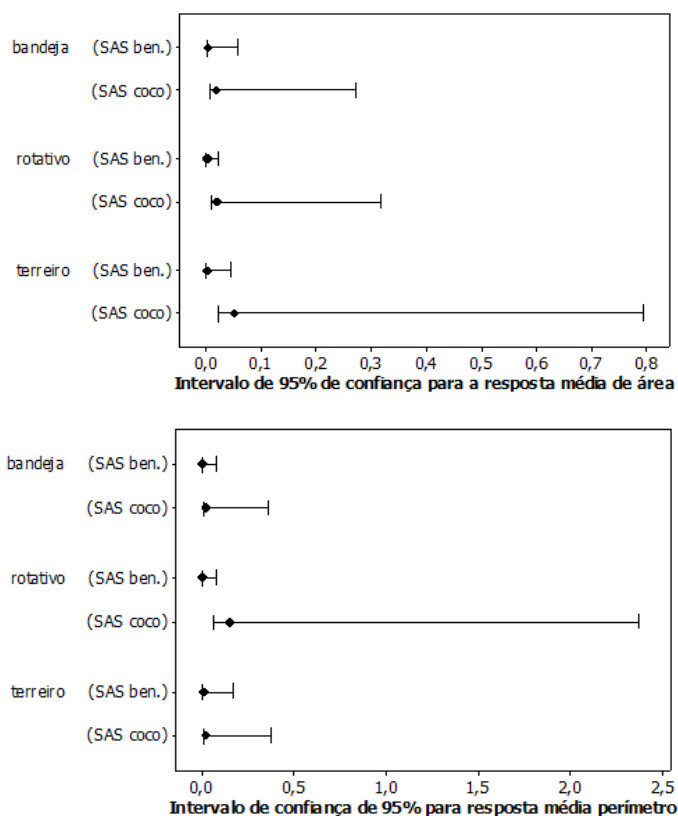


Figura 16 Intervalo de confiança para área projetada e perímetro

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este trabalho foi inicialmente planejado para ser executado em delineamento de misturas. No entanto, um novo planejamento foi feito, tendo em vista questões operacionais e práticas, de infraestrutura de secagem existente e em instalação na propriedade onde a colheita e secagem foram realizadas. Houve necessidade de adequação dos experimentos à intensa atividade no momento da colheita e recepção do café. Buscou-se reproduzir as condições de operações de colheita, processamento e secagem que normalmente são desenvolvidas na fazenda, buscando assim obter respostas as mais próximas possíveis da realidade do produtor.

No entanto, independentemente das dificuldades encontradas, ressalta-se a importância de estudos sobre a secagem de café, desta natureza e escala de grandeza, em propriedades cafeeiras, que reflitam a realidade das operações de colheita e pós-colheita. Por esse motivo, se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas que estabeleçam maior padronização da matéria prima e dos procedimentos pós-colheita, com o objetivo de possuir maior controle e diminuir efeitos danosos sobre o produto final.

Nesta investigação sobre os diferentes métodos de secagem utilizados, os cafés obtidos foram submetidos às análises de qualidade imediatamente após os tratamentos de secagem. Estes cafés ficarão armazenados durante seis meses e serão novamente analisados, sendo possível detectar possíveis danos causados aos grãos, pelas condições de secagem, os quais podem não ter sido detectados logo após a secagem, mas sim após um período de armazenamento, devido ao processo natural de deterioração. Análises complementares de avaliação da qualidade dos cafés serão realizadas, tais como atividade de isoenzimas do processo deteriorativo e perfil de ácidos graxos e de carboidratos.

Os resultados deste primeiro estudo de secagem em grande escala, de grãos de café em secador de baixa umidade relativa do ar e temperatura de secagem mais baixa do que as normalmente utilizadas dão indícios de que o secador de bandeja com UTA poderá complementar e/ou substituir o terreiro e secadores mecânicos. Esta possibilidade é de grande interesse para a cafeicultura brasileira. No Brasil, os cafés são secos, com frequência, em terreiros, que geralmente não asseguram a higiene e a ausência de fungos que possam degradar os grãos, com riscos, ainda, de gerar toxinas perigosas à saúde. Além disto, o uso de secadores com ar aquecido pela queima da madeira pode colocar em risco a preservação de florestas e recursos naturais e, também gerar a emissão de gases de efeito estufa, comprometendo a biodiversidade. Assim, os resultados desta pesquisa são promissores e de grande interesse, principalmente para o Brasil, líder absoluto na produção mundial, cuja produção tem elevada importância socioeconômica, seja pela fonte de renda, participação na receita cambial, formação de capital e, principalmente, pela expressiva capacidade de absorção de mão de obra.

Para trabalhos futuros, merecem ser destacadas algumas sugestões: 1) Com objetivo de diminuir os efeitos de cultivares e variedades sob a qualidade final do produto, sugere-se trabalhar apenas com uma cultivar. 2) Com objetivo de diminuir os efeitos das intempéries e danos causados durante a perda excessiva de água do produto na lavoura sobre a qualidade do produto, assim como melhor identificar o potencial dos métodos de secagem, sugere-se trabalhar com cafés com teores de água na faixa de 55 a 65% (b.u.), possibilitando fazer combinação entre os métodos. 3) Com objetivo de diminuir os efeitos da colheita sobre a qualidade final do produto, sugere-se trabalhar apenas com cafés colhidos manualmente, que tenham passado por separação hidráulica. 4) Com objetivo de otimizar as respostas, se faz necessária a realização de mais repetições. 5) Com objetivo de diminuir os efeitos do

beneficiamento mecânico sobre a qualidade final do produto, sugere-se trabalhar apenas com cafés que tenham sua casca e pergaminho retirados manualmente.

Por fim, vale a pena ressaltar que o objetivo do trabalho não foi obter cafés de melhor qualidade, e sim, caracterizar os métodos de secagem e qualidade dos cafés obtidos, mostrando ao produtor o potencial de cada método de secagem, em especial do método de secagem em secador de bandeja com utilização de unidade de tratamento de ar.



## 6 CONCLUSÕES

- a) Pode-se obter maior taxa de secagem, em café natural, utilizando-se o sistema de bandeja e acondicionamento do ar por meio de UTA, em comparação com a secagem em secadores rotativos ou terreiros, sem o comprometimento da qualidade do produto;
- b) Mesmo com valores semelhantes de temperatura do ar de secagem, o sistema secador de bandejas/UTA proporciona maior velocidade de secagem em comparação com secadores rotativos;
- c) É possível obter, nos sistemas de secagem de bandejas/UTA, melhor qualidade nos atributos condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável, açúcares totais e atividade enzimática polifenoloxidas;
- d) As variáveis que mais discriminam o café que foi secado no terreiro dos secadores rotativo e de bandeja são: sabor, equilíbrio e nota final;
- e) As variáveis que mais discriminam o café dos secadores bandeja com UTA e rotativo são: a temperatura do ar de secagem e da massa de grãos, a condutividade elétrica, a lixiviação de potássio e a acidez titulável;
- f) Pela análise sensorial, os cafés obtidos pelos três métodos de secagem foram classificados como especial, com pontuação entre 81,61 e 82,17;
- g) Os métodos de secagem não se diferenciaram em relação à coloração dos grãos beneficiados;
- h) O Sistema de Análise de Sementes reproduz os resultados obtidos pelo colorímetro Konica Minolta;

- i) Os métodos de secagem podem influenciar as dimensões e as formas dos frutos e dos grãos do café.

## REFERÊNCIAS

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

ALVES, M. Metodologia tradicional de avaliação de qualidade de café vs. métodos eletrônicos alternativos. In: SALVA, T. de J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2007. p. 389-410.

AMORIM, H. V.; SILVA, O. M. Relationship between the poliphenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. **Nature**, London, v. 219, n. 27, p. 381-82, July 1968.

ANGÉLICO, C. L. et al. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 8-19, jan./mar. 2011.

ARCILA-PULGARIN, J.; VALÊNCIA ARISTIZABAL, G. Relation entre laactividad de lapolifenoloxidase (PFO) y laspruebas de catacion como medidas de la bebida de café. **Cenicafé**, Caldas, v. 26, n. 2, p. 55-71, Apr./June 1975.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyps of the Association of Official Analytical Chemists**. 15. ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1990.1298 p.

BARRIOS, B. B. E. **Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés (*Coffeaarabica*L.) da região Alto Rio Grande, Sul de Minas Gerais**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

BÁRTHOLO, G. F.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados nacolheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

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

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

BORÉM, F. M. et al. Processamento de café verde descascado 2: secagem e qualidade. **Coffea - Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, Varginha, v. 1, n. 4, p. 16-18, nov./dez. 2004.

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, abr./jun. 2006.

BORÉM, F. M. Processamento do café. In: BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: Editora da UFLA, 2008. p. 127-158.

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

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

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

BRASIL. Instrução Normativa n° 8, de 11 de Junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. O que são cafés especiais. **Brazil Specialty Coffee Association**, Varginha, 2012. Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

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

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. Westport: AVI Publishing, 1974. 265 p.

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

CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química e química do grão de café beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, mar. 1994.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. 85 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. D. **Colheita e preparo do café**. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 49 p.

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

CLARK R. J. Green coffee. In: CABALLERO, F.; TRUGO, L. C.; FINGLAS, P. M. **Encyclopedia in food sciences and nutrition**. London: Academic Press, 2003. p. 1481-1487.

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

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café, safra 2015 primeira estimativa, janeiro/2015**. Brasília: Conab, 2015. 41 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

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

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

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

CORTEZ, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

DELLA LUCIA, S. M.; MININ, V. P. R. M.; CARNEIRO, J. D. S. Análise sensorial de alimentos. In: MININ, V. P. R. M. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: Editora da UFV, 2006. Cap. 6, p. 125-167.

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Ed.). **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, 1962. p. 477-512.

FARAH, A. et al. Chlorogenic acids and lactones in regular and waterdecaffeinated Arabica coffees. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 2, p. 374-381, Jan. 2006.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 373-380, Jan. 2006.

FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev. 2004.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 670 p.

FRANCA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 90, n. 1-2, p. 89-94, Mar./Apr. 2005.

- GIRANDA, R. N. **Aspectos qualitativos de cafés (*coffeaarabica*L.) submetidos a diferentes processos de secagem.** 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 1, nesp., p. 38-43, 2000.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing.** 3<sup>rd</sup>. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010. 976 p.
- GUIMARÃES, A. C. **Secagem de café (*Coffeaarabica* L.) combinando sistemas em altas e baixas temperaturas.** 1995. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- GUIMARÃES, R. M. et al. Tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro(*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 128-139, jan./fev. 2002.
- HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops.** Westport: AVI Publishing, 1980. 382 p.
- HOWELL, G. SCAA universal cupping form & how to use it. In: ANNUAL CONFERENCE & EXHIBITION “PEAK OF PERFECTION”, 10., 1998, Denver. **Proceedings...** Denver: [s. n.], 1998.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality.** London: Academic Press, 1995. 253 p.
- ILLY, E. A. A saborosa complexidade do café. **Scientific American**, New York, v. 286, n. 6, p. 48-53, June 2002.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Exports of all forms of coffee by exporting countries to all destinations.** London: International Coffee Organization, 2013. 4 p. Disponível em: <<http://www.ico.org>>. Acesso em: 30 jan. 2015.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee: determination of loss mass at 105 oC: ISO 6673.** New York: ISO, 1999. 4 p.

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar.** 2011. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

ISQUIERDO, E. P. **Secagem e qualidade do café cereja desmucilado submetido a diferentes períodos de repouso.** 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

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

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

LELOUP, V. et al. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

LEME, P. H. M. V. **Os pilares da qualidade:** o processo de implementação do programa de qualidade do café (PQC) no mercado de café torrado e moído do Brasil. 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

LIMA, M. V. et al. Preparo do café despulpado, cereja descascado e natural na região sudoeste da Bahia. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 124-130, mar./abr. 2008.

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



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

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2000. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MAGALHÃES, A. C. Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e ângulo de repouso de frutos de café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 39-56, jun. 2000.

MAIER, H. G. Chemical and technologic des kaffees. **Lebensmittelechemie and Geerichtliche Chemic**, Berlin, v. 37, p. 25-29, 1983.

MAIER, H. G. K. **Grundlagen and fortschritte der lebensmitteluntersuchung and lebensmitteltechnologie**. Berlin: Hamburg, 1981. 199 p.

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

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

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

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

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA, 2005. 438 p.

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

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

MENDES, A. N. G. et al. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas**. Lavras: Editora da UFLA, 1995. 76 p.

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

NASCIMENTO, E. Autoridades divergem em discurso durante evento em Minas Gerais. **AgriPoint Consultoria**, Piracicaba, mar. 2013. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br/cadeiaprodutiva/giro-de-noticias/autoridades-divergem-em-discurso-durante-evento-em-mg-3022n.aspx>>. Acesso em: 21 mar. 2013.

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

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

NORTHMORE, J. M. Soe factors affecting the quality of Kenya arabica coffee. **Turrialba**, San Jose, v. 15, n. 3, p. 184-93, jul./set. 1965.

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

ONDIER, G. O.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Lowtemperature, low-relative humidity drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 100, n. 3, p. 545-550, Oct. 2010.

ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ. **Estudios de investigación de evaluación sensorial sobre la calidad del café cultivado en la región de Patrocinio en el Estado de Minas Gerais en Brasil.** Londres: Organización Internacional del Café, 1991. 28 p.

ORNELLAS, L. H. **Técnicas dietéticas:** seleção e preparo de alimentos. 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atheneu, 2001. 510 p.

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

PEREIRA, J. T. S. et al. Características físicas de frutos e grãos de café arábica. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2013, Campinas, São Paulo. **Anais...** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2013.

PEREIRA, R. G. F. A. **Tecnologia e qualidade de café, raízes e tubérculos.** 2003. 54 p. Monografia (Especialização em Tecnologia e Qualidade de Alimentos Vegetais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PEREIRA, R. G. F. A.; VILLELA, T. C.; ANDRADE, E. T. Composição química de grãos de cafés (*coffea arábica* L.) submetidos a diferentes tipos de pré-processamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2002, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa, 2002. p. 826-831.

PEREIRA, S. P.; BLISKA, F. M. de M.; GIOMO, G. S. Desenvolvimento sustentável e os programas de certificação de café em andamento no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. **Rastreabilidade para a cadeia produtiva do café.** Viçosa: Editora da UFV, 2007. p. 25-84.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, ago. 2003.

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

PIMENTA, C. J.; VILELLA, E. R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em sete épocas diferentes na região de Lavras/MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, nesp., p. 1481-1491, dez. 2002.

PONTING, J. D.; JOSLYNG, M. A. Ascorbic acid oxidation and browning in Apple tissue extracts. **Archives of Biochemistry**, New York, v. 19, n. 1, p. 47-63, Oct. 1948.

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

PRETE, C. E. C.; ABRAHÃO, J. T. M. Condutividade elétrica dos exsudatos de grãos de café (*Coffea arabica* L.) I: desenvolvimento da metodologia. **Semina**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 17-21, mar. 1995.

REINATO, C. H. R. et al. Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 27, n. 7, p. 21-29, jul./dez. 2003.

REINATO, C. H. R. et al. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 112-116, jan./abr. 2002.

REINATO, C. H. R. et al. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreno, sobre a qualidade do café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 48-60, jan./jun. 2007.

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

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

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 341-348, Oct. 2011.

RODARTE, M. P. **Análise sensorial, química e perfil de constituintes voláteis de cafés especiais**. 2008. 163 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ROGERS, W. J. et al. Biochemical and molecular characterization and expression of the 11S-type storage protein from *Coffea Arabica* endosperm. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 37, n. 4, p. 261-272, Apr. 1999.

ROSA, S. D. V. F. da et al. Indução de tolerância à temperatura de secagem em sementes de milho por meio de pré-condicionamento à baixa temperatura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 290-318, maio/ago. 2004.

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

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

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

SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2010.

SALVA, T. de J. G. A composição química dos grãos e a qualidade da bebida de café, em consequência do método de preparo e da cultivar. In: SALVA, T. de J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 255-280.

SANTANA, M. de F. S.; BRAGA, M. E. D. Parâmetros aerodinâmicos que influenciam na separação do amendoim. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 66-72, jul./dez. 1999.

SCHMIDT, C. A. P.; MIGLIORANZA, E. Análise sensorial e o café: uma revisão the sensory analysis and the coffee: anrevisión. **Revista Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, n. 2, p. 16-24, jul. 2010.

SILVA, E. A. A. da et al. Abscisic acid controls embryo growth potential and endosperm cap weakening during coffee (*Coffea arabica*L., cv. Rubi) seedgermination. **Planta**, Berlin, v. 220, n. 2, p. 251-261, Dec. 2004.

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

SILVA, J. de S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 1999. 146 p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. G. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p. 105-143.

SILVA, R. P. G. et al. Qualidade de grãos de café (*Coffea arábica* L.) armazenados em coco com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 3, nesp., p. 3-10, 2001.

SIQUEIRA, H. H. de; ABREU, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 113-116, jan./fev. 2006.

SOUSA, S. M. C. Secagem de café com qualidade III-Secagem. **Circular Técnico**, Lavras, n. 119, p. 01-04, jun. 2000.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais**: guia rápido. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2009. 7 p. Disponível em: <<http://www.scaa.org>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

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

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1413-1554, out. 2012.

TEIXEIRA, A. A.; NOGUEIRA, V. S.; ARRUDA, H. V. **Estudo dos diversos equipamentos para a secagem mecânica do café**. Rio de Janeiro: IBC, 1983. 421 p.

VENORA, G. et al. Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 1, p. 161–166, Jan. 2007.

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

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

VINCENT, J. C. Green coffee processing. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Technology**. London: Elsevier, 1987. p. 01-33.

WILBAUX, R. **Agricultural engineering**. Rome: Society of Agricultural Engineers, 1963. 39 p.

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

WOLKERS, W. F. et al. Fourier transform infrared microscopy detects changes in protein secondary structure associated with desiccation tolerance in developing maize embryos. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, n. 3, p. 1169-1177, Mar. 199

**ANEXOS****ANEXO A - Tabelas**

<b>Tabela 1A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada L* do café beneficiado em função de cada método de secagem.....	112
<b>Tabela 2A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada a* do café beneficiado em função de cada método de secagem.....	112
<b>Tabela 3A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada b* do café beneficiado em função de cada método de secagem.....	112
<b>Tabela 4A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada L* do café beneficiado em função de cada método de secagem e aparelho utilizado.	113
<b>Tabela 5A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada a* do café beneficiado em função de cada método de secagem e aparelho utilizado.....	113
<b>Tabela 6A</b>	Análise de variância dos valores da coordenada b* do café beneficiado em função de cada método de secagem e aparelho utilizado.....	114
<b>Tabela 7A</b>	Análise de variância dos diâmetros em função de cada método de secagem e tipo de café.....	114
<b>Tabela 8A</b>	Análise de variância das circularidades em função de cada método de secagem e tipo de café.....	115
<b>Tabela 9A</b>	Análise de variância das esfericidades da forma em função de cada método de secagem e tipo de café.....	115
<b>Tabela 10A</b>	Análise de variância das áreas em função de cada método de secagem e tipo de café.....	116
<b>Tabela 11A</b>	Análise de variância dos perímetros em função de cada método de secagem e tipo de café.....	116



**Tabela 1A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	2.040772	1.020386	1.068	0.3553
Erro	33	31.526583	0.955351		
Total corrigido	35	33.567356			

CV (%) = 1.89; Média geral: 51.5988889; \* significativo a 5%

**Tabela 2A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.125739	0.06286	2.292	0.1169
Erro	33	0.905225	0.027431		
Total corrigido	35	1.030964			

CV (%) = 8.19; Média geral: 2.0230556; \* significativo a 5%

**Tabela 3A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.862917	0.431458	0.714	0.4970
Erro	33	19.936183	0.604127		
Total corrigido	35	20.799100			

CV (%) = 3.17; Média geral: 24.4850000; \* significativo a 5%

**Tabela 4A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	60.261800	0.130900	5.357	0.0217*
Aparelho	1	14.359143	14.359143	2.553	0.1361
Mét. de sec.*apar.	2	3.492396	1.746198	0.310	0.7388
Erro	12	67.496246	5.624687		
Total corrigido	17	145.609585			

CV (%) = 12.11; Média geral: 19.5805463; \* significativo a 5%

**Tabela 5A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	12.929082	6.464541	7.507	0.0077*
Aparelho	1	1.164847	1.164847	1.353	0.2674
Mét. de sec.*apar.	2	0.695178	0.347589	0.404	0.6766
Erro	12	10.333997	0.861166		
Total corrigido	17	25.123104			

CV (%) = 19.56; Média geral: 4.7455000; \* significativo a 5%

**Tabela 6A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	1153.386560	576.693280	1.014	0.3918
Aparelho	1	887.127932	887.127932	1.560	0.2355
Mét. de sec.*apar.	2	1211.136577	605.568289	1.065	0.3752
Erro	12	6824.514305	568.709525		
Total corrigido	17	10076.165374			

CV (%) = 178.58; Média geral: 13.3541250; \* significativo a 5%

**Tabela 7A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.003617	0.001809	4.102	0.0439*
Tipo de café	1	0.983503	0.983503	2230.306	0.0000*
Mét. de sec.*tipo	2	0.001165	0.000582	1.320	0.3032
Erro	12	0.005292	0.000441		
Total corrigido	17	0.993577			

CV (%) = 1.96; Média geral: 1.0715278; \* significativo a 5%

**Tabela 8A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.001554	0.000777	6.958	0.0099*
Tipo de café	1	0.003424	0.003424	30.658	0.0001*
Mét. de sec.*tipo	2	0.000041	0.000021	0.185	0.8336
Erro	12	0.001340	0.000112		
Total corrigido	17	0.006359			

CV (%) = 1.39; Média geral: 0.7613194; \* significativo a 5%

**Tabela 9A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	6.395215	3.197607	3.019	0.0867
Tipo de café	1	36.947900	36.947900	34.889	0.0001*
Mét. de sec.*tipo	2	6.941498	3.470749	3.277	0.0732
Erro	12	12.708058	1.059005		
Total corrigido	17	62.992671			

CV (%) = 6.30; Média geral: 16.3269889; \* significativo a 5%

**Tabela 10A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.009902	0.004951	8.759	0.0045*
Tipo de café	1	1.830422	1.830422	3238.093	0.0000*
Mét. de sec.*tipo	2	0.005592	0.002796	4.947	0.0271*
Erro	12	0.006783	0.000565		
Total corrigido	17	1.852700			

CV (%) = 3.25; Média geral: 0.7308333; \* significativo a 5%

**Tabela 11A**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método de secagem	2	0.178863	0.089432	21.706	0.0001*
Tipo de café	1	14.173375	14.173375	3440.024	0.0000*
Mét. de sec.*tipo	2	0.119805	0.059902	14.539	0.0006*
Erro	12	0.049442	0.004120		
Total corrigido	17	14.521485			

CV (%) = 1.91; Média geral: 3.3531944; \* significativo a 5%