



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Faculdade de Engenharia Química  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



**EMERSON GONÇALVES COELHO**

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DO GRÃO DE  
CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDO À SECAGEM SOLAR,  
CONVECTIVA E POR *CAST-TAPE DRYING***

**Patos de Minas - MG**

**2022**

**EMERSON GONÇALVES COELHO**

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DO GRÃO DE  
CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDO À SECAGEM SOLAR,  
CONVECTIVA E POR *CAST-TAPE DRYING***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos e Produtos

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Líbia Diniz Santos

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Marta Fernanda Zotarelli

**Patos de Minas - MG**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

C672a Coelho, Emerson Gonçalves, 1970-  
2022 Avaliação físico-química e sensorial do grão de café arábica submetido à secagem solar, convectiva e por cast-tape drying [recurso eletrônico] / Emerson Gonçalves Coelho. - 2022.

Orientador: Ricardo Corrêa de Santana.

Coorientadora: Líbia Diniz Santos.

Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.5080>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Tecnologia de alimentos. I. Santana, Ricardo Corrêa de, 1981-, (Orient.). II. Santos, Líbia Diniz, 1978-, (Coorient.). III. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985-, (Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. V. Título.

---

CDU: 664

André Carlos Francisco  
Bibliotecário - CRB-6/3408



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos  
 de Minas

Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103  
 Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 5/2022 - PPGEA				
Data:	Vinte e oito de setembro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	15:30	Hora de encerramento:	18:30
Matrícula do Discente:	42012EAL005				
Nome do Discente:	Emerson Gonçalves Coelho				
Título do Trabalho:	Avaliação físico-química e sensorial do grão de café arábica submetido à secagem solar, convectiva e por cast-tape drying				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP - MConf) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Ricardo Corrêa de Santana (Presidente), Gleice Aparecida de Assis (Membro UFU) e Liliane Maciel de Oliveira (Membro Externo).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e o discente, agradeceu a participação do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do mesmo se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando o discente:

Aprovado.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/10/2022, às 10:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Gleice Aparecida de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/10/2022, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Liliane Maciel de Oliveira, Usuário Externo**, em 04/10/2022, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3968177** e o código CRC **B0BFD139**.

Referência: Processo nº 23117.072260/2022-99

SEI nº 3968177

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivo geral .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 <i>Coffea arabica</i> L., cultivar Arara .....	4
2.2 Produção e mercado do café.....	6
2.3 Cultivo e colheita do café.....	9
2.4 Processamento do café .....	10
2.4.1 Remoção das impurezas, lavagem e separação dos frutos .....	12
2.4.2 Processamento por via seca .....	13
2.4.3 Processamento por via úmida.....	14
2.5 Secagem do café .....	14
2.5.1 Métodos de secagem .....	16
2.6 Beneficiamento .....	19
2.7 Armazenamento do café.....	20
2.8 Qualidade do café.....	21
2.9 Caracterização físico-química do café.....	21
2.9.1 Umidade .....	22
2.9.2 Cinzas.....	22
2.9.3 Compostos nitrogenados.....	23
2.9.4 Lipídios .....	23
2.9.5 Acidez titulável total.....	24

2.9.6	Ácidos orgânicos .....	25
2.9.7	Açúcares .....	26
2.9.8	Cor instrumental dos grãos de café .....	27
2.10	Análise sensorial .....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.1	Coleta e preparação de amostras .....	31
3.2	Secagem do café .....	31
3.2.1	Terreiro suspenso .....	33
3.2.2	Estufa convectiva .....	34
3.2.3	<i>Cast-tape drying</i> .....	34
3.2.4	Secador de leito fixo .....	36
3.2.5	Secador de tambor rotativo .....	38
3.2.6	Secagem combinada .....	39
3.3	Cinética de secagem .....	41
3.4	Caracterização físico-química do café .....	41
3.4.1	Umidade .....	41
3.4.2	Cinzas .....	42
3.4.3	Compostos nitrogenados .....	42
3.4.4	Lipídios .....	43
3.4.5	Acidez titulável total .....	43
3.4.6	Ácidos orgânicos e açúcares .....	44
3.4.7	Cor instrumental dos grãos de café .....	44
3.5	Análise sensorial .....	45
3.6	Análise estatística .....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.1	Cinética de secagem .....	47
4.2	Caracterização físico-química do café .....	49

4.2.1 Umidade .....	50
4.2.2 Cinzas .....	50
4.2.3 Compostos nitrogenados.....	51
4.2.4 Lipídios .....	52
4.2.5 Acidez titulável total.....	53
4.2.6 Ácidos orgânicos .....	53
4.2.7 Açúcares.....	56
4.2.8 Cor instrumental dos grãos de café .....	58
4.3 Análise sensorial.....	60
5 CONCLUSÃO .....	63
REFERÊNCIAS .....	64



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia do fruto do café.....	4
Figura 2 - Diferenças entre os grãos dos cafés arábica e robusta.....	5
Figura 3 – Marca Café do Cerrado Mineiro – Selo de denominação de origem .....	8
Figura 4 - Lavoura de café da Fazenda Chuá .....	9
Figura 5 - Colheita manual do café .....	10
Figura 6 - Sistema de coordenadas CIELAB .....	28
Figura 7 - Classificação de qualidade da pontuação total de café .....	30
Figura 8 - Café arábica utilizado no experimento. ....	32
Figura 9 - Fluxograma do processamento do café e métodos de secagem. ....	32
Figura 10 - Terreiro suspenso - Laboratório UFU - Patos de Minas .....	33
Figura 11 - Estufa Convectiva - Laboratório UFU - Patos de Minas .....	34
Figura 12 - <i>Cast-tape drying</i> . ....	35
Figura 13 - Secador Ecodrying SED 15.....	37
Figura 14 - Secador de leito fixo Ecodrying SED 15 – Fazenda Chuá.....	37
Figura 15 - Partes do secador de tambor rotativo PA-SR/15.....	38
Figura 16 - Secador de tambor rotativo PA-SR/15 – Fazenda Chuá .....	39
Figura 17 – Ilustração do descascador de café PA-AMO/30K. ....	40
Figura 18 - Equipamentos para preparação do café. ....	45
Figura 19 - Amostras preparadas para avaliação sensorial .....	46
Figura 20 - Formulário de Avaliação Sensorial de Café .....	46
Figura 21 - Cinéticas de secagem do café arábica .....	47
Figura 22 – Perfil sensorial dos cafés arábica .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado de umidade, cinzas, compostos nitrogenados, lipídios, acidez titulável total.....	49
Tabela 2 – Resultados dos valores dos ácidos orgânicos para o café arábica. ....	54
Tabela 3 – Teor de frutose, glicerol, glicose e de sacarose para o café arábica. ....	56
Tabela 4 – Médias e desvios padrão dos valores L*, a* e b* para os grãos de café arábica.....	59
Tabela 5 – Média das notas atribuídas por Q-graders para o café Arábica torrado. .	60

## RESUMO

O fruto do café é, preferencialmente, colhido no estágio cereja, com elevado teor de água e maior atividade metabólica, devendo então ser submetido a um processo de retirada de umidade para melhor conservação do grão e de seu sabor. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi caracterizar a qualidade final do café arábica da cultivar Arara processado por via úmida e submetido a seis métodos de secagem: três realizados no estabelecimento agroindustrial (secador de leito fixo, secador de tambor rotativo e secagem combinada) e três métodos em escala laboratorial (estufa convectiva, *cast-tape drying* e terreiro suspenso). Os frutos de cafés desmucilados *in natura* e os grãos de café seco beneficiados foram caracterizados quanto à umidade, teor de cinzas, compostos nitrogenados, lipídios, acidez titulável total, ácidos orgânicos, açúcares, cor instrumental dos grãos e análise sensorial. As médias das análises foram calculadas e submetidos à ANOVA com 5% de nível de significância no teste. A secagem no terreiro suspenso que durou 6 dias foi a que demandou maior tempo de operação para que a umidade (b.u.) do café fosse reduzida de um valor inicial de 46,2% para um valor médio de 11,35%. Os teores de cinzas, lipídios e de acidez titulável total encontrados nas amostras de cafés secos está conforme a literatura e sem diferenças significativas entre os tratamentos de secagem analisados. Teores de compostos nitrogenados obtidos para as amostras de café apresentaram diferenças significativas (com 95% de confiança) sendo que nos processos de secagem estufa convectiva, *Cast-tape dryer* e secador de leito fixo foram encontrados os maiores valores. Os ácidos cítrico, málico e succínico foram encontrados nas amostras, sendo que as concentrações dos ácidos cítrico e málico não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de secagem. Em nenhuma amostra avaliada foram encontrados ácido acético, ácido butírico, ácido láctico e ácido propiônico. Os teores de frutose e glicose encontrados nos grãos de café tiveram uma diminuição após a secagem, enquanto o teor de sacarose aumentou. Os resultados para a coordenadas de cor  $a^*$  com valores negativos mostraram uma coloração esverdeada dos grãos de café. O perfil sensorial do café arábica foi avaliado por cinco especialistas em café pela metodologia proposta pela *Specialty Coffee Association* (SCA) obtendo valores entre 83,45 e 86,75 na escala SCA (sem diferenças significativas) e que classificaram todos os cafés como especiais. Os métodos de secagem nos parâmetros utilizados foram adequados,

sendo que a secagem no terreiro suspenso foi o método tem como principal vantagem não utilizar energia elétrica durante o processo e a secagem no secador de leito fixo é o que requer menor movimentação do café até o início do processo de secagem.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L.; cultivar Arara; métodos de secagem; caracterização; qualidade do café; café especial.

## ABSTRACT

The coffee fruit is preferably harvested at the cherry stage, with high water content and greater metabolic activity, and then it must be subjected to a process of removing moisture for better conservation of the grain and its flavor. In this context, the objective of this study was to characterize the final quality of arabica coffee of the Arara cultivar, processed by wet process and submitted to six drying methods: three carried out in the agro-industrial establishment (fixed bed dryer, rotary drum dryer and combined drying) and three laboratory scale methods (convective oven, cast-tape drying and suspended terrace). The fruits of demucilated in natura coffees and the processed dried coffee beans were characterized in terms of moisture, ash content, nitrogen compounds, lipids, total titratable acidity, organic acids, sugars, instrumental color of the beans and sensory analysis. The averages of the analyzes were calculated and submitted to ANOVA with a 5% level of significance in the test. Drying on the suspended terrace, which lasted 6 days, required the longest operating time so that the moisture (b.u.) of the coffee was reduced from an initial value of 46.2% to an average value of 11.35%. The contents of ash, lipids and total titratable acidity found in the dry coffee samples are in accordance with the literature and without significant differences between the drying treatments analyzed. Contents of nitrogen compounds obtained for the coffee samples showed significant differences (with 95% confidence) and the highest values were found in the convective oven, Cast-tape dryer and fixed bed dryer processes. Citric, malic and succinic acids were found in the samples, and the concentrations of citric and malic acids did not show significant differences between the drying treatments. . In none of the evaluated samples were found acetic acid, butyric acid, lactic acid and propionic acid. The fructose and glucose contents found in the coffee beans had a decrease after drying, while the sucrose content increased. The results for the  $a^*$  color coordinate with negative values showed a greenish coloration of the coffee beans. The sensory profile of arabica coffee was evaluated by five coffee experts using the methodology proposed by the Specialty Coffee Association (SCA) obtaining values between 83.45 and 86.75 on the SCA scale (no significant differences) and who classified all coffees as special. The drying methods in the parameters used were adequate, and drying in the suspended terrace was the method whose main advantage is not to use electrical energy during the

process and drying in the fixed bed dryer is what requires less movement of the coffee until the beginning of the drying process.

**Keywords:** *Coffea arabica* L.; cultivate Arara; rotary dryer; drying methods; characterization; coffee quality; Special Coffee.

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio do Brasil é um dos mais representativos de todo o mundo, sobretudo no que diz respeito à dinâmica de exportações. Neste contexto destaca-se o café, onde o Brasil se destaca como maior produtor e exportador mundial desse produto. Assim sendo, o café se tornou importante ao longo de toda cadeia produtiva brasileira, promovendo empregos e gerando divisas (FRANCK *et al.*, 2016).

A excelência do café brasileiro aliada às exigências dos mercados internacionais criou a demanda pela maior produção de café especiais no Brasil. O termo “café especial” significa ser um café com os melhores sabores produzidos em microclimas especiais, sob uma padronização e quantificação que permita comparações entre cafés diferentes e de alta qualidade. Para essa padronização é utilizado o Protocolo da SCA. A Specialty Coffee Association (SCA) é uma organização sem fins lucrativos que representa milhares de profissionais do café, de produtores a baristas em todo o mundo e que é mundialmente aceita e o mais conhecido para a classificação de cafés de qualidade (CÉSAR, 2021).

O Brasil possui condições favoráveis para aumentar ainda mais a sua participação no mercado de cafés especiais devido ao elevado nível tecnológico da cafeicultura do país, porém, para tornar isso uma realidade, são necessárias pesquisas científicas e investimento em tecnologia (SANTANA *et al.*, 2022). Diante desse cenário, vêm sendo realizados incessantes trabalhos com a intenção de melhorar a qualidade dos grãos oferecidos e agregar valor econômico.

No momento da colheita, o café, dependendo do seu grau de maturação, apresenta um percentual de umidade na faixa de 30% a 65% em base úmida (b.u.), propiciando uma rápida deterioração se não for submetido a um processo que diminua essa umidade no grão antes de sua estocagem. Assim, torna-se necessário a redução da umidade por processos de secagem para que os grãos não sofram alterações como fermentação, respiração, oxidação e contaminação de microrganismos propensos ao crescimento na presença de água, o que compromete a qualidade do café. Neste sentido, após a secagem, a umidade do produto é reduzida para uma faixa de 11 a 12% (b.u.) (COSTA *et al.*, 2019).

Com esta finalidade, o café geralmente é secado utilizando a energia solar em terreiros por meio de uma secagem natural ou utilizando secadores mecânicos com ar aquecido. Também podem ser utilizadas combinações de ambos os métodos de secagem, onde o café é primeiramente exposto ao sol, e depois, aquecido em diferentes temperaturas, geralmente inferiores a 40°C, em secadores mecânicos, já que diversas pesquisas têm demonstrado que temperaturas na massa de café, acima de 40°C causam prejuízos à qualidade do café (BORÉM et al., 2006; DE OLIVEIRA et al., 2020). É importante salientar que os processos de secagem nos secadores devem ser realizados de forma a atingir os objetivos de umidade adequada (entre 11 e 12%) sem expor o produto a riscos de degradação.

A secagem de café, comparada com a secagem de outros produtos, é mais difícil de ser executada. No processo de secagem do café deve-se evitar fermentações indesejáveis antes e durante a secagem, temperaturas excessivamente elevadas na massa dos grãos de café para preservar o produto visando um armazenamento seguro, para se conseguir lotes que apresentem uma massa específica, tamanho e coloração uniformes. A secagem é considerada uma operação crítica na sequência de atividades pós colheita, podendo causar a deterioração do produto se mal conduzida (LACERDA FILHO; SILVA, 2006).

Assim, é pertinente o contínuo estudo de métodos de secagem do café e avaliação de equipamentos, métodos e condições de secagem que propiciem a redução de umidade e que consigam combinar melhorias no processo de secagem do café, com minimização de danos térmicos em características químicas, físicas e sensoriais dos grãos, aliando tecnologia para promover qualidade.

## **1.1 Objetivo geral**

Investigar os efeitos da secagem do grão do café arábica (*Coffea arabica* L.) sob o ponto de vista de suas características físico-químicas e sensoriais, submetidos a métodos e equipamentos em 3 de escala e em 3 de escala laboratorial.



## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar a secagem dos grãos de café em escala laboratorial de bancada, pelos métodos de terreiro suspenso, estufa convectiva e *cast-tape drying*;
- Realizar a secagem dos grãos de café, em escala industrial, pelos métodos de leito fixo, tambor rotativo e a secagem combinada (secador de leito fixo e secador rotativo);
- Estudar a cinética de secagem do café arábica (*Coffea arabica L.*, cultivar Arara) nos diferentes métodos de secagem realizados em escala de laboratório;
- Avaliar, antes e depois de cada processo de secagem, as alterações na composição físico-químicas do café: cinzas, compostos nitrogenados, lipídios, acidez titulável total, sólidos solúveis totais, açúcares, ácidos orgânicos e cor instrumental dos grãos;
- Realizar avaliação sensorial dos cafés obtidos pelos diferentes métodos de secagem.

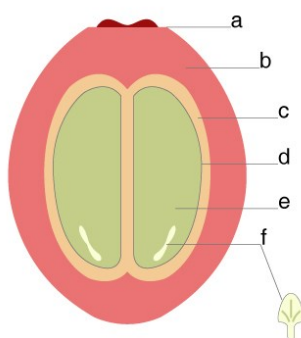
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O fruto do café

A compreensão da anatomia e dos processos que acontecem durante a formação e maturação do café é essencial para o entendimento da composição bioquímica do fruto (AGNOLETTI *et al.*, 2015; BORÉM, 2008). O conhecimento dos compostos químicos do café permite a detecção de adulterações no mesmo, além da possibilidade de diferenciação entre espécies (MONAKHOVA *et al.*, 2015).

O fruto do café é constituído principalmente por: a) exocarpo (casca), b) mesocarpo (mucilagem), c) endocarpo (pergaminho), d) espermoderma (película prateada), e) endosperma (semente) e f) embrião (Figura 1).

Figura 1 - Anatomia do fruto do café



Fonte: MESQUITA *et al.*, (2016)

A partir da região externa para o interior, o fruto maduro do café tem a casca (epicarpo ou exocarpo), a polpa (mesocarpo) e o pergaminho (endocarpo). A semente (endosperma) está contida no pergaminho e é envolta pela película prateada (espermoderma). Portanto, tudo que se encontra entre a casca e o pergaminho é polpa e que inclui a mucilagem ou goma. O café maduro, denominado café cereja normalmente possui dois grãos, quando contém só um, seu formato é mais esférico, conhecido por “moca” (MESQUITA *et al.*, 2016).

Existem variadas espécies de café do gênero *Coffea* (família Rubiaceae); no entanto, somente duas são amplamente comercializadas para consumo: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner e *Coffea arabica* L., que usualmente são conhecidos como café robusta e arábica, respectivamente. O grão do café robusta é uma espécie

de menor valor comercial e com sabor mais amargo e forte do que o café arábica. O café arábica, além de seu maior valor comercial, resulta em uma bebida de melhor qualidade com aroma intenso, sendo o mais desejado pelos consumidores (LEMOS *et al.*, 2020).

As espécies *C. arabica* e a *C. canephora* variedade *robusta* diferem entre si pelos seus atributos químicos, físicos e sensoriais. A constituição química da bebida é muito variada e bastante dependente da espécie de café escolhida. Quimicamente, estas espécies distinguem-se pelos diferentes teores em diversos elementos como: a cafeína (o café arábica tem metade do robusta), minerais, trigonelina, compostos fenólicos, aminas biogênicas, aminoácidos, diterpenos, ácidos graxos, esteróis,  $\beta$ -carbolinas, entre outros. O café robusta é utilizado especialmente para aumentar a espuma e o corpo de algumas bebidas, além da produção de café solúvel. Na Figura 2 está apresentado um esquema diferenciando o café robusta do arábica, onde pode ser visto que existem diferenças quanto a suscetibilidade às pragas, quanto ao formato dos grãos e quanto a intensidade da bebida produzida por cada um.

Figura 2 - Diferenças entre os grãos dos cafés arábica e robusta



Fonte: Brasil, (2016)

A cultivar Arara (*C. arabica* L.) foi difundida comercialmente nos últimos anos, originária da hibridação natural entre Obatã e, provavelmente, com Icatu ou Catuaí Amarelo. Em ensaios e nos plantios comerciais a cultivar Arara ganhou destaque por alcançar elevadas produtividades e por apresentar frutos e grãos mais graúdos, além de uma alta resistência à ferrugem. A maturação dos frutos é tardia, com baixo índice de mocas e conchas e com alta tolerância à estiagem, características bastante desejáveis para o escalonamento da colheita, produzindo um café de boa qualidade

na lavoura. A copa é de maior diâmetro, com ramagem bifurcada e grossa (MATIELLO *et al.*, 2008; RIOS, 2021).

Falar do arara que é amarelo, falar da densidade desse grão e das questões sensoriais envolvendo esse grão Costa, Godinho, Moreira (2019) observaram que plantas da cultivar Arara com 180 dias após a semeadura apresentaram em média altura das plântulas de 17,9 cm e diâmetro do coleto de 3,12 mm. Essas variáveis são importantes, pois, tanto a altura como o diâmetro do coleto estão intimamente correlacionados com a produtividade da plantação de café. Por ter maior altura de plântula e diâmetro do coleto, além de alto teor de clorofila nas folhas, a cultivar Arara possui o material genético de melhor expectativa produtiva.

A partir de frutos de colheitas em cafezais da cultivar Arara, os cafés preparados têm apresentado ótimos resultados com elevadas pontuações na escala da *Specialty Coffee Association* (SCA), sendo premiados em alguns concursos nacionais. Uma vez que estes cafés se originavam de regiões do Sul de Minas e do Triângulo Mineiro, regiões produtoras tradicionais de cafés especiais de elevada altitude, de 1.000 a 1.200 m, questiona-se se realmente o café da cultivar Arara seria o fator preponderante nesse aspecto de qualidade da bebida ou se seria o clima da região (RIOS, 2021).

A cultivar Arara quando madura apresenta frutos amarelos, com alta resistência à ferrugem, tem alta produtividade, lavoura com plantas uniformes, frutos e sementes de tamanho grande, maturam tardiamente, as folhas de brotos bronze, com alto vigor, tem boa qualidade de bebida, são tolerantes à seca e são recomendadas para plantios mais adensados e locais mais quentes (CARVALHO *et al.*, 2011; MATIELLO *et al.*, 2016, TRISTÃO *et al.*, 2020).

## **2.2 Produção e mercado do café**

Segundo a *International Coffee Organization* (2019), o café é um dos produtos básicos mais valiosos negociados no comércio internacional. Seu cultivo, processamento, comércio, transporte e marketing criam empregos para milhões de pessoas no mundo todo. No Brasil, o café tem uma cadeia produtiva que é responsável pela geração de aproximadamente 8 milhões de empregos. Reportado

isso, fica claro que ele proporciona renda, acesso à saúde e a educação para inúmeras famílias (MAPA, 2017). No Brasil, a economia cafeeira abrange basicamente cinco setores, dentre eles: o setor produtivo, o setor industrial de torrefação e moagem, o setor industrial de cafés solúveis, o setor comercial (interno e externo) e o setor de consumo (MATIELLO *et al.*, 2008).

Segundo o Balanço do agronegócio de Minas Gerais de 2021, o estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil, contribuindo com 48,4% da produção total nacional. O seu parque cafeeiro é composto por 463 municípios produtores, perfazendo 1,2 milhões de hectares, predominantemente da espécie arábica (AQUINO *et al.*, 2021).

Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), um volume total de 47.716 mil sacas de café beneficiado foi obtido no ano de 2021, 24,4% a menos quando comparado aos resultados obtidos na safra do ano anterior quando considerados os tipos café arábica (*Coffea arabica L.*) e café conilon (*Coffea canephora Pierre*) (BOLETIM DA SAFRA DE CAFÉ, 2021). Os fatores que levaram a esta diminuição foram os efeitos negativos da bienalidade e as condições adversas do clima com seca em muitas regiões produtoras e as geadas que ocorreram em junho e julho de 2021. A bienalidade é comumente atribuída à diminuição das reservas das plantas que são necessários para o desenvolvimento das plantas e maturação de frutos em anos de safra com altas produtividades, o que faz com que a produção no ano seguinte seja menor (SANTINATO *et al.*, 2014).

Quanto à exportação brasileira de café, um requisito quase que unânime é a excelência na qualidade dos grãos. Qualidade essa que se apresenta como um desafio e vem sofrendo incremento para atender às crescentes exigências dos mercados internacionais. Nesse sentido, a qualidade do café, bem como sua valorização, é baseada em análises físicas e sensoriais, e varia de forma significativa com a alteração das características dos grãos. Diversos fatores interferem nas propriedades do produto, desde a produção até a colheita dos grãos, além do processamento, secagem e armazenamento (BORÉM, 2013).

A cafeicultura brasileira vem apresentando uma constante modernização com sofisticadas técnicas nas fazendas de café, o que as tornaram empresas com tecnologia de alto nível, dispendo de intensa profissionalização, com planejamento e

gerenciamento da cafeicultura. Este gerenciamento vislumbra novos mercados e procura elevar a qualidade de seus produtos e serviços, reduzindo custos e orientando-se para atender às necessidades dos clientes cada vez mais exigentes (CAIXETA *et. al.*, 2008).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), no ano de 2021, houve um crescimento pronunciado nas áreas em formação de café, no entanto, aconteceu uma redução considerável nas áreas em produção, quando comparadas com o ano anterior, de 2020. Tudo isso em consequência da bialidade negativa e adversidades climáticas registradas em algumas regiões produtoras importantes (CONAB, 2021).

Impulsionado pela grande produção do café arábica, o governo do estado de Minas Gerais criou uma legislação certificando a Origem e a Qualidade do Café Mineiro (Certicafé). Com o Certicafé, foi estabelecido no Brasil o primeiro produto agrícola que contaria com certificado de origem por região. Desta forma foi estruturado na região do Cerrado Mineiro, o conceito francês de *terroir*, que determina a origem geográfica, para a obtenção de um produto com características únicas. A criação da marca “Café do Cerrado Mineiro” (Figura 3), transformou a qualidade em diferenciação de preço e criando uma história que pudesse ser útil ao seu marketing (MORAIS, 2018).

Figura 3 – Marca Café do Cerrado Mineiro – Selo de denominação de origem



Fonte: <https://www.cerradomineiro.org>

A Região dos Cerrados de Minas compreende as áreas geográficas delimitadas pelos paralelos 16° 37' a 20° 13' de latitude e 45° 20' a 49° 48' de longitude, abrangendo as regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e parte do Alto São Francisco e do Noroeste. Esta região caracteriza-se por áreas de altiplano, com altitudes entre 820 a 1100m, um clima ameno, possíveis geadas de baixa intensidade e com produção de uma bebida fina e de corpo mais acentuado (DE ALMEIDA; TARABAL, 2020).

### 2.3 Cultivo e colheita do café

Alguns fatores são fundamentais para a atividade cafeeira e devem ser analisados, dentre eles pode-se citar: temperatura, precipitação, umidade relativa, topografia (necessidade ou não de curvas de nível) e tipo de solo, que deve possuir as características físicas, químicas e biológicas necessárias para o bom desenvolvimento da planta e adubação equilibrada (MESQUITA *et al.*, 2016).

Dentre as técnicas empregadas na lavoura de café (Figura 4) para o cultivo podem ser mencionadas a utilização de mudas de boa qualidade (produzidas com sementes selecionadas, enxertadas ou não), possibilidade do emprego de variedades mais precoces para poder antecipar a primeira colheita; utilização de adensamento, permitindo uma melhora na produtividade, reduzindo mão-de-obra e propiciando boa economia. Atualmente, existe uma grande demanda por café produzido exclusivamente com adubação natural. O café obtido desta forma é conhecido como café orgânico, possuindo um valor de mercado mais elevado e uma comercialização muito boa (RURALNEWS, 2005).

Figura 4 - Lavoura de café da Fazenda Chuá



Fonte: O autor

Existem basicamente três maneiras de realizar a colheita do café. Ele pode ser colhido de maneira manual (Figura 5), semimecanizada ou mecanizada. Na forma manual ela pode ser realizada de duas formas: i) derricha completa, na qual os frutos são derrichados do cafeeiro sobre o chão ou sobre um pano, e ii) colheita seletiva, sendo colhidos somente os frutos maduros. Predominantemente no Brasil, o método de colheita se faz de forma completa, tanto nos cafés comerciais quanto nos especiais, em que é obtido um produto com um alto teor de água e bastante heterogêneo, uma vez que a composição é de frutos maduros (cereja), imaturos (verde) e sobremaduros (passa e seco), além de grande quantidade de ramos, folhas, paus, pedras, terra e outros detritos (BORÉM, 2008).

Figura 5 - Colheita manual do café



Fonte: Teixeira, (2018)

Em 2021, ano de bienalidade negativa (quando produtores costumam realizar tratamentos culturais mais intensos, manejos e podas), ocorreu um aumento de 1,8% sobre a área da safra de 2020, onde 1,8084 milhão de hectares foram destinados às lavouras de produção e 391,6 mil hectares em formação. O estado de Minas Gerais é onde se concentra a maior área com a variedade arábica, 1,2879 milhão de hectares, o que correspondeu, na safra de 2021, a aproximadamente 71,9% das áreas de lavoura com café arábica no país (CONAB, 2021).

## 2.4 Processamento do café

A atividade cafeeira tem uma rentabilidade intimamente ligada à escolha da forma como o café é processado. O modo com o qual o café é processado impacta em toda atividade e este depende de vários fatores que envolvem custo/ benefício,



necessidade de atender à legislação ambiental e a qualidade que se deseja obter no final do processo. A escolha da forma de processamento também deve considerar o clima da região, capital disponível para investimento, equipamentos e tecnologias disponíveis, mercado consumidor quanto suas características exigidas para o produto, autorização de outorga de utilização de água e possibilidades tecnológicas para o tratamento das águas e seus resíduos posteriores ao processo (MENDONÇA *et al.*, 2007; RESENDE, 2011; SAATH *et al.*, 2010).

Após a colheita, o café é submetido à etapa de processamento (incluindo a secagem), devendo ser evitado o armazenamento dos frutos úmidos, diminuindo, assim, os riscos de perda da qualidade, ocorrência de fungos e micotoxinas. Antes do processamento, o armazenamento não deve exceder 8 h, sendo que, quando por uma necessidade esporádica for superior a esse período, os frutos frescos obtidos devem ser imersos em água. Caso o café recém-colhido for estocado por longos períodos sem os devidos cuidados, podem ocorrer fermentações indesejáveis que elevam a temperatura a valores superiores a 40°C, resultando em formação do grão ardido, defeito que inviabiliza a produção de cafés especiais e pode prejudicar consideravelmente a qualidade do produto final (BRANDO, 2004).

O café pode ser processado de duas formas diferentes: por via seca e por via úmida. Em ambos os processos, o objetivo é propiciar uma secagem do café em um menor tempo de operação, removendo-se a água dos grãos até níveis seguros para o seu adequado armazenamento, que é de 11 a 12% em base úmida (b.u.), minimizando possíveis comprometimentos da bebida (KITZBERGER *et al.*, 2013). Os compostos presentes nos grãos também dependem, em parte, do método de processamento utilizado, e a qualidade do café está associada a estes compostos. Sendo assim, a escolha do método de processamento vai depender do padrão de qualidade que se queira obter e das condições de capital a serem disponibilizados pelo produtor para esse processo (MAIER, 1981; MAIER, 1983; WILBAUX, 1963; WINTGENS, 2004).

Entretanto, vale ressaltar que é comum encontrar na literatura que o processamento por via úmida resulte em produtos com qualidade superior em comparação com cafés processados por via seca, porém o método da via seca, por si só, não determina cafés inferiores. A qualidade inferior de um café está associada a

altos teores iniciais de água e a ocorrência de fermentações indesejáveis, promovendo depreciação do produto no caso de secagem deficiente. Outro fator que afeta a qualidade do produto é a condição da matéria-prima inicial no processamento, sendo que para um café com características iniciais adequadas, o processamento por via seca consegue obter percentual qualitativo final do produto muito semelhante ou até superiores aos cafés obtidos por via úmida (VILELA, 2002; DA MOTA, 2020).

As etapas do processamento pós-colheita são descritas a seguir.

#### 2.4.1 Remoção das impurezas, lavagem e separação dos frutos

Imediatamente após a colheita, porém antes de seguir para o processamento, o café colhido deve passar por um processo de separação das impurezas. Esse processo pode ser realizado por abanação e peneiramento manual ou por maquinaria de pré-limpeza, onde as impurezas de menor densidade como folhas, gravetos, penas, e outros maiores que os frutos são separados (BORÉM, 2008; LIMA FILHO, *et al.*, 2013).

Na sequência, o café é submetido a uma lavagem, que tem por finalidade eliminar o restante das impurezas (materiais aderidos ao fruto) e realizar a separação, com o uso da água, por diferença de densidade. Os frutos verdes, verde-cana e maduros são mais pesados devido ao maior grau de umidade, e são separados da fração de boias, constituída de frutos mais leves (mal granados, brocados, passas e secos) (SILVA *et al.*, 2014).

Segundo Lemos *et al.* (2020), após a passagem pela lavagem, os frutos devem ser separados por uma operação de peneiramento, em que são classificados segundo seu tamanho. Os frutos mais secos e menores passam através das aberturas, enquanto os maiores e mais úmidos ficarão retidos. Sendo esta uma prática recomendada principalmente no início da colheita devido à maior quantidade de frutos verdes.

Existe ainda a possibilidade da execução de uma separação eletrônica dos frutos verdes, por uma seletora óptica, que dispensa o uso de água e de equipamentos para o descascamento de frutos maduros (BORÉM, 2008).

A separação é fundamental para a secagem do café em lotes distintos. Os frutos passas e secos podem estar com a qualidade comprometida por fermentações indesejáveis ainda na planta. Esse lote de frutos será secado e armazenado, separado dos demais, devidamente identificado, e vendidos com menor valor, por serem de qualidade inferior e poderem comprometer a qualidade dos outros lotes (SILVA *et al.*, 2014).

A operação de lavagem e separação pode ser feita por equipamentos de diversos portes e tipos de acionamento, cada qual adequado a uma escala de produção, com adaptações simples que podem minimizar o consumo de água (SILVA *et al.*, 2014).

#### 2.4.2 Processamento por via seca

O processamento por via seca ocorre quando os frutos são secos em sua forma integral, ou seja, com a casca (exocarpo) e produz frutos secos conhecidos como café em coco ou natural. Este método de processamento é o mais utilizado no Brasil nas regiões tropicais onde é propiciado pela estação seca do período da colheita, permitindo o alcance de condições favoráveis de secagem pela temperatura e umidade do ar do ambiente. O exocarpo, que é originalmente vermelho ou amarelo, torna-se escuro e forma o conhecido café coco (MALTA *et al.*, 2008).

No processamento do café por via seca um percentual de mucilagem pode ser transferido à semente. Esta transferência origina uma película prateada mais escura que se adere ao endosperma. A coloração dos grãos apresenta-se marrom-amarelada, diferente dos grãos despulpados que são verdes azulados. Muito frequentemente, os cafés produzidos mediante a secagem em via seca apresentam atributos sensoriais diferentes daqueles produzidos pela via úmida, como menor acidez e mais encorpados (PUERTA-QUINTERO, 2000).

Uma das explicações para a menor qualidade observada no café processado pela via seca, quando comparada à secagem realizada no processamento por via úmida, é devido ao maior tempo de secagem pela presença do exocarpo, que pode promover nos frutos fermentações não desejadas. Além disso, o elevado teor de açúcares da mucilagem aumenta os riscos de ocorrerem fermentações, que de forma

descontrolada, podem prejudicar a qualidade do café (MARTINS *et al.*, 2005; BORÉM, 2008).

### 2.4.3 Processamento por via úmida

O café processado por via úmida recebe o nome de café em pergaminho e ocorre de três formas distintas: a) por meio da remoção mecânica da casca e posterior remoção da mucilagem por fermentação biológica (café despulpado); b) por meio da remoção mecânica da casca e de parte da mucilagem (café cereja descascado); c) por meio da remoção mecânica da casca e da mucilagem (café cereja desmucilado). Independentemente por qual processo se obtenha o café pergaminho, na via úmida sempre o descascamento estará presente. Este descascamento tem como função a remoção do exocarpo, e é realizado nos descascadores de cafés cereja (SCHOLZ *et al.*, 2011).

O café em pergaminho (despulpados, desmucilados ou descascados) costuma ser de melhor qualidade, devido ao fato de seu processamento remover a casca e mucilagem que funcionam como substratos propícios ao desenvolvimento de microrganismos, que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto (PEREIRA; VILLELA; ANDRADE, 2002). Nas palavras de Borém (2008), no processamento por via úmida, a colheita exclusiva de frutos maduros, a remoção da casca e da mucilagem, o controle da fermentação e a secagem cuidadosa resulta, em geral, em bebidas de café de melhor qualidade.

Uma das práticas cada vez mais adotadas pelos produtores brasileiros é a de secagem do café com parte da mucilagem (cereja descascado). Essa prática tem obtido excelentes resultados, produzindo uma bebida rica em corpo, doçura e aromas (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

## 2.5 Secagem do café

A etapa de secagem do café tem seus impactos tanto sob o aspecto de consumo de energia, como também na influência sobre a qualidade final do produto. Isto ocorre, em parte, porque durante a secagem os teores de água dos grãos são

reduzidos, diminuindo riscos como respiração, oxidação, fermentações e desenvolvimento de microrganismos como fungos e bactérias (SCHOLZ *et al.*, 2011).

O teor de água presente nos frutos recém-colhidos, geralmente, fica na faixa de 30-65% em base úmida (b.u.), variando de acordo com o estágio de maturação no qual é colhido, o que costuma ser no estágio cereja, com pleno desenvolvimento e elevado teor de água e maior atividade metabólica. Desta forma, o café deve ser submetido a um processo de retirada de umidade (secagem) para um teor médio de 11% (b.u.) antes de ser armazenado (BORÉM, 2008; CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974). É um processo que possui importante função na qualidade final do produto, uma vez que afeta as características físico-químicas essenciais e suas características sensoriais desejáveis, sendo considerada a etapa de maior relevância do pós-colheita, tanto do ponto de vista relacionado aos custos de processamento (consumo de energia), quanto a nível de preservação dos grãos (RIGUEIRA, 2005; BORÉM, 2008).

Ao reduzir a disponibilidade de água do fruto, diminuem as reações químicas, refletindo em menor metabolismo, o que impede ou diminui a proliferação de microrganismos, permitindo sua conservação por longos períodos (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974).

Na operação de secagem é necessário o fornecimento de calor para que a água evapore, portanto, o processo de secagem ocorre por meio da transferência simultânea de calor (usualmente por convecção de ar quente, condução e/ou radiação) e massa (via fluxo de vapor d'água do grão para o ambiente externo a ele). Na secagem a migração de umidade para o ambiente externo ocorre devido às diferenças de pressão de vapor entre o ar e o fruto, devendo a pressão no fruto ser maior que a do vapor do ar (PABIS; JAYAS; CENKOWSKI, 1998). Segundo Muhlbauer *et al.*, (2020), o método de secagem, as condições operacionais, como a temperatura e a velocidade do ar (no caso de uso de ar quente, como meio secante) e as condições ambientais, como a umidade relativa, são fatores cruciais para o sucesso dessa operação.

O processo de secagem pode ser dividido em diferentes etapas, sendo usual considerar: o período de taxa de secagem constante e o período de taxa de secagem decrescente, podendo este último ser subdividido em duas sub etapas. O período de taxa constante se dá nas primeiras horas/minutos (dependendo do método, produto e

condições operacionais) de secagem, retirando a água da superfície do fruto. O período de taxa de secagem decrescente caracteriza-se por ser controlado pelo processo de migração interna da água para a superfície externa do material, que é mais lento que a velocidade de evaporação, devendo ser este período o de maior atenção, já que nele é maior o risco de danos causados pelo calor, em função da temperatura do sólido aumentar (MARQUES, 2006; SILVA, 2000). No caso do café, se esta taxa for alta (por exemplo, devido a elevada temperatura), pode causar descoloração, manchas, trincas e rupturas, enquanto baixas taxas não permitem uma secagem correta e aumentam os riscos de deterioração ou requerem um maior tempo de operação (BORÉM, 2008; SILVA, 2000). A temperatura do ar de secagem, geralmente, é o fator que possui maior influência na taxa de secagem, e, por consequência, na qualidade final do produto, principalmente, porque se não controlada, pode resultar em sérios danos aos grãos. Temperaturas elevadas diminuem o tempo de secagem e elevam os custos, e se estiverem em níveis nos quais a temperatura do grão fique acima de 40°C causam prejuízos à qualidade do café (AFONSO JÚNIOR, 2001; BORÉM et. Al., 2006). É importante também ressaltar que associado a temperatura, deve-se também, na medida do possível, controlar a umidade relativa do ar de secagem.

### 2.5.1 Métodos de secagem

Entre as diferentes formas de se classificar os métodos e equipamentos de secagem, uma das divisões mais básicas considera que o processo pode ser: natural e artificial. Enquanto a secagem natural do café é caracterizada pela secagem do produto na lavoura, com os frutos na planta, o segundo é um método com interferência do homem utilizando terreiros e equipamentos, possibilitando a redução do tempo em que ocorre o processo (RIGUEIRA, 2005). Em muitos casos, utiliza-se o método misto de secagem, no qual a pré-secagem ocorre em terreiros e a secagem final (a partir de 30% de umidade) é realizada em secadores mecânicos (MESQUITA *et al.*, 2016). Além disso, segundo Teixeira (2011), de acordo com o procedimento de fornecimento de calor aos grãos no secador, a operação de secagem do café pode ser classificada em contínua ou descontínua. Quando contínua, a operação ocorre até que o café atinja o valor de umidade desejado, já na forma descontínua, o café é submetido por períodos intercalados de calor e descanso para que sofra uma secagem mais

homogênea, fazendo com que o produto final seja de maior qualidade. Esse descanso geralmente acontece no período noturno do equipamento. A secagem intermitente permite que o café repouse ainda quente e prolongue a secagem pelo calor remanescente, não danificando o produto, e permitindo maior uniformização do lote (MESQUITA *et al.* 2016).

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, utilizam-se principalmente: a) secagem em terreiros; b) secagem em secadores mecânicos e, c) secagem combinada - combinação entre terreiro e secador mecânico - ou combinação de secadores mecânicos. A escolha do método de secagem a ser utilizado vai depender das condições do produtor, tais como o grau tecnológico, a sua capacidade de investimento, as condições de clima da região, o volume de produção, os espaços físicos livres disponíveis e recursos humanos (LACERDA FILHO; SILVA, 2006).

Na secagem em terreiros, após a lavagem/separação dos frutos, o café é disposto no sentido da declividade do terreiro para facilitar o escoamento da água de lavagem ainda presente no café. Espalha-se o café sobre pisos de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto, com o objetivo de expor o produto diretamente à radiação solar e a convecção do ar. Os grãos são revolvidos continuamente com o auxílio de um rodo ou de outro equipamento similar, para manter a uniformidade da secagem (RIGUEIRA, 2005). Este processo é amplamente utilizado, principalmente por pequenos produtores, devido ao baixo custo e facilidade de operação. Porém, quando em condições desfavoráveis de umidade, o lote pode sofrer com a heterogeneidade do processo, o que reflete diretamente na cor, qualidade e sanidade dos grãos, já que propicia o desenvolvimento de microrganismos e fermentações indesejadas. Mas se realizado em condições favoráveis, com um manejo correto, este método pode conduzir à obtenção de um café com qualidade, com menor custo em relação à secagem artificial. O tempo de secagem via terreiro é longo, podendo chegar a 30 dias dependendo das condições de processo, necessitando de um amplo espaço e mão de obra treinada (BORÉM, 2008; MESQUITA *et al.*, 2016).

Na fase final da secagem via terreiro, o café é disposto em leiras, conservando o calor retido durante o dia, uniformizando e redistribuindo este calor na carga (BORÉM, 2006). Além dessa configuração em leiras, pode-se realizar a secagem do café em vulcões, disposição na qual o produto é mantido em montes, e após o

aquecimento, uma parcela do café é retirada e enleirada ao redor do monte, a uma distância média de 30 cm, permitindo que uma nova faixa de terreiro fique exposta aos raios solares para o seu aquecimento. A referida operação é repetida a cada camada de café, até que a última camada seja exposta e aquecida. Uma vez colocada sobre a camada anterior, o café tem a secagem continuada pela manutenção do calor, devendo ser coberto durante a noite para diminuir a perda de calor, permitindo que os grãos fiquem aquecidos por um tempo mais longo (MESQUITA *et al.*, 2016).

Ainda no processo de secagem natural em terreiro, o método terreiro híbrido utiliza parte de um terreiro convencional de secagem de café, onde se adapta um sistema de ventilação, composto por um ventilador, um túnel e vários distribuidores de ar, o qual é aquecido, geralmente, por uma fornalha para biomassa. A secagem se processa com o café enleirado sobre as calhas de distribuição de ar quente. O sistema além de ser simples, é econômico e capaz de secar o café recém-saído do lavador ou descascador em, aproximadamente, 50 h efetivas de funcionamento, com o ar a 50°C (DONZELES, 2002).

A secagem do café por meio de secadores mecânicos utiliza ventilação forçada de ar aquecido, fazendo com que ele tenha contato com a massa de grãos. Esse método de secagem é vantajoso por diminuir o tempo de secagem quando comparado ao de terreiro. Ele permite controle da temperatura, do fluxo de ar e da exposição do café ao ar aquecido. Por não sofrer tanta influência climática como os terreiros, esse método se torna mais vantajoso nesse quesito, porém seu custo é maior, devido ao gasto energético e custos de equipamentos, o que por muitas vezes não é uma opção para pequenos produtores (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1974; MESQUITA *et. al.*, 2016).

Os secadores mecânicos para café mais utilizados no Brasil são: secadores verticais de fluxo cruzado com câmaras de descanso, secador cilíndrico rotatório (leito móvel) e secador de leito fixo. Estes secadores passaram a ser usados para secagem do café cereja descascado, podendo produzir cafés de pior qualidade caso sejam utilizados sem os corretos ajustes dos parâmetros de velocidade do ar, pressão estática e temperatura, comprometendo, desta forma, a eficácia do processo (REINATO; BORÉM, 2008).



Na maior parte dos secadores de leito fixo, o ar escoa da camada inferior para a superfície da massa de grãos, e a troca de umidade entre o ar e o grão ocorre na zona de secagem, desenvolvendo dois gradientes, um de umidade e outro de temperatura, estabelecido entre as duas camadas citadas anteriormente (BORÉM, 2008).

O secador do tipo rotativo é formado por um cilindro horizontal, ou ligeiramente inclinado que gira em torno de seu eixo longitudinal com velocidade angular. O grão úmido é carregado da parte mais alta para a mais baixa por meio de um transportador via gravidade. O fluxo de ar de secagem é injetado na câmara que se situa no centro do cilindro e atravessa radialmente a massa do grão (SILVA; AFONSO; GUIMARÃES, 1995; MESQUITA *et al.*, 2016). Segundo Chalfoun e Carvalho (1997), deve-se deixar um espaço vazio de 20 a 30 cm, na região superior do cilindro do secador rotativo, possibilitando o movimento dos grãos durante o processo de secagem.

A secagem de alimentos no *Cast-tape dryer* é considerada uma inovação, tendo se mostrado um método bastante promissor de secagem. Baseia-se na utilização de água aquecida (ou vapor de água) em contato com a face inferior de um suporte flexível, geralmente um filme polimérico (usualmente, o poliéster *Mylar*®) de pequena espessura, para transferir calor e secar o alimento distribuído na face superior do filme (ZOTARELLI *et al.*, 2015). Originalmente esse método recebeu o nome de *refractance window*, uma vez que se acreditava que a transferência de calor acontecia majoritariamente por radiação, ou seja, a água quente emitiria radiação infravermelha que passaria pelo filme de poliéster como uma janela, quando em sua face superior estivesse espalhado uma substância com umidade elevada. Com a redução de umidade do produto, a janela se fecharia a esse mecanismo de transferência de calor (ABONYI *et al.*, 2002; NINDO *et al.*, 2003a; NINDO *et al.*, 2003b). Entretanto, no trabalho de Zotarelli *et al.* (2015) realizou-se um balanço de energia em que se verificou que a contribuição da radiação a esse processo de secagem seria de no máximo 5%, e que a maior contribuição seria de mecanismos condutivos, por isso, esses autores sugeriram a nomenclatura de *cast-tape drying*, em analogia a processos da ciência de materiais, em especial da produção de filmes poliméricos biodegradáveis. Independente da nomenclatura do processo, este tem sido aplicado para a secagem de diversos produtos como: manga (CAPARINO *et al.*, 2012; ZOTARELLI *et al.*, 2017), tomate (DURIGON *et al.*, 2016, 2017), açaí (PAVAN

*et al.*, 2012). Entretanto, para o café encontrou-se na literatura o uso desse método de secagem somente para produção de café solúvel (PARISOTTO *et al.*, 2014).

Outro método empregado na secagem do café é a utilização de silos, nos quais a secagem se processa mais lentamente e exige cuidados especiais, além de consumir eletricidade por tempo prolongado. O custo por tonelada é inversamente proporcional ao tamanho do silo. Assim, a secagem em silo com ar natural é uma opção viável, principalmente, no preparo de cafés especiais, como o café cereja descascado (SILVA; NOGUEIRA; MAGALHÃES, 2008).

## **2.6 Beneficiamento**

O beneficiamento é uma operação pós-colheita que deve ser realizada após a secagem dos grãos de café (umidade 11 a 12% b.u.) e que transforma o fruto seco (coco ou pergaminho) em grãos de café que passam a ter a denominação de café beneficiado ou café verde. Nesta etapa tem-se a eliminação das cascas (película prateada) e separação dos grãos por densidade (utilizando mesas gravitacionais) ou descascadores de amostras.

## **2.7 Armazenamento do café**

A função primordial do armazenamento de grãos é manter a qualidade do produto no período que se estende entre a colheita e sua posterior comercialização. Neste período deve ser garantida sua distribuição para os diversos mercados consumidores. Vale ressaltar que o armazenamento visa conceder ao café um período de necessário repouso para a solidificação dos atributos aromáticos e de sabor (BORÉM, 2008; MUHLBAUER *et al.*, 2020).

No processo de armazenamento, contudo, vários são os fatores que interferem na preservação da qualidade do produto, caso consigam preservar ou não suas características físico-químicas. Dentre elas podem ser citadas o teor de água inicial do produto, condições ambientais do armazém, tipo de embalagem utilizada e tempo de armazenamento. Todos esses fatores podem propiciar a degradação do produto e gerar substâncias que conferem características indesejáveis ao paladar da bebida, alterando negativamente os seus aspectos sensoriais (ABREU, 2018).

## 2.8 Qualidade do café

Para se obter cafés com qualidade superior, é fundamental que haja cuidados com a colheita e com o manejo pós-colheita, visando a comercialização e aumento do lucro do cafeicultor. A cada mercado analisado, nota-se que já existem padrões pré-estabelecidos para definição de qualidade esperada nos produtos. Sendo assim, pode-se definir como qualidade de café o conjunto de atributos físico-químicos, sensoriais e de segurança que atendam às exigências dos mercados consumidores (PEREIRA, 2003; FAVARIN *et al.*, 2004; LEME, 2007; RODARTE, 2008).

Considerando que a comercialização dos produtos está intimamente ligada às características por eles apresentadas, os mercados consumidores estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade da bebida e quanto a origem e forma de preparo dos grãos (MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003).

A intensificação da produção de cafés especiais (café fino ou gourmet), com o sensível diferencial de preço, requer cuidados, seja na seleção dos grãos, na maneira como eles são preparados e nos métodos de cultivo, como também na associação com sabores. Para atingir o mercado dos cafés especiais é necessário produzir cafés de boa qualidade sensorial, em termos de aroma e sabor e com características sensoriais únicas que permitam que ele seja reconhecido. A produção de cafés especiais necessita de muito conhecimento das exigências dos mercados consumidores, bem como investimentos em novas tecnologias de cultivo, manejo e processamento do produto (CAIXETA *et al.*, 2008).

## 2.9 Caracterização físico-química do café

As características físico-químicas dos grãos do café são influenciadas por aspectos ambientais e climáticos (a temperatura, a umidade relativa do ar, os ventos, a precipitação, a altitude e a topografia), aspectos agronômicos (a disponibilidade de água, linha de geada, face do terreno e topografia), escolha do sistema de plantio (o espaçamento, a população de plantas e a mecanização da lavoura), escolha da cultivar e manuseio dos frutos e dos grãos na. Dentre os processos pós-colheita de destaca-se a secagem dos grãos. A manutenção e garantia desta qualidade pós-colheita pode ser obtida por meio da secagem adequada, a qual proporciona aumento

de vida útil, armazenamento e comercialização deste produto (VILLELA, 2002; OLIVEIRA, 2006; MATIELLO et al., 2016; MESQUITA et al., 2016).

### 2.9.1 Umidade

A umidade do café consiste em uma propriedade física relevante de qualidade do produto. Altos teores de umidade podem propiciar a atividade de enzimas e microrganismos, bem como alterar atributos sensoriais do produto. Para atendimento à legislação, a qual define que independente de sua classificação, os teores de umidade do “café beneficiado grão cru” não poderão exceder os máximos limites toleráveis de 12,5% (doze e meio por cento), devendo haver sempre um monitoramento do teor de umidade do café, sendo esta uma maneira de padronizar o produto atendendo aos limites regulamentados pelos órgãos de fiscalização (AGNOLETTI *et al.*, 2019).

Após a secagem, o teor de umidade dos grãos ideal deve estar entre 11 e 12% (CORADI *et al.*, 2007). De acordo com Borém (2008), para teores de umidade inferiores a 11%, os grãos de café além de ocuparem mais tempo nos terreiros ou secadores, empregando mão-de-obra, energia, espaço, apresentam maior risco de quebra no decorrer do beneficiamento. Teores de umidade superiores a 12% nos grãos de café favorecem deteriorações, sobretudo por microrganismos.

### 2.9.2 Cinzas

As cinzas dos alimentos compõem-se do resíduo inorgânico remanescente após a combustão da matéria orgânica, que é convertida em CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. É composto principalmente por uma grande quantidade de cálcio, potássio, magnésio e sódio, pequenas quantidades de alumínio, cobre, ferro e zinco e traços de flúor e iodo (CECCHI, 2003).

A determinação de cinzas permite constatar a presença de matérias inorgânicas nos alimentos. A perda de massa fornece o conteúdo orgânico dos alimentos. A diferença entre a massa inicial da amostra e a massa orgânica resulta na quantidade de cinzas presentes no produto (BORBA, 2010).

### 2.9.3 Compostos nitrogenados

O teor de compostos nitrogenados está relacionado à capacidade de armazenamento de nitrogênio das cultivares de café. Esses componentes nitrogenados são todos os compostos que contêm nitrogênio orgânico ou inorgânico. Dentre os compostos nitrogenados encontrados nos grãos de café, destacam-se as aminas, os aminoácidos, a cafeína, as proteínas, a trigonelina, e alguns componentes voláteis. Esses compostos perfazem 25% da composição do café cru em grão (MACRAE, 1985).

Os componentes nitrogenados do café são todos os compostos que contêm nitrogênio orgânico ou inorgânico. Dentre os compostos nitrogenados encontrados nos grãos de café, destacam-se as aminas, os aminoácidos, a cafeína, as proteínas, a trigonelina, e alguns componentes voláteis. Esses compostos perfazem 25% da composição do café cru em grão (NASCIMENTO, 2006).

A presença da trigonelina tem pouca influência na qualidade do café, já que esse composto é encontrado em pequenas quantidades nos grãos, que normalmente corresponde a 0,7% no café robusta e a 1,0% no café arábica. Contudo, a cafeína apresenta pequena alteração no processo de torração. A perda de nitrogênio de aminoácidos em grãos de café torrados varia dependendo do nível de torração e pode ficar entre 20% e 67% (ALMEIDA, 2007).

A cafeína é um composto que possui sabor amargo bastante característico, contribuindo para o sabor do café. É o componente mais conhecido do café, devido às suas propriedades fisiológicas e farmacológicas. É inodoro e entre algumas propriedades atribuídas à cafeína, comprovadas cientificamente, destacam-se o efeito estimulante do músculo cardíaco e do sistema nervoso central, a redução do sono e atividade antimicrobiana em bactérias (MONTEIRO; TRUGO, 2005).

### 2.9.4 Lipídios

Os teores de lipídios que são encontrados nos grãos de café são relacionados aos ácidos graxos que afetam a qualidade da bebida, porém há poucos estudos neste sentido (AGNOLETTI *et al.*, 2019). Os lipídios possuem um efeito benéfico na qualidade da bebida do café, pois, durante a torrefação, concentram-se nas áreas

externas, formando na semente uma camada protetora contra eventuais perdas ocasionadas pelo processo de secagem (PIMENTA, 2003). A espécie arábica contém de 12 a 18% de óleos, sendo que 75,2% desses lipídios são triglicerídeos. A espécie robusta contém cerca de 9 a 14% de lipídios. A maior parte desses componentes lipídicos é constituída por ácido palmítico (34,5%) e linoleico (40,3%). O perfil de ácidos graxos dos lipídios do café é similar ao dos óleos vegetais comestíveis (TURATTI, 2001; JHAN *et al.*, 2001).

A espécie arábica contém de 12 a 18% de óleos, sendo que 75,2% desses lipídios são triglicerídeos. A espécie *C. canephora* contém cerca de 9 a 14% de lipídios. A maior parte desses óleos é constituída por ácido palmítico (34,5%) e linoleico (40,3%). O perfil de ácidos graxos dos lipídios do café é similar ao dos óleos vegetais comestíveis (TURATTI, 2001; VIDAL, 2001). Os lipídios possuem um efeito benéfico na qualidade da bebida do café, pois, durante a torração, concentram-se nas áreas externas, formando na semente uma camada protetora contra eventuais perdas aromáticas e de conteúdo ocasionadas pelo processo (PIMENTA, 2003).

Durante o armazenamento do café pode ocorrer a liberação de diversos compostos, bem como o aparecimento de sabores indesejáveis devido à oxidação dos lipídios. Caso o café seja exposto a condições favoráveis à oxidação, poderão ocorrer alterações em seu sabor e aroma, provocando perda de qualidade do produto. A hidrólise de lipídios libera ácidos graxos livres, fator que causa queda da qualidade do café durante o armazenamento. A hidrólise do material graxo inicia-se antes da hidrólise de carboidratos ou proteínas, o que pode ser um indicativo de deterioração dos grãos (ORLANDO, 2019).

#### 2.9.5 Acidez titulável total

É possível correlacionar os atributos de acidez da bebida e aroma com a qualidade do café obtido, sendo que a acidez total titulável, que é uma medida global envolvendo todos os ácidos presentes no café. Então seu valor sozinho não pode levar a conclusões gerais sobre uma melhor a classificação do café como sugerido por Voilley *et al.* (1981). O aumento da acidez total titulável muitas vezes é acompanhado por alterações detectadas no sabor da bebida (LOPES; PEREIRA; MENDES, 2000). Menores valores de pH podem indicar prováveis modificações dos

grãos do café, como fermentações, benéficas ou não, que sucedem a pré ou pós-colheita, alterando a bebida (SIQUEIRA; DE ABREU, 2006). As análises da acidez total titulável tem potencial para possibilitar uma classificação de qualidade dos cafés e podem dar maior confiabilidade às classificações realizadas pelas análises sensoriais (MALTA; SANTOS; SILVA, 2008).

Quanto à acidez total dos grãos de café beneficiados, vários trabalhos têm demonstrado haver uma relação inversa entre acidez e a qualidade da 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. Conforme o estudo de De Souza *et al.* (2022), a acidez dos grãos de café beneficiado tem relação inversa com a qualidade do café, sendo verificado uma maior acidez em cafés de pior qualidade. Além disso, a acidez tem um valor mais alto para o café torrado quando comparado ao café verde.

Para análise dos grãos de café, a acidez percebida é um atributo sensorial importante e sua intensidade altera de acordo com o local de origem, condições climáticas durante a colheita e secagem, tipo de colheita, estágio de maturação dos frutos, forma de processamento e tipo de secagem utilizado (SIQUEIRA, ABREU, 2006).

Em estudos de aspectos físicos, químicos, fisiológicos e da qualidade do café após a secagem e armazenamento, Afonso Júnior *et al.* (2001) apontaram que as mudanças na temperatura do ar de secagem e na umidade relativa dos grãos de café despulpados tiveram menos efeito sobre a acidez dos grãos de café, enquanto o índice de acidez titulável dos frutos cereja diminuiu com a elevação da temperatura do ar de secagem.

#### 2.9.6 Ácidos orgânicos

Na análise sensorial um atributo muito importante é a acidez do café. Em termos de qualidade a acidez do café tem sido objeto de diversas discussões científicas. Uma acidez bem equilibrada que combinada com notas aromáticas, frutadas, e por um leve aroma de frutas cítricas e amêndoa, frequentemente, é apreciada como uma importante característica de um café de boa qualidade (GLOESS

*et al.*, 2018) associado ao aumento da acidez à uma qualidade superior do café (AGNOLETTI, 2015). Para Lima Filho *et al.* (2013), Franca, Mendonca, Oliveira (2005) e Mazzafera (1999) o café de baixa qualidade está associado ao aumento da acidez, principalmente devido à fermentação prejudicial.

A acidez decorrente de teores de ácido cítrico, ácido málico e ácido succínico produz uma acidez desejável à qualidade do café, ao passo que a acidez consequente dos ácidos acético, butírico, láctico e propiônico confere efeitos indesejáveis na qualidade do café (MARTINEZ *et al.*, 2014).

### 2.9.7 Açúcares e glicerol

Os açúcares são muito relevantes como precursores de sabor e aroma do café, tais como: acidez, amargor, aroma, cor, doçura e sabor, atributos que culminam em uma boa qualidade do café. Porém, vários estudos ainda discutem sobre quais açúcares devem estar presentes nos grãos de café e suas respectivas concentrações, bem como se essas concentrações influenciariam as características de qualidade da bebida (SANTOS *et al.*, 2018).

A glicose, a frutose e a sacarose são os açúcares que predominam nos frutos e grãos de café, sendo que estes açúcares contribuem com o sabor dulcificado do café na xícara, um dos atributos mais almejados no café especial, estando diretamente ligados à qualidade do café (REDGWELL; FISCHER, 2006). Contudo, podem conter pequenas frações de outros açúcares, como arabinose, estaquiase, galactose, manose, rafinose, ramnose e ribose (ILLY; VIANI, 1998, ROGERS *et al.*, 1999).

Colaborando com o seu sabor dulcificado, um dos atributos mais desejáveis no café gourmet é a doçura, decorrente da presença dos açúcares, que está inteiramente ligado à qualidade do café. Contudo, na literatura, não há consenso de como deve ser o tipo e a concentração de açúcares nos grãos para exercer influência nos atributos de qualidade da bebida, tais como: aroma sabor, acidez, amargor e cor (SANTOS *et al.*, 2018).

Os açúcares livres predominantes nos grãos de café são essencialmente sacarose, frutose e glicose, entretanto, podem ser também encontrados pequenos



percentuais de outros açúcares, como arabinose, estaquiase, manose, galactose, rafinose (ILLY; VIANI, 1998). A sacarose, açúcar de peso molecular baixo e mais abundante no café, pode ser encontrada em teores que podem variar de 3 a 7%, e de 6 a 9% em base seca, principalmente em grãos das espécies arábica (PUERTA, 2011).

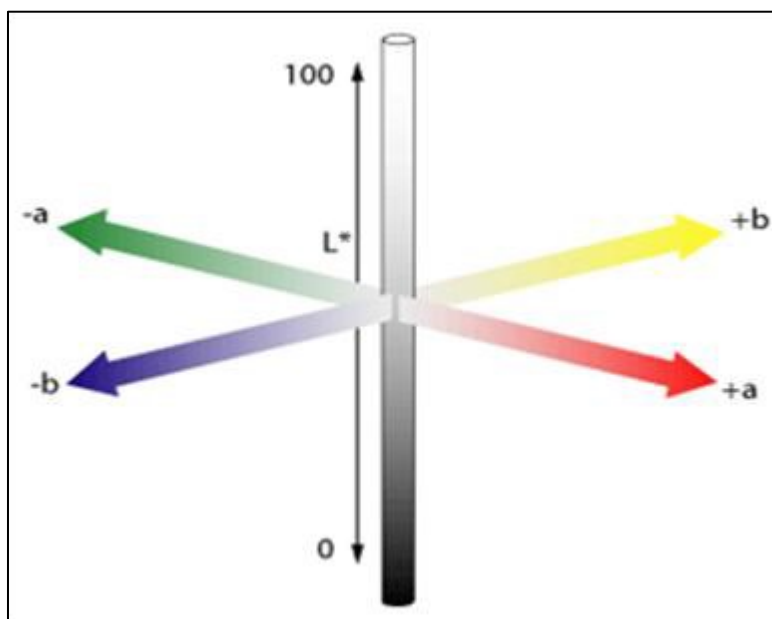
#### 2.9.8 Cor instrumental dos grãos de café

Segundo Moreira (2015) durante a colheita, processamento, secagem e armazenamento, o café pode ter as características físicas alteradas, sendo a cor, a forma e a textura algumas dessas características. Essas características têm influência direta na qualidade e, conseqüentemente, na comercialização do produto.

Borém *et al.* (2013) relacionam a cor do grão de café com a qualidade da bebida, que é um fator importante na sua valorização comercial. A variação de cor nos grãos de café verde é um indício de eventuais transformações bioquímicas e enzimáticas naturais e de processos oxidativos que poderão modificar a composição dos precursores responsáveis pelo aroma e sabor do café, resultando na diminuição da qualidade da bebida.

O sistema mais conhecido para interpretação e padronização de cor medida de forma instrumental, utiliza o conceito dos eixos tridimensionais  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (CIELab). Nobre (2005) afirmou que a avaliação das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  têm sido utilizadas na caracterização física de grãos de café. Conforme representado na Figura 6, 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).

Figura 6 - Sistema de coordenadas CIELAB



Fonte: Ferreira e Spricigo, 2017

De acordo com Menchú *et al.* (1982), 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 e Corrêa (2003), também relataram que a secagem altera a cor dos grãos de café, especialmente nos secadores mecânicos. O efeito da exposição do fruto ao calor na secagem em terreiros, em virtude de utilizar temperaturas ambientes (mais baixas) alteram em menor intensidade as características da cor dos grãos, quando comparado à cor de cafés secos em secadores artificiais.

## 2.10 Análise sensorial

Na análise sensorial são observadas as características do café que compreendem sabor, aroma, acidez, corpo, amargor e impressão global da bebida. A medida do equilíbrio e da intensidade desses atributos definem a qualidade sensorial do café (BORÉM, 2006).

A classificação do café enquanto bebida é definida sensorialmente pelo aroma e sabor, seguindo a Classificação Oficial Brasileira (COB). Sua classificação ocorre

por meio da “prova de xícara” e ocorre no Brasil desde 1917, sendo largamente empregada. Essa classificação é realizada por provadores especializados que possuem a capacidade de distinção sensorial de diferentes padrões da bebida. Por ser menos criteriosa e, ainda assim, empregar a qualidade do produto, a prova de xícara é muito utilizada na classificação de cafés *commodities* (BRASIL, 2003).

A prova de xícara também classifica a bebida do café de forma simples, sendo dividida em mole (sabor agradável, suave e adocicado), estritamente mole (sabor agradável acentuado, suavidade acentuada e adocicado acentuado), apenas mole (sabor suave, menor qualidade, leve aspereza no paladar), dura (gosto acre, adstringente e áspero, menos aromática com fragrância consistente e forte), riado (leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico), rio (sabor acre, cheiro e gosto acentuado de iodofórmio) e rio zona (sabor e odor desagradável acentuado) (BRASIL, 2003).

Para cafés especiais adota-se o método da *Specialty Coffee Association* - (SCA) que identifica o potencial de qualidade, a partir da utilização de um determinado café com protocolos de análise sensorial, com atribuição de notas de 0 a 10, com intervalos de 0,25 pontos na avaliação dos 11 principais atributos do perfil sensorial para café. Estes atributos são os de fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos (xícara limpa), doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e avaliação global. A somatória das notas individuais de todos os atributos constitui a nota final, sendo que notas individuais acima de 8,0 são consideradas excelentes. Na ilustração mostrada na Figura 7 tem-se a classificação de qualidade dos tipos de café, de acordo com a pontuação final, sendo que o café, com nota final acima de 80 pontos é classificado como “Especial”. Além disso, podem ser subclassificados em: pontuação final menor do que 80 – “Abaixo da qualidade especial”; de 80 a 84,99 – “Muito bom”; de 85 a 89,99 – “Excelente” e, de 90 a 100 é “Excepcional” (SCAA, 2015).

Figura 7 - Classificação de qualidade da pontuação total de café



Fonte: SCAA, 2015 adaptado

Com relação ao procedimento para análise, o café deve ser moído até no mínimo 15 min antes da degustação, sendo que para cada amostra foi utilizada 8,25 gramas de café moído em 150 ml de água. O tamanho de partícula do café moído deve ser parecido com a usada na extração por *brewed coffee*, com 70% a 75% das partículas passando em peneira de abertura de 20 mesh, Padrão *US Standards*. Recomenda-se avaliação de no mínimo cinco xícaras para cada amostra de café, para avaliação de uniformidade, devendo ser feita a adequada purificação do moedor entre cada amostra, para que uma amostra não interfira na outra, além de ser assegurado uniformidade na quantidade de pó colocada em cada xícara, que deve ser hermeticamente fechada após colocado o café. Cada xícara é avaliada separadamente, sendo dois pontos por xícara por atributo (dando um total de 10 pontos) (SCAA, 2015).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida na Fazenda Chuá, localizada em Patos de Minas e nos laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), *campus* Patos de Minas.

#### 3.1 Café

As amostras de café arábica (*C. arabica L.*, cultivar Arara) foram originárias de plantas de mesmo talhão AR 171, plantio em 2017, safra 2020/2021, da Fazenda Chuá, localizada no Município de Patos de Minas (latitude 18° 35' 15" S, altitude 1050 m e longitude de 46° 25' 35" S) no estado de Minas Gerais, Brasil. Os frutos foram colhidos mecanicamente no estádio cereja no mês de julho de 2021. O processamento dos frutos se deu por via úmida, em que o exocarpo e da mucilagem foram mecanicamente removidos, resultando no café cereja desmucilado(CD).

Para os seis métodos de secagem investigados, o café analisado foi obtido da mesma cultivar (*C. arabica L.*, cultivar Arara), colhido no mesmo local e na mesma data e processadas na propriedade, onde foram lavados e descascados. Uma amostra de 100 g *in natura* foi preservada em ultra congelador (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C, para análises posteriores de caracterização do fruto de café.

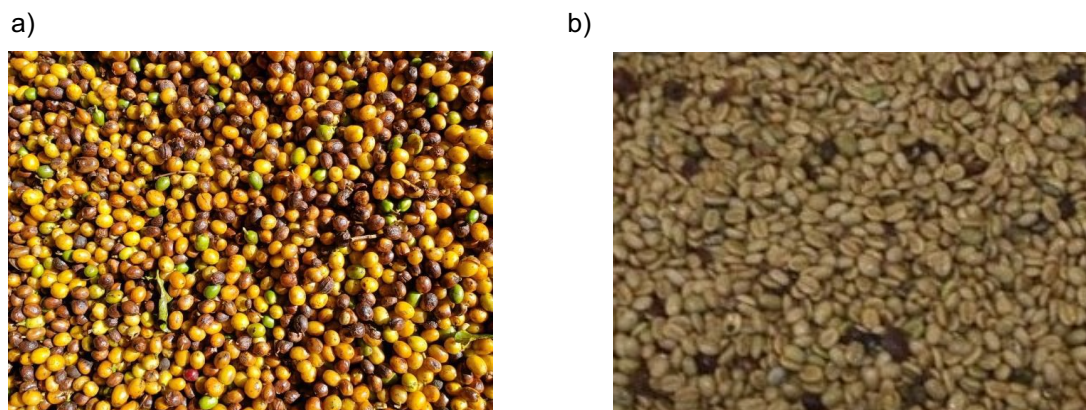
O café cereja foi separado por densidade e processado por via úmida (lavado, descascado e desmucilado). Este preparo ocorreu na propriedade rural Chuá. Antes de submeter esses grãos à operação de secagem tem-se os frutos de café desmucilados *in natura*, sendo que após a secagem e beneficiamento, serão obtidos os grãos de café secos beneficiados.

#### 3.2 Secagem do café

Na fazenda, o mesmo lote de café processado por via úmida (Figura 8 (a)) foi submetido a três processos de secagem diferentes: secagem em secador de leito fixo, secagem em secador de tambor rotativo e secagem combinada, ou seja, secagem utilizando-se o secador de leito fixo (pré-secagem) seguido pelo secador de tambor

rotativo. Para os processos realizados nos laboratórios (secagem em terreiro suspenso, secagem em estufa convectiva e secagem por *cast-tape drying*), utilizou-se 24 L de café Arara desmucilado (Figura 8 (b)) (8 L para cada método de secagem).

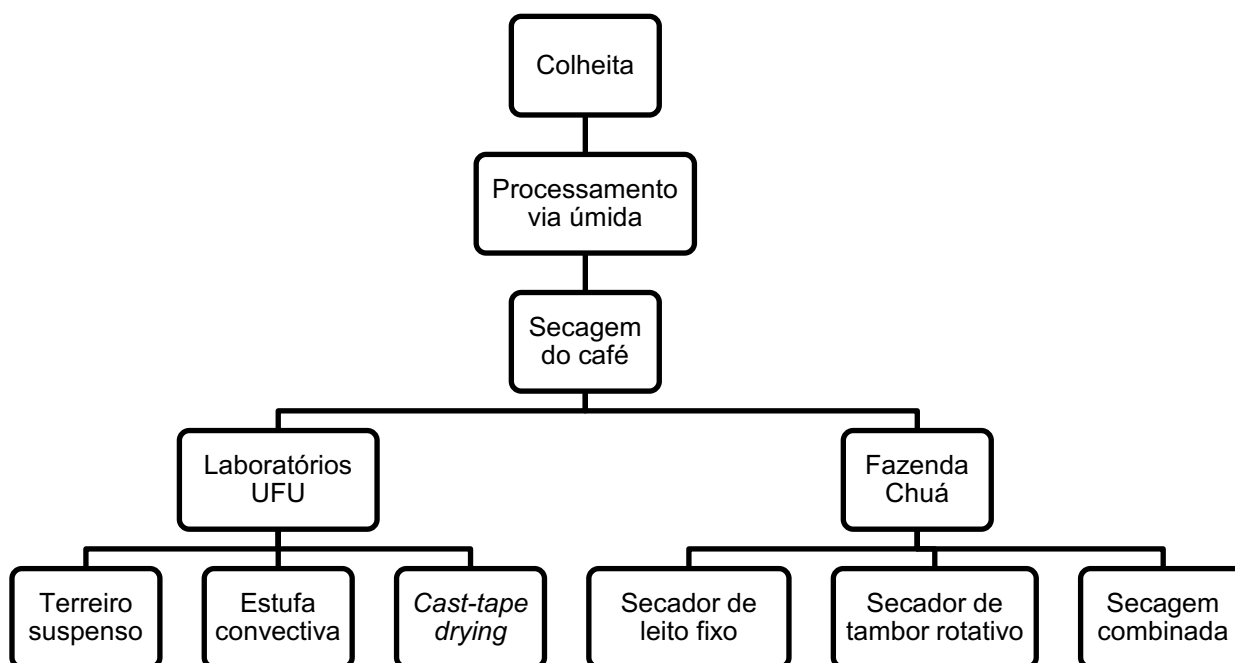
Figura 8 - Café arábica utilizado no experimento: a) Café cereja após a colheita e b) Café (CD) após o processamento via úmida.



Fonte: O autor.

Os métodos de secagem estudados estão esquematizados na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma do processamento do café e métodos de secagem.



Fonte: O autor

Nos processos de secagem em escala de laboratório e em escala agroindustrial, as operações ocorreram de forma intermitente, sendo que o café foi seco durante o dia ficando em resfriamento/ descanso durante o período da noite.

### 3.2.1 Terreiro suspenso

Um terreiro suspenso foi construído com tela metálica hexagonal com fio 18 BWG com 1,24mm de diâmetro e malha 15mm e tela de sombreamento Sombrite® 50% e colocado em local ventilado e ensolarado na parte externa dos Laboratórios dos cursos de Engenharia de Alimentos da UFU, conforme pode ser visualizado na Figura 10. Para realização da secagem, 8 L de café arábica desmucilado foram espalhados na superfície do terreiro suspenso, formando uma camada com espessura de 3 cm. A secagem foi iniciada pela manhã e o café ficou exposto ao sol durante 10 h sendo que, após este período de secagem, o café foi coberto com lona plástica preta para descanso, para evitar o umedecimento durante a noite e nas primeiras horas da manhã. Foram realizados revolvimentos regulares em toda amostra, com uma espátula, em intervalos regulares de 5 h durante o período de exposição à radiação solar.

Figura 10 - Terreiro suspenso - Laboratório UFU - Patos de Minas



Fonte: O autor

### 3.2.2 Estufa convectiva

Uma amostra de 8 L de café arábica desmucilado foi destinada para a secagem na estufa convectiva (ETHIK TECHNOLOGY, Modelo 400-8D, 2012, Brasil) nos Laboratórios da UFU (Figura 11). Para realização da secagem, o café foi espalhado com espessura de 3 cm na superfície da bandeja de chapa expandida, com orifícios em toda sua extensão, o que permitia a passagem do fluxo de ar aquecido. Diariamente, pela manhã, a estufa era ligada com temperatura controlada em 40°C e desligada após 10 h de funcionamento para descanso do café durante a noite, após a secagem parcial. Eram realizados revolvimentos regulares em toda amostra, com uma espátula, em intervalos regulares de 5 h.

Figura 11 - Estufa Convectiva - Laboratório UFU - Patos de Minas



Fonte: O autor

### 3.2.3 *Cast-tape drying*

Uma amostra de 8 L de café arábica desmucilado foi destinada para a secagem em *cast-tape dryer* nos laboratórios da UFU. O secador utilizado em escala de laboratório era composto de uma bandeja de aço inoxidável com dimensões 70 cm × 30 cm × 5 cm, onde circulava a água quente, proveniente de um banho termostático



(SOLAB, modelo SL 152/18, Brasil) associado a uma bomba peristáltica (Cole-Parmer, modelo Masterflex L/S 77250-62, USA). O filme polimérico (*Mylar*® tipo "D" (Dupont, USA) de 0,25 mm de espessura) foi fixado no topo da bandeja de forma que a face inferior ficasse em contato com a água quente circulante e a face superior servisse de suporte para os grãos de café. Um sistema de exaustão foi acoplado ao equipamento. Este sistema foi construído utilizando uma caixa de poliestireno expandido (isopor) com seis ventiladores instalados de forma que três estivessem deslocando ar externo para dentro do equipamento, e três retirando o ar interno para o ambiente externo. Dessa maneira, esse sistema forneceu o fluxo de ar sobre a camada de café com objetivo de retirar a camada estagnada de ar durante a secagem. Na Figura 12 estão apresentados, respectivamente, fotografias e um esquema do método de secagem por *cast-tape drying* utilizado.

Figura 12 - *Cast-tape drying*: a) *Cast-tape dryer* experimental; b) *Cast-tape dryer* acoplado ao sistema de exaustão e c) Esquema de funcionamento do *cast-tape dryer*.

a)



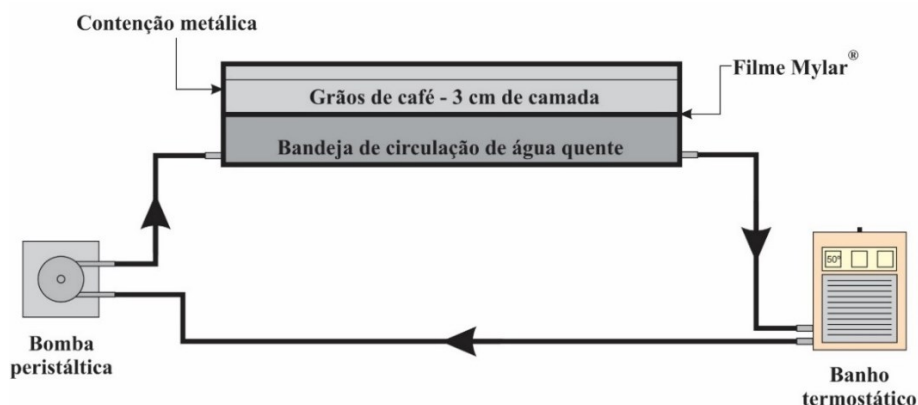
Fonte: O autor

b)



Fonte: O autor

c)



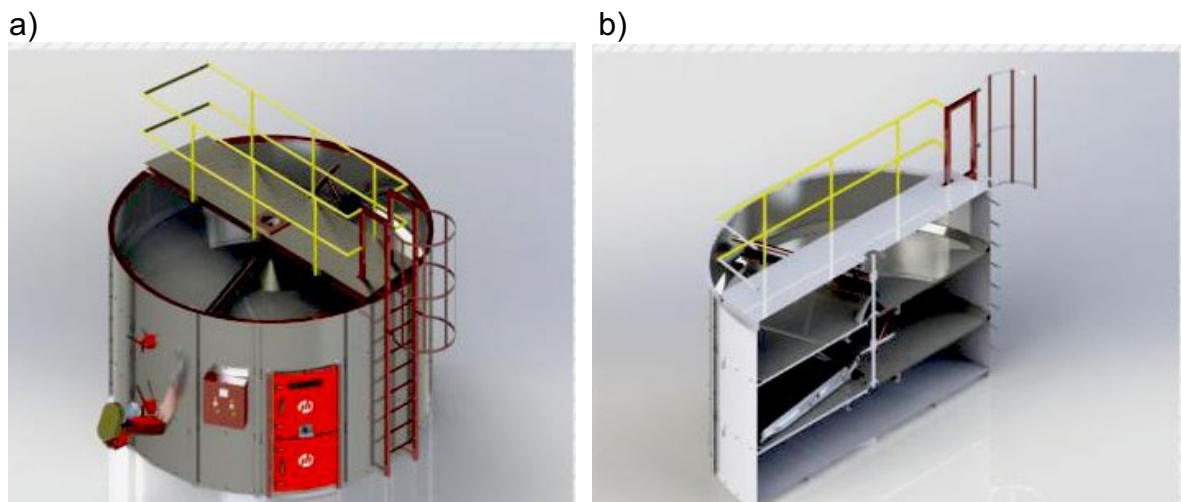
Fonte: O autor

O café foi espalhado com espessura de 3 cm na superfície do filme *Mylar*®, onde foi adaptado uma contenção de aço para manter a camada especificada dos grãos durante a realização da secagem. Diariamente a bomba de circulação e o banho eram ligados pela manhã, mantendo a temperatura da água circulante controlada em 50°C, de forma a manter a temperatura medida na massa de café com termômetro digital tipo espeto (Clink, modelo CK-4599), num valor em torno de 40°C. Testes preliminares foram realizados para determinação do valor da temperatura do banho, de modo que a temperatura da massa do café não ultrapassasse 40°C. Então, após 10 h de funcionamento, o sistema era desligado para descanso do café durante a noite, após a secagem parcial. Eram realizados revolvimentos em intervalos regulares de 5 h.

#### 3.2.4 Secador de leito fixo

O secador de leito fixo Ecodrying SED 15, de capacidade de 15.000 L distribuídos em três pisos, possui revolvimentos automatizados e programáveis e, a partir de um motor elétrico com potência de 24 cv. O secador (Figura 13) tem altura de 3 m, largura de 5 m e 8 m de comprimento e é formado por um conjunto de trocador de calor, que recebe água aquecida por uma fornalha a lenha. Esta água aquecida passa pelo radiador e um ventilador insufla o ar que é aquecido por convecção. Os grãos de café são dispostos nos três pisos, sendo que o fluxo cruzado de ar aquecido que atravessa a massa de café e os revolvimentos periódicos proporcionam uma secagem por convecção relativamente rápida e uniforme.

Figura 13 - Secador Ecodrying SED 15: a) Vista externa do equipamento e, b) Vista interna do equipamento.



Fonte: Manual do Fabricante <http://penagosmontealegre.com.br/secador-ecodrying-sed-2/>

Um volume de 5.040 L de café arábica desmucilado foi levado para a moega de alimentação do secador de leito fixo (Penágos, modelo Ecodrying SED 15, Brasil) (Figura 14) para realizar a secagem. A secagem ocorreu em regime intermitente, sendo 12 h diárias em funcionamento e 12 h desligado. Revolvimentos foram realizados a cada 10 min.

Figura 14 - Secador de leito fixo Ecodrying SED 15 – Fazenda Chuá

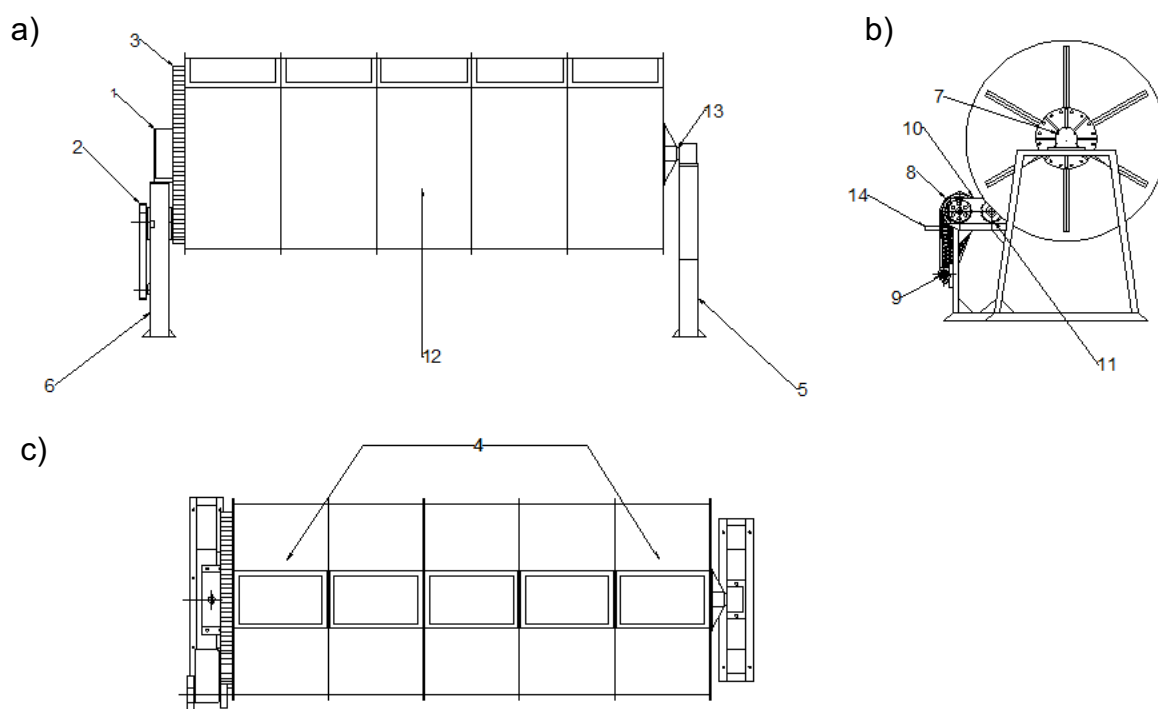


Fonte: O autor

### 3.2.5 Secador de tambor rotativo

O secador de tambor rotativo utilizado possui a capacidade de 15.000 L, com dimensões do tambor de 5,67 m de comprimento e 2,21 m de diâmetro equipado com motor elétrico de 5 cv de potência. O secador apresenta-se como o conjunto formado por cilindro de secagem (tambor) (Figura 15), ventilador e radiador, que recebe água quente de uma caldeira de água quente a lenha. O café introduzido no secador é submetido à secagem por convecção, pelo contato com a corrente de ar quente. Na Figura 15 os números indicados representam: 1 - conjunto mancal dianteiro/engraxadeira; 2 - proteção; 3 - coroa (engrenagem movida); 4 - portas; 5 - cavalete traseiro; 6 - cavalete dianteiro; 7 - mancal traseiro; 8 - polia do freio; 9 - Motor; 10 - redutor; 11 - pinhão (engrenagem motora); 12 - tambor (com pás mexedoras internas); 13 - eixo mancal traseiro; e, 14 - alavanca de freio.

Figura 15 - Partes do secador de tambor rotativo PA-SR/15: a) Vista de frente do secador; b) Vista lateral e c) Vista de cima.



Fonte: Manual do fabricante

Um volume de 8.382 L de café arábica desmucilado passou um dia em terreiro de asfalto da agroindústria para uma pré-secagem e, depois foi alimentado no secador de tambor rotativo (PaliniAlves, modelo PA-SR/15, Brasil) (Figura 16) para a secagem

até o nível de umidade requerido. A pré-secagem foi realizada em terreiro de asfalto, com camada de 5 cm, proporcionando economia de energia. O secador funcionou em regime intermitente, sendo 12 h diárias em funcionamento e 12 h desligado.

Figura 16 - Secador de tambor rotativo PA-SR/15 – Fazenda Chuá



Fonte: O autor

O ar succionado pelo ventilador era aquecido por meio de trocador de calor que recebe água quente da caldeira e é transferido por ventilação forçada para o interior do tambor até o compartimento onde estava o café a ser secado. Enquanto isto, o tambor girava, em baixa rotação. As pás do tambor eram posicionadas para dar movimentação contínua aos grãos. A ventilação do ar aquecido fazia com que a umidade dos grãos de café fosse retirada e a movimentação de rotação do tambor, que gerava movimentação relativa entre os grãos, promovia um aumento da transferência de calor e massa no processo. Para que fosse mantida a temperatura máxima na massa do café de 40°C, o ar insuflado ficou entre 60 a 80°C.

### 3.2.6 Secagem combinada

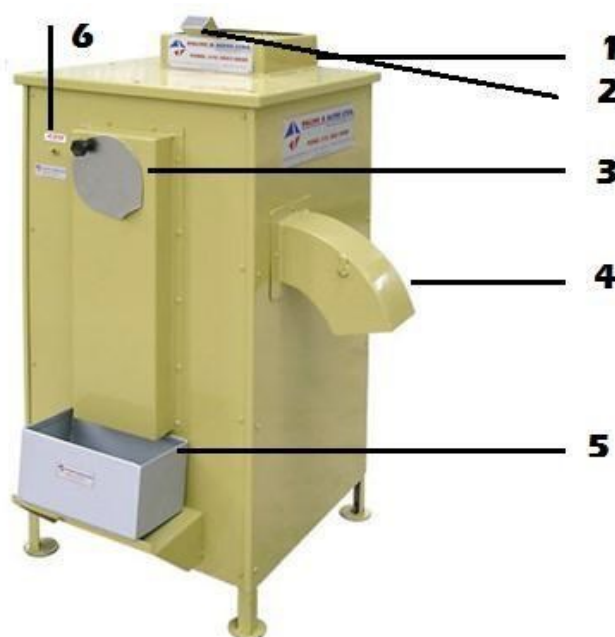
Na secagem combinada, o café arábica desmucilado foi levado para a moega de alimentação do secador de leito fixo Ecodrying SED 15, no qual foi feita uma pré-secagem neste equipamento até atingir a umidade de 25% (b.u.), valor definido experimentalmente para que os tempos dos secadores sejam equivalentes, aproveitando assim a disponibilidade de ambos equipamentos. Após a pré-secagem, o café foi transferido para o secador de tambor rotativo PA-SR/15, onde concluiu-se a secagem.

Após os processos de secagem do café na fazenda, os grãos foram transportados para a tulha onde ficou por um dia para homogeneização da umidade dos grãos e, então, foram beneficiados. Foram retirados 2 kg de amostra dos cafés, após 30 dias de descanso no armazém e levados para os laboratórios da UFU para realização das análises e caracterização.

### 3.2.7 Beneficiamento

Os cafés secos nos laboratórios da UFU foram armazenados em sacos de ráfia, em local fechado e temperatura ambiente e, após um período de descanso de 30 dias foram levados à fazenda para serem beneficiados por meio do procedimento de retirada do endosperma (pergaminho). O descascamento foi realizado por meio de duas passagens em descascador de amostra para café (Palini & Alves, modelo: PA-AMO/30K, Brasil), equipamento ilustrado na Figura 17, na qual, os números indicados significam os seguintes componentes: 1 - registro de regulagem do fluxo de entrada; 2 - regulador da ventilação da palha; 3 - saída de impurezas e palha; 4 - saída do café descascado; 5 - chave liga-desliga; e, 6 - registro de regulagem do fluxo de entrada. Na sequência o material foi soprado em peneira para retirada de palhas.

Figura 17 – Ilustração do descascador de café PA-AMO/30K.



Fonte: Manual do fabricante

### 3.3 Cinética de secagem

Para estudar a cinética de secagem dos métodos realizados nos laboratórios da UFU (secagem em terreiro suspenso, secagem em estufa convectiva e secagem em *cast-tape dryer*) foram retiradas amostras aleatórias e distribuídas na massa de café de 3 a 5 g de grãos, em triplicata, de cada um dos três métodos a cada duas horas no primeiro dia e a cada cinco horas nos dias seguintes. Foram determinados os teores de umidade, por método gravimétrico, conforme procedimento do item 3.4.1 deste trabalho.

Devido às dificuldades com a logística e procedimentos da propriedade rural Chuá, não foi possível a realização das cinéticas de secagem do café arábica nos métodos agroindustriais.

### 3.4 Caracterização físico-química do café

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Química e Análise de Alimentos (LQAAL), Laboratório Instrumental (LINST) e Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias (LAFTOU) do curso de Engenharia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia Química (FEQUI), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), *campus* Patos de Minas.

Para a caracterização do café arábica *in natura* e dos cafés submetidos aos 6 métodos de secagem, as amostras foram preparadas com 300 g de frutos de cafés desmucilados *in natura* e 300 g de grãos de café seco beneficiado de cada método de secagem. Estas amostras foram liofilizadas (liofilizador Liotop, modelo L108) durante 48 h, a 214  $\mu$ Hg e temperatura de  $-60^{\circ}\text{C}$ . Após liofilização, os grãos foram moídos em moinho de facas (SOLAB) em granulometria de 20 mesh, e acondicionados em embalagens de plástico, seladas e armazenadas em ultrafreezer a  $-60^{\circ}\text{C}$  (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) até o momento das análises (PEREIRA, 2018).

#### 3.4.1 Umidade

A determinação da umidade dos grãos de café foi realizada segundo metodologia proposta pela AOAC (1995), que consiste em pesar de 3 a 5 g de grãos

de café em cadinhos previamente secos e tarados, e submeter esses grãos à secagem em estufa a 105°C durante 24 h. Após a retirada da estufa os cadinhos foram resfriados a temperatura ambiente em dessecador e pesados em balança analítica. As análises foram feitas em triplicata. O resultado foi expresso em % (b.u.) (que equivale a grama de água . g<sup>-1</sup> de amostra em base úmida x 100 ).

#### 3.4.2 Cinzas

A perda de peso fornece o conteúdo orgânico dos alimentos. A diferença entre o peso original da amostra e o peso orgânico dá o teor de cinzas presentes no produto (CECCHI, 2003). O método empregado para análise do teor de cinzas foi o da incineração em mufla, no qual toda a matéria orgânica é queimada. Para isso, foram pesados de 3 a 5 g de café em grãos, que foram colocados em um cadinho de porcelana, com massa previamente estabelecida, e mantido na mufla, a 550°C, por um período de 6 h ou até que só restasse cinzas no cadinho. As pesagens foram feitas em triplicata, até peso constante. A diferença entre a massa da amostra final mais o cadinho e a massa do cadinho forneceu a massa das cinzas da amostra (AOAC, 1995). Os resultados foram expressos em % (g de cinzas por 100g de amostra em base seca).

#### 3.4.3 Compostos nitrogenados

O teor de compostos nitrogenados e o teor de proteínas totais foram determinados pelo método adaptado Macro-Kjeldahl, descrito pela AOAC (1995). As amostras foram submetidas a digestão, utilizando aproximadamente 0,1 g de amostra junto com 2 g de mistura catalítica (sulfato de cobre, sulfato de Potássio e óxido de titânio) e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. As amostras foram aquecidas lentamente no digestor até atingir a temperatura de 350°C. A digestão das amostras ocorreu entre 4 a 5 h, até a obtenção de um líquido límpido e transparente, de tonalidade azul-esverdeada. O digestor, então, foi desligado e as amostras ficaram resfriando por 12 h. Após resfriamento dos tubos, adicionou-se cerca de 3 mL de água destilada.

A etapa de destilação ocorreu em aparelho Kjeldahl. Cada tubo digestor contendo a amostra digerida foi adaptado no destilador e acrescido, lentamente, de



aproximadamente 25 mL de solução de NaOH 50%, até a coloração mudasse para marrom, garantindo total neutralização dos ácidos presentes na solução digerida. Na extremidade do condensador foi colocado um erlenmeyer de 250 mL, contendo 25 mL de solução de ácido bórico (4%) com indicador misto (quantidades iguais de solução alcoólica de vermelho de metila 0,2% e solução aquosa de verde de bromocresol a 0,2%), para receber toda a amônia destilada. Os resultados foram expressos em % (g de compostos nitrogenados  $\cdot$  g<sup>-1</sup> de amostra em base seca x 100).

#### 3.4.4 Lipídios

O extrato etéreo (lipídeos do alimento), é composto por moléculas orgânicas formadas a partir de ácidos graxos e álcool. Constitui a fração do alimento que é insolúvel em água, mas solúvel em solventes orgânicos, como éter, clorofórmio e benzeno. O extrato etéreo foi determinado por extração com éter de petróleo em aparelho soxhlet, como descrito na metodologia da AOAC (1995). Em papéis de filtro, foram envolvidos (aproximadamente) 2 g de amostras de café, de modo a formar um cartucho fechado. Os cartuchos foram colocados em tubos, os quais foram, então, encaixados no aparelho de soxhlet e submetidos a 6 h de aquecimento a uma temperatura de 60°C, para a extração dos lipídeos.

Após serem resfriados, os balões de fundo redondo foram retirados do aparelho e levados à estufa convectiva, por 1 h a 105°C, para a completa evaporação do solvente. Posteriormente, os balões contendo o óleo extraído foram para o dessecador, onde permaneceram por aproximadamente 30 min, até atingirem a temperatura ambiente. Após o resfriamento, os balões foram pesados em balança analítica. O resultado foi expresso em % (g de lipídios  $\cdot$  g<sup>-1</sup> de amostra em base seca x 100).

#### 3.4.5 Acidez titulável total

A acidez titulável total foi determinada após reidratação das amostras liofilizadas e moídas (2 g de amostra em 50 mL de água destilada). As suspensões foram tituladas com solução de NaOH 0,1 N, até atingirem o pH de 8,3 de acordo com método descrito pela AOAC (1995). A acidez total titulável é a quantidade de ácido de uma amostra que reage com uma base de concentração conhecida. O procedimento

é feito com a titulação de uma alíquota de amostra com uma base de normalidade conhecida utilizando fenolftaleína como indicador do ponto de viragem. Quando a amostra é colorida, a viragem pode ser verificada através de um potenciômetro pela medida do pH. O resultado foi expresso em (mL NaOH 0,1N . 100 g<sup>-1</sup> de amostra em base seca).

#### 3.4.6 Ácidos orgânicos, açúcares e álcoois

Os ácidos orgânicos (acético, butírico, cítrico, láctico, málico, propiônico, succínico), açúcares (frutose, glicose e sacarose) etanol e glicerol foram analisados utilizando um sistema de cromatografia líquida de alta performance (HPLC) (Shimadzu, modelo LC-20A Prominence, do Laboratório de Análise Instrumental do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando a coluna SUPELCOGEL C610H (SILVA *et al.*, 2013; EVANGELISTA *et al.*, 2014).

O processo cromatográfico consiste na partição dos componentes de uma mistura entre a fase móvel e a fase estacionária. A amostra foi diluída, filtrada e injetada no sistema cromatográfico, na qual os componentes foram separados e detectados por refração de luz. A solução de arraste utilizada foi água deionizada, a vazão volumétrica da bomba de 0,5 mL/min, a temperatura do forno de 32°C e o volume de injeção de 20 µL.

#### 3.4.7 Cor instrumental dos grãos de café

A cor instrumental dos grãos de café arábica seco beneficiados foi determinada em colorímetro (Minolta modelo DP-400), por leitura direta das coordenadas L\*, a\*, b\*, descritas por Nobre (2005). O instrumento foi calibrado em um ladrilho branco (L\* = 98,82; a\* = -0,18; b\* = -0,31) antes de cada medição. A cor, expressa em parâmetros L\*, a\* e b\*, foi medida em amostras de grãos de café secos beneficiados que foram colocadas em recipiente plástico preto e para cada amostra de métodos de secagem foram realizadas dez repetições no colorímetro.

### 3.5 Análise sensorial

As amostras foram preparadas de acordo com a metodologia da *Specialty Coffee Association* (SCA). Foram torrados 150 g de café arábica de cada método de secagem em torrador de amostras (CARBOMAQ, modelo TP4, 2015) (Figura 18) na fazenda São João em Varjão de Minas, MG. Esta operação teve duração entre 12 e 14 min por amostra, para obtenção de torra média. A moagem dos grãos foi realizada em moedor de café (Tramontina) com 70% a 75% das partículas passando por uma peneira de malha 20.

Figura 18 - Equipamentos para preparação do café: a) Torrador de amostras e b) Moedor de grãos.

a)



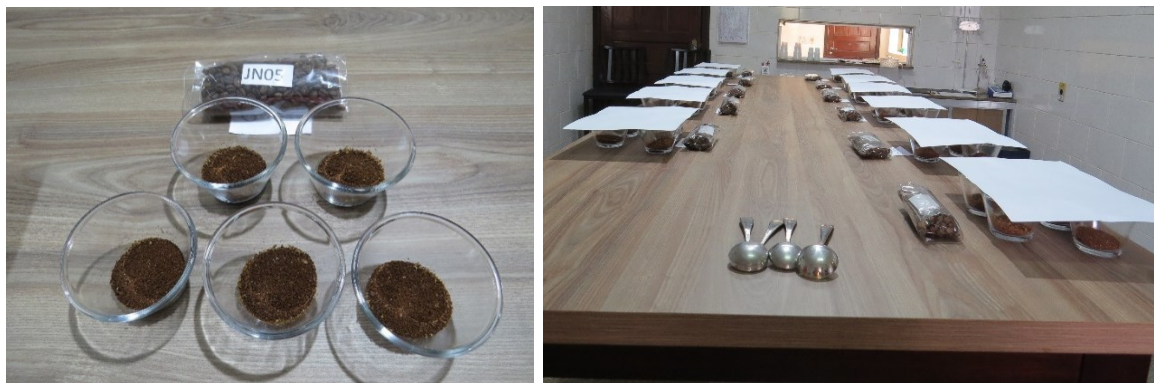
b)



Fonte: O autor

Um painel de cinco especialistas em café treinados, com *Q-Grader Coffee Certificate*, avaliaram as amostras (Figura 19). A metodologia aplicada para avaliar os cafés foi conduzida segundo aos padrões SCA, que avaliam dez atributos sensoriais: fragrância, sabor, gosto residual, acidez, corpo, uniformidade, equilíbrio, doçura, limpeza e geral (SCA, 2013). Estas análises foram realizadas por *Q-graders* de Patos de Minas, MG e região e os avaliadores utilizaram um formulário para classificação (Figura 20).

Figura 19 - Amostras preparadas para avaliação sensorial



Fonte: O autor

Figura 20 - Formulário de Avaliação Sensorial de Café

**SCA - Formulário de Avaliação Sensorial de Café**

Nome: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_ Mesa: \_\_\_\_\_ Sessão: \_\_\_\_\_

Escala de Qualidade			
6.00 - Bom	7.00 - Muito Bom	8.00 - Excelente	9.00 - Excepcional
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Amostra #	Nível de Torra	Pontos: Fragrância/Aroma	Pontos: Sabor	Pontos: Acidez	Pontos: Corpo	Pontos: Uniformidade	Pontos: Xícara Limpa	Pontos: Geral	Total
		Seco Qualidade Crista	Finalização	Intensidade Alta Baixa	Intensidade Alta Baixa	Balanço	Doçura	Defeitos (subtrair) Leve=2 Forte=4 quant. Intensidade	
Obs.: _____									Total Final

Fonte: SCA

### 3.6 Análise estatística

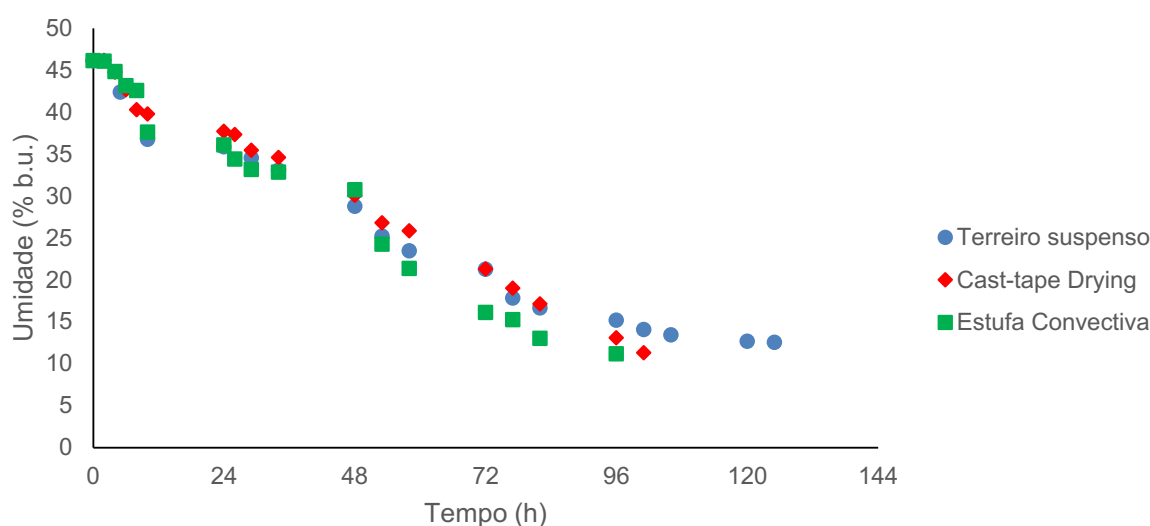
Todas as determinações foram feitas em triplicatas, quintuplicatas (análise sensorial) e 10 replicatas (Cor instrumental dos grãos). As médias da análise de caracterização físico-química do café e os dados da análise sensorial foram calculados e submetidos à ANOVA seguida de comparação *post-hoc* das médias pelo teste de Tukey com 5% de nível de significância no teste de hipóteses.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Cinética de secagem

Os frutos de cafés desmucilados *in natura*, isto é, previamente às operações de secagem apresentaram um valor de umidade de  $46,2\% \pm 0,49$  (b.u.). Na Figura 21 encontram-se os resultados da cinética de secagem, ou seja, variação da umidade em função tempo, do café arábica seco em terreiro suspenso, estufa convectiva e por *cast-tape drying*.

Figura 21 - Cinéticas de secagem do café arábica



Fonte: O autor

De acordo com a literatura (CORADI et al., 2007; BORÉM, 2013;), é bem estabelecido que, visando à obtenção de uma bebida com atributos físico-químicos e sensoriais de qualidade especial (sem quebra dos grãos, deterioração por microrganismos, dentre outras alterações de propriedades), e reduzir custos (principalmente relacionados à energia), em geral, a secagem do café deve ser conduzida de forma a manter a temperatura do grão menor que  $40^{\circ}\text{C}$  e, a obter um produto seco com teor de umidade na faixa entre 11 e 12%. Nesse sentido, de acordo com a Figura 20, a operação foi realizada de maneira que, para os métodos de *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa, a umidade de equilíbrio não foi atingida, por que chegou a umidade ideal para armazenamento de 11 a 12% (b.u.) e a secagem foi interrompida antes de se atingir a umidade de equilíbrio nas condições investigadas.

A secagem no terreiro suspenso teve duração de 5,5 dias até alcançar a umidade de 11,1% (b.u.), totalizando 125 h, sendo 55 h recebendo incidência solar e 70 h com o café coberto por lona no período noturno, quando provavelmente atingiu o equilíbrio. Na estufa convectiva o café no 5º dia de secagem alcançou 11,3% (b.u.), totalizando 96 h de experimento, 40 h com a estufa aquecida a 40°C e 56 h com a estufa desligada e fechada. No *cast-tape dryer* o café atingiu a umidade de 11,2% (b.u.) também no 5º dia de secagem, após 101 h, sendo 55 h com o sistema funcionando e 46 h com o café resfriando e descansando com o sistema desligado e fechado. Constatou-se que, para obter o café com aproximadamente 11% de umidade (valor de referência), a secagem no terreiro suspenso demandou maior tempo de operação para atingir esse valor desejado, enquanto na estufa convectiva foi observado o menor tempo entre os métodos que foram realizados em escala de laboratório. Provavelmente o menor tempo requerido para se atingir o teor de umidade desejado na secagem em estufa convectiva se deveu ao fato do melhor controle das condições de operação nesse método (temperatura e ventilação), com a manutenção da temperatura mais uniforme, fato esse que também pode ajudar a explicar o maior tempo necessário para alcançar a umidade desejada na secagem em terreiro suspenso, devido a variações de temperaturas durante o dia. Vale destacar ainda que a secagem em *cast-tape dryer* é predominantemente estudada para materiais pastosos e a curta janela de safra do café não permitiu a realização de testes preliminares buscando encontrar as melhores condições de desenvolver a operação com grãos.

No estudo de Coradi e Borém (2009) a secagem em terreiro suspenso do café desmucilado ocorreu em 8 dias, com dois revolvimentos por hora durante o dia (8 h/dia). Por outro lado, Ribeiro *et al.* (2017), verificaram que a secagem de café despulpado utilizando-se terreiro suspenso atingiu 11 a 12% de umidade em 284 horas (10 dias). Já no estudo de Kitzberger *et al.* (2013) os frutos de café cereja com maturação semelhante (70-90% de frutos maduros), e selecionados somente frutos maduros foram secos na secagem natural em terreiro ao sol alcançaram a umidade de 12-12,5% entre 15 e 21 dias. De Oliveira *et al.* (2020) relatou no seu estudo com secador de camada fixa adaptado a secagem de um volume de 15.000 L do café arábica despulpado em 92 h, corroborando com os resultados do presente estudo.

Conforme mencionado no item 3.3, não foi possível estudar a cinética de secagem nos métodos agroindustriais. Entretanto, foram necessários 6 dias (144 h), com aproximadamente 58 h com o secador de leito fixo ligado para que a umidade de 11,2% (b.u.) fosse atingida. Já no secador de tambor rotativo o café foi seco até umidade de 11,5% (b.u.) durante 5 dias (120 h), sendo 52 h com o secador em funcionamento. A secagem combinada ocorreu durante 6 dias (144 h), sendo 2,5 h no secador de leito fixo e 47 h no secador rotativo, quando alcançou 11,4% (b.u.). Contudo, não é possível uma comparação adequada entre os tempos de secagem entre os métodos industriais e de laboratório devido a diferença de escala. Dados de umidade relativa não foram coletados neste experimento.

## 4.2 Caracterização físico-química do café

Os valores médios de umidade em % (b.u.), teor de cinzas em % (g de cinzas · g<sup>-1</sup> de amostra em base seca x 100), compostos nitrogenados (g de compostos nitrogenados · g<sup>-1</sup> de amostra em base seca x 100), lipídios em % (g de lipídios · g<sup>-1</sup> de amostra em base seca x 100) e a acidez titulável total (mL NaOH 0,1N · 100 · g<sup>-1</sup> de amostra em base seca) dos frutos de café desmucilados *in natura* e dos grãos de café beneficiados submetidos aos diferentes métodos de secagem estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado de umidade, cinzas, compostos nitrogenados, lipídios, acidez titulável total.

	Umidade (% b.u.)	Cinzas (%)	Compostos nitrogenados (%)	Lipídios (%)	Acidez titulável total (mL NaOH 0,1N · 100 g <sup>-1</sup> )
Café desmucilado <i>in natura</i>	46,2 ± 0,49 <sup>a</sup>	3,95 ± 0,04 <sup>a</sup>	11,3 ± 0,60 <sup>a</sup>	8,62 ± 0,36 <sup>b</sup>	303,70 ± 9,90 <sup>b</sup>
Cafês secos beneficiados					
Terreiro suspenso	11,1 ± 0,79 <sup>b</sup>	3,98 ± 0,02 <sup>a</sup>	7,5 ± 0,60 <sup>b</sup>	14,00 ± 1,03 <sup>a</sup>	282,28 ± 12,22 <sup>a</sup>
Estufa convectiva	11,3 ± 0,87 <sup>b</sup>	4,01 ± 0,10 <sup>a</sup>	12,8 ± 1,00 <sup>a</sup>	14,00 ± 0,29 <sup>a</sup>	295,07 ± 5,12 <sup>a</sup>
<i>Cast-tape dryer</i>	11,2 ± 0,25 <sup>b</sup>	3,98 ± 0,07 <sup>a</sup>	12,0 ± 0,80 <sup>a</sup>	14,20 ± 0,58 <sup>a</sup>	280,99 ± 7,57 <sup>a</sup>
Secador de leito fixo	11,2 ± 0,79 <sup>b</sup>	4,03 ± 0,11 <sup>a</sup>	10,7 ± 1,20 <sup>a</sup>	14,88 ± 0,42 <sup>a</sup>	281,00 ± 1,94 <sup>a</sup>
Secador de tambor rotativo	11,5 ± 0,87 <sup>b</sup>	4,00 ± 0,04 <sup>a</sup>	6,7 ± 1,00 <sup>b</sup>	14,26 ± 0,25 <sup>a</sup>	283,96 ± 9,39 <sup>a</sup>
Secadores industriais combinados	11,4 ± 0,25 <sup>b</sup>	4,02 ± 0,03 <sup>a</sup>	6,7 ± 1,00 <sup>b</sup>	14,88 ± 0,60 <sup>a</sup>	279,05 ± 7,79 <sup>a</sup>

Dados expressos em médias ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

#### 4.2.1 Umidade

A umidade inicial dos frutos de cafés desmucilados *in natura* estava em torno de 46% (b.u.) e foi reduzido por meio dos métodos de secagem para entre 11,1 e 11,5% (b.u.) (Tabela 1). O teor de água para o café cereja desmucilado após a colheita está conforme os valores encontrados que é entre 30-65% (b.u.), o que depende do estágio de maturação e foi reduzido para valores recomendados antes de serem armazenados em todos os processos de secagem estudados (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974; BORÉM, 2008), conforme Tabela 1. Vale ressaltar que, conforme destacado anteriormente, a secagem foi conduzida de forma que o teor de umidade final em todos os métodos fosse o mesmo, entre 12 e 11% (b.u.), o que não significou ter atingido a umidade de equilíbrio nas condições investigadas. Nesse sentido, era esperado que os valores encontrados fossem significativamente iguais, como verificado.

#### 4.2.2 Cinzas

A determinação do teor de cinzas permite constatar a presença de materiais inorgânicos nos alimentos, o que permite analisar posteriormente os minerais específicos e vincular às condições nutricionais dos cafés, já que os minerais são essenciais aos organismos (CECCHI, 2003).

Os valores de cinzas obtidos para as amostras de café variaram entre 3,95 e 4,03%, e não foram observadas diferenças significativas (com 95% de confiança) entre os processos de secagem com relação a essa propriedade (Tabela 1). Além disso, os valores observados para o café desmucilado *in natura* e os cafés secos beneficiados foram significativamente iguais, revelando que a exposição ao calor não afeta essa propriedade. Destaca-se que os resultados encontrados estão abaixo do limite máximo estabelecido pela ANVISA (2006), que recomenda valores menores de 5% ( $5\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) de amostra para cafés moídos e acondicionados.

No presente estudo foram encontrados teores de cinzas que tenderam a ser maiores que o valor médio de 3,44% encontrado por Fernandes *et al.* (2003), em estudo comparando cafés arábica e robusta de safras diferentes e um *blend* contendo 70% de café arábica e 30% de conilon do Brasil. Verifica-se também, que os teores de cinzas obtidos neste trabalho estão próximos aos valores citados por Clarke (1985),



que encontraram valores entre 3,8% (café arábica) e 4,14% (café robusta), em média, para 42 amostras. Os valores de cinzas (resíduo mineral) observados corroboram, ainda, com o relatado nos estudos de Pittia *et al.* (2001) e Jokanović *et al.* (2012) que encontraram valores entre 3,55 e 4,06% para cafés arábica torrados.

#### 4.2.3 Compostos nitrogenados

Os valores de compostos nitrogenados obtidos para as amostras de café variaram entre 6,7 e 12,8%, sendo encontradas diferenças significativas (com 95% de confiança) entre alguns processos de secagem com relação a essa propriedade (Tabela 1). As maiores concentrações de compostos nitrogenados foram obtidas nos processos em laboratório utilizando a estufa convectiva e o *cast-tape dryer* e secador de leito fixo no processo agroindustrial, que ficaram com valores significativamente iguais entre si e quando comparados à concentração do café desmucilado *in natura*. Já as menores concentrações foram obtidas na secagem em terreiro suspenso no laboratório, na secagem em tambor rotativo e na secagem combinada na agroindústria (valores sem diferença significativa).

Conforme reportado, entre os métodos/equipamentos de secagem estudados, nota-se que a composição de compostos nitrogenados não foi afetada pela secagem em estufa convectiva, *cast-tape dryer* e em leito fixo, sendo significativamente iguais quando comparado ao café *in natura* desmucilado. Por outro lado, a quantidade desses compostos foi reduzida após a secagem em terreiro suspenso, secador rotatório e na secagem combinada em leito fixo e rotatório. O fato do teor de nitrogenados não ter diminuído após a secagem por meio de alguns métodos é importante, pois quanto maior os níveis de proteína no grão, maior a possibilidade de formação de compostos aromáticos. As proteínas do café são importantes para a qualidade final, pois o aroma da bebida é devido, em sua grande maioria, às reações químicas envolvendo proteínas no processo de torra. Além disso, as proteínas também são responsáveis pela formação da cor da bebida (UKERS, 2009; SCHOLZ *et al.*, 2011 PIMENTA, 2020).

De acordo com Kitzberger *et al.* (2013) o perfil dos componentes nitrogenados, que são precursores de sabor e aroma do café, pode variar em função de vários fatores, tais como parâmetros edafoclimáticos e manejo da lavoura, maturidade e

sanidade dos grãos e processamento pós-colheita. Deste modo, considerando cafés de mesmas características, há indícios que apontam que as variações descritas ocorreram devido ao processo de secagem dos cafés.

Geromel *et al.* (2008) e Scholz *et al.* (2011) observaram valores de compostos nitrogenados variando de 14,5% a 17,0%, respectivamente, para cultivares modernas e tradicionais de café arábica brasileiro secos naturalmente ao sol, em terreiro. Os compostos nitrogenados (cafeína, proteínas e trigonelina) presentes no café são importantes para a qualidade final pois, o aroma da bebida é devido, em sua grande maioria, às reações químicas envolvendo proteínas no processo de torra (KITZBERGER *et al.*, 2013). Os percentuais encontrados na literatura citada estão acima dos valores encontrados no presente estudo.

#### 4.2.4 Lipídios

No que diz respeito aos lipídios, para os grãos de café secos beneficiados submetidos aos diferentes processos de secagem, os valores obtidos variaram entre 14,00 e 14,88%, sendo significativamente iguais entre os tratamentos (métodos de secagem) ( $p > 0,05$ ), e maiores em comparação ao resultado obtido para os frutos de café desmucilados *in natura* que foi de 8,61%, valores dentro do limite apresentado para os cafés arábicas por Pereira *et al.* (2021). O fato de não ter havido diferença significativa quando comparados os diferentes métodos de secagem indica que, a análise individual dessa característica não é uma variável que irá interferir na escolha do método de secagem, uma vez que seu valor não foi influenciado pelos diferentes métodos analisados. No estudo de Kitzberger *et al.* (2013) foram encontrados valores de lipídios entre 12,0 e 14,4% para cafés arábica de diferentes cultivares e origens geográficas no Brasil, enquanto no trabalho de Oliveira *et al.* (2006) foram encontrados valores em torno de 16% para cafés arábica provenientes do Cerrado Mineiro e Sul de Minas após secagem em terreiros de asfalto. Ambos os estudos apresentaram valores de lipídios próximos aos encontrados no presente estudo. De acordo com Dias *et al.* (2011) os lipídios representam entre 12 e 18% do peso seco do grão, confirmando também com os resultados deste estudo.

#### 4.2.5 Acidez titulável total

Na Tabela 1 observa-se também os valores médios de acidez titulável total, em função dos métodos de secagem em mL NaOH 0,1N  $\cdot$  100g<sup>-1</sup> de amostra. Não existem diferenças significativas para estes valores (com 95% de confiança) entre os cafés submetidos aos diferentes métodos de secagem.

A acidez total titulável encontrada para o café desmucilado *in natura* foi de 303,70 mL NaOH 0,1N  $\cdot$  100g<sup>-1</sup>, enquanto para os cafés secos beneficiados os valores observados foram entre 279,05 e 295,07 mL NaOH 0,1N  $\cdot$  100g<sup>-1</sup>, para os seis métodos de secagem estudados nos experimentos. Estes valores estão dentro da faixa (porém próximos ao limite superior) dos resultados apresentados por Malta, Santos e Silva (2008) que variou de 233,33 a 300 mL NaOH 0,1N  $\cdot$  100g<sup>-1</sup>. Por outro lado, os valores encontrados no presente estudo estão acima daqueles encontrados por Lopes, Pereira, Mendes (2000) e Reinato *et al.* (2003), de 220,00 a 225,00 mL NaOH 0,1N  $\cdot$  100g<sup>-1</sup>.

Em geral, os valores de acidez total titulável foram significativamente iguais quando comparados todos os métodos de secagem. Já quando comparados ao valor obtido para a amostra de café desmucilado *in natura*, se mostraram significativamente menores para um nível de significância de 5%. Desta forma, pode-se dizer que todos os métodos de secagem tenderam a diminuir o valor da acidez total titulável, que poderia resultar em nuances ácidas encontradas na degustação da bebida.

#### 4.2.6 Ácidos orgânicos

As médias dos teores de ácidos orgânicos (cítrico, málico e succínico) dos grãos verdes *in natura*, antes da secagem, e dos grãos verdes submetidos aos seis tipos de tratamentos de secagem, são apresentados na Tabela 2, na concentração de mg do ácido orgânico  $\cdot$  g<sup>-1</sup> de café em base seca. Geralmente, na literatura sobre estudos de café, verifica-se que outros ácidos orgânicos como ácidos acético, butírico, láctico e propiônico, podem constituir a composição do café, mas neste estudo eles não foram detectados. Contudo, sua identificação está associada à fermentação induzida do café, o que se tiver ocorrido, não foi intensa o suficiente no presente estudo para interferir nesses resultados. Estes resultados são interessantes, pois a ocorrência

destes ácidos (acético, butírico, láctico e propiônico) podem conduzir a prejuízos acentuados na qualidade da bebida (COSTA; GODINHO; MOREIRA, 2019).

Tabela 2 – Resultados dos valores dos ácidos orgânicos para o café arábica.

	Cítrico (mg do ácido.g <sup>-1</sup> de massa seca de café)	Málico	Succínico
Café desmucilado <i>in natura</i>	10,86 ± 0,56 <sup>a, b</sup>	4,04 ± 0,34 <sup>a, b</sup>	2,37 ± 0,49 <sup>a</sup>
Cafés secos beneficiados			
Terreiro suspenso	12,33 ± 0,41 <sup>a</sup>	4,48 ± 0,13 <sup>a</sup>	0,59 ± 0,07 <sup>b</sup>
Estufa convectiva	11,57 ± 0,74 <sup>a, b</sup>	4,04 ± 0,37 <sup>a, b</sup>	0,78 ± 0,17 <sup>b</sup>
<i>Cast-tape dryer</i>	11,87 ± 0,64 <sup>a, b</sup>	4,04 ± 0,30 <sup>a, b</sup>	0,68 ± 0,33 <sup>b</sup>
Secador de leito fixo	12,36 ± 0,33 <sup>a</sup>	3,93 ± 0,18 <sup>a, b</sup>	0,86 ± 0,16 <sup>b</sup>
Secador de tambor rotativo	12,19 ± 0,25 <sup>a</sup>	4,03 ± 0,01 <sup>a, b</sup>	0,55 ± 0,12 <sup>b</sup>
Secadores industriais combinados	10,40 ± 0,72 <sup>b</sup>	3,68 ± 0,40 <sup>b</sup>	0,65 ± 0,24 <sup>b</sup>

Dados expressos em médias ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

O teor de ácido cítrico encontrado na amostra de café desmucilado *in natura* foi significativamente igual aos valores quantificados nos diferentes métodos de secagem (valor de  $p > 0,05$ ). Já no que diz respeito à comparação do teor de ácido cítrico obtido nos diferentes métodos de secagem, verifica-se que o valor observado na secagem em secadores industriais combinados (10,40 mg · g<sup>-1</sup> de massa seca de café), para um nível de significância de 5%, foi menor que os valores identificados nos cafés secos em terreiro suspenso, secador em leito fixo e secador em tambor rotativo, e igual aos valores encontrados nos demais secadores (estufa convectiva e *cast-tape dryer*). No estudo de Ribeiro *et al.* (2017) foram encontrados valores de ácido cítrico para o café arábica processado via úmida, sem fermentação, somente com cerejas maduras e desmucilado *in natura* de 5,4 mg · g<sup>-1</sup> de massa seca de café (Cultivar Ouro Amarelo) e 7,5 mg · g<sup>-1</sup> de massa seca de café (Cultivar Mundo Novo). Os valores foram menores ao resultado encontrado no café Arara do presente estudo (Tabela 2) possivelmente pela utilização de apenas cerejas maduras para realizar o experimento.

Quanto aos resultados de teores de ácido málico, por meio da comparação das médias, da mesma forma que observado para o teor de ácido cítrico, nota-se que não houve diferença significativa (valor de  $p > 0,05$ ) entre o valor encontrado na amostra de café *in natura* desmucilado e os valores detectados nos diferentes métodos de secagem. Já no que concerne à comparação do teor de ácido málico determinado nos diferentes métodos de secagem, verifica-se que o valor observado na secagem em leito fixo seguida por tambor rotatório (3,68 mg · g<sup>-1</sup> de massa seca de café) foi menor que o resultado quantificado no café seco em terreiro suspenso, e igual aos valores

obtidos nos demais secadores. Os resultados encontrados corroboram com os valores encontrados por Kitzberger *et al.* (2013) que foram entre 3,0 e 5,4 mg . g<sup>-1</sup> de amostra de café arábica cereja desmucilados secos em terreiros suspensos. Já no estudo de Ribeiro *et al.* (2017) foram encontrados valores de ácido málico para o café controle de 1,3 mg . g<sup>-1</sup> massa seca de café arábica (Cultivar Ouro Amarelo) e 1,5 mg . g<sup>-1</sup> massa seca de café arábica (Cultivar Mundo Novo) de amostra café para os cafés *in natura* processados via úmida sem fermentação e secos terreiros suspensos. Pereira (2015) não constatou concentrações de ácido málico no café arábica cultivar Catuaí despulpado e seco ao sol sem fermentação.

Já os teores de ácido succínico encontrados nas amostras de cafés secos em todos os métodos de secagem foram significativamente iguais (valor de  $p > 0,05$ ) e se diferenciaram (valor de  $p > 0,05$ ) quando comparados a amostra de café desmucilado *in natura*, sendo que o teor desse ácido se mostrou maior (2,37 mg . g<sup>-1</sup> de amostra café) na amostra caracterizada antes da submissão à operação de secagem. No estudo de Bressani *et al.* (2021) foram encontrados, para o café arábica cereja (Catuaí Vermelho) concentrações de ácido succínico de 0,40 mg . g<sup>-1</sup> de amostra café após a secagem sem fermentação, resultados que acima dos encontrados no presente estudo. Já no estudo de Ribeiro *et al.* (2017) foram encontrados valores para os cafés controle de 2,4 mg . g<sup>-1</sup> (Cultivar Ouro Amarelo) e 4,9 mg . g<sup>-1</sup> (Cultivar Mundo Novo) de amostra café para os cafés *in natura* cereja maduros despulpados processados via úmida sem fermentação induzida.

No processamento do café podem ocorrer diferentes fermentações alterando a acidez, o aroma e a cor dos grãos, sendo que fermentações não desejáveis podem resultar na formação de ácidos acético, ácido butírico, ácido láctico e ácido propiônico (BRESSANI *et al.*, 2021). Assim, como neste estudo esses ácidos não foram detectados uma possível ocorrência de fermentação durante o processamento ou foi insuficiente para a ocorrência deles, uma vez que não foram encontrados em nenhuma amostra analisada. Este resultado corrobora com o estudo de Pereira (2015), de fermentações controladas com cafés cereja colhidos recém-colhidos (cultivar Catuaí), no qual não foi detectada a presença de ácido acético e ácido láctico antes da fermentação do café. Porém, estes ácidos foram encontrados após a realização da fermentação do café. No estudo de Bressani *et al.* (2021), que

analisaram a composição química de cafés arábica cereja com inoculação de leveduras e secos ao sol, os ácidos láctico e butírico não foram detectados no início da fermentação do café arábica. Já no estudo de Ribeiro *et al.* (2017) foram encontrados valores de ácido acético para o café controle (sem fermentação induzida) processados via úmida de  $1,1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  massa seca de café (cultivar Ouro Amarelo) e  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  massa seca de café (cultivar Mundo Novo) de amostra café.

Costa e Chagas (1997) verificaram que, quando sob condições anaeróbicas e/ou na presença de micro-organismos, os açúcares existentes na mucilagem podem fermentar originando álcool, que é desdobrado em ácidos acético, butírico e propiônico, trazendo prejuízos acentuados na qualidade da bebida, porém sendo o acético não prejudicial se em baixa quantidade.

#### 4.2.7 Açúcares e glicerol

As médias dos teores de açúcares (frutose, glicose e sacarose) dos grãos verdes *in natura*, antes da secagem, e dos grãos verdes submetidos aos seis tipos de tratamentos de secagem, são apresentados na Tabela 3, na concentração de mg do açúcar  $\cdot \text{g}^{-1}$  de café em base seca.

Tabela 3 – Teor de frutose, glicerol, glicose e de sacarose para o café arábica.

	Frutose	Glicerol	Glicose	Sacarose
	(mg do açúcar $\cdot \text{g}^{-1}$ de massa seca de café)			
Café desmucilado <i>in natura</i>	$11,29 \pm 0,93^a$	$1,45 \pm 0,35^a$	$4,27 \pm 0,39^a$	$68,19 \pm 3,55^a$
Cafés secos beneficiados				
Terreiro suspenso	$5,37 \pm 0,37^b$	$0,22 \pm 0,54^b$	$0,68 \pm 0,11^b$	$84,92 \pm 2,03^b$
Estufa convectiva	$5,04 \pm 0,56^b$	$0,21 \pm 0,31^b$	$0,56 \pm 0,01^b$	$80,87 \pm 2,13^b$
<i>Cast-tape dryer</i>	$4,93 \pm 0,68^b$	$0,19 \pm 0,41^b$	$0,65 \pm 0,11^b$	$79,55 \pm 3,20^b$
Secador de leito fixo	$4,69 \pm 0,37^b$	$0,26 \pm 0,32^b$	$0,45 \pm 0,04^b$	$78,99 \pm 1,02^b$
Secador de tambor rotativo	$4,53 \pm 0,20^b$	$0,28 \pm 0,66^b$	$0,41 \pm 0,01^b$	$84,31 \pm 1,89^b$
Secadores industriais combinados	$4,33 \pm 0,49^b$	$0,25 \pm 0,48^b$	$0,7 \pm 0,040^b$	$80,36 \pm 5,07^b$

Dados expressos em médias  $\pm$  desvio padrão (n=3). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Verifica-se pelos dados da Tabela 3 que os teores de frutose, glicerol e glicose tiveram uma diminuição significativa (nível de confiança de 95%) após a secagem, enquanto o teor de sacarose teve um aumento, corroborando com os resultados de Santos *et al.* (2018). A diminuição dos açúcares redutores, glicose e frutose, deve-se ao fato da hidrólise enzimática ocorrer durante o período da secagem (KLEINWÄCHTER e SELMAR, 2010).

O teor de frutose encontrado na amostra dos frutos de cafés desmucilados *in natura* foi de 11,29 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café e nas amostras de grãos verdes após a secagem variaram entre 4,36 e 5,37 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café, porém, de acordo com a análise estatística, os valores verificados nos diferentes métodos de secagem são significativamente iguais, considerando um nível de significância de 5 % no teste de Tukey. De Carvalho Neto (2018) no seu estudo com café arábica (cultivar Catuaí) secos em estufa de recirculação de ar a 35°C encontrou teor 3,5 mg de frutose.  $g^{-1}$  de massa seca de café.

O teor de glicerol encontrado na amostra dos frutos de cafés desmucilados *in natura* foi de 1,45 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café e nas amostras de grãos verdes após a secagem variaram entre 0,19 e 0,28 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café, porém, de acordo com a análise estatística, os valores verificados nos diferentes métodos de secagem são significativamente iguais, considerando um nível de significância de 5 % no teste de Tukey.

No que diz respeito ao teor de glicose, verifica-se que o valor encontrado na amostra dos frutos de cafés desmucilados *in natura* foi de 4,28 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café e para as amostras de grãos de café secos beneficiados após a secagem variaram entre 0,42 a 0,70 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café, sendo que, comparando os diversos equipamentos de secagem, nota-se que não há diferença significativa, considerando um nível de significância de 5 % no teste de Tukey. Porém, estes valores tenderam a ser maiores quando comparados aos valores encontrados por outros autores em estudos de café arábica despulpados que encontraram valores médios de 0,22 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café após a secagem (MURKOVIC; DERLER, 2006).

O teor de sacarose encontrado na amostra dos frutos de cafés desmucilados *in natura* foi de 68,19 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café e nas amostras de grãos verdes após a secagem variaram entre 78,99 e 84,92 mg do açúcar.  $g^{-1}$  de massa seca de café, porém, de acordo com a análise estatística, os valores verificados nos diferentes métodos de secagem são significativamente iguais, considerando um nível de significância de 5 % no teste de Tukey. Knopp, Bytof e Selmar (2006) encontraram teores de 50 a 85 mg de sacarose.  $g^{-1}$  de massa seca de café para cafés arábica (cultivar Acaiaá) cereja secos em terreiros, corroborando com os resultados do

presente estudo. Segundo Borém (2008) a concentração de sacarose em cafés arábicas comerciais varia entre 50 e 120 mg de sacarose·g<sup>-1</sup> de massa seca de café, valores que validam o resultado do presente estudo (68,19 mg do açúcar·g<sup>-1</sup> de massa seca).

Conforme Murkovic e Derler (2006) os teores de açúcares são associados positivamente com a melhor qualidade do café e tendem sofrer alterações no decorrer do processo de secagem. Esses compostos são importantes nas reações químicas que ocorrem na torra do café, como a reação de *Maillard*, originando compostos responsáveis pela formação da cor, do aroma e do sabor característicos da bebida (BORÉM *et al.*, 2006). Os teores de açúcares encontrados nesta investigação, quando comparados com outros estudos, em geral, se mostraram maiores, indicando que estes açúcares contribuíram para a classificação do café como “Especial”, conforme apresentado e discutido no resultado da análise sensorial, mostrado na seção 4.3.

Embora de acordo com a Tabela 3 a submissão do café desmucilado à operação de secagem tenha reduzido significativamente as concentrações de frutose e glicose do café quando comparado aos teores dos frutos de cafés desmucilados *in natura*, uma vez que não houve diferença significativa quando comparados os diferentes secadores, esse resultado sugere que a análise individual dessas propriedades poderia conduzir à seleção do equipamento que resultou em um menor tempo para alcançar a umidade entre 12 e 11%.

#### 4.2.8 Cor instrumental dos grãos de café

Borém *et al.* (2013) relacionaram a cor do grão de café com a qualidade da bebida, que é um fator importante na sua valorização comercial. A variação de cor nos grãos de café verde é um indício de eventuais transformações bioquímicas enzimáticas naturais e processos oxidativos que podem modificar a composição dos precursores responsáveis pelo aroma e sabor do café, resultando na diminuição da qualidade da bebida.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros de cor instrumental medidos para grãos de café secos beneficiados submetidos aos diferentes processos de secagem.



Tabela 4 – Médias e desvios padrão dos valores L\*, a\* e b\* para os grãos de café arábica.

	L*	a*	b*
Cafés secos beneficiados			
Terreiro suspenso	10,59 ± 0,82 <sup>a</sup>	-0,04 ± 0,17 <sup>a</sup>	7,73 ± 0,45 <sup>a</sup>
Estufa convectiva	9,46 ± 1,17 <sup>a</sup>	-0,17 ± 0,16 <sup>a</sup>	7,38 ± 0,62 <sup>a</sup>
<i>Cast-tape dryer</i>	10,40 ± 0,66 <sup>a</sup>	-0,01 ± 0,21 <sup>a</sup>	7,73 ± 0,22 <sup>a</sup>
Secador de leito fixo	9,99 ± 1,01 <sup>a</sup>	-0,07 ± 0,10 <sup>a</sup>	7,62 ± 0,49 <sup>a</sup>
Secador de tambor rotativo	9,77 ± 1,01 <sup>a</sup>	-0,14 ± 0,19 <sup>a</sup>	7,47 ± 0,48 <sup>a</sup>
Secadores industriais combinados	10,42 ± 0,65 <sup>a</sup>	-0,17 ± 0,07 <sup>a</sup>	7,39 ± 0,17 <sup>a</sup>

Dados expressos em médias ± desvio padrão (n=10). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Não existem diferenças significativas entre os grãos de café secos beneficiados submetidos aos diferentes métodos de secagem quanto a característica luminosidade, valendo destacar que todos os valores foram positivos na escala do parâmetro L\*, indicando a tendência de não obter grãos muito escuros devido a exposição ao calor. Com relação à contribuição do verde/vermelho (parâmetro a\*) nas diferentes amostras de café secos beneficiados, pode-se verificar que em todos os métodos de secagem foram negativos, o que traduz uma coloração mais esverdeada nos grãos de café. Nota-se, ainda, que não houve diferença significativa para os valores do parâmetro a\*, considerando os distintos métodos de secagem. No que diz respeito ao parâmetro b\*, observa-se valores positivos em todos os métodos de secagem, ou seja, tendência ao amarelo (e não ao azul), sendo que, os valores de b\* demonstram resultados significativamente iguais.

Menchú *et al.* (1982) afirmaram que a secagem em secadores mecânicos pode alterar 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. Porém, como os cafés do presente estudo foram secos em temperatura não superior à 40°C, não se detectou essa coloração desuniforme.

Outros autores como Silva *et al.* (2001), Corrêa, Afonso Júnior, Pinto (2002), Afonso Júnior e Corrêa (2003) também relataram que a secagem altera a cor dos grãos de café, especialmente nos secadores mecânicos e afirmam também, que a secagem em terreiro, em virtude de utilizar temperaturas ambientes (mais baixas) não afetam significativamente as características da cor dos grãos, quando comparadas com as de cafés secos em secadores. Nos experimentos conduzidos neste trabalho em questão, como o cuidado com a temperatura da massa foi minucioso, tanto nos

processos de secagem no laboratório quanto no setor agroindustrial, os defeitos de coloração gerados na secagem não foram observados.

### 4.3 Análise sensorial

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das notas atribuídas por cinco Q-graders aos cafés arábica submetidos aos diferentes métodos de secagem estudados, referentes aos atributos principais e nota total da análise sensorial.

Tabela 5 – Média das notas atribuídas por Q-graders para o café arábica torrado.

Atributo	TS	EC	CTD	SLF	STR	SIC
Aroma	7,90 ± 0,42 <sup>a</sup>	8,00 ± 0,40 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,21 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,33 <sup>a</sup>
Sabor	7,90 ± 0,42 <sup>a</sup>	8,20 ± 0,41 <sup>a</sup>	7,85 ± 0,14 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,21 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,60 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,33 <sup>a</sup>
Finalização	7,90 ± 0,42 <sup>a</sup>	8,13 ± 0,35 <sup>a</sup>	7,55 ± 0,11 <sup>a</sup>	7,75 ± 0,18 <sup>a</sup>	7,85 ± 0,52 <sup>a</sup>	7,45 ± 0,41 <sup>a</sup>
Acidez	8,10 ± 0,60 <sup>a</sup>	8,25 ± 0,40 <sup>a</sup>	7,95 ± 0,37 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,85 ± 0,52 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,21 <sup>a</sup>
Corpo	7,85 ± 0,42 <sup>a</sup>	8,00 ± 0,31 <sup>a</sup>	7,65 ± 0,29 <sup>a</sup>	7,90 ± 0,22 <sup>a</sup>	8,00 ± 0,47 <sup>a</sup>	7,55 ± 0,21 <sup>a</sup>
Balanço	7,80 ± 0,45 <sup>a</sup>	8,05 ± 0,45 <sup>a</sup>	7,80 ± 0,11 <sup>a</sup>	7,85 ± 0,52 <sup>a</sup>	7,90 ± 0,34 <sup>a</sup>	7,65 ± 0,34 <sup>a</sup>
Geral	7,85 ± 0,55 <sup>a</sup>	8,10 ± 0,29 <sup>a</sup>	7,60 ± 0,22 <sup>a</sup>	7,75 ± 0,25 <sup>a</sup>	7,85 ± 0,34 <sup>a</sup>	7,60 ± 0,29 <sup>a</sup>
Total	85,30 ± 2,98 <sup>a</sup>	86,75 ± 2,37 <sup>a</sup>	84,10 ± 0,65 <sup>a</sup>	84,45 ± 1,36 <sup>a</sup>	85,05 ± 2,85 <sup>a</sup>	83,45 ± 1,65 <sup>a</sup>

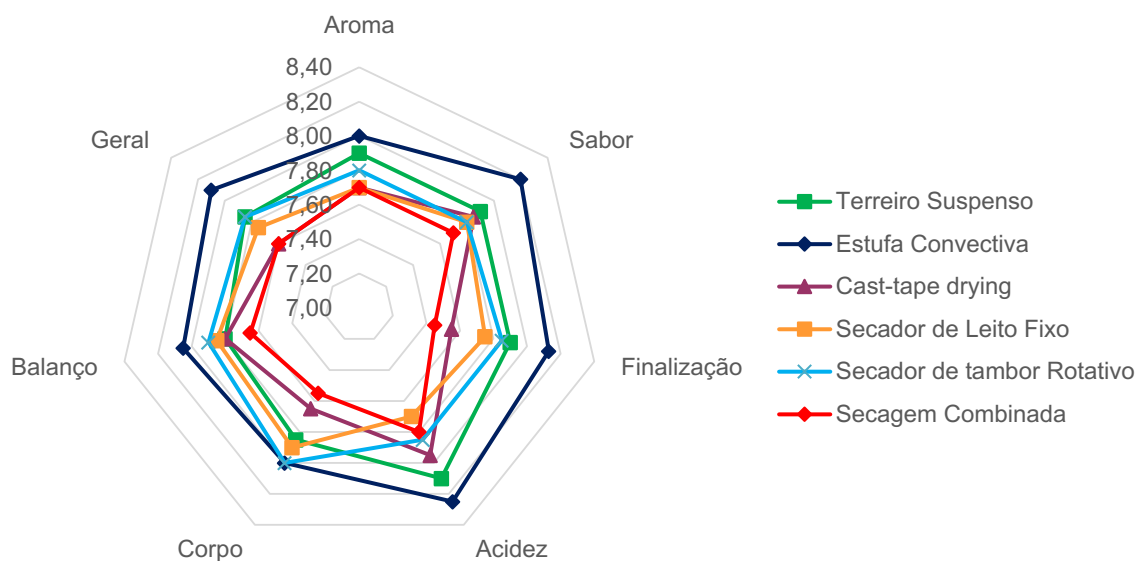
Dados expressos em médias ± desvio padrão (n=5). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

TS; Terreiro suspenso; EC; Estufa convectiva; CTD; *Cast-tape dryer*; SLF: Secador de leito fixo; STR: Secador de tambor rotativo e SIC: Secadores industriais combinados

Pela análise sensorial, os grãos de cafés arábica obtidos pelos seis diferentes métodos de secagem foram classificados como “Especial”, com pontuação entre 83,45 e 86,75 na escala SCA. Os métodos de secagem em terreiro suspenso, estufa convectiva e secador mecânico rotativo resultaram em cafés classificados como “Excelentes”, que conforme Cesar (2021), são aqueles que obtiveram pontuação total entre 85 e 86,75. Os atributos sabor e aroma do café seco em estufa convectiva tendeu a ser superior aos demais, obtendo uma pontuação final de 86,75 pontos, o que define este café como “Excelente” com alto valor de mercado. Contudo, os resultados não diferiram significativamente, e podem ter sido maiores ou iguais a pontuação 85, o que demonstra a qualidade dos produtos obtidos, e sugere que poderia ser selecionado como melhor método/equipamento de secagem, aquele que produzisse de acordo com um compromisso entre maior quantidade e menor tempo de secagem.

Na Figura 22 está apresentado o perfil sensorial dos cafés arábica nos obtidos nos diferentes métodos de secagem.

Figura 22 – Perfil sensorial dos cafés arábica



Fonte: O autor

As notas para Xícara limpa, Uniformidade e Doçura foram 10 em todas as condições e, por isso, não foram apresentadas na Figura 21. Mas, embora não tenha havido diferença estatística significativa com nível de significância de 5%, conforme pode ser observado, de modo geral, as amostras avaliadas a partir da secagem em estufa convectiva tenderam a ser aquelas que apresentaram as maiores notas em todos os atributos.

Entre os fatores que podem ter contribuído para a tendência desse resultado mais positivo da secagem convectiva em estufa tem-se o controle mais preciso da temperatura, o fluxo de ar contínuo e as condições desse processo (transferência de calor em ambos os lados da massa de produto de secagem), que propiciam a transferência de calor convectiva em um sistema menor, o que pode ter conduzido a uma temperatura mais homogênea da massa de grãos, de forma a auxiliar na manutenção dos atributos de qualidade do grão. Por exemplo, na secagem por *cast-tape drying*, apesar de ser um processo com controle das condições, o fornecimento de energia ocorre principalmente de forma unidirecional e majoritariamente por condução (do filme *mylar*® para a massa de produto). Em alguns momentos, a depender de como ocorreu o revolvimento da massa, gradientes de temperatura na carga de grãos podem ter contribuído para uma maior condução de calor, fazendo

com que a massa de café tenha uma temperatura mais heterogênea, refletindo em uma possível perda de qualidade. Da mesma maneira, pode-se observar que os secadores mecânicos (leito fixo, tambor rotativo, e secagem combinada) apresentaram notas inferiores em alguns dos atributos sensoriais avaliados, o que também pode estar relacionado com a dificuldade em controlar a temperatura do produto e o revolvimento da massa de grãos durante a secagem nos secadores em escalas industriais. Segundo Borém (2008), o cuidado com a temperatura que os grãos atingem, a pouca movimentação destes grãos e a otimização do fluxo de ar em contato com a camada de café em secagem convectiva em diferentes equipamentos, são variáveis de processo associadas a melhor qualidade da bebida, o que pode ter se traduzido na tendência de maior pontuação final observada na estufa convectiva.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado com diferentes métodos de secagem de café arábica, considerando as condições operacionais utilizadas pode-se concluir que:

- a secagem no terreiro suspenso foi o método que demandou maior tempo de operação para secagem do café arábica para se atingir a umidade final requerida;
- a partir da cinética de secagem obtida para os métodos investigados em escala de laboratório, verificou-se que, mesmo para os longos tempos de operação, provavelmente a umidade de equilíbrio não tenha sido atingida;
- a associação das características do café, desde o plantio até as condições operacionais de processamento, na secagem do café, em todos os métodos nos parâmetros utilizados, com a obtenção do produto seco, permitiu a obtenção de cafés com a qualidade “Especial”;
- após a secagem não foram identificados o ácido acético, ácido butírico, ácido láctico e ácido propiônico em nenhuma amostra, indicando não ter havido fermentações prejudiciais nos grãos verdes de café. Já os ácidos cítrico, málico e succínico foram encontrados em teores conforme observado em outros estudos;
- o teste estatístico de comparação das médias indicou que não houve diferença significativa entre as coordenadas cromáticas “L\*”, “a\*” e “b\*” em função dos métodos de secagem (valor de  $p > 0,05$ );
- os resultados obtidos, entre os métodos de secagem em escala de laboratório e secadores industriais, demonstraram características físico-químicas e sensoriais que conduziram à cafés com a mesma classificação de qualidade (Especial). Esses resultados mostram que estudos mais abrangentes devem ser explorados abordando o gasto energético de cada secador.

## REFERÊNCIAS

- ABONYI, B. I. *et al.* Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- 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.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por "via seca" e "via úmida". **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1268-1276, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000600010>
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, T.; OLIVEIRA, M. G. **Avaliação da qualidade de grãos de café preparado por "via seca" e "via úmida" em função da condição e período de armazenamento**. Revista Brasileira de Armazenamento. v. especial, n.3, p. 46-53, 2001.
- AGNOLETTI, B. Z. (2015) Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*Coffea canephora*) classificados quanto à qualidade da bebida. Dissertação de Mestrado, Programa Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo.
- AGNOLETTI, B. Z. *et al.* Discriminação de café arábica e conilon utilizando propriedades físico-químicas aliadas à quimiometria. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 785-805, 2019. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190057>
- ALMEIDA, A. A. P.. **Atividade antimicrobiana de extratos e de compostos fenólicos e nitrogenados do café: avaliação in vitro e em modelo alimentar**. 2007.
- AQUINO, A. B. G. *et al.* **Balanco do Agronegócio de Minas Gerais 2021**, Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Seapa. 2021. Disponível em: [http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Balanco\\_Agronegocio\\_2021.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Balanco_Agronegocio_2021.pdf). Acesso em: 19 jun. 2022.
- BARTELEGA, L. *et al.* Dinâmica dos nutrientes e desenvolvimento dos frutos de cafeeiro da cultivar Arara durante o ciclo produtivo. In: **Embrapa Café-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 43., 2017. Poços de Caldas, 2017. Novas Tecnologias difundir, pro bom café produzir. Brasília, DF: Embrapa Café, 2017., 2017.
- BOLETIM DA SAFRA DE CAFÉ. 2021. Conab - Companhia Nacional de abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 19 dez. 2021.
- BORBA, Cristiane Maria de. **Avaliação físico-química de hambúrguer de carne bovina e de frango submetidos a diferentes processamentos térmicos**. 2010.

BORÉM, F. M. *et al.* Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of stored products research**, v. 52, p. 1-6, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>

BORÉM, F. M. *et al.* Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia** [online]. 2008, v. 32, n. 5, pp. 1609-1615. Epub 13 Nov 2008. ISSN 1981-1829. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500038>

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. 5563, abr./jun. 2006. <https://doi.org/10.25186/cs.v1i1.20>

BORÉM, F. M. **Anatomia e composição química do fruto e da semente do cafeeiro**. In: BORÉM, F. M. Pós-colheita do café. Lavras: Editora da UFLA, 2008.

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

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 nº 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.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. Portaria nº 377, de Abril de 1999, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Regulamento técnico para café torrado em grãos e café torrado e moído. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br> . Acesso em: 20 abr. 2022.

BRASIL, Pernod Ricard. **Mini manual de barismo para bartenders** (2016). Disponível em: <https://clubedobarman.com/mini-manual-barismo/> . Acesso em: 19 jun. 2022.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. O que são cafés especiais. **Brazil Specialty Coffee Association**, Varginha, 2012. Disponível em: <https://bsca.com.br/bsca#:~:text=Caf%C3%A9s%20Especiais%20s%C3%A3o%20gr%C3%A3os%20isentos,80%20pontos%20na%20an%C3%A1lise%20sensorial>. Acesso em: 10 nov. 2020.

BRESSANI, Ana Paula Pereira *et al.* Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. **International Journal of Food Microbiology**, v. 343, p. 109107, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109107>

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

CAFÉ no Brasil e Ementário do Café. **MAPA - Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 30 jan. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira> . Acesso em: 25 nov. 2020.

CAIXETA, G. Z. T.; GUIMARÃES, P. T. G.; ROMANIELLO, M. M. **Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura** in INFORME AGROPECUÁRIO. Belo Horizonte/mg: Epamig, v. 18, n. 247, 2008. Disponível em: [http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe\\_agropecuário/Planejamento\\_e\\_gerenciamento\\_da\\_cafeicultura.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_agropecuário/Planejamento_e_gerenciamento_da_cafeicultura.pdf) . Acesso em: 24 nov. 2020.

CAPARINO, O.A. *et al.* Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**. v. 111, p. 135-148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2.ed. Campinas, UNICAMP, 2003. 207p. <https://doi.org/10.7476/9788526814721>

CÉSAR, J. **Entenda o protocolo SCA de pontuação de cafés especiais e seus 11 atributos**. 2021. Padronização do Café Especial, Café Arábica, Ensino e Aprendizado. Disponível em: <https://www.tostati.com.br/entenda-o-protocolo-sca-e-seus-11-atributos/> . Acesso em: 19 jun. 2022.

CESAR, J. **Padronização do café especial, café arábica, ensino e aprendizado**. , 2021 Disponível em: <https://www.tostati.com.br/blog/entenda-o-protocolo-sca-e-seus-11-atributos/> . Acesso em: 06, maio, 2022

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.

CLARKE, R. J. Water and mineral contents. In: **Coffee**. Springer, Dordrecht, 1985. p. 42-82. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5_2)

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. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/5624>

CORADI, P.; BORÉM, F. M.. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despulpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 11, p. 54-63, 2009.

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.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000600010>

COSTA, S. M.; GODINHO, T. O.; MOREIRA, S. O. Qualidade e Diversidade Genética de Mudanças de Cultivares de Café Arábica Produzidas em Tubetes. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.

DA MOTA, Marcela Caroline Batista et al. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. **Food Research International**, v. 136, p. 109482, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>

DE ALMEIDA, Luciana Florêncio; TARABAL, Juliano. Cerrado Mineiro Region designation of origin: Internationalization strategy. In: **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Woodhead Publishing, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00008-1>

DE CARVALHO NETO, Dão P. *et al.* Efficient coffee beans mucilage layer removal using lactic acid fermentation in a stirred-tank bioreactor: Kinetic, metabolic and sensorial studies. **Food bioscience**, v. 26, p. 80-87, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.10.005>

DE OLIVEIRA, Filipe da Silva *et al.* Secador de camada fixa: uma adaptação para melhorar a secagem de café natural no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e34973197-e34973197, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3197>

DE SOUZA, Inês Viana *et al.* Caracterização físico-química de grãos de genótipos de cafeeiro conilon em altitude de transição. **Pensar Acadêmico**, v. 20, n. 1, p. 16-31, 2022.

DURIGON, A. *et al.* Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145–155, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

DURIGON, A. *et al.* Heat transfer and drying kinetics of tomato pulp processed by cast-tape drying. **Drying Technology**, v. 36, p. 160-168, 2017.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1304411>

EMATER MG. Série tecnológica cafeicultura Preparo do café: via seca e via úmida. **Publicação técnica da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais** - Emater-MG. Disponível em: [http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/folder\\_preparo\\_caf%C3%A9\\_via\\_seca%20%C3%BAmida.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/folder_preparo_caf%C3%A9_via_seca%20%C3%BAmida.pdf). Acesso em 10 jul. 2021.

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. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200013>

FERNANDES, S. M. *et al.* Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arábica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrado. **Ciênc.**

**Agrotecnol.**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, set./out. 2003.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000500015>

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C.. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. 2017.

FRANCA, A. S., MENDONÇA, J. C. F., OLIVEIRA, S. D. (2005). Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. *LWT- Food Science and Technology*, 38, 709–715. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.014>

FRANCK, Alison Geovani Schwingel et al. Análise da competitividade do mercado exportador brasileiro de café. **Desafio Online**, v. 4, n. 3, p. 1-21, 2016.

GEROMEL, C. *et al.*. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.02.006>

GLOESS, A. N., *et al.* (2018). On-line analysis of coffee roasting with ion mobility spectrometry–mass spectrometry (IMS–MS). *International Journal of Mass Spectrometry*, 424, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2017.11.017>

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee – the chemistry of quality**. 3rd ed. London: Academic Press Limited, 1998. 235 p.

JOKANOVIĆ, M. R. *et al.* Changes of physical properties of coffee beans during roasting. **Acta Periodica Technologica**, n. 43, p. 21-31, 2012. <https://doi.org/10.2298/APT1243021J>

KITZBERGER, C. S. G. *et al.*. **Composição química de cafés arábica de cultivares tradicionais e modernas**, *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.48, n.11, p.1498-1506, nov. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100011>

KLEINWÄCHTER, Maik; SELMAR, Dirk. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 500-504, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.048>

KNOPP, Sven; BYTOF, Gerhard; SELMAR, Dirk. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, v. 223, n. 2, p. 195-201, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1>

LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J.S. Secagem de café em combinação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2006, v. 10, n. 3, pp. 671-678. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300020>

LELOUP, V. *et al.* Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: **ASIC 2004. 20th International Conference on Coffee Science, Bangalore, India, 11-15 October 2004**. Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), 2005. p. 93-101.

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.

LEMOS, M. F. *et al.* Chemical and sensory profile of new genotypes of Brazilian *Coffea canephora*. **Food chemistry**, v. 310, p. 125850, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125850>

LIMA FILHO, T., *et al.* (2013). Composição físico-química e qualidade sensorial de café conilon produzido no Estado do Espírito Santo e submetido a diferentes formas de processamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, 34(4), 1723–1730. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1723>

LOPES, L. M. V.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G.. **Teor de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH de grãos crus e torrados de sete cultivares de café (Coffea arabica L.) e suas variações como o processo de torração**. 2000.

MACRAE, R. Nitrogenous components. In: **Coffee**. Springer, Dordrecht, 1985. p. 115-152. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5_4)

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

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

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; OLIVEIRA, W. M. Composição físicoquímica e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 6, n. 6, p. 37-41, 2003. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2386>

MALTA, M.R., SANTOS, M.L, SILVA, F.A.M. (2008). Qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arábica L.*). *Acta Scientiarum Agronomia*, 24(5), 1385.

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.

MARTINEZ, H. E. P., *et al.*. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, 2014, 61, 838–848. <https://doi.org/10.1590/0034-737x20146100009>

MARTINS, D. R., *et al.* Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. 2005, **Bragantia**, Campinas, v.64 n.1 p.115-126. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100013>

MATIELLO, J. B. *et al.* **Japi e Arara, duas novas variedades de café com resistência á ferrugem e boa produtividade**. 2008.

MATIELLO, J. B., SANTINATO R., ALMEIDA, S.R., GARCIA, A.W.R. *Cultura do café no Brasil: manual de recomendações*. 1 ed. 2015. São Paulo: Futurama, 2016.

MAZZAFERA, P. Chemical composition of defective coffee beans. **Food Chemistry**, London, v. 64, n. 4, p. 547-554, Mar. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00167-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00167-8)

MENCHÚ, J. F. *et al.* El beneficiado de café y el aprovechamiento de sus subproductos. In: **4. Simposio Latinoamericano sobre Caficultura 7-8 Dic 1981 Guatemala (Guatemala)**. IICA, San José (Costa Rica). PROMECAFEIICA, San José (Costa Rica). Zona Norte, 1982.

MENDONÇA, L. M. V. L. *et al.* Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à Hemileia vastatrix Berg et Br. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.2, p. 413-419, 2007 <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200022>

MESQUITA, C. M. *et al.* Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arabica* L.). Belo Horizonte: Emater/mg, 2016. 52 p. Disponível em: [http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/livro\\_colheita\\_preparo.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_colheita_preparo.pdf). Acesso em: 23 nov. 2020.

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química nova**, v. 28, p. 637-641, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000400016>

MORAIS, Marcelo Orozco. A arquitetura política de construção do terroir do café no cerrado de Minas Gerais. **Geografia Política, Geopolítica e Gestão do Território: integração sul-americana e regiões periféricas**. Porto Alegre: Editora Letra1, p. 329-340, 2018. <https://doi.org/10.21826/9788563800367-21>

MOREIRA, R.V.. **Caracterização do processo de secagem do café natural submetido a diferentes métodos de secagem**. 2015.

MUHLBAUER, HC Werner; MULLER, Joachim. **Drying atlas: Drying kinetics and quality of agricultural products**. Woodhead Publishing, 2020.

MURKOVIC, M.; DERLER, K.. Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, v. 69, n. 1-2, p. 25-32, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2006.02.001>

NASCIMENTO, P. M. **Estudo da composição química, atividade antioxidante e potencial odorífico de um café conillon, em diferentes graus de torrefação e análise comparativa com café arábica**. 2006.

NINDO, C.I. *et al.* Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 27, p. 117-136, 2003a. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00506.x>

NINDO, C. I. *et al.* Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 36, p. 507-516, 2003b. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)

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.

OLIVEIRA, L.S. *et al.* **Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans**. **LWT - Food Science and Technology**, v.39, p.235-239, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.011>

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

PARISOTTO, E. I. B. *et al.* Obtenção de café solúvel pela secagem do extrato por refractance window. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis. **Anais** [...] Editora Edgard Blücher, 2014 p. 1-8. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1276-20132-160565>

PAVAN, M.A.; SCHMIDT, S.J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT-Food Science and Technology**, v. 48, p. 75-81, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024>

PEREIRA, G. V.M. *et al.* Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. **Food Research International**, v. 75, p. 348-356, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>

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 arabica* 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, Lucas Louzada; MOREIRA, Taís Rizzo (Ed.). **Quality Determinants In Coffee Production**. Springer International Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

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. **Qualidade do café**. Lavras: Ed. da Ufla, 2003.304p.

PITTIA, P.; DALLA ROSA, M.; LERICI, C. R. Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 168-175, 2001. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0749>

PUERTA, G. Composición de una taza de café. **Avances em Química**, n. 414, p. 1-12, 2011.

PUERTA-QUINTERO, G. I. P. Evaluación de la calidad del café colombiano procesado por via seca. **Cenicafé**, San José, Agronômica Ceres, p. 85-90, 1996.

REDGWELL, R.; FISCHER, M.. Coffee carbohydrates. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 165-174, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100012>

REINATO, C. H. R. *et al.* Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso da lenha e do GLP na secagem do café. **Revista Brasileira de Armazenamento (Brasil) (Especial Café-no. 7)** p. 3-13, 2003.

RIBEIRO, L. S. *et al.* Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. **Food Research International**, v. 92, p. 26-32, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>

RIGUEIRA, R. J. A.. **Avaliação da Qualidade do Café processado por via úmida durante a operação de secagem e armazenagem**. 2005. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

RIOS, S. F.. Crescimento vegetativo e produtivo de cultivares de cafeeiros irrigados com água magnetizada na região do cerrado mineiro. 2021.

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.

RURALNEWS. O Cultivo do Café. Cafeicultura, Rio Paranaíba, 29 out. 2005. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/?mat=2528> . Acesso em: 24 nov. 2020.

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. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000100025>

SANTANA, Guilherme Henrique dos Santos et al. Indicação geográfica (IG) do café do Cerrado Mineiro: dinâmicas e territorialidades. 2022.

SANTINATO, F. *et al.* Variação da produtividade em função da colheita com até seis operações da colhedora e colheita manual. 2014.

SANTOS, R. A. *et al.* Análises de açúcares e ácidos clorogênicos de cafés colhidos em diferentes estádios de maturação e após o processamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16317>

SCHOLZ, M.B. S. *et al.* Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do Iapar. **Coffee Science**, v.6, p.245-255, 2011.

SILVA, J.S.; NOGUEIRA, R.M.; MAGALHÃES, E. A. Secagem em Silo – Uma Opção para o Café. In: **Revista Engenharia na Agricultura** – Boletim Técnico Nº 9. Viçosa, 2008. 31 p.

SILVA, J., *et al.* Lavadores e Sistema de Reuso de Água no Preparo do Café. (Circular Técnica), Brasília; EMBRAPA, 2014.

SILVA, Rossana Pierangeli Godinho *et al.* **Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade.** 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. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100016>

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. SCAA Protocols: Cupping Specialty Coffee, 2015.

TEIXEIRA, A. A. *et al.* **Secagem do café cereja e cereja descascado, com e sem movimentação e seus efeitos na bebida do espresso.** 2017.

TEIXEIRA, M. M.. **Influência dos Diferentes Processos de Pós-Colheita na Agregação de Valor do Café Conilon.** 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES, 2011.

TEIXEIRA, Leonardo Ávila. **Da lavoura à mesa diretora: as mulheres na produção do café.** 2018. Disponível em: <https://gq.globo.com/Prazeres/Poder/noticia/2018/03/da-lavoura-mesa-diretora-mulheres-na-producao-do-cafe.html#:~:text=A%20gente%20acredita%20muito%20que,portanto%2C%20mant%C3%AA%20o%20saud%C3%A1vel> . Acesso em: 19 jun. 2022.

TURATTI, J.M. Extração e caracterização de óleo de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos expandidos [...]** Brasília: EMBRAPA Café, p. 1533-1539, 2001.

VIDAL, H.M. **Composição lipídica e a qualidade do café (*Coffea arabica* L.) durante armazenamento.** Viçosa, MG, 2001. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa.

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. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-3417-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-009-3417-7_1)

VOILLEY, A., SAUVAGEOT, F., & SIMATOS, D. (1981). Influência de algumas condições de processamento na qualidade do preparo do café. *Jornal de Processamento e Preservação de Alimentos*, 5, 135-143.

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

WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers**. Weinheim: Wiley VCH, 2004. 711 p. <https://doi.org/10.1002/9783527619627>

ZOTARELLI, M. F. *et al.* Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, [S.L.], v. 305, p. 447-454, jan. 2017. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B.. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, [S.L.], v. 69, p. 410-417, mar. 2015. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>