

**RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS, TEMPO DE  
SECAGEM E ATRIBUTOS SENSORIAIS DE QUALIDADE DO CAFÉ  
ARÁBICA DO CAPARAÓ, AVALIADAS EM DIFERENTES DATAS DE  
COLHEITA**

**FLÁVIO PAVESI SIMÃO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2021**



RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS, TEMPO DE  
SECAGEM E ATRIBUTOS SENSORIAIS DE QUALIDADE DO CAFÉ  
ARÁBICA DO CAPARAÓ, AVALIADAS EM DIFERENTES DATAS DE  
COLHEITA

**FLÁVIO PAVESI SIMÃO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Geraldo de Amaral Gravina

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
FEVEREIRO – 2021

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

S588

Simão, Flavio Pavesi.

RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS, TEMPO DE SECAGEM E ATRIBUTOS SENSORIAIS DE QUALIDADE DO CAFÉ ARÁBICA DO CAPARAÓ, AVALIADAS EM DIFERENTES DATAS DE COLHEITA / Flavio Pavesi Simão. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

67 f. : il.

Bibliografia: 49 - 55.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.  
Orientador: Geraldo de Amaral Gravina.

1. CAFÉS ESPECIAIS. 2. CAFEICULTURA DE MONTANHA. 3. PÓS-COLHEITA. 4. QUALIDADE DA BEBIDA. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

RELAÇÕES ENTRE FATORES AMBIENTAIS, TEMPO DE  
SECAGEM E ATRIBUTOS SENSORIAIS DE QUALIDADE DO CAFÉ  
ARÁBICA DO CAPARAÓ, AVALIADAS EM DIFERENTES DATAS DE  
COLHEITA

**FLÁVIO PAVESI SIMÃO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 12 de fevereiro de 2021

Comissão Examinadora:

---

Prof. Elias Fernandes de Sousa (D. Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Marcelo Vivas (D. Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF

---

Prof. Janio Glória de Oliveira (D. Sc., Produção Vegetal) - IFES

---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D. Sc., Produção Vegetal) – UENF  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), ao Instituto Federal do Espírito Santo e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil, código de financiamento 001, por meio do projeto Dinter de fomento à produção acadêmica, que viabilizaram a minha formação, em nível de pós-graduação *stricto sensu* e pela concessão de bolsa durante parte do curso. Ao IFES pela flexibilização do trabalho durante o período do curso.

Ao meu orientador, professor Geraldo de Amaral Gravina, por ter me aceitado nesta empreitada, por ter me direcionado e ensinado quanto aos procedimentos estatísticos, pela ajuda nos trâmites burocráticos e pela liberdade dada para desenvolver a pesquisa, de acordo com minha realidade de trabalho e pela paciência constante, mesmo durante as situações, para mim, difíceis.

Ao meu amigo Deusélio pela ajuda na interpretação, investigação e direcionamento de dados técnicos da área estatística.

Aos meus familiares. Agradeço minha esposa Janaína pelo companheirismo, aos meus pais Francisco e Ignez, às minhas irmãs, pela paciência e, em especial, ao meu irmão João Batista pela ajuda na interpretação de aspectos técnicos que envolvem o estudo da Agronomia.

## SUMÁRIO

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMO .....                                                       | v   |
| ABSTRACT .....                                                     | vii |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                | 1   |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                     | 4   |
| 2.1 A história do café .....                                       | 4   |
| 2.2 Produção de café no Brasil .....                               | 5   |
| 2.3 Produção de café no entorno do Caparaó.....                    | 7   |
| 2.4 Café Arábica .....                                             | 7   |
| 2.4.1 <i>Cultivares da C. Arabica</i> .....                        | 8   |
| 2.4.2 <i>Variedade Catuaí vermelho</i> .....                       | 11  |
| 2.5 Café de altitude .....                                         | 11  |
| 2.6 Colheita do café e sua influência na qualidade da bebida ..... | 14  |
| 2.7 Pós-colheita .....                                             | 15  |
| 2.7.1 <i>Processamento do Café</i> .....                           | 16  |
| 2.8 Processo de secagem.....                                       | 17  |
| 2.8.1 <i>Princípios gerais da secagem</i> .....                    | 18  |
| 2.9 Métodos de secagem.....                                        | 19  |
| 2.9.1 <i>Secagem Natural</i> .....                                 | 20  |
| 2.9.2 <i>Secagem Artificial</i> .....                              | 20  |

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9.2.1 <i>Secagem em terreiros</i> .....                                                                                                                                                             | 20 |
| 2.9.2.2 <i>Secagem em terreiro suspenso</i> .....                                                                                                                                                     | 21 |
| 2.9.2.3 <i>Secagem com baixas temperaturas</i> .....                                                                                                                                                  | 22 |
| 2.10 Interferência da secagem na qualidade do café .....                                                                                                                                              | 23 |
| 2.11 Métodos de análise estatística .....                                                                                                                                                             | 25 |
| 2.11.1 <i>Análise de Componentes Principais</i> .....                                                                                                                                                 | 25 |
| 2.11.2 <i>Trabalhos correlatos</i> .....                                                                                                                                                              | 26 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                                                           | 28 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                                                       | 31 |
| 4.1 Relações entre altitude, data da colheita e número de dias de secagem entre si e em função da temperatura média e umidade relativa do ar, no ambiente de pós-colheita, na Região do Caparaó ..... | 33 |
| 4.2 Efeitos da altitude da lavoura, da temperatura média e da umidade relativa do ar média no ambiente de secagem sobre atributos sensoriais de café arábica da Região do Caparaó .....               | 40 |
| 4.3 Influência da data da colheita na temperatura e umidade, máximas e mínimas e, no número de dias de secagem .....                                                                                  | 42 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES .....                                                                                                                                                                          | 47 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                                                                      | 49 |

## RESUMO

PAVESI SIMÃO, Flávio; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Dezembro de 2021; Relações entre fatores ambientais, tempo de secagem e atributos sensoriais de qualidade do café arábica do Caparaó, avaliada em diferentes datas de colheita; Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Amaral Gravina.

O café desponta como uma das bebidas mais consumidas no mundo, ficando o Brasil em segundo lugar neste quesito, mas, ocupando o primeiro lugar em volume produzido. Os estados de Minas Gerais e Espírito Santo lideram o ranking de produção nacional sendo, nos municípios do entorno do Parque Nacional do Caparaó, o lugar onde se encontram alguns dos melhores cafés nacionais, cultivados em altitudes de até 1.500m. Apesar da qualidade do café produzido nesta região ser reconhecido nacional e internacionalmente, ainda não estão totalmente esclarecidos todos os fatores que interferem na obtenção deste resultado. O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações de fatores ambientais, tempo de secagem e atributos sensoriais de qualidade do café arábica do Caparaó em diferentes datas de colheita. Foram coletadas amostras de 110 propriedade rurais, localizadas ao redor do Parque Nacional do Caparaó, nos anos de 2014 e 2015. O café descascado e desmucilado passou pelo processo de secagem, disposto em terreiro suspenso em ambiente coberto, com monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar no ambiente de secagem. Os dados foram submetidos às técnicas estatísticas como análise estatística

descritiva, correlação de Pearson, regressão linear e não linear e análise de componentes principais e, comparados a atributos da análise sensorial como aroma, sabor, finalização, acidez, corpo, balanço, nota geral e média final. Os resultados apontam que a altitude influencia no período em que ocorre a colheita, e este, devido a fatores ambientais, interfere no tempo de secagem e nos atributos sensoriais de qualidade dos cafés da região do Caparaó.

## ABSTRACT

PAVESI SIMÃO, Flávio; D.Sc.; Norte Fluminense Darcy Ribeiro State University; December, 2021; Influence of Harvest Date on Environmental Factors, Drying Time and Sensory Attributes of Caparaó Arabic Coffee. Advisor: Dr. Geraldo de Amaral Gravina.

Coffee emerges as one of the most consumed beverages in the world, and Brazil ranks second in coffee consumption but first in terms of volume produced. The states of Minas Gerais and Espírito Santo lead the national production ranking. Some of the best national coffees are grown in cities neighboring the Caparaó National Park, where coffee is grown at altitudes up to 1,500 m. Although the quality of coffee produced in this region is recognized both nationally and internationally, all factors interfering in achieving this result are not yet fully understood. The purpose of this work was to evaluate the relationships of environmental factors, drying time and sensory attributes of Caparaó arabica coffee quality on different harvest dates. Samples were collected from 110 rural properties located around the Caparaó National Park in 2014 and 2015. The peeled and demucilated coffee went through the drying process, arranged in a suspended terrace in a covered environment, with monitoring of the temperature and relative humidity of the air in the drying environment. The data were submitted to statistical techniques such as descriptive statistical analysis, Pearson correlation, linear and nonlinear regression and principal component analysis, and compared to attributes of sensory analysis such as aroma, flavor, finalization,

acidity, body, balance, overall score and final mean. The results indicate that altitude influences the period in which the harvest occurs, and this, due to environmental factors, interferes in the drying time and sensory attributes of quality of the coffees of the Caparaó region.

## 1. INTRODUÇÃO

O café pertence à família botânica Rubiaceae, com mais de 80 espécies conhecidas, porém poucas são usadas na produção da bebida, sendo as mais usadas *Coffea arabica* (arábica) e *Coffea canephora* (robustae conilon) (Hamdouche et al., 2016).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), o Brasil é o maior produtor e exportador de café e, segundo maior consumidor do produto no mundo. Devido à diversidade de regiões ocupadas pela cultura do café, o Brasil consegue produzir tipos variados do produto, fato que permite o desenvolvimento dos mais variados *blends* (misturas), tendo como base o café de terreiro ou natural, o despulpado, o descascado, o de bebida suave, os ácidos, os encorpados, além de cafés aromáticos, especiais e de outras características.

O ranking dos seis maiores estados brasileiros produtores de café com base nos números da produção da safra de 2020, em ordem decrescente, demonstra que Minas Gerais figura como o estado que mais produz café no Brasil, com 34,64 milhões de sacas; Espírito Santo, o segundo, com 13,95 milhões de sacas; São Paulo, terceiro, com 6,18 milhões de sacas; Bahia, quarto com 4,13 milhões; Rondônia, quinto, 2,44 e, Paraná, sexto, com 941,9 mil de sacas de 60kg (CONAB, 2020).

A microrregião política Caparaó, está situada entre os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, abrangendo onze municípios capixabas ao redor do

Parque Nacional do Caparaó: Alegre, Guaçuí, São José do Calçado, Dores do Rio Preto, Divino de São Lourenço, Ibitirama, Irupi, Iúna, Muniz Freire, Ibatiba e Bom Jesus do Norte. Na face ocidental do Parque, somam-se aos capixabas (exceto Bom Jesus do Norte) seis municípios de Minas Gerais: Alto Caparaó, Alto Jequitibá, Caparaó, Espera Feliz, Manhumirim e Martins Soares. Reunidos, os dezessete municípios pleitearam junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI – o reconhecimento da região como uma Indicação Geográfica na categoria de Denominação de Origem (INPI, 2021). O cultivo do café é a atividade agrícola predominante nesse território, com destaque para a qualidade da bebida, nacional e internacionalmente reconhecida, graças aos esforços conjuntos empenhados pelo setor produtivo, governos e instituições nos últimos anos.

De acordo com Mendes et al. (2017), os primeiros registros de pesquisa desenvolvida no Caparaó com envergadura regional, são datados de 2014, por meio de um projeto custeado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Chamada 094/2013) e o Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Alegre, que contou ainda com apoio financeiro da empresa de mineração Samarco, contemplado dentro do seu programa de responsabilidade social e, a empresa júnior denominada Caparaó Jr.

Sabe-se que, para alcançar a qualidade na produção de café, faz-se necessário que as etapas de produção sejam bem realizadas, em especial a colheita e a pós-colheita, que têm um papel decisivo nesse propósito. Os procedimentos de pós-colheita influenciam significativamente na qualidade do produto final (Taveira et al., 2012).

A pós-colheita exige alguns cuidados de grande importância na cafeicultura, sendo a secagem uma das operações mais importantes, uma vez que visa diminuir o teor de água do produto, reduzindo o risco de fermentações depreciativas, a ocorrência de reações enzimáticas, de modo a preservar a qualidade e o valor nutritivo (Pitombeira, 2011).

A fermentação pode ocorrer no fruto ainda na planta e ao longo de todo processo de tratamento, e ainda no início da secagem, quando microrganismos degradam açúcares, proteínas e lipídeos, entre outros compostos presentes especialmente na mucilagem, e geram subprodutos, podendo chegar a entrar na constituição do grão (Schwan e Wheals, 2003).

Vale ressaltar que a fermentação não desejada, que ocorre durante o período de secagem, pode trazer danos ao fruto, diminuindo a qualidade final do produto. No entanto, se a fermentação for utilizada como uma técnica de processamento controlado em pós-colheita, esta pode trazer bons resultados sensoriais.

O espaço e o manuseio durante o período de pós-colheita de cafés especiais tornam-se fatores limitadores quando o volume colhido é alto. Do ponto de vista prático, para os produtores que utilizam as técnicas de manuseio indicativas para se obter cafés especiais, em especial aqueles que exercem a agricultura familiar, como é o caso dos produtores envolvidos nesta pesquisa, o tempo e o ambiente de secagem tornam-se fatores primordiais.

Segundo Machado (2003), a secagem do café é responsável por grande parte do custo de produção. A seleção ou adequação de um sistema de secagem deve levar em consideração diversos aspectos do processo, como volume de produto a ser processado, técnicas de pré-processamento adotadas e os custos relativos a cada sistema em particular, como demanda de energia e mão de obra.

Considerando a hipótese de que o tempo de secagem pode influenciar nos atributos sensoriais de qualidade e, conseqüentemente, na qualidade final da bebida, a pesquisa aqui apresentada tem como objetivo avaliar as relações de fatores ambientais, tempo de secagem e atributos sensoriais de qualidade do café arábica do Caparaó em diferentes datas de colheita. São abordadas influências de variáveis como altitude da lavoura, data da colheita, a umidade relativa do ar média e temperatura média no período de secagem, comparando-as com os resultados de análises sensoriais de atributos de qualidade.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A história do café

Não há evidência real sobre a descoberta do café, mas há muitas lendas que relatam sua possível origem. Uma das mais aceitas e divulgadas é a do pastor Kaldi, que viveu na Absínia, hoje Etiópia, há cerca de mil anos. Ela conta que Kaldi, observando suas cabras, notou que elas ficavam alegres e saltitantes e que esta energia extra se evidenciava sempre que mastigavam os frutos de coloração amarelo-avermelhada dos arbustos existentes em alguns campos de pastoreio. Ele atribuiu às frutas esta fonte de alegria e motivação. Kaldi comentou sobre o comportamento dos animais com um monge da região que apanhou um pouco das frutas e levou consigo até o monastério. Este monge começou a usar os frutos, inicialmente, na forma de infusão, e percebeu que a bebida o ajudava a resistir ao sono. Esta descoberta se espalhou rapidamente entre os monastérios criando uma demanda pela bebida (Revista Cafeicultura, 2010).

No mundo, o hábito de tomar café como bebida prazerosa em caráter doméstico ou em recintos coletivos se popularizou a partir de 1450. Tornou-se muito comum entre os filósofos que, ao tomá-lo, permaneciam acordados para a prática de exercícios espirituais. Poucos anos depois, a Turquia foi responsável por difundir o hábito do café, transformando-o em um ritual de sociabilidade (ABIC, 2008).

Os holandeses levaram a planta para a América Central e América do Sul, chegando ao Brasil, em 1727, quando o oficial português Francisco de Melo Palheta, vindo da Guiana Francesa, trouxe as primeiras mudas da rubiácea. As mudas foram plantadas no Pará, onde floresceram sem dificuldade (Santos, 2008). No entanto, Souza et al. (2015) ressaltam que somente em 1761, no Vale do Paraíba, ocorreu o primeiro cultivo de café para fins comerciais. Em 1830 o café se tornou o principal produto de exportação no Brasil (Santos, 2008).

Assim, a produção de café se tornou fonte de renda de grande importância, demandando grande mão-de-obra e contribuindo como commodities para o setor agrícola (Vilela, 2011). Na atualidade, o Brasil figura como o maior exportador de café e ocupa a segunda posição entre os países consumidores da bebida. O Brasil responde por um terço da produção mundial, posto que detém há mais de 150 anos (ABIC, 2008).

A Organização Internacional do Café (2018), estimou que o consumo mundial de café já supera 150 milhões de sacas por ano com um aumento anual de 2,5%. O Brasil é considerado o segundo maior consumidor da bebida no mundo, ficando apenas atrás dos EUA, que consome anualmente 25 milhões de sacas.

## 2.2 Produção de café no Brasil

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, devido à diversidade de regiões ocupadas pela cultura do café, o Brasil produz tipos variados do produto, fato que possibilita atender às diferentes demandas mundiais, referentes ao paladar e até aos preços. Essa diversidade também permite o desenvolvimento dos mais variados blends, tendo como base o café de terreiro ou natural, o despulpado, o descascado, o de bebida suave, os ácidos, os encorpados, além de cafés aromáticos, especiais e de outras características (MAPA, 2017).

Maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor do produto no mundo, o produto, no Brasil, figura entre os dez principais setores exportadores, estando na 5ª posição. Segundo o Balanço Comercial do Agronegócio, em dezembro de 2016, o produto representou 9,8% das exportações brasileiras, movimentando o montante de US\$ 600,74 milhões (MAPA, 2017).

A Secretaria de Política Agrícola – SPA, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, por meio do Relatório ‘Informações Estatísticas do Café’, de janeiro de 2017, traz como destaque nas suas análises estatísticas e indicadores uma série dos últimos dez anos do desempenho da cafeicultura, a qual demonstra que os Cafés do Brasil tiveram produtividade média de 26,33 sacas por hectare no ano de 2016, desempenho que representa um recorde histórico do setor. Até então a maior produtividade verificada no País havia sido a de 2012 com 24,8 sacas por hectare (EMBRAPA, 2017).

Os ganhos de produtividade verificados na última década na produção dos Cafés do Brasil, em geral, são atribuídos, tanto nas análises e nos Levantamentos das Safras divulgados pela Conab, como também por técnicos e especialistas, às boas práticas de gestão da atividade e, principalmente, às novas tecnologias constantemente geradas pelas instituições de pesquisa, ensino e extensão, que são adotadas pelos produtores das diferentes regiões cafeicultoras do País. Tais práticas, além de terem melhorado a qualidade do produto, têm também levado ao longo dos anos a uma diminuição da diferença das produtividades de ciclos positivo e negativo do café. Com isso, os avanços tecnológicos implementados têm contribuído gradativamente para minimizar os efeitos da bienalidade da cafeicultura brasileira, que alterna safras altas e safras baixas (EMBRAPA, 2017).

O terceiro levantamento da safra brasileira de café indica que em 2020, a produção nacional de café foi de 61,62 milhões de sacas beneficiadas, representando incremento de 25% em relação ao volume colhido na safra anterior. A produção de café arábica deve se situar em torno de 47,37 milhões de sacas, já a produção de café conilon é estimada em 14,25 milhões de sacas (CONAB, 2020).

Minas Gerais, localizado na região Sudeste, responde por cerca de 50% da produção nacional e é uma das principais fontes de cafés especiais do país. Praticamente 100% das plantações são de café Arábica, cultivado em quatro regiões produtoras: Sul de Minas, Cerrado de Minas, Chapada de Minas e Matas de Minas, que exportam seus cafés pelos portos de Santos, Rio de Janeiro e Vitória (ABIC, 2008).

Já o Espírito Santo, se apresenta como o principal produtor do café Conilon (Robusta), com plantações nas áreas mais quentes ao norte, região

chamada de Conilon Capixaba. E, de Arábica ao sul, região conhecida como Montanhas do Espírito Santo. O Estado é grande fornecedor do mercado brasileiro e escoar seus cafés especiais pelo porto de Vitória (ABIC, 2008).

### 2.3 Produção de café no entorno do Caparaó

O Café do Caparaó passou a figurar na lista de Indicações Geográficas (IG's) reconhecidas no Brasil, na modalidade Denominação de Origem (DO) – “Caparaó” em 02 de fevereiro de 2021. Agricultores capixabas e mineiros já fundaram a Associação de Produtores de Cafés do Caparaó e estão em processo de solicitação do registro junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). No Espírito Santo, essa será a primeira DO (INCAPER, 2016).

O INPI concedeu a Denominação de Origem Caparaó para o café da espécie *Coffea arabica* produzido na região do Caparaó. Ao todo, foram contemplados 16 municípios: Dolores do Rio Preto, Divino de São Lourenço, Guaçuí, Alegre, Muniz Freire, Ibitirama, Iúna, Irupi, Ibatiba e São José do Calçado, no Espírito Santo; Espera Feliz, Caparaó, Alto Caparaó, Manhumirim, Alto Jequitibá e Martins Soares, em Minas Gerais (BRASIL, 2021).

Segundo o Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais, o Alto Caparaó, cidade localizada no entorno do Parque Nacional do Caparaó, além de ter uma das montanhas mais altas do país, se destaca pelo café que produz. Localizada na divisa de Minas Gerais e Espírito Santo, Alto Caparaó possui um dos melhores cafés do Brasil, já premiados em concursos nacionais nos anos de 2014 e 2015.

### 2.4 Café Arábica

Entre as diversas espécies de café existentes, as duas mundialmente comercializadas e consumidas são a *Coffea arabica* (café arábica) e a *Coffea canephora* (café robusta ou conilon). O Brasil produz e comercializa as duas espécies, no entanto, o café arábica apresenta maior valor agroeconômico, tendo maior predominância na exportação, comercialização interna e no cultivo, ocupando cerca de 80% da área total plantada (Oliveira e Conceição Jr., 2013).

O *Coffea arabica* é a primeira das espécies cafeeiras a ser cultivada e vem sendo cultivado há mais tempo, pois trata-se de uma planta de fácil reprodução, visto que é autógama, com reprodução autofecundada, tendo 90% das suas flores fertilizadas por seus próprios pólenes e óvulos (Sakiyama et al., 1999). As sucessivas autofecundações não prejudicam o vigor e a produtividade do cafeeiro, pois são utilizadas sementes na propagação e formação de cafeeiros dessa espécie (Ferraz, 2014).

Bebidas classificadas como de alta qualidade são provenientes unicamente de cafeeiros da espécie arábica, especialmente as variedades Catuaí e Mundo Novo. A espécie *C. arabica* apresenta concentrações mais elevadas de carboidratos, lipídeos, trigonelina, dentre outros compostos. Já a robusta é usada na fabricação de café solúvel e *blends*, sendo considerada uma bebida neutra, com maiores teores de polifenóis e de cafeína (Castro, 2020).

A bebida resultante da *C. arabica* apresenta qualidade superior, fina, intensamente aromática e um sabor adocicado (EMBRAPA, 2016), tornando-se dessa forma, preferência dos mercados mais exigentes (Custódio et al., 2018). Esses atributos se devem às características das áreas de plantio e produção com clima mais fresco e que varia entre 900 e 2.000 metros de altitude (Corrêa et al., 2015).

O cultivo do café arábica se concentra mais nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Paraná, totalizando 80% da área total das lavouras cafeeiras, sendo que o Estado de Minas Gerais concentra a maior área com a espécie, 1,031 milhão de hectares, o que corresponde a 68% da produção da arábica (CONAB, 2020).

#### 2.4.1 *Cultivares da C. Arabica*

A primeira variedade *C. arabica* cultivada no Brasil recebeu o nome de Típica, Arábica, Nacional ou Crioulo, e por mais de um século os cafezais brasileiros se expandiram a partir das progênies dessa variedade havendo assim pequena variabilidade genética. Em 1852 é introduzida no país, vinda da ilha Bourbon a cultivar Bourbon vermelho, atendendo as expectativas e superando em produtividade as primeiras cultivares, tornando-se importante para a cafeicultura brasileira. Alguns anos depois, em 1870 e 1871, foram selecionadas

simultaneamente as cultivares Maragogipe que se destacava pela produção de grãos maiores e a Amarelo de Botucatu, que produzia grãos amarelos, mas ambas foram abandonadas, pois produziam em quantidade menor que a cultivar Nacional da qual se originaram (Chagas, 2008).

Em 1896, com sementes vindo da ilha de Sumatra, a cultivar Sumatra não teve a mesma expressão da Bourbon Vermelho. Em 1930, um híbrido natural entre Bourbon Vermelho e Amarelo de Botucatu deu origem a cultivar Bourbon Amarelo. No entanto, o destaque histórico se deu pela hibridação natural entre a cultivar Sumatra com o Bourbon Vermelho, originando em 1931 a cultivar mais plantada até hoje, denominada de Mundo Novo (Chagas, 2008), que por sua vez foi responsável pela criação das cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1949 (Souza et al., 2015).

Além das citadas acima, no decorrer dos tempos foram surgindo outras variedades de cultivares, algumas com hibridação entre café arábica e café robusta, como é o caso da cultivar Timor que é uma hibridação natural entre *C. canephora* e *C. arabica*, e da cultivar Catimor que surgiu do cruzamento natural entre a Variedade Caturra Vermelho (café arábica) e o híbrido Timor (Rezende, 2015). O autor ainda informa que atualmente, o mercado oferece uma extensa quantidade de cultivares de café arábica, a grande maioria desenvolvida por instituições como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e o Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), entre outras que estudam o desenvolvimento do cafeeiro, surgindo assim cultivares com qualidades superiores e alto potencial produtivo, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Cultivares de café, suas linhagens e características

| Cultivares       | Linhagens                                                              | Porte        | Maturação                   | Cor do fruto                    | Tamanho do fruto | Vigor      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|------------|
| Bourbon          | LCJ 2<br>LCJ 9<br>LCJ 10                                               | Alto         | Precoce                     | Amarela                         | Médio            | Médio      |
| Mundo Novo       | IAC - 376 - 4<br>IAC - 379 - 19<br>IAC - 388 - 17                      | Alto         | Média a<br>precoce          | Vermelha                        | Médio            | Alto       |
| Icatu            | MG-2945<br>MG-2944<br>MG-3282                                          | Alto         | Média / tardia<br>Precoce   | Vermelha<br>Amarela<br>Amarela  | Médio            | Alto       |
| Acaiá<br>Cerrado | MG - 1474                                                              | Alto         | Média                       | Vermelha                        | Graúdo           | Alto       |
| Canário          | P 500                                                                  | Alto         | Precoce                     | Amarela                         | Médio            | Bom        |
| <b>Catuai</b>    | IAC 15/44/99/144<br>IAC 47/62/86                                       | <b>Baixo</b> | Tardia<br>Tardia            | Vermelha<br>Amarela             | Médio            | <b>Bom</b> |
| Catucaí          | 2 SL<br>20/15 cova 476<br>785 / 15                                     | Baixo        | Média<br>Precoce<br>Precoce | Amarela<br>Vermelha<br>Vermelha | Médio            | Bom        |
| Topázio          | MG - 1190                                                              | Baixo        | Média                       | Amarela                         | Médio            | Alto       |
| Oeiras           | MG – 6851                                                              | Baixo        | Precoce                     | Vermelha                        | Graúdo           | Médio      |
| Paraíso          | MG H 419 - 1                                                           | Baixo        | Tardia                      | Amarela                         | Graúdo           | Médio      |
| Tupi             | IAC RN 1669-13<br>IAC 1669-33                                          | Baixo        | Precoce                     | Vermelha                        | Graúdo           | Baixo      |
| IAPAR 59         | IAPAR 59                                                               | Baixo        | Precoce                     | Vermelha                        | Médio            | Baixo      |
| IBC Palma        | Palma I/ Palma II                                                      | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Bom        |
| Katipó           | Katipó                                                                 | Baixo        | Precoce                     | Vermelha                        | Graúdo           | Médio      |
| Obatã            | IAC 1669-20<br>AC 4739                                                 | Baixo        | Tardia                      | Vermelha<br>Amarela             | Graúdo           | Médio      |
| Rubi             | MG-1192                                                                | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Bom        |
| Araponga         | MG 1                                                                   | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Alto       |
| Catiguá          | MG 1/ MG 2/ MG 3                                                       | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Bom        |
| Sacramento       | MG 1                                                                   | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Bom        |
| Pau Brasil       | MG 1                                                                   | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Médio      |
| IPR 98           | IPR 98                                                                 | Baixo        | Média                       | Vermelha                        | Médio            | Bom        |
| Travessia        | MGS Travessia                                                          | Baixo        | Média                       | Amarela                         | Médio            | Bom        |
| Ouro             | IAC H-5010- 5<br>(Verde)<br>IAC 4925 (Bronze)<br>IAC 4397<br>(Amarelo) | Baixo        | Média                       | Vermelha<br>Vermelha<br>Amarela | Médio            | Bom        |

Fonte: adaptação de Mesquita et al., (2016).

### 2.4.2 Variedade *Catuaí vermelho*

O termo *Catuaí* vem do Tupi-guarani e significa muito bom ou ótimo, desse modo, essa nomenclatura foi dada pelo IAC à seleção dos frutos vermelhos de um cultivar de café que se originou da hibridação entre o Mundo Novo que se caracteriza pelo porte baixo e a *Caturra* que possui maior reprodutividade, associando dessa forma rusticidade e alto vigor vegetativo. Os primeiros cruzamentos ocorreram em 1949, no final da década de 1960 iniciou-se a distribuição de sementes para plantios extensivos e em maior escala na década de 1970 (Matiello et al., 2005).

O baixo porte e a maior densidade no plantio facilitam a colheita e tornam os tratamentos fitossanitários mais eficazes. A grande capacidade de adaptação, implicou em mudanças no sistema da cafeicultura, permitindo o aproveitamento de novas áreas, antes consideradas inaptas para o plantio e produção, gerando aumento da produtividade e lucratividade, visto a abundância da produção logo nos primeiros anos de colheita (Ferraz, 2014).

Ramos (2018) destaca que o *Catuaí Vermelho* é suscetível à ferrugem e os nematoides. No entanto, possui sistema radicular desenvolvido superior ao do Mundo Novo, as folhas possuem coloração verde-escura brilhante e os brotos são verde-claros. As cultivares de *Catuaí Vermelho* registradas no RNC são: *Catuaí Vermelho IAC 15*, *IAC 24*, *IAC 44* dentre outras.

## 2.5 Café de altitude

Uma bebida de qualidade depende dos teores de proteína, lipídeo, carboidratos, entre outros componentes responsáveis pelo sabor e aroma obtidos no decorrer do processo de torra (Kitzberger, 2013). Outros fatores como tipo de cultivares, clima, altitude, maturação e cuidados na colheita e pós-colheita dos frutos acabam por exercer grandes influências no resultado final do café. Fatores ambientais são os mais importantes, visto que maiores altitudes e climas mais adaptados à cultura proporcionam circunstâncias ideais para a maturação dos frutos e a obtenção de melhor qualidade final da bebida (Oliveira, 2018).

Consideram-se favoráveis temperaturas que variam entre 18 e 22°C, e ideais aquelas entre 19 e 21°C, em regiões com altitudes livres ou com poucas ocorrências de geadas. Temperaturas inferiores a 18°C ou superiores a 23°C são

consideradas inadequadas para o cultivo do café arábica. Temperaturas inferiores a 18°C geram grande atraso no desenvolvimento e maturação dos frutos, fatores que podem prejudicar a vegetação e a produção do cafeeiro, enquanto as temperaturas acima de 23°C, apresentam frutos com desenvolvimento e maturação precoces (Luz, 2014).

A temperatura exerce efeito direto nos processos regulatórios do cafeeiro, intervindo nas reações enzimáticas (Silveira et al., 2015). Ainda no que diz respeito ao clima, um fator de grande importância ligado a temperatura é a altitude, pois é responsável por definir as alterações das temperaturas do ar (Cargnelutti Filho et al., 2006), o que afeta a qualidade da bebida do café. Assim, cafés com melhor qualidade sensorial da bebida procedem geralmente de regiões de altitudes mais elevadas, em torno de 1000m de altitude (Bernardes et al., 2012).

Em altitudes menores a temperatura é mais alta, o acúmulo de amido nos frutos e o enchimento dos grãos são mais precoces, pois a planta completa o ciclo em menor tempo. Assim, pode-se afirmar que o desenvolvimento da planta varia de acordo com a variação da altitude e da temperatura (Silveira et al., 2015).

Matiello et al. (2005) ressaltam que um ciclo de produção muito curto, produz uma bebida com sabor amargo e adstringente. Além disso, cafeeiros em altitudes baixas apresentam maturação mais precoce, o que força a planta a produzir mais carboidratos em curto espaço de tempo e conseqüentemente traz sofrimento e desgaste para a mesma (Laviola et al., 2007).

Desse modo, a altitude e a temperatura do ar representam grande importância para a cafeicultura e para a qualidade da bebida (Cargnelutti Filho et al., 2006). Altitudes maiores implicam em temperaturas menores, que por sua vez implicam no adiamento da maturação dos frutos, provocando alterações sensoriais, trazendo mais doçura e favorecendo as características da bebida (Matiello et al., 2005), logo, o aumento da altitude está relacionado com a elevação da qualidade da bebida.

De modo geral, cafeeiros de regiões mais frias ou de estação de seca definida tem a maturação mais lenta e o maior acúmulo de açúcares nos grãos e produzem bebidas mais encorpadas, doces e aromáticas, com notas de chocolate, caramelo e nozes, a peculiaridade desses cafés se deve às altitudes que variam entre 700 e 1200m e temperaturas entre 18° e 22° C (Alves et al.,

2011; Silveira, 2015). Já em altitudes menores, onde geralmente a temperatura é mais alta, o tempo para formação dos frutos é menor e isso pode diminuir a qualidade final da bebida (Zaidan, 2015).

Diversos pesquisadores relacionaram as diferenças na qualidade e características sensoriais do café com ambiente de produção, mais especificamente com a altitude e a temperatura. Figueroa Solares et al. (2000), observando três cultivares a três níveis de altitude, abaixo de 1220m, entre 1220m a 1460m e acima de 1460m, concluíram que independente do tipo da cultivar, o fator altitude exerce grande influência sobre a qualidade do café. Os autores notaram que propriedades como: aroma, sabor, corpo e suavidade ficam mais marcantes à medida que a altitude se eleva, enquanto a acidez se torna imperceptível.

Silva et al. (2004) realizaram um estudo no Sul de Minas Gerais que mostrou que cafés produzidos entre 720 e 920m apresentaram defeitos, doçura mais fraca e acidez mais alta, enquanto cultivadas entre 920 e 1120m sem defeitos, apresentavam notas de acidez e doçuras dentro das características das bebidas de qualidade, concluindo desta forma que maiores altitudes possibilitam a produção de cafés de melhor qualidade.

Barbosa et al. (2010) estudando a qualidade do café em Minas Gerais, concluíram que quanto maior é a altitude, melhor foi a pontuação que suas amostras tiveram. Um estudo realizado em amostras de cafés especiais processadas por via úmida, realizado por Pereira (2017) apontou que o aroma e o sabor aumentam demasiadamente com a altitude.

Silveira (2015) estudou os atributos sensoriais do café em quatro altitudes, abaixo de 700 metros; entre 700 e 825m; entre 825 e 950m e acima de 950 metros, levando ainda em consideração o fator da exposição solar: a face Soalheira mais quente e a Noruega mais fria. As amostras foram colhidas de acordo com a maturação dos frutos, iniciando abaixo de 700m e terminando pelas amostras produzidas acima de 950m, o que leva a entender que quanto mais baixa a altitude mais rápida é a maturação dos frutos.

Tanto o sabor, quanto o retrogosto, balanço, doçura e percepção geral, apresentaram notas mais baixas em altitudes entre 825 e 950m, e notas e qualidades superiores em altitudes acima de 950m. No que diz respeito à exposição solar, as duas faces mostraram semelhanças em altitudes acima de

950m, assim a altitude teve influência na produção de bebida de qualidade melhor (Silveira, 2015).

## 2.6 Colheita do café e sua influência na qualidade da bebida

Matiello et al. (2013) destacam que o processo da colheita do café demanda atenção redobrada, visto o alto custo de mão de obra e a grande relevância que representa para a qualidade do produto final. A qualidade final do produto depende de fatores ligados à colheita, como maturação dos frutos e período de início, duração e tipo de colheita adotados.

A maturação dos frutos, por sua vez, depende de fatores ambientais (temperatura, altitude, radiação solar, precipitação), como também do tipo da cultivar. Em condições normais a colheita pode ser iniciada em março ou abril terminando em setembro, ou entre junho e agosto (Matiello et al., 2016). Geralmente a colheita tem início sete meses após a florada cuja quantidade de floração e o estágio da maturação dos frutos ditam a duração da colheita que pode levar até três meses. O início da colheita ocorrerá quando 90% dos frutos alcançarem o estágio cereja (Alves, 2019).

Colheitas realizadas no tempo certo beneficiam as plantas elevando a produtividade da próxima safra, porém, fatores como chuvas ou irrigações em excesso deixam o solo muito úmido e atrasam a maturação dos frutos resultando em colheitas tardias que aumentam os cafés de varrição e desgastes das plantas (Matiello et al., 2016).

Cabe destacar que um cafeeiro pode apresentar em um ciclo reprodutivo várias floradas, de acordo com as condições climáticas da região e da variedade da cultivar (Barbosa et al., 2017). De modo que, há floração no início do período da chuva e outras no fim, essas são chamadas de "floração de março", o que resulta em frutos com diferentes estágios de desenvolvimento e maturação na mesma haste (Custódio et al., 2014).

A região do Caparaó apresenta áreas com altitudes variando entre 1000 e 1500m, onde a ocorrência desse tipo de floração desigual é muito comum. A altitude elevada da região do Caparaó somada à técnica de colheita seletiva proporcionam condições ideais para que a colheita tardia resulte em bebida de qualidade superior. A colheita seletiva se dá pela escolha do café cereja deixando

os frutos verdes na planta até maturarem, o que acaba minimizando o prejuízo e colaborando para melhor produto final (Barbosa et al., 2017).

Relatos dos produtores da região do Caparaó confirmam que os cafés oriundos da florada de março estavam tendo melhor pontuação em concursos do que os colhidos tradicionalmente, recebendo ótima aceitação. Esses frutos foram processados normalmente seguindo o método usado para os cafés tradicionais, com ressalva no período de chuva onde foi utilizado o método do café despulpado para acelerar a secagem e não depreciar o café. A prova da xícara resultou em uma diferença de dois pontos na avaliação sensorial e um acréscimo de 35% por saca, sem classificação por tamanho de grãos, em comparação com a florada tradicional (Barbosa et al., 2017).

## 2.7 Pós-colheita

O processo de pós-colheita é uma etapa de grande importância para o café, no entanto, depende do resultado de outros processos anteriores tanto quanto importantes, a pré-colheita e a colheita. Na pré-colheita ocorre a etapa de arruação ou limpeza, que se trata de limpar manualmente ou mecanicamente abaixo e ao redor de cafeeiro removendo a terra solta, plantas daninhas e detritos. A arruação é realizada antes da queda dos frutos. Na etapa da pré-colheita é necessário ainda cuidar das instalações de armazenagem, terreiros e maquinários (Mesquita et al., 2016).

A colheita, ou derriça do café, pode ser seletiva ou plena. A primeira é realizada conforme a maturação dos frutos, enquanto a segunda ocorre de uma única vez colhendo todos os grãos em diferentes graus de maturação, tendo o cuidado de iniciar a colheita quando as plantas estiverem com o menor número possível de grãos verdes o que não deve ultrapassar os 30% do total, sendo estes separados logo mais na pós-colheita. A colheita pode ser manual, semimecanizada ou mecanizada (SENAR, 2017).

Na etapa de pós-colheita ocorre o processamento dos frutos colhidos. Esse processo demanda muito cuidado para evitar perdas e prejuízos. O processo se inicia ainda no campo com a realização da varrição recolhendo os grãos caídos no solo (SENAR, 2017), seguida pela abanação ou pré-limpeza dos grãos, que visa retirar impurezas e materiais estranhos como folhas, gravetos, e caso haja, pedras e torrões dos frutos (Mesquita, 2016).

A abanação ou pré-limpeza é de grande importância para o café de qualidade, e pode ser feita manualmente com peneiras, como também com máquinas de acionamento manual ou elétrico ou, ainda, com máquinas tratorizadas. (Silva et al., 2011). Ainda na lavoura, após a pré-limpeza, o café é ensacado em sacarias apropriadas podendo ficar na sombra por até quatro horas até ser transportado para as instalações de preparo e processamento (Mesquita, 2016).

Após a eliminação das grandes impurezas, o restante dos resíduos é separado e eliminado em uma bica apropriada, onde ocorre a limpeza do grão ou a lavagem. Esse processo separa os grãos em duas partes por densidade, a primeira com os grãos verdes e cereja e a segunda com os grãos boia, que seguem em lotes separados e devidamente identificados, para o processamento e preparação para a secagem (Mesquita, 2016).

### 2.7.1 *Processamento do Café*

No processamento do café ocorre a separação dos grãos de suas cascas, mucilagens e pergaminhos, reduzindo a umidade dos mesmos e possibilitando o armazenamento mais longo dos grãos, sem incorrer em alterações no sabor (Nascimento et al., 2008). Um processamento conduzido de forma equivocada provoca uma fermentação nociva e produz substâncias químicas que comprometem a qualidade do café. A fermentação é um processo no qual a casca e a mucilagem do grão se degradam sob a ação de enzimas naturais ou geradas pela microbiota natural do café (Vilela, 2011). O processamento pode ocorrer em duas vias diferentes, via seca e via úmida.

A via seca, conhecida como método natural, é o tipo de processamento de cafés mais antigo e simples que existe, e consiste em secar o fruto inteiro (casca, polpa, mucilagem, pergaminho, película prateada e semente) através da radiação solar. Esse método deu origem ao café coco, de terreiro ou natural. Durante a secagem a cor da casca escurece, o volume diminui e a cor dos grãos é marrom-amarelada (Borém et al., 2008a; Vilela, 2011).

A via seca produz bebidas com açúcares redutores totais e teores sólidos solúveis altos, no entanto, no decorrer do processo pode ocorrer fermentações

indesejadas que prejudicam a qualidade do café, portanto o tempo entre a maturação e secagem precisa ser o menor possível (Matiello et al., 2016).

Apesar de ser chamado de via seca, cabe ressaltar que o uso de água é indispensável nesse processo para lavagem e separação dos grãos que posteriormente serão levados para as etapas de subseqüentes (Matiello et al., 2016).

Na via úmida, diferentemente da via seca, há várias etapas a serem seguidas sistematicamente, a iniciar pela retirada da casca com auxílio de descascadores. Existem três formas mecânicas pra realização deste processo a primeira se dá pela remoção da casca dos grãos e parte da mucilagem por fermentação surgindo o café despulpado; a segunda é a retirada da casca e parte da mucilagem mecanicamente dando origem ao café cereja descascado e por fim a remoção da casca e da mucilagem inteira de forma mecânica obtendo assim o café desmulcilado. Os grãos nesse processo devem apresentar a cor verde-azulada (Borém et al., 2008a).

A demora na fermentação acentua a acidez e a perda de volume dos grãos, assim para acelerar o processo de fermentação aconselha-se cobrir os tanques, adicionar fermento ou aquecer a água do meio fermentativo. Terminada a fermentação, os grãos devem ser batidos mecanicamente ou com rodos para remover a mucilagem restante, feito isso os grãos passam por uma lavagem rigorosa. Grãos com mucilagens tem altos teores de açúcares e fenóis o que escurecem e desqualificam os grãos (Matiello et al., 2016).

## 2.8 Processo de secagem

A secagem é considerada o procedimento mais importante e crítica no processamento dos grãos de café para a obtenção de uma bebida de classificação e qualidade sensorial e econômica superiores. A secagem pode ser natural expondo os grãos ao sol, ou através do uso de secadores artificiais. Cabe destacar que fatores como clima local, tipo de terreiro e o controle da atividade microbiana precisam passar por uma avaliação criteriosa (Alves, 2019).

O controle da temperatura é imprescindível para o sucesso do processo e a qualidade dos grãos, seja para o controle da fermentação, como para evitar danos físicos com perda de cor, trincas e quebras. Secagens em temperaturas

altas geram aumento considerável nos níveis de lixiviação de íons potássio, na acidez e graxa, depreciando a qualidade do café (Borém et al., 2008b).

Outro fator a ser considerado, é o local da secagem natural, e este deve ser de alta exposição à radiação solar e bastante ventilação. Piso asfáltico e de cimento são as opções mais viáveis, sendo que o cimento é mais prático e proporciona uma secagem uniforme. O terreiro suspenso é uma ótima opção, pois com a falta de contato com o solo há menos risco de ataques microbióticos, além de possibilitar menor tempo de secagem e menos riscos de fermentação (Alves, 2019).

Esparramar o café é um outro processo fundamental para garantir uma secagem uniforme e obter uma bebida final de qualidade. Trata-se de espalhar uma camada de frutos no terreiro, tendo o cuidado de revolver em até 16 vezes por dia ou até atingir no máximo 11% do nível da umidade, quanto mais fina a camada mais valores de sólidos solúveis e açúcares redutores irá apresentar. Camadas mais grossas apresentam fermentações desfavoráveis para a qualidade do café (Borém et al., 2007).

O ponto ideal de secagem dos grãos está entre 11 e 13% de teor de umidade. Valores de umidade acima de 13% podem ocasionar imperfeições nos grãos e teores de umidades abaixo de 11%, podem resultar em grãos quebradiços o que prejudica o rendimento. O tempo de secagem pode levar de 10 a 20 dias conforme o teor da umidade do ar, temperatura e volume da precipitação da região (Alves, 2019).

### 2.8.1 *Princípios gerais da secagem*

A secagem do grão é o processo de migração gradativa da umidade interna localizada no chamado ponto-frio para as camadas da superfície do grão e daí para o ambiente (Mesquita, 2016). A transferência e evaporação da água contida no grão o torna viável para o armazenamento a longo prazo (Rocha, 2018).

Borém et al. (2008a) conceituaram a secagem como sendo um processo simultâneo, de transferência de energia e massa entre o grão e o ar de secagem, que remove o excesso de água por meio da evaporação gerada pela convecção forçada de ar aquecido, permitindo dessa forma manter a qualidade durante o

armazenamento. Para que a secagem ocorra de fato, a pressão parcial de vapor d'água na superfície do grão precisa ser maior do que a pressão parcial de vapor d'água no ar de secagem.

No método de secagem, a temperatura e umidade relativa do ar de secagem, a velocidade do ar e tempo de secagem, são fatores relevantes no processo de secagem, a falta do controle desses fatores pode comprometer a qualidade do produto final. O processo de secagem em condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, podem ser divididos em um período de taxa constante e outro de taxa decrescente (Borém et al., 2008a).

A taxa de secagem diz respeito à ligação entre o espaço-tempo e a quantidade no qual o grão perde de umidade. Atualmente a taxa de secagem pode ser aumentada tecnologicamente aumentando a temperatura e o fluxo do ar, entretanto, temperaturas que ultrapassam os 40°C depreciam a qualidade do café (Rocha, 2018).

O período constante ocorre nas primeiras horas de secagem, quando os grãos se encontram com alto teor de umidade que mantém a temperatura igual à do ar de secagem saturado e a velocidade da secagem não é influenciada pelo fluxo interno de água, pois a taxa interna do deslocamento de água para a superfície é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção do vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água retida por capilaridade (Borém et al., 2008a).

Quanto ao período decrescente de secagem, a taxa interna de deslocamento da umidade se encontra abaixo da taxa de evaporação superficial, assim, a transferência de calor do ar para o produto não é compensada, o que aumenta a temperatura do grão, podendo alcançar a temperatura do ar de secagem, ocorrendo graves riscos de perda de qualidade por danos térmicos (Borém et al., 2008b).

## 2.9 Métodos de secagem

Existem diversos métodos de secagem já utilizados para o café, entre eles se destacam a secagem natural e a secagem artificial, cabendo ao cafeicultor escolher o método adequado conforme as características regionais e econômicas.

### 2.9.1 *Secagem Natural*

O método de secagem natural do café ocorre quando os frutos ainda estão na planta, onde o fruto é aquecido por meio da ação direta da radiação solar e da circulação do ar e ocorre frequentemente quando a colheita é tardia e no final da safra. O método natural não é o mais favorável, visto que os frutos ficam expostos também às variações climáticas tornando impossível antever o controle e a duração do processo de secagem, ademais a constante queda dos frutos e o contato com o solo favorece a fermentação nociva dos grãos desqualificando o café. Desse modo, mesmo que o teor de umidade seja adequado para o armazenamento este método não é o mais indicado, entretanto, pode ser o único modo de secagem viável economicamente nas regiões menos desenvolvidas (Borém et al., 2008a).

### 2.9.2 *Secagem Artificial*

A secagem artificial é dividida em secagem em terreiros; secagem em estufa; terreiro secador que difere dos terreiros tradicionais pelo uso combinado de fornalhas de ar quente nos períodos nublados e; secagem com altas e baixas temperaturas (Rocha, 2018).

#### 2.9.2.1 *Secagem em terreiros*

A secagem em terreiros é uma prática tradicional, simples e de baixo custo, na qual o grão úmido é exposto à radiação solar em superfícies planas, sendo revolvido manualmente ou mecanicamente. Em condições climáticas favoráveis e com manejo adequado, propicia um produto de qualidade. A exposição ao sol, em camada pouco espessa, favorece o aparecimento de coloração verde-cinza desejável. Na secagem mecânica realizada em ambiente escuro implica no aparecimento de grãos de cor verde-amarelada, considerada indesejável (Borém et al., 2008a).

Os terreiros podem ser de terra batida, cimento, asfalto ou construídos com diferentes materiais como tijolos maciços, concreto simples, concreto armado ou com telas elevadas do solo em estruturas de madeira (Teixeira et al., 2008).

Alguns terreiros apresentam desvantagens de uso. O terreiro de chão batido não é recomendável, pois é anti-higiênico e apresenta odores indesejáveis e compromete a qualidade total do café. O de asfalto aumenta a temperatura do grão devido à alta absorção da radiação solar o que impacta negativamente na qualidade. Terreiro de tijolo rejuntado é considerado a melhor opção para o manejo da secagem, contudo possui curta durabilidade e tende a absorver mais água. O terreiro de cimento, apesar de facilitar o escoamento da água ele demanda maior tempo de secagem, no entanto este tipo de terreiro é tido como preferência pela durabilidade maior e facilidade na construção (Silva et al., 2015)

Além destes, outros tipos de terreiros vêm sendo utilizados. Para escolher o tipo a ser usado, o cafeicultor deve levar em consideração a preservação da boa qualidade, a facilidade do manejo, o custo e o tempo total da secagem. Além disso, um terreiro adequado precisa apresentar boa absorção de água, baixa retenção de calor e menor tempo de secagem (Borém et al., 2008a).

O terreiro de qualidade precisa estar frequentemente exposto à radiação solar, não possuir áreas sombreadas e ter boa ventilação e ótima drenagem. O terreiro deverá possuir declividade que facilita o escoamento de água; muretas de delimitação; canaletas laterais gradeadas ou com ralos que retêm os grãos, mas permitem a passagem e a drenagem da água coletada (Silva et al., 2015).

O tempo médio para secagem completa nos terreiros varia conforme as características do grão, bem como das variáveis climáticas de cada região, podendo, em condições favoráveis, variar entre 15 e 20 dias para o café natural, e 8 a 12 dias para os cafés em pergaminho. Cabe destacar que o tempo de secagem em terreiros, pode ainda sofrer influência direta pelo tipo de terreiro usado e pela espessura da camada de café e seu revolvimento diário (Borém et al., 2008a).

#### 2.9.2.2 *Secagem em terreiro suspenso*

Terreiro suspenso ou terreiro portátil aéreo é uma esteira de arame formada por várias casas retangulares montada em esteios de madeira que usa a

radiação solar no processo de secagem (Borém et al., 2008b). Sobre essa estrutura pode ser montada uma cobertura móvel, facilitando o deslocamento dos grãos nos períodos chuvosos ou sem sol, o fato do terreiro ser suspenso evita ocorrência de sujidade e possibilita a passagem do ar, acelerando a troca de calor e a secagem (Silva et al., 2015).

Este tipo de terreiro é considerado por muitos o melhor método de secagem por resultar em qualidade melhor se comparado à secagem conduzida pelo método tradicional, devido à ausência de contato com o solo e a falta de sujidade, contudo ele possui suas vantagens e desvantagens. A qualidade do café depende do manejo correto do processamento, e o tempo de secagem varia de acordo com as variações climáticas da região podendo ser maior do que a secagem em terreiro tradicional, no entanto o constante deslocamento de terreiros e grãos é uma tarefa difícil, demorada e cansativa além de ser pouco ergonômica (Borém et al., 2008a).

#### 2.9.2.3 *Secagem com baixas temperaturas*

A secagem em baixa temperatura é um método pouco usual no processamento do café, porém é empregado para complementar a secagem em regiões cuja umidade é relativamente baixa na ocasião da colheita. Para a realização do processo, são usados silos secadores com altura máxima de 6m, fundos perfurados e capacidade estática máxima de 300 t.. O fluxo de ar deve estar entre 1,0 m<sup>3</sup>/min e 10 m<sup>3</sup>/min por toneladas de produto. O enchimento do silo pode ser feito por etapas ou em uma única vez (Silva et al., 2015).

Para a secagem, é usado um ar aquecido entre 5 e 10°C acima da temperatura do ar ambiente, o grão pode perder umidade até atingir o equilíbrio térmico e higroscópico entre o produto e o ar de secagem. A movimentação do ar é realizada por meio de ventiladores. É um processo de baixo custo, podendo ser considerado eficiente, contudo, é lento e demorado (Borém et al., 2008a).

A secagem em baixas temperaturas pode levar cerca de 15 dias, fato que dependerá das condições de secagem. Desde modo, o dimensionamento do sistema deve ser feito de tal forma que a secagem seja completada antes que decorra a deterioração da massa de produto, principalmente, na parte superior do silo (Silva et al., 2015).

## 2.10 Interferência da secagem na qualidade do café

Uma das causas da depreciação do café é a má secagem ligada a falta de controle de temperatura e presença de umidade no grão. A secagem adequada é aquela em que a água é removida lentamente, mas sem causar fermentações nocivas. A temperatura da secagem não pode ultrapassar os 40°C, caso contrário o café perde sua qualidade. Os cafés secados em terreiros, com exceção do café secado em terreiro de terra, conseguem manter a boa qualidade do produto (Borém et al., 2008a).

A temperatura pode não alterar somente a bebida, mas também a cor dos grãos quando a secagem é mal conduzida, resultando em produtos com coloração desigual. Os grãos podem ficar descoloridos e se forem empregadas temperaturas superiores a 80°C, os grãos ficarão superaquecidos e com cor acinzentada; quando reabsorvem umidade, branqueiam irregularmente e de maneira mais acentuada (Silva et al., 2015).

Em regiões com alta umidade relativa do ar, a taxa de secagem é baixa e o processo é demorado, expondo inevitavelmente o produto a vários agentes biológicos, ocasionando a redução da qualidade do produto (Silva et al., 2013). Locais com alta umidade relativa favorecem a proliferação de doenças e pragas, além da ocorrência de fermentações indesejáveis. Normalmente terreiros com alta umidade relativa se localizam próximos a represas, grotas ou locais sombreados, portanto é necessário escolher com cuidado o local da construção ou montagem do terreiro. No entanto a baixa umidade relativa também pode gerar prejuízos ao cafeeiro e a qualidade do café. Locais com baixa umidade relativa favorecem o ataque de algumas pragas e a redução do desenvolvimento do cafeeiro (Mesquita et al., 2016b)

Além do efeito direto da temperatura, a interação entre a temperatura e o teor de água inicial do café também interferem na qualidade do produto, de tal forma que esta não será garantida apenas evitando-se fermentações; é imprescindível que a secagem seja a mais lenta possível com o objetivo de manter intacto o interior do grão. Elevadas temperaturas e altas taxas de secagem, poderão romper as estruturas internas dos grãos expondo óleos e outros componentes à ação do oxigênio e assim, comprometer a qualidade do café (Borém et al., 2008a).

Sabe-se que os frutos do café são higroscópios, ou seja, eles têm a capacidade de absorver ou perder umidade evaporando para o ar circunvizinho. A umidade relativa do ar se refere à capacidade do ar em reter a água em forma de vapor no ambiente de secagem, portanto, se o ar estiver com 32°C e umidade relativa de 30%, pode-se dizer que a capacidade do ar usada para a retirada de umidade do grão é de somente 30% (Silva et al., 2015).

Observar a quantidade da umidade relativa do ar é um fator muito importante para a secagem do café. Assim, se a umidade do grão for maior de que a umidade no ambiente de secagem ocorrerá um fluxo permanente de vapor migrando do grão para o ar de secagem até que os valores de umidade relativa se tornem iguais; caso a umidade do grão seja menor de que a umidade relativa do ar de secagem, ocorrerá o processo inverso ao caso anterior, ou seja, a migração é inversa, mas quando o resultado da umidade do grão for igual ao da umidade relativa do ar da secagem, não haverá nenhum fluxo de vapor, pois o equilíbrio higroscópico foi atingido (Silva et al., 2015).

O processo de secagem precisa de ar aquecido, pois o calor contido no ar de secagem é transmitido ao grão provocando a evaporação da água interna e aumentando a umidade relativa do ar circunvizinho ao grão. Essa umidade se encontra maior do que a umidade do ar de secagem, o que gera um fluxo de vapor saindo do grão para o ar de secagem, este por sua vez recebe o vapor da água, diminuindo sua temperatura e aumentando sua umidade, sendo responsável por carregar a umidade para fora da área de secagem. Quanto maior for a umidade relativa do ar de exaustão mais o processo de secagem será eficiente, pois terá, conseqüentemente, menos água no grão (Moreira et al., 2019).

O teor de água do produto define a disponibilidade de água para o desenvolvimento de fungos. Portanto, após a colheita, o quanto antes o teor de água for reduzido aos níveis ideais para armazenagem, menores serão as perdas quantitativas e qualitativas do café e as possibilidades de metabolização de microtoxinas pelos fungos (Silva et al., 2015).

## 2.11 Métodos de análise estatística

### 2.11.1 *Análise de Componentes Principais*

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis. Possibilita, também, a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais (CP) de dimensões equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informações possível, sendo que esta busca eliminar algumas variáveis originais que possua pouca informação. Essa redução de variáveis só será possível se as  $p$  variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos. A meta da análise de componentes principais é abordar aspectos como a geração, a seleção e a interpretação das componentes investigadas (Vicini, 2005).

Fávero e Belfiore (2015), afirmam que, dentre os métodos para determinação de fatores, o conhecido como componentes principais é o mais utilizado em análise fatorial, já que se baseia no pressuposto de que podem ser extraídos fatores não correlacionados a partir de combinações lineares das variáveis originais. A análise fatorial por componentes principais permite, portanto, que, a partir de um conjunto de variáveis originais correlacionadas entre si, seja determinado outro conjunto de variáveis (fatores) resultantes da combinação linear do primeiro conjunto.

Ainda conforme Fávero e Belfiore (2015), as técnicas exploratórias de análise fatorial são muito úteis quando há a intenção de se trabalhar com variáveis que apresentem, entre si, coeficiente de correlação relativamente elevados e se deseja estabelecer novas variáveis que captem o comportamento conjunto das variáveis originais. Cada uma dessas novas variáveis é chamada de fator, que pode ser entendido como o agrupamento de variáveis a partir de critérios estabelecidos. Neste sentido, a análise fatorial é uma técnica multivariada que procura identificar uma quantidade relativamente pequena de fatores que representam o comportamento conjunto de variáveis originais interdependentes.

### 2.11.2 Trabalhos Correlatos

Maretto (2016) avaliando as características dos cafés arábica cultivado em altitudes acima de 900 metros e acima de 1.100 metros na região do Circuito das Águas Paulista, através de uma análise dos componentes principais utilizando o método SCAA conseguiu extrair duas CPs do conjunto total de dados explicando 91,34% da variância. O primeiro componente principal (CP1) explicou 86,17% da variância estatística e foi correlacionada positivamente com as variáveis Sabor, Retrogosto, Acidez, Corpo, Balanço e Impressão Global. Enquanto que o segundo componente principal (CP2) explicou 5,18% da variância estatística e foi apenas correlacionada positivamente com a variável Fragrância.

Em sua pesquisa, Oliveira (2018) analisou os componentes principais de oito atributos sensoriais de 72 amostras de café colhidas de altitudes variando entre 800 e 1400 metros, na cidade de Machado -MG. Os componentes principais foram, variância explicada, variância acumulada, fragrância, sabor, gosto remanescente, acidez, corpo, balanço, nota geral e nota final. Os resultados encontrados pela autora seguem no quadro 1.

**Quadro 1.** Resultados da pesquisa. Oliveira (2018)

| CP   | Autovalores | VE (%) | VA (%) | Autovetores |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------------|--------|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |             |        |        | FRA         | SAB   | GOS   | ACI   | COR   | BAL   | GER   | NOT   |
| CP 1 | 6.9         | 86     | 86     | 0.32        | 0.36  | 0.37  | 0.36  | 0.34  | 0.34  | 0.36  | 0.38  |
| CP 2 | 0.41        | 5.2    | 91     | 0.68        | 0.16  | 0.09  | 0.17  | -0.46 | -0.44 | -0.24 | 0.06  |
| CP 3 | 0.32        | 3.9    | 95     | 0.57        | -0.35 | -0.19 | -0.21 | 0.38  | 0.42  | -0.36 | -0.14 |
| CP 4 | 0.15        | 1.9    | 97     | 0.21        | 0.19  | -0.2  | -0.45 | 0.47  | -0.55 | 0.4   | -0.03 |
| CP 5 | 0.12        | 1.5    | 98     | -0.03       | -0.48 | -0.18 | 0.7   | 0.33  | -0.36 | 0.06  | -0.03 |
| CP 6 | 0.079       | 0.99   | 99     | 0.22        | -0.53 | 0.01  | -0.14 | -0.41 | 0.15  | 0.68  | 0.04  |
| CP 7 | 0.054       | 0.68   | 100    | 0.07        | 0.38  | -0.81 | 0.24  | -0.17 | 0.24  | 0.18  | -0.09 |
| CP 8 | 0.015       | 0.19   | 100    | 0.09        | 0.17  | 0.28  | 0.15  | 0.03  | 0.06  | 0.19  | -0.91 |

Fonte: Oliveira (2018, p.36).

Para oliveira (2018) os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram cerca de 91% de toda variação das 72 amostras. Os autovetores dos atributos sensoriais no CP1 apresentaram valores próximos uns dos outros, nota-se que os atributos, nota final (NOT) e gosto remanescente foram os que mais se destacaram com valores mais próximos de 1, enquanto balanço,

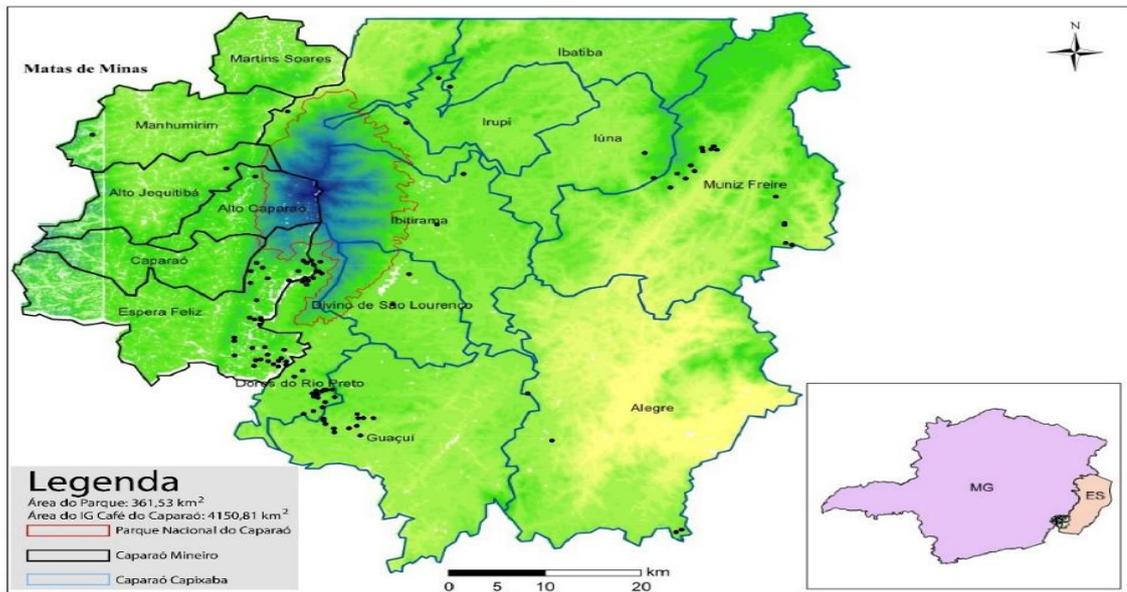
fragrância e corpo foram os que menos contribuíram para explicar toda a variância. O fato desses atributos sensoriais apresentarem autovalores próximos e quase os mesmos pesos para explicar a variância entre as amostras, se justifica pelo fato das amostras serem todas oriundas de cafés especiais. Mesmo assim, foi possível identificar que a nota final e o gosto remanescente foram os que mais contribuíram para diferenciar as amostras, além disso, foram altamente correlacionados. Os atributos acidez e sabor, e balanço e corpo, devidos às suas projeções, nos dois primeiros componentes principais, se encontram na mesma direção e magnitude.

A correlação entre as características sensoriais, gosto remanescente e sabor, da bebida do café arábica é bastante elevada, o que pode ser explicado pelo fato do gosto remanescente ser definido pela duração do sabor positivo (Moreira, 2015).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho contou com dados obtidos do projeto Grãos do Caparaó, que aconteceu nos anos de 2014 e 2015 e envolveu amostras de café arábica, variedade Catuaí Vermelho IAC-44, obtidas de 110 propriedades localizadas em nove municípios capixabas (Alegre, Divino de São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Lúna e Muniz Freire) e quatro mineiros (Alto Jequitibá, Alto Caparaó, Espera Feliz e Manhumirim), na região do Caparaó, descrito por Mendes et al. (2017), conforme localização identificada por pontos na Figura 1.

De cada propriedade participante, foram obtidos 40 litros de café maduro, colhidos em colheita seletiva, pela manhã, retirando-se somente os maduros, e encaminhados no mesmo dia para uma estrutura única de processamentos de pós-colheita, na localidade de Forquilha do Rio, distrito de Pedra Menina, município de Espera Feliz, Minas Gerais, a 1.150m de altitude, exclusivamente montada para o projeto. As datas das colheitas ocorreram quando a maturação dos grãos atingiu o ponto de cereja, em quantidade suficiente, o que ocorreu de forma aleatória, entre as propriedades, no período de 01 de maio a 01 de outubro nos anos de 2014 e 2015.



**Figura 1.** Localização das propriedades participantes do Projeto Grãos do Caparaó. Fonte: Adaptado de Mendes et al., (2017, pág. 86).

Na estrutura de pós-colheita, sobre piso de concreto, o café foi lavado em caixas de polietileno, de modo a serem retiradas sujidades e o boia. Em seguida, procedeu-se ao descascamento de frutos maduros, em equipamento da marca Pinhalense, modelo DMMP-02, sem utilização de água, seguido do desmucilamento por agitação manual, em duas caixas de polietileno com capacidade para 100L, dispostas em série. Os grãos pesados foram retirados das caixas por meio do uso de sombrite.

O café, descascado e desmucilado, foi disposto em terreiro suspenso em ambiente coberto por filme plástico transparente de 150 micra e aí mantido para secagem. A temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente de secagem foram monitoradas utilizando equipamento *datalogger* da marca Instrutherm, modelo HT 500, regulado para coletar dados de 10 em 10 minutos durante todo o período de secagem. Este, esteve posicionado no centro da estrutura, à altura de 1,0m do solo, semelhante à altura da tela onde se depositaram os cafés, separados um a um por régua de madeira. O revolvimento do café foi realizado com rodo exclusivo para cada amostra e em número de 8 vezes ao dia, de modo a se ter melhor uniformidade da umidade dos grãos. As amostras ficaram sob secagem até que a umidade dos grãos, medida com um determinador da marca Gehaka, modelo G 600, atingisse a 11%, aproximadamente.

Ao final da secagem, as amostras foram ensacadas e, após beneficiamento, retirada dos grãos defeituosos e corpos estranhos, realizou-se a seleção de grãos crus, seguido da torra, moagem e cupping (degustação do café), de acordo com o protocolo desenvolvido pela *Specialty Coffee Association* (SCA, 2018). Este procedimento foi composto por um painel de 3 profissionais, no Instituto Federal Sul de Minas – *Campus Muzambinho*, todos com certificação Q-Grader, conferido pelo *Coffe Quality Institute*.

Para as análises estatísticas, desenvolvidas no Setor de Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus de Alegre*, localizado no município de Alegre-ES, foram consideradas as variáveis altitude, data da colheita (tempo de colheita, contados dia a dia, após 01 de maio, nos dois anos), número de dias de secagem, temperatura média em ambiente de secagem e umidade relativa do ar média. Estas variáveis foram correlacionadas entre si (Correlação de Pearson), tendo-se utilizado os resultados significativos pelo teste t. Além disso, também foram testadas correlações destas com as variáveis que consistiram da análise sensorial (aroma, sabor, finalização, acidez, corpo, balanço, nota geral e média final). Foram gerados os seguintes modelos de regressão: número de dias de secagem em função da data da colheita; número de dias de secagem em função da umidade relativa do ar média; umidade relativa do ar média em função da data da colheita, e; umidade relativa do ar média em função da temperatura média em ambiente de secagem.

Em um segundo momento, buscando identificar a influência da data da colheita na temperatura e umidade máximas e mínimas e, no número de dias de secagem, estas variáveis foram correlacionadas entre si e foram gerados os modelos de regressão: temperatura máxima em função da data de colheita, e; número de dias de secagem em função da umidade máxima. A escolha dos melhores modelos baseou-se na ANOVA da regressão (teste F), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na significância dos coeficientes da regressão (beta).

Buscando analisar as inter-relações entre um grupo de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes, realizou-se também as análises de componentes principais com as variáveis que apresentaram correlações significativas entre si.

Para tais análises, foi utilizado o software estatístico IBM SPSS (versão 22).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados disponíveis, foram geradas as médias, os desvios padrão, os coeficientes de variação (CV) e o Intervalo de Confiança da Diferença para cada variável, de modo a permitir a visualização dos valores absolutos e da dispersão relativa dos dados em torno da média. Percebeu-se que a maioria das variáveis estudadas, tanto no ano 2014 quanto em 2015, apresentaram baixa dispersão ( $\leq 15\%$ ), conforme Fonseca (2011), com destaque para as variáveis sensoriais apresentando menores CV's, em especial, o aroma. Por outro lado, a data da colheita e o número de dias de secagem, apresentaram coeficientes de dispersão elevados, conforme demonstrado na Tabela 2, tendo como possíveis fatores, a variação do nível de radiação solar ao longo do período de colheita e a influência da altitude da lavoura, que interfere diretamente na data da colheita e, dessa, as respostas verificadas no número de dias de secagem, com registros de temperatura e umidade médias e também a relação desses fatores citados com atributos sensoriais de qualidade do café. Pode-se inferir ainda, pela análise dos intervalos de confiança, que para todas as variáveis apresentadas na tabela 2, elas não diferiram estatisticamente em seus valores médios, considerando os dois anos avaliados (2014 e 2015), ou seja, os resultados estimam médias iguais para os dois anos estudados.

**Tabela 2.** Análise descritiva (Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação e Intervalo de Confiança) das variáveis estudadas em 110 amostras de café nos anos de 2014 e 2015

| Variável                                 | Ano 2014 |        |               |        |                                           |          | Ano 2015 |               |        |                                           |          |
|------------------------------------------|----------|--------|---------------|--------|-------------------------------------------|----------|----------|---------------|--------|-------------------------------------------|----------|
|                                          | N        | Média  | Desvio Padrão | CV (%) | Intervalo de Confiança da Diferença (95%) |          | Média    | Desvio Padrão | CV (%) | Intervalo de Confiança da Diferença (95%) |          |
|                                          |          |        |               |        | Inferior                                  | Superior |          |               |        | Inferior                                  | Superior |
| Altitude                                 | 110      | 944,93 | 144,83        | 15,33  | 917,56                                    | 972,23   | 944,93   | 144,83        | 15,33  | 917,56                                    | 972,23   |
| Data da colheita                         | 110      | 49,94  | 37,23         | 74,55  | 42,90                                     | 56,97    | 60,47    | 31,22         | 51,63  | 54,57                                     | 66,37    |
| Número de dias de secagem                | 110      | 21,43  | 8,92          | 41,61  | 19,74                                     | 23,11    | 20,52    | 9,42          | 45,90  | 18,74                                     | 22,30    |
| Temperatura média em ambiente de secagem | 110      | 16,81  | 0,96          | 5,72   | 16,63                                     | 16,99    | 17,18    | 1,42          | 8,28   | 16,90                                     | 17,44    |
| Umidade relativa do ar média             | 110      | 72,52  | 5,61          | 7,74   | 71,46                                     | 73,58    | 73,06    | 4,53          | 6,20   | 72,20                                     | 73,91    |
| Aroma                                    | 110      | 7,76   | 0,32          | 4,14   | 7,69                                      | 7,82     | 7,56     | 0,27          | 3,53   | 7,51                                      | 7,61     |
| Sabor                                    | 110      | 7,56   | 0,48          | 6,41   | 7,46                                      | 7,65     | 7,43     | 0,32          | 4,31   | 7,37                                      | 7,49     |
| Finalização                              | 110      | 7,37   | 0,38          | 5,20   | 7,30                                      | 7,44     | 7,27     | 0,30          | 4,14   | 7,21                                      | 7,33     |
| Acidez                                   | 110      | 7,54   | 0,39          | 5,18   | 7,47                                      | 7,61     | 7,44     | 0,27          | 3,63   | 7,34                                      | 7,49     |
| Corpo                                    | 110      | 7,40   | 0,31          | 4,14   | 7,34                                      | 7,45     | 7,32     | 0,28          | 3,82   | 7,27                                      | 7,37     |
| Balanço                                  | 110      | 7,36   | 0,41          | 5,62   | 7,27                                      | 7,43     | 7,26     | 0,30          | 4,19   | 7,20                                      | 7,31     |
| Geral                                    | 110      | 7,39   | 0,56          | 7,53   | 7,29                                      | 7,50     | 7,25     | 0,38          | 5,24   | 7,17                                      | 7,32     |
| Média final                              | 110      | 82,26  | 2,86          | 3,48   | 81,71                                     | 82,80    | 81,26    | 3,48          | 4,28   | 80,59                                     | 81,91    |

Em relação à categoria de qualidade dos cafés utilizados na pesquisa, o resultado apresenta médias que apontam, nos dois anos de pesquisa, se tratar de cafés especiais, com média final acima de 80 pontos pelo protocolo de análise sensorial adotado (SCA, 2018).

Os intervalos compreendidos entre os valores mínimos e máximos das variáveis apresentadas acima, são demonstradas na tabela 03.

**Tabela 3.** Análise descritiva (valores mínimos e máximos) de cada variável analisada para os anos de 2014 e 2015

| Variável                                 | N   | Ano 2014  |        |         | Ano 2015  |        |         |
|------------------------------------------|-----|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|
|                                          |     | Intervalo | Mínimo | Máximo  | Intervalo | Mínimo | Máximo  |
| Altitude                                 | 110 | 668,00    | 707,00 | 1375,00 | 668,00    | 707,00 | 1375,00 |
| Data da colheita                         | 110 | 152,00    | 1,00   | 153,00  | 141,00    | 11,00  | 152,00  |
| Número de dias de secagem                | 110 | 45,00     | 6,00   | 51,00   | 39,00     | 4,00   | 43,00   |
| Temperatura média em ambiente de secagem | 110 | 4,55      | 14,83  | 19,38   | 8,80      | 15,90  | 24,70   |
| Umidade relativa do ar média             | 110 | 22,94     | 54,51  | 77,45   | 26,20     | 50,90  | 77,10   |
| Aroma                                    | 110 | 2,25      | 6,58   | 8,83    | 1,67      | 6,83   | 8,50    |
| Sabor                                    | 110 | 2,50      | 6,00   | 8,50    | 1,58      | 6,75   | 8,33    |
| Finalização                              | 110 | 2,08      | 6,00   | 8,08    | 1,79      | 6,38   | 8,17    |
| Acidez                                   | 110 | 2,17      | 6,17   | 8,33    | 1,58      | 6,75   | 8,33    |
| Corpo                                    | 110 | 1,83      | 6,08   | 7,92    | 1,42      | 6,75   | 8,17    |
| Balanço                                  | 110 | 2,25      | 6,00   | 8,25    | 1,50      | 6,67   | 8,17    |
| Geral                                    | 110 | 2,67      | 6,00   | 8,67    | 1,91      | 6,42   | 8,33    |
| Média final                              | 110 | 15,00     | 72,92  | 87,92   | 35,75     | 51,67  | 87,42   |

#### 4.1 Relações entre altitude, data da colheita e número de dias de secagem entre si e em função da temperatura média e umidade relativa do ar, no ambiente de pós-colheita, na Região do Caparaó

As correlações de Pearson entre a altitude e a data da colheita foram significativas, tanto para o ano 2014, quanto para 2015 (0,654\*\* e 0,539\*\*, respectivamente), indicando que quanto maior a altitude da lavoura, mais tardia foi a colheita. Além disso, percebeu-se que a data da colheita influenciou negativamente no número de dias de secagem, conforme correlação apresentada na Tabela 4. Isso significa que, na região do Caparaó, os frutos que são colhidos mais cedo precisam de mais tempo (dias) para serem secos em condições de terreiro, quando comparados com frutos de colheita tardia. Isso se deve mais consistentemente à umidade do ar que à temperatura do ar no ambiente de secagem (Tabela 4). Por fim, verifica-se ter havido correlação negativa entre a temperatura média e a umidade média do ar, mesmo com intensidade de

resposta diferente nos dois anos avaliados, o que se concebe como fatores climáticos que interferem nas diferentes safras.

**Tabela 4.** Significância do coeficiente de correlação entre as variáveis extra sensoriais, altitude da lavoura, data da colheita, número de dias de secagem, temperatura do ar média e umidade relativa do ar média de 110 amostras de café nos anos 2014 e 2015

| Parâmetro                                      | Ano  | Data da colheita | Número de dias de secagem | Temperatura média do ar no ambiente de secagem | Umidade relativa do ar média |
|------------------------------------------------|------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
| Altitude                                       | 2014 | 0,654**          | -0,346**                  | -0,018                                         | -0,473**                     |
|                                                | 2015 | 0,539**          | -0,468**                  | 0,232*                                         | -0,405**                     |
| Data da colheita                               | 2014 |                  | -0,607**                  | -0,005                                         | -0,714**                     |
|                                                | 2015 |                  | -0,836**                  | 0,610**                                        | -0,803**                     |
| Número de dias de secagem                      | 2014 |                  |                           | -0,177                                         | 0,545**                      |
|                                                | 2015 |                  |                           | -0,383**                                       | 0,645**                      |
| Temperatura média do ar no ambiente de secagem | 2014 |                  |                           |                                                | -0,597**                     |
|                                                | 2015 |                  |                           |                                                | -0,800**                     |

\*\* A correlação é significativa, pelo teste “t” de Student ao nível de 1%;

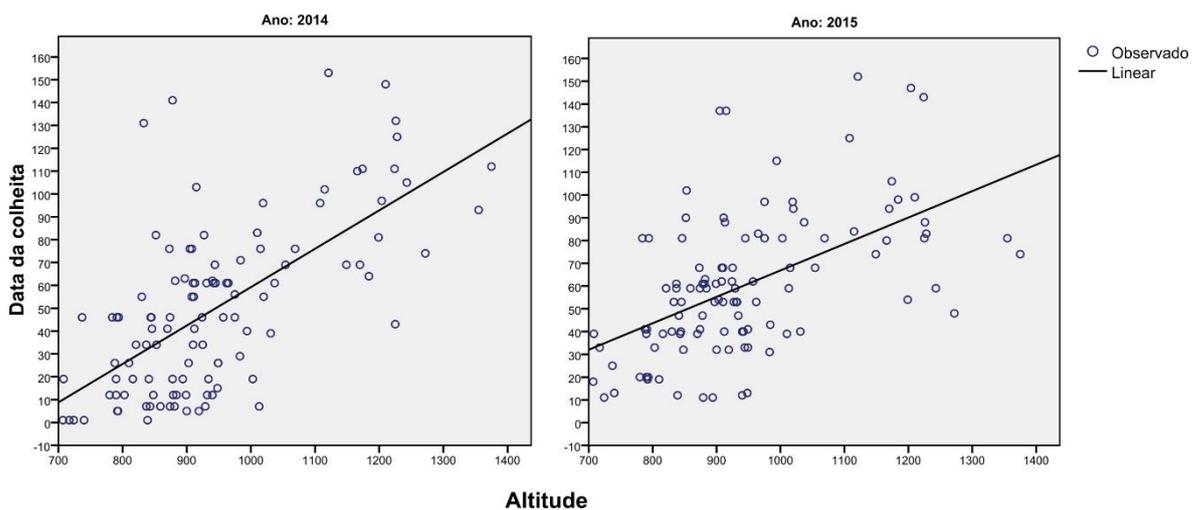
\* A correlação é significativa, pelo teste “t” de Student ao nível de 5%.

Ao analisar os dados, verificou-se que a duração da secagem se deve mais às condições de umidade relativa média do ar que à temperatura média do ambiente de terreiro suspenso coberto. Não se pode extrapolar essa afirmação para outras condições de infraestrutura de secagem, como terreiros de concreto, bem como para outras localidades com clima diverso. Com relação ao clima natural, entretanto, a literatura aborda com mais frequência sua influência nas lavouras do que na pós-colheita. De acordo com Cortez (1997), o café arábica apresenta ciclo fenológico com as fases de florescimento e maturação ocorrendo em épocas que variam em função das condições da região de cultivo. O fator térmico influi na duração da frutificação e na época de maturação, ou seja, quanto mais baixa a altitude e mais quente for a região, mais precoce será a maturação.

O período de frutificação pode ser dividido em duas fases, a fase de crescimento e a fase final de amadurecimento. Cortez (1997) ainda cita que, na segunda fase, há indicativo de que, se o ciclo for suficientemente longo, o grão apresentará características ainda mais favoráveis de bebida, como acidez desejável e corpo acentuado.

Conforme Matiello et al. (2005), altitudes maiores implicam em temperaturas menores, que por sua vez implicam no adiamento da maturação dos frutos.

Ao analisar o padrão de variação da variável dependente data de colheita (Y) em função da variável independente altitude (X) dos frutos, cereja, colhidos como amostra para este estudo, foi possível observar que quanto maior a altitude mais tardia é a colheita, conforme, demonstrado na figura 2.

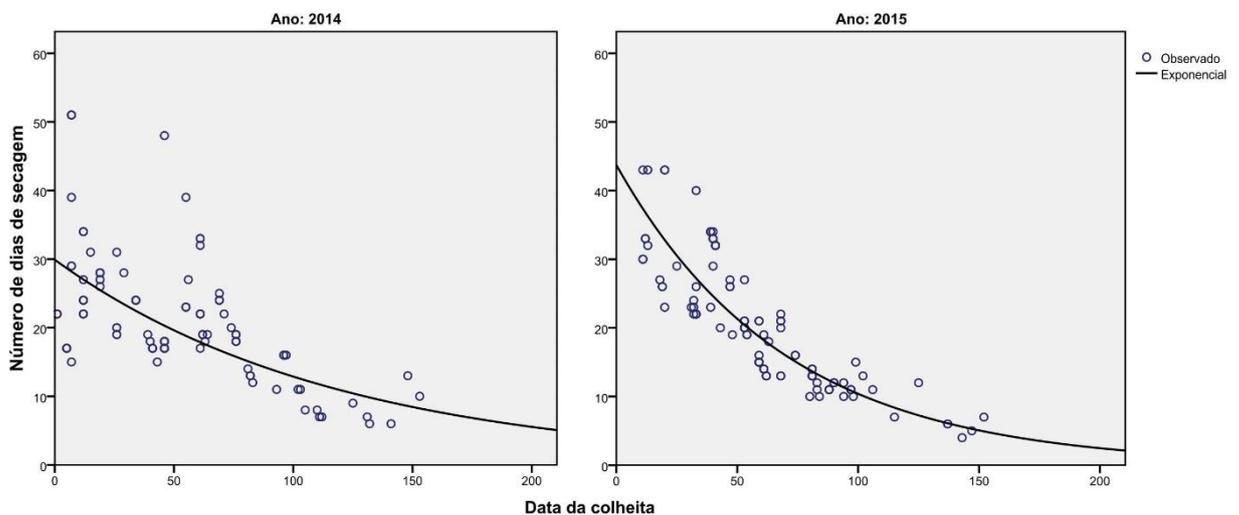


**Figura 2.** Padrão de variação da data da colheita em função da altitude, demonstrado pelo modelo linear, para as 110 amostras, nos anos de 2014 e 2015.

Nesta relação, o coeficiente de variação foi melhor explicado pelo modelo linear, onde a variável independente (Y) é explicada em 42,8% dos casos pela equação  $y = 0,1680x - 108,899$  em 2014 e pela equação  $y = 0,1161x - 49,249$  em 29% dos casos em 2015.

Na cafeicultura, o conhecimento dos efeitos dos elementos climáticos no desenvolvimento fenológico da cultura tem grande aplicação nas práticas de manejo (Pezzopane et al., 2003). Dentre os elementos climáticos, destaca-se a temperatura e a umidade do ar, que atuam na duração do ciclo reprodutivo, condicionando a época de colheita.

Para melhor demonstrar os efeitos da data da colheita em relação ao número de dias sob secagem, realizou-se o cálculo de regressão. Foi possível perceber que a Curva de Estimação para a variável dependente número de dias de secagem (Y) relacionada à variável independente data da colheita (X) foi melhor explicada pelo modelo exponencial, nos dois anos de investigação. Para o ano de 2014, o modelo  $y = 29,902 \cdot e^{-0,008x}$  explica a variação de Y em função de X em 51,60% dos casos, enquanto que para o ano de 2015, o modelo  $y = 43,737 \cdot e^{-0,014x}$  explica essa variação em 82,30% dos casos (Figura 3). Esta maior explicação pode estar relacionada ao coeficiente de variação para a data de colheita, que em 2015 foi menor que em 2014, conforme tabela 3.

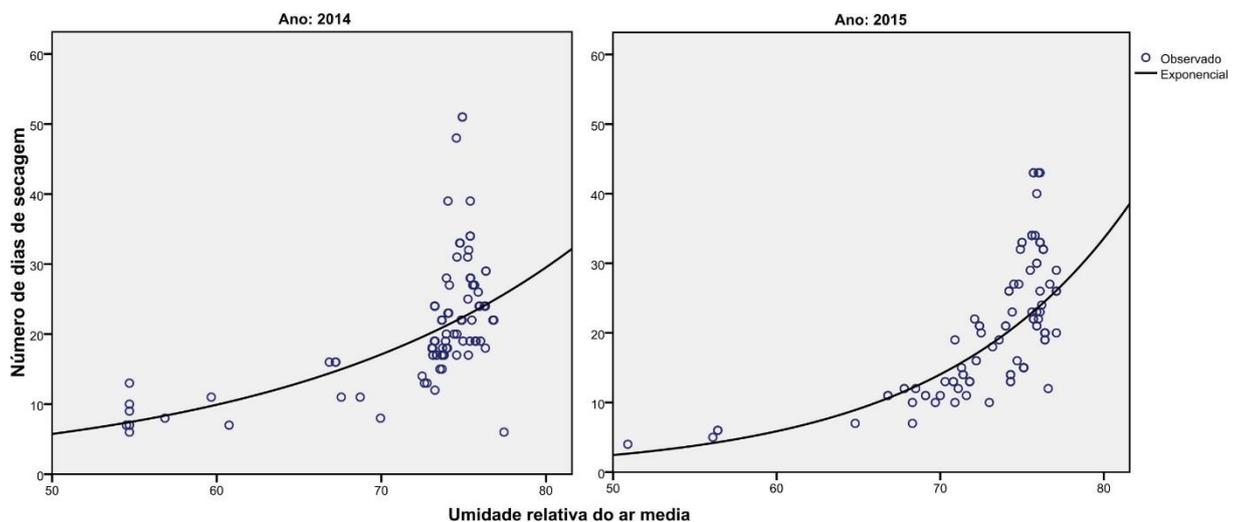


**Figura 3.** Padrão de variação do número de dias de secagem em função da data da colheita, demonstrado pelo modelo exponencial, para 110 amostras, nos anos de 2014 e 2015.

Observa-se na figura 3 o padrão de variação do número de dias de secagem sendo menor quanto mais tardia é a colheita. Do ponto de vista prático, quanto menor o tempo de secagem, menor a possibilidade de degradação do fruto, proporcionando atributos sensoriais de melhor qualidade. Considerando aspectos físicos, inerente ao local de estudo, o menor tempo de secagem proporciona, ao produtor a possibilidade de realizar um número maior de rodízio da colheita no terreiro de secagem.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 1981), a classificação climática de Köppen da região é do tipo Cwb, típica de tropical de altitude, apresentando segunda metade da primavera e verão chuvosos (outubro a fevereiro) e inverno frio e seco (junho a agosto). A pluviosidade média anual varia de 1.000 a 1.500 mm e a temperatura média anual, de 19 a 22°C.

Com base nos dados coletados, para a variável independente “Umidade relativa do ar média” (X), o modelo exponencial apresentado a seguir é o que melhor explica o padrão de variação “Número de dias de secagem” (Y), como variável dependente, para os anos de 2014 e 2015, com coeficiente de explicação de 49,10% e 63,90%, respectivamente. Embora o modelo, para o ano de 2014 não tenha um elevado índice de explicação, é o que melhor ajusta os dados com significância  $p=0,000$  na Análise de Variância para a Regressão. Considerou-se também que para os modelos de regressão adotados, os coeficientes (betas) foram altamente significativos ( $p<0,01$ ). A curva de estimação pode ser visualizada na Figura 4 pelos modelos  $y = 0,376 \cdot e^{0,055x}$ , para 2014, e  $y = 0,031 \cdot e^{0,087x}$ , para 2015.

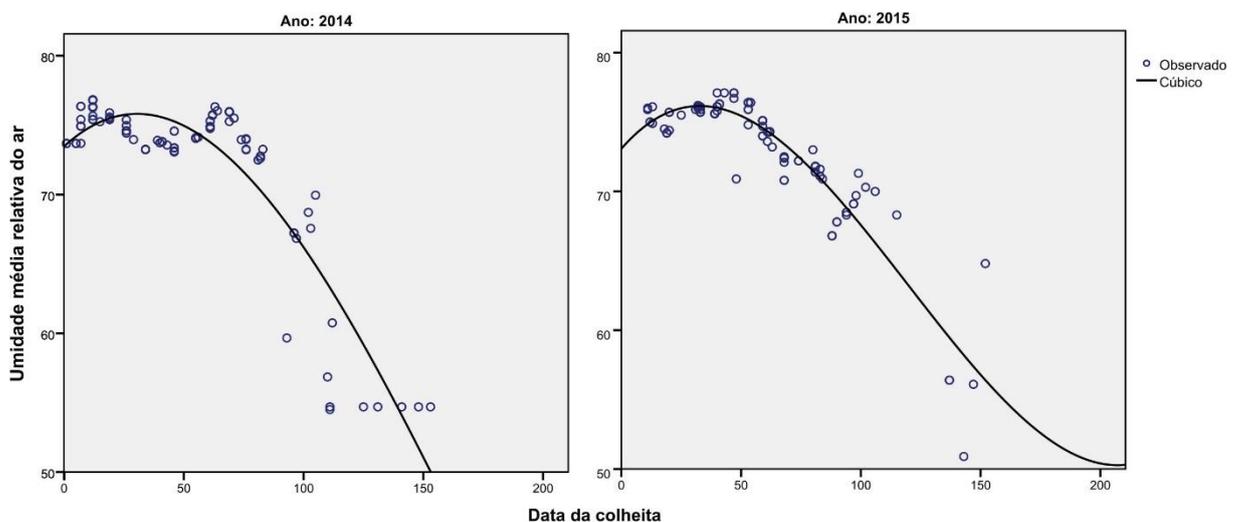


**Figura 4.** Padrão de variação do número de dias de secagem em função da umidade relativa do ar média, demonstrado pelo modelo exponencial, para 110 amostras, nos anos de 2014 e 2015.

Para Borém et al. (2008a), vários são os fatores que influenciam na eficiência da secagem do café arábica e que podem comprometer a qualidade do produto final: o método de secagem, a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem e o tempo de secagem.

Com a entrada do período de estiagem, a partir do mês de junho, a umidade relativa do ar decresce em todos os ambientes, tanto em cotas mais baixas, quanto em maiores altitudes, propiciando melhores condições para os processos de secagem do café em terreiros, mesmo que, simultaneamente, haja decréscimos na temperatura média da região. Isso é corroborado por esta pesquisa, que aborda, dentre outras investigações, a contribuição de temperatura e umidade relativa do ar em ambiente de secagem do café, como será visto adiante. A redução no tempo de secagem com o avanço dos dias, ao longo de cada ano investigado, também se explica pela maior umidade nos períodos iniciais da colheita no Caparaó, como demonstrado na Figura 5.

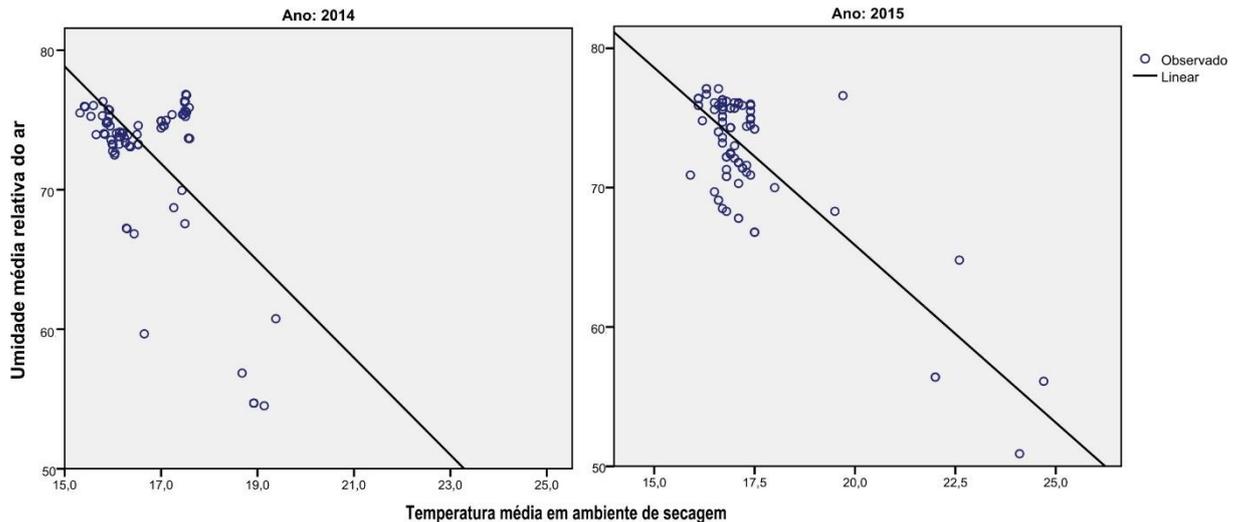
Em 2014, o modelo de regressão, entre a variável dependente umidade média relativa do ar (Y) em relação à variável independente data da colheita (X) apresentou coeficiente de explicação de 81,5% pelo modelo cúbico  $y = 0,000005163x^3 - 0,003x^2 + 0,158x + 73,466$ . Para o ano 2015, o mesmo modelo explica 85,6% dos casos, e se apresenta com os valores de  $y = 0,000009749x^3 - 0,004x^2 + 0,198x + 73,073$  (Figura 5).



**Figura 5.** Padrão de variação da umidade relativa do ar média em função da data da colheita, demonstrado pelo modelo cúbico, para 110 amostras, nos anos de 2014 e 2015.

A umidade relativa do ar média no ambiente de secagem do café se apresenta menor, quanto mais tardio é o início da colheita. Este fato se explica pelo padrão climático da região, onde as médias históricas apontam para redução das chuvas no final do outono e em todo o inverno, nos meses em que ocorre o maior volume de colheita de café.

Conforme os dados apresentados na Tabela 4, a temperatura média interfere, de forma inversa, na umidade relativa média, ou seja, quanto maior a temperatura média, menor é a umidade relativa média. Para a variável dependente umidade relativa do ar média (Y), o modelo linear  $y = -3,480x + 131,02$  explica em 35,6% as variações da temperatura média em ambiente de secagem (X) para o ano de 2014, e o modelo linear  $y = -2,546x + 116,796$  explica em 64,0% suas variações para o ano de 2015 (Figura 6). Apesar dos seus baixos valores de coeficientes de determinação, estes foram os melhores modelos escolhidos, ou seja, os que melhor explicam as relações funcionais entre as variáveis estudadas (X e Y). A escolha deste modelo não baseou-se somente nos R<sup>2</sup> e também na significância das análises de variâncias da regressão (teste F de Fischer-Snedecor) e ainda na significância dos coeficientes da regressão (dos betas) do modelo e ainda considerou-se o critério da parcimônia, ou seja, no caso de empate, optou-se pelo modelo mais simples (menos parametrizado). Por fim, convém ressaltar que esse padrão de variação não seguiu ajustes iguais nos dois anos de avaliação, talvez devido a outros agentes climáticos, como ventos.



**Figura 6.** Padrão de variação da umidade relativa do ar média em função da temperatura média em ambiente de secagem, demonstrado no modelo linear, para 110 amostras, nos anos de 2014 e 2015.

#### 4.2 Efeitos da altitude da lavoura, da temperatura média e da umidade relativa do ar média no ambiente de secagem sobre atributos sensoriais de café arábica da Região do Caparaó

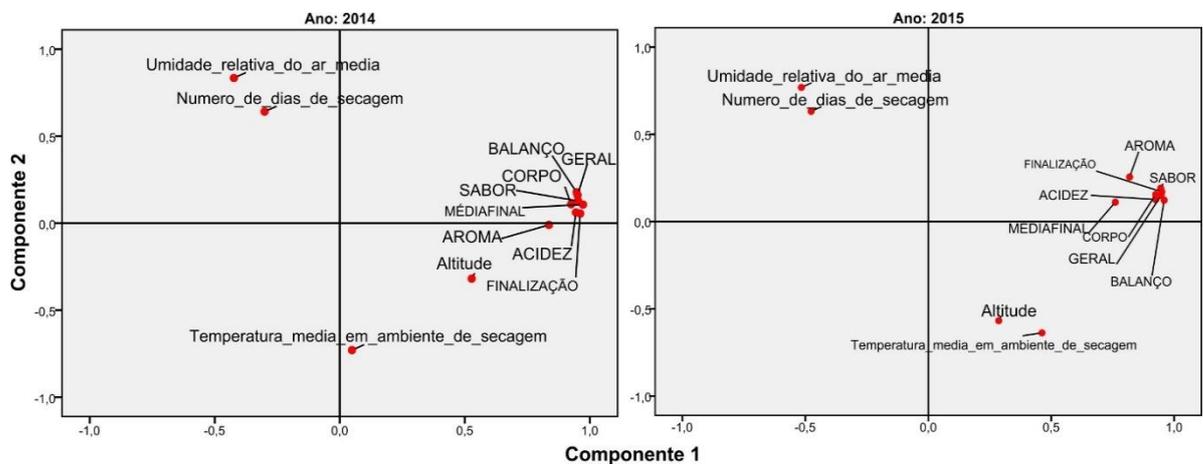
Além do fato de as variáveis da análise sensorial serem altamente correlacionadas entre si, ocorreram correlações significativas desses atributos com as variáveis altitude da lavoura, temperatura média e umidade relativa média do ambiente de secagem. Esse comportamento justificou a utilização de análise fatorial por componentes principais (ACP).

No processamento dos dados, verificou-se significância ( $p=0,000$ ) para o teste de Esfericidade de Bartlett, o que indica que a matriz de correlações entre as variáveis é significativa. As estatísticas de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) assumiram valores entre 0,8 e 0,9, o que significa “Boa” adequação global da análise fatorial (Fávaro e Belfiore, 2015), tanto em 2014 quanto em 2015. A ACP indicou dois componentes ou fatores, nos dois anos, representando variáveis ocultas que compartilham as variações das variáveis originais.

Para o ano de 2014, 78,53% da variância total das variáveis são compartilhadas para a formação dos componentes (componente 1 = 63,16% e componente 2 = 15,37%) e, para 2015, essa proporção é de 77,49% (componente

1 = 61,32% e componente 2 = 16,17%), valores que, de acordo com Fávares e Belfiore (2015), indicam boa adequação da ACP.

Observou-se, tanto para o ano de 2014 quanto para 2015, que a umidade relativa do ar média é a variável climática que apresentou maior comunalidade, sendo ela a extra-sensorial com maior variância total compartilhada na formação dos fatores (0,876 em 2014 e 0,825 em 2015). Já o atributo sensorial que apresentou maior comunalidade foi a nota geral (0,930) em 2014 e o balanço (0,935) em 2015. Essa participação da variável climática e dos atributos sensoriais é melhor interpretada pelas Cargas Fatoriais (Correlações de Pearson das variáveis originais com os componentes gerados) (Figura 7).



**Figura 7.** Análise de componentes principais, envolvendo umidade relativa do ar média e número de dias de secagem (componente 01), a altitude, a temperatura média e atributos de análise sensorial (componente 02) de 110 amostras de café da região do Caparaó.

Observa-se, para o ano de 2014, que o grupo de atributos da análise sensorial contribuem forte e positivamente (com correlações de Pearson altas) com a formação do componente 1. Isto é um indicio de que estas variáveis são igualmente importantes, com destaque para o atributo finalização, com maior carga atribuída (0,961) e aroma, com menor carga atribuída (0,836), em uma concepção geral para o produto avaliado.

Entre as variáveis altitude, temperatura média em ambiente de secagem e umidade relativa do ar média, a altitude colabora com os atributos sensoriais no mesmo sentido, porém com carga fatorial de 0,527. A temperatura média se

mostrou pouco significativa (carga fatorial próxima de “0”), enquanto o número de dias de secagem e a umidade média tem cargas fatoriais negativas com este componente, ou seja, estão contribuindo de forma contrária ao componente e, conseqüentemente, aos atributos sensoriais. No entanto, para o Componente 2, cujas variáveis da análise sensorial tem cargas fatoriais baixas, o número de dias de secagem e a umidade média têm cargas consideráveis, com destaque para a umidade relativa do ar média (0,834).

Em 2015 os comportamentos destas variáveis foram análogos aos verificados para o ano 2014, mantendo-se o aroma com menor carga para o componente 1 (0,819), e destaque para o atributo balanço, com maior carga atribuída (0,959). Porém, em 2015 houve uma variação nas cargas da temperatura média e da altitude. A altitude, nesse ano, contribuiu menos com os atributos sensoriais, enquanto a temperatura média aumentou sua carga no componente 1, contribuindo mais para as variáveis da análise sensorial.

Em relação à formação do componente 2, as variáveis número de dias de secagem e umidade relativa do ar média tiveram participação positiva, com destaque para a umidade relativa do ar média com 0,834 (2014) e 0,769 (2015).

#### 4.3 Influência da data da colheita na temperatura e umidade, máximas e mínimas e, no número de dias de secagem

Ao analisar a temperatura média do ar no ambiente de secagem e a data da colheita (Tabela 4), foi possível observar uma forte correlação em 2015, o mesmo não acontecendo para o ano de 2014. Na busca de evidências que pudessem explicar, de forma mais específica, a influência da data da colheita no tempo de secagem, realizou-se uma investigação em relação às temperaturas e umidades, mínimas e máximas, ao longo do período de colheita, nos dois anos.

A correlação de Pearson entre a temperatura máxima e a data da colheita foram significativas, tanto para o ano 2014, quanto para 2015 (0,610\*\* e 0,475\*\*, respectivamente), indicando que quanto mais tardia a colheita, maior é a temperatura máxima alcançada em ambiente de secagem. No entanto, a temperatura mínima apresentou correlações mais fracas nos 2 anos e negativa para o ano de 2014 (-0,489), conforme demonstrado na Tabela 5.

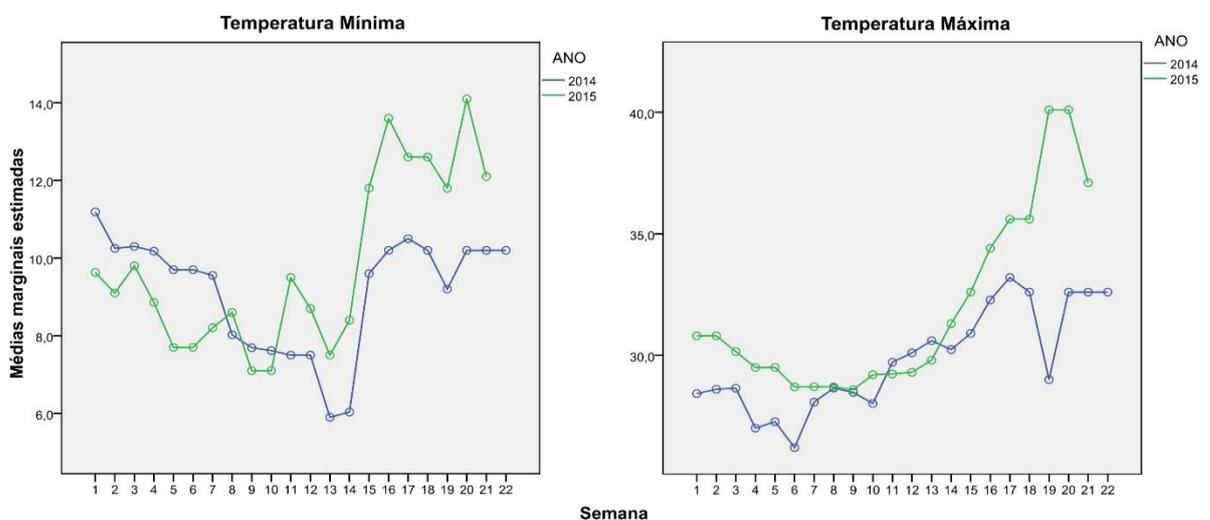
**Tabela 5.** Significância do coeficiente de correlação entre as variáveis data da colheita, número de dias de secagem, temperatura e umidade mínimas e máximas em ambiente de secagem de 110 amostras de café nos anos 2014 e 2015

| Parâmetro                 | Ano  | Data da colheita | Número de dias de secagem | Temperatura Mínima | Temperatura Máxima |
|---------------------------|------|------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Número de dias de secagem | 2014 | -0,607**         |                           |                    |                    |
|                           | 2015 | -0,836**         |                           |                    |                    |
| Temperatura Mínima        | 2014 | -0,489**         | 0,007                     |                    |                    |
|                           | 2015 | 0,388**          | -0,371**                  |                    |                    |
| Temperatura Máxima        | 2014 | 0,610**          | -0,311**                  |                    |                    |
|                           | 2015 | 0,475**          | -0,196**                  |                    |                    |
| Umidade Mínima            | 2014 | -0,761**         | 0,357**                   | 0,410**            | -0,831**           |
|                           | 2015 | -0,267**         | 0,036                     | -0,603**           | -0,811**           |
| Umidade Máxima            | 2014 | -0,288**         | 0,535**                   | -0,280**           | -0,103             |
|                           | 2015 | -0,778**         | 0,648**                   | -0,262**           | -0,489**           |

\*\* A correlação é significativa, pelo teste “t” de Student ao nível de 1%;

\* A correlação é significativa, pelo teste “t” de Student ao nível de 5%.

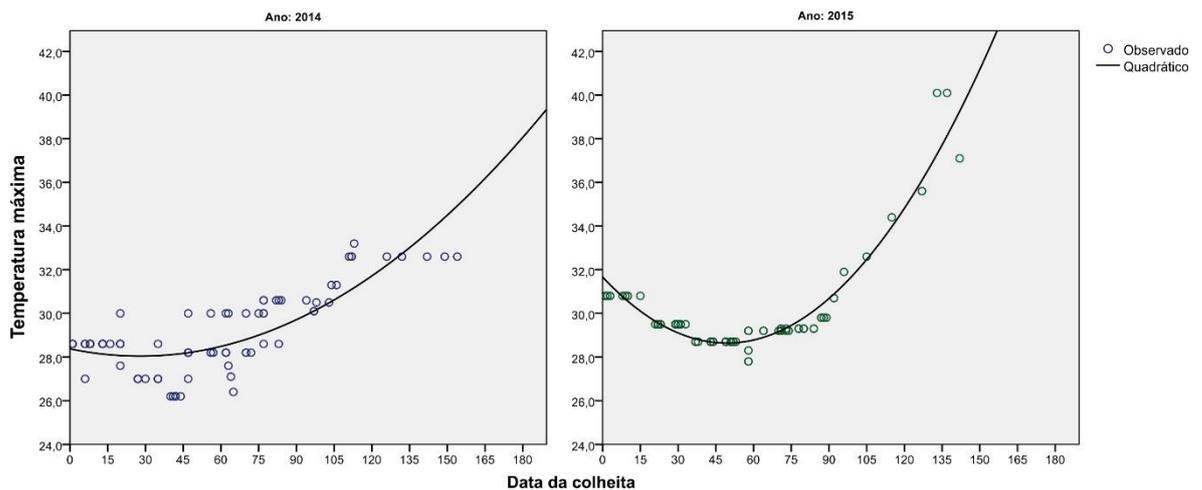
Observa-se que a partir da 10<sup>a</sup> semana a temperatura mínima no ano de 2015 passou a ter um padrão de variação diferente daquela verificada no ano anterior, quando esta passa a ser superior durante o restante do período observado, conforme demonstrado na figura 8. Em relação à temperatura máxima, observa-se que em 2015 ela se manteve superior durante todo o período, com exceção do período compreendido entre as semanas 11 e 13.



**Figura 8.** Médias marginais da Temperatura máxima e mínima, em intervalos semanais a contar da data de início da colheita nos anos de 2014 e 2015 de 110 amostras de café da região do Caparaó.

A correlação de Pearson, tabela 5, também nos mostra que quanto maior a temperatura máxima, menor é a umidade mínima no ambiente de secagem. O coeficiente de correlação entre a temperatura máxima e a umidade mínima, nos anos de 2014 e 2015 foram, respectivamente, -0,831 e -0,811. A diminuição da umidade possibilita um aumento da eliminação hídrica do fruto para o meio, diminuindo assim o tempo de secagem.

Abaixo segue o padrão de variação da temperatura máxima em ambiente de secagem ao longo do período de colheita, em intervalos de 15 dias.

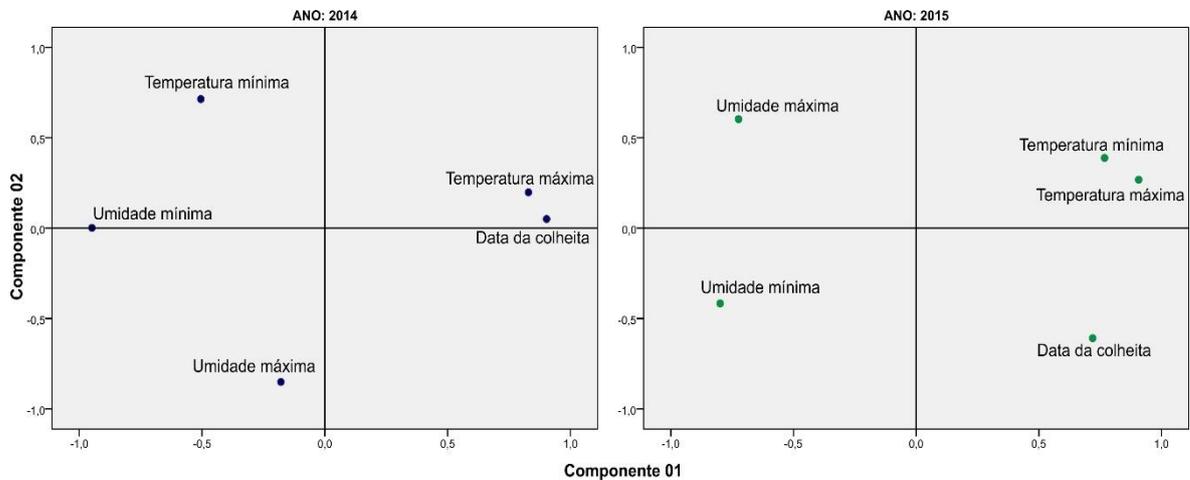


**Figura 9.** Padrão de variação da temperatura máxima em função da data da colheita, demonstrado pelo modelo quadrático, nos anos de 2014 e 2015 de 110 amostras de café da região do Caparaó.

Em 2014, o modelo de regressão, entre a variável dependente temperatura máxima (Y) em relação à variável independente data da colheita (X) apresentou coeficiente de explicação de 64,2% pelo modelo quadrático  $y = 0,00043x^2 - 0,0241x + 28,37622$ . Para o ano 2015, o mesmo modelo explica 93,0% dos casos, e se apresenta com os valores de  $y = 0,00123x^2 - 0,12249x + 31,66533$  (Figura 9).

Analisando o comportamento da temperatura máxima e da data de colheita em relação aos componentes de explicação, temos que os componentes 1 e 2 somados explicam 79% e 84% da variância, respectivamente nos anos de 2014 e 2015, conforme figura 10. Há semelhança, para os dois componentes de explicação, entre as variáveis data da colheita e temperatura máxima no ano de

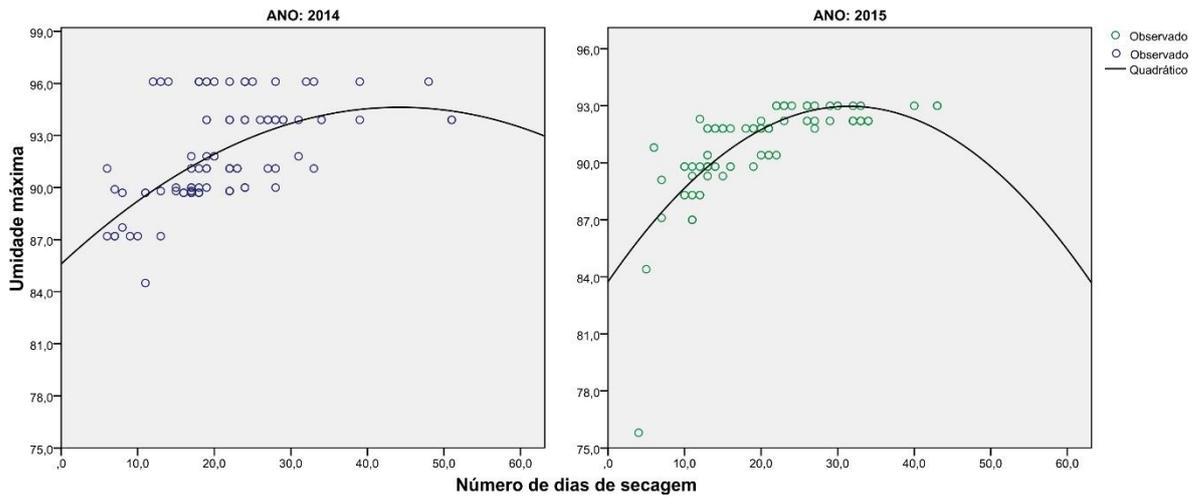
2014, no entanto, esta semelhança só se mantém para o componente 01 em 2015, tendo no componente 02 uma explicação inversa, possivelmente provocada pelo aumento de temperatura registrado neste último ano.



**Figura 10.** Análise de componentes principais, envolvendo umidade mínima e máxima e data da colheita (componente 01) de 110 amostras de café da região do Caparaó.

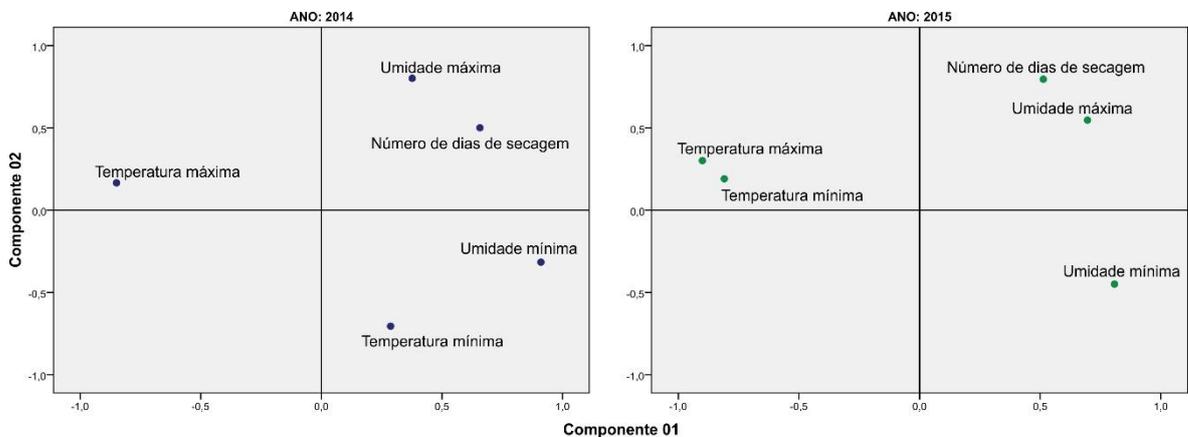
Em relação à influência das umidades, apesar do alto coeficiente de correlação entre a umidade mínima e a temperatura máxima, o número de dias de secagem é melhor explicado pela umidade máxima nos dois anos estudados (0,535 e 0,648 respectivamente).

Em 2014, o modelo de regressão, entre a variável dependente umidade máxima (Y) em relação à variável independente número de dias de secagem (X) apresentou coeficiente de explicação que, apesar de baixo, 34,0%, é melhor representado pelo modelo quadrático  $y = -0,00462x^2 + 0,40862x + 85,59638$ . Para o ano 2015, o mesmo modelo explica 57,4% dos casos, e se apresenta com os valores de  $y = -0,00929x^2 + 0,58579x + 83,73867$  (Figura 11).



**Figura 11.** Padrão de variação das médias marginais da Umidade máxima, em intervalos de 10 dias a contar da data de início da colheita, demonstrado no modelo quadrático, nos anos de 2014 e 2015 de 110 amostras de café da região do Caparaó.

Analisando o comportamento do número de dias de secagem e umidade máxima em relação ao componente de explicação, temos que os componentes 1 e 2 somados explicam 74,476 e 82,574% da variância, respectivamente nos anos de 2014 e 2015, conforme figura 12. O número de dias para a secagem e a umidade máxima apresentam semelhança mostrando um comportamento homogêneo das variáveis em relação ao componente 01 nos dois anos estudados, revelando que a umidade máxima pode ser a que melhor explica o tempo de secagem.



**Figura 12.** Análise de componentes principais entre as variáveis umidade mínima e máxima e número de dias de secagem (componente 01) de 110 amostras de café da região do Caparaó.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

De acordo com as condições experimentais, foi possível afirmar que a altitude exerce influência na data de colheita do café cereja. Lavouras localizadas em maior altitude têm a colheita mais tardia que lavouras de cotas mais baixas.

Foi observado que, o nível de significância do coeficiente de correlação entre número de dias de secagem e a data da colheita foi alto, ou seja, a data da colheita influenciou no número de dias de secagem. A umidade máxima foi a variável que melhor explicou o comportamento do número de dias de secagem, dentre as variáveis apresentadas na tabela 5, de forma que quanto maior a umidade máxima, maior o número de dias de secagem, e que as temperaturas máxima e mínima, apesar de terem apresentado correlação forte com a umidade mínima, estas não tiveram participação direta na redução do número de dias de secagem.

Quando a colheita ocorre no início desse período fenológico, no início do mês de maio, a secagem é mais demorada devido aos fatores ambientais no ambiente da pós-colheita. Isso se verifica mais consistentemente devido à umidade relativa do ar. Colheitas tardias encontraram ar mais seco no terreiro, o que reduziu o tempo de secagem de café.

Lavouras com colheita mais tardia, devido provirem de terrenos de cotas mais elevadas, e de secagem mais rápida, motivada pela menor umidade relativa do ar no terreiro, apresentaram maiores pontuações em atributos sensoriais

individuais, como aroma, sabor, finalização, acidez, corpo, balanço e nota geral, e também na média final.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J.J. (2019) *Café Brasileiro de Qualidade*. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Patos de Minas- MG - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, 99p.
- Alves, H. M. R., Volpato, M. M. L., Vieira, T. G. C., Borém, F. M., Barbosa, J. N. (2011) Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte. 32, (261):1-12.
- Ampessan, F., Lacerda Filho, A. F., Volk, M. B., Rigueira, R. J. A., Silva, M. B. (2010) Comparação entre secagens de café cereja descascado em terreiros com diferentes tipos de pavimentação. *Revista Engenharia na Agricultura-Reveng*, 18 (5): 373-381.
- Associação Brasileira da Indústria do Café – ABIC. Categorias de Qualidade do Café. Disponível em: <<https://www.abic.com.br/recomendacoes-tecnicas/categorias-de-qualidade-do-cafe/>>. Acesso em: 02 set. 2020.
- Associação Brasileira da Indústria do Café – ABIC. História: O Café Brasileiro na Atualidade. 2008. Disponível em: <<http://abic.com.br/cafe-com/historia/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.
- Avallone, S., Guyot, B., Michaux-Ferriere, N., Guiraud, J. P., Olguin Palacios, E., Brillouet, J. M. (1999) *Cell wall polysaccharides of coffee bean mucilage. Histological characterization during fermentation*. In Proceedings of the 18th International Scientific Colloquium on coffee – *Post-harvest treatment* (pp. 463–470). Helsinki, Finland: Association Scientifique Internationale pour le Café.
- Barbosa, C. D., Figueiredo, C. M., Ferrari, J. L., Simão, J. B. P. (2017) Caracterização física e sensorial de café arábica com foco na florada de março. In SIMÃO, J. B. P., PELUZIO, T. M. O., ZACARIAS, A. J., PEREIRA, I. M.,

- SALUCI, J. C. G., OLIVEIRA, M. J. V., GUIDINELLE, R. B. *Cafeicultura do Caparaó: resultados de pesquisas*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre, ES, p. 202-215.
- Barbosa, J. N., Borém, F. M., Cirillo, M., Malta, M. R., Alvarenga, A. A., Alves, H. M. R. (2012) Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science, Canadá*, 4 (5): 181-190.
- Barbosa, J. N., Borém, F. M., Alves, H. M. R., Volpato, M. M. L., Vieira, T. G. C., Souza, V. C. O. (2010) *Spatial distribution of coffees from Minas Gerais state and their relation with quality* *Coffee Science, Lavras*, 5 (3): 237-250.
- Bardin-Camparotto, L., Camargo, M. B. P., Moraes, J. F. L. (2012) Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. *Ciência Rural*, 42 (4): 594-599.
- Bartlett, M. S. (1954) *A note on the multiplying factors for various chi square approximation*. *Journal of Royal Statistical Society*, 16(Series B), 296-298.
- Bernardes, T., Moreira, M. A., Adami, M., Rudorff, B. F. T. (2012) Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de minas gerais – Brasil. *Coffee Science*, 7(2):139-151.
- Borém, F. M., Reinato, C. H. R., Chagas, S. J. R., Oliveira, E. C., Silva, P. J. (2007) Características química e físico-química do café (*Coffea arabica* L.) secado em diferentes pavimentações e espessuras de camadas. In: *Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (5. : Águas de Lindóia, SP : 2007)*. Anais. Brasília, D.F.: Embrapa - Café, 2007. (1 CD-ROM), 5p.
- Borém, F. M., Coradi, P.C., Saath. R., Oliveira, J.A. (2008a) Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5):1609-1615.
- Borém, F. M., Reinato, C. H. R., Andrade, E. T. (2008b) Secagem Do Café. In: Borém, F. M. (Ed.). *Pós-colheita do café*. Lavras: Ed. UFLA, p. 205-240.
- BRASIL, Ministério da Economia. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). (2021). INPI concede Denominação de Origem. Disponível em <https://www.gov.br/inpi/pt-br/central-de-conteudo/noticias/inpi-concede-denominacao-de-origem-para-cafe-do-caparao> para café do Caparaó Acesso em: 12/04/2021
- Cargnelutti Filho, A., Maluf, J. R. T., Matzenauer, R., Stolz, A. P. (2006) Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (6): 893-901.
- Castro, G. R. (2020) *Desempenho de Genótipos de Coffea Arabica L. Cultivados Sob Influência do Ecossistema do Vale do Jamari, Rondônia*. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista - Ilha Solteira – SP - Faculdade De Engenharia. Área de conhecimento: sistema de produção, 67p.

- Chagas, I. D. (2008) *O café, suas variedades e cultivares apropriadas para nossa região*. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Cafeicultura - Muzambinho-MG - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho. 31p.
- Coradi, P. C., Borém, F. M., Oliveira, J. A. (2008) Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*,12(2):181-188.
- Corrêa, P. C., Oliveira, G. H. H., Botelho, F. M., Treto, P. C., Alves, E. A. (2015) Propriedades físicas e químicas interferentes na pós-colheita do café. In: Marcolan, A. L., Espindula, M. C. *Café na Amazônia*. Brasília, DF: Embrapa, p. 401-424.
- Cortez, J.G. (1997) Aptidão climática para qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. *Informe Agropecuário. Qualidade do café*, 18 (187): 27-31.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2020) Acompanhamento da Safra Brasileira: Café safra 2020, 6 (3), terceiro levantamento. Set. 2020.
- Custódio, A. A. D. P., Lemos L. B., Mingotte, F. L. C., Barbosa, J. C., Pollo, G. Z., Santos, H. M. D. (2014) Florescimento de cafeeiros sob manejos de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. *Coffee Science*, 9 (2): 245-257.
- Custódio, F. V., Fehr, L. C. F. A., Cardoso, A. M., Duarte, S. L. (2018) Análise dos Custos de Produção do Café Arábica nas Regiões Polos do Brasil. XXV Congresso Brasileiro de Custos. Vitória, ES, Brasil.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA: Café Arábica. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cafe>>. Acesso em., 15 de set. 2020.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2020) Estudos socioeconômicos e ambientais: Comparativo de Área, Produção e Produtividade de Café em Grãos. In: **Sumário Executivo do Café**. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe\\_estatistico/Sumario\\_Cafe\\_agosto\\_2020.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/Sumario_Cafe_agosto_2020.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2020.
- Fávero, L. P., Belfiore, P. (2015) Análise de dados: técnicas multivariadas exploratórias com SPSS e STATA. 1ª ed. São Paulo. SP: GEN LTC.1216p.
- Ferraz, A. (2014) Cultura do Café. Cursos Técnicos Profissionalizantes. 2 ed. Instituto Formação. 28p.
- Figuroa Solares, P. F., Jiménez, O. H., López De León, E., Anzueto, F., Echeverri, J., Zamora, L. (2000) Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas y físicas del café. In: Simpósio Latinoamericano de Cafeicultura, 19., 2000, Costa Rica. Resumo... Costa Rica: [s.n.], p. 493-499.

- Fonseca, J. S., Martins, G. A. (2011) Curso de estatística. 6ª Ed. – São Paulo: Atlas. S.A. 318p.
- Freitas, M. S. (2014). *Uso de imagens na identificação de impurezas em pó de café*. Brasília. Trabalho de Conclusão de Curso Agronomia – Brasília – DF- Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 47p.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (1981) Plano de manejo do Parque Nacional do Caparaó. Brasília: Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal, Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza.
- Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI (2019). Acompanhamento de IGs de 2019. Disponível em: <[https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/indicacoes-geograficas/arquivos/AcompanhamentodelGs\\_RPI2541\\_17Set19.pdf](https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/indicacoes-geograficas/arquivos/AcompanhamentodelGs_RPI2541_17Set19.pdf) /view>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- Kitzberger, C. S. G. (2012) *Caracterização e discriminação de cafés arábica de diferentes variedades cultivados nas mesmas condições edafoclimáticas*. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, 146p.
- Laviola, B. G., Martinez, H. E. P., Salomão, L. C., Cruz, C. D., Mendonça, S. M., Neto, A. P. (2007) Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivados em duas altitudes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(11): 1521-1530.
- Luz, M. P. S. (2014) *Estudo da relação de fatores climáticos com a qualidade do café na Mantiqueira de Minas*. Dissertação (mestrado) – Lavras-MG - Universidade Federal de Lavras-MG. 2014. 84 p.
- Machado, M. Cotta., Sampaio, C. P., Silva, J. S. (2003) Estudo comparativo de sistemas de secagem de café: aspectos técnico-econômicos. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil – SPCB. UFV.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Café no Brasil. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira#wrapper>>. Acesso em: 09 set. 2020.
- Maretto, C. (2016) *Cafés da espécie Coffea arabica L. produzidos no Circuito das Águas Paulista: caracterização física, química e sensorial*. Dissertação (Mestrado) – Piracicaba – SP - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 141p.
- Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., Garcia, A.W.R. (2016) Processamento ou preparo pós colheita. *In*: Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., Garcia, A.W.R. *Cultura do café no Brasil*. Varginha: Futurama, p.104.

- Matiello, J. B., Santinato, R., Garcia, A. W. R., Almeida, S. R., Fernandes, D. R. (2005) *Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro. Varginha: MAPA – PROCAFÉ, p.716.
- Mendes, D.F., Ferrari, J. L., Simão, J. B. P., Peluzio, J. B. E., Ferbek, G. J. V. (2017) Perfil dos agricultores participantes do projeto Grãos do Caparaó. *In: Simão, J. B. P., Peluzio, T. M. O., Zacarias, A. J., Pereira, I. M., Saluci, J. C. G., Oliveira, M. J. V., Guidinelle, R. B. Cafeicultura do Caparaó: resultados de pesquisas.*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre, ES, p.82-96.
- Mesquita, C. M., Melo, E. M., Rezende, J. E., Carvalho, J.S., Fabri Júnior, M. A., Moraes, N. C., Dias, P. T., Carvalho, R. M., Araújo, W. G. (2016) Manual do café: implantação de cafezais. *Coffea arabica* L.. Belo Horizonte: EMATER-MG, p 52.
- Mesquita, C. M., Melo, E. M., Rezende, J. E., Carvalho, J.S., Fabri Júnior, M. A., Moraes, N. C., Dias, P. T., Carvalho, R. M., Araújo, W. G. (2016) *Manual do café: colheita e preparo (Coffea arabica L.)*. Belo Horizonte: EMATER-MG, p 56.
- Moreira, D. H. F., Freitas, F. F., Landy, C. C. R., Charbel, A. L. T. (2019) Análise da secagem de café em secador solar passivo direto. *Brazilian Journal of Development.*, 5 (9):16556-16573.
- Moreira, R. V. (2015) *Caracterização do processo de secagem do café natural submetido a diferentes métodos de secagem*. Dissertação (Mestrado) – Lavras – MG - Universidade Federal de Lavras, 116p.
- Nascimento, L. C., Lima, L. C. O., Picolli, R. H, Fiorini, J. E., Duarte, S. M. S., Silva, J. M. S. F., Oliveira., N. M. S., Veiga, S. M. O. M. (2008) Ozônio e ultrassom: processos alternativos para o tratamento do café despulpado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28 (2): 282-294.
- Oliveira, D. F. (2018) *Relação entre os atributos sensoriais com a região, altitude e pós-colheita de cafés especiais*. Dissertação (Mestrado) - Alfenas - MG- Universidade José do Rosário Vellano, 52p.
- Oliveira, L. R., Conceição Junior, V. (2013) Caracterização da cafeicultura familiar no município de Vitória da Conquista - BA, VIII SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Vitória da Conquista, Bahia.
- Pereira, L. L. (2017) *Novas abordagens para produção de cafés especiais a partir do processamento via-úmida*. Tese (Doutorado) - Porto Alegre – RS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 200p.
- Pezzopane, J. R. M., Pedro Júnior, M. J., Thomaziello, R. A., and Camargo, M. B. P. de. (2003) Coffee phenological stages evaluation scale. *Bragantia*, 62(3): 499–505.

- Pitombeira, K., (2011) Cuidados na pós-colheita do café são essenciais. *Revista Cafeicultura*, Disponível em: <<https://revistacafeicultura.com.br/?mat=40803>>. Acesso em: 04 set. 2020.
- Rezende, F. V. (2015) *Seleção de progênies de cafeeiros do grupo catucaí. Dissertação* (mestrado acadêmico) – Larvas - MG - Universidade Federal de Lavras, 55p.
- Rocha, H. A. (2018) *Secagem a vácuo de cafés descascados: cinética de secagem e efeitos fisiológicos. Dissertação* (mestrado) - Larvas-MG - Universidade Federal de Lavras, 62p.
- Sakiyama, N. S.; Pereira, A. A.; Zambolim, L. (1999) Melhoramento de café arábica. In: Borém, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV. p. 189-204.
- Santos, R. A. (2008) *Monitoramento de Parâmetros Físico-Químicos na Pós Colheita de Café Arábica (Coffea arabica L.) colhido em Diferentes Estádios de Maturação. Dissertação* (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Campinas, SP- Universidade Estadual de Campinas, 170p.
- Schwan, R. F., Wheals, A. E. (2003) Mixed microbial fermentations of chocolate and coffee. In Boekhout. T., Robert, V. (Eds.), *Yeasts in food*. Germany: Behr's Verlag, p.429–449.
- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR. (2017) *Café: colheita e pós-colheita*. 1. ed. Brasília - DF: SENAR, p108.
- Silva, J. S., Lopes, R. P., Donzeles, S. M. L., Costa, C. A. (2011) *Infraestrutura Mínima para Produção de Café com Qualidade: opção para a Cafeicultura Familiar*. 1ª edição. Brasília – DF: Consórcio Pesquisa Café - Embrapa Café, p72.
- Silva, L. C., Moreli, A. P., Siqueira, A. J. H. (2015) *Café: preparo, secagem e armazenamento. In: Marcolan, A. L., Espindula, M. C. Café na Amazônia*. Brasília, DF: Embrapa, p.361-381.
- Silva, J. S., Moreli, A. P., Soares, S. F., Donzeles, S. M. L., Vitor, D. G. (2013) *Produção de Café Cereja Descascado – Equipamentos e Custo de Processamento. Comunicado Técnico*, p.16.
- Silva, R. F., Pereira, R. G. F. A., Borém, F. M., Muniz, J. A. (2004) Qualidade do café cereja descascado produzido na região sul de Minas Gerais. *Revista Ciência Agrotecnologia*, 28 (6):1367-1375.
- Silveira, A. S. (2015) *Atributos Sensoriais dos Cafés Cultivados em Diferentes Altitudes e Faces de Exposição na Região das Matas de Minas. Dissertação* (mestrado) Viçosa – MG - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, 60p.

- Souza, F. F., Ferrão, L. F. V., Caixeta, E. T., Sakiyama, N. S., Pereira, A. A., Oliveira, A. C. B. (2015) Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canéfora*. **In:** Marcolan, A. L., Espindula, M. C. *Café na Amazônia*. Brasília - DF: Embrapa, p. 85-100.
- Specialty Coffee Association (SCA). (2018). Coffee Standards Table of Contents (p. 14). Disponível em: <<https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/5bd985c1352f53cb4cc1be48/1540982325719/Coffee+Standards-Digital.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2020.
- Taveira, J. H. S., Rosa, S. D. V. F., Borém, F. M., Giomo, G. S., Saath, G. (2012) Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(10): 1511-1517.
- Teixeira, V. H., Borém, F. M., Gomes, F.C. (2008) Instalações para a pós-colheita do café. **In:** BORÉM, F. M. *Pós-colheita do café*. 1ª ed. Lavras: UFLA, p. 437-471.
- Vicini, L., Souza, A. M. (2005) *Análise multivariada da teoria à prática*. Monografia (Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa) – Santa Maria – RS - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, 140p.
- Vilela, D. M. (2011) *Seleção in vitro de culturas iniciadoras para fermentação de frutos de café (Coffea arabica L.) processados via seca e semi-seca*. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Lavras – MG - Universidade Federal de Lavras, 82p
- Zaidan, Ú. R. (2015) *Qualidade dos cafés da “região das Matas de Minas” em função da variedade, da altitude e da orientação da encosta da montanha*. Dissertação (Mestrado) - Viçosa. - Universidade Federal de Viçosa – MG.43p.