



**VINICIUS MORIBE PEREIRA**

**AVALIAÇÃO SENSORIAL E QUÍMICA DE CAFÉ NATURAL  
COM INOCULAÇÃO E CONTROLE DE SECAGEM**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**VINICIUS MORIBE PEREIRA**

**AVALIAÇÃO SENSORIAL E QUÍMICA DE CAFÉ NATURAL  
COM INOCULAÇÃO E CONTROLE DE SECAGEM**

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

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Orientador

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2022**

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

Pereira, Vinicius Moribe.

Avaliação Sensorial e Química de Café Natural com Inoculação e Controle de Secagem / Vinicius Moribe Pereira. - 2022.

76 p.

Orientador(a): Flávio Meira Borém.

Coorientador(a): Ednilton Tavares de Andrade.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Coffea arabica L. 2. Secagem Intermitente. 3. Fermentação.  
I. Borém, Flávio Meira. II. Andrade, Ednilton Tavares de. III.

Título.

**VINICIUS MORIBE PEREIRA**

**AVALIAÇÃO SENSORIAL E QUÍMICA DE CAFÉ NATURAL COM INOCULAÇÃO  
E CONTROLE DE SECAGEM**

**SENSORY AND CHEMICAL EVALUATION OF NATURAL COFFEE WITH  
INOCULATION AND DRYING CONTROL**

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

APROVADA em 28 de julho de 2022.

Dr. Flávio Meira Borém

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Dra. Luciana Silva Ribeiro Martins

Documento assinado digitalmente



FLAVIO MEIRA BOREM  
Data: 02/01/2023 10:32:34-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Orientador

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2022**

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor de café arábica do mundo, e o mercado de cafés especiais também tem ganhado importância. Em média, esses cafés são comercializados com ágio de 27,1%. Para ser considerado especial, o café deve expressar um potencial elevado de aroma e sabor, além de uma qualidade intrínseca que é proveniente da interação entre genótipo, ambiente e processamento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de grãos de café natural com e sem inoculação de leveduras com tempos de fermentação diferentes e a cinética de secagem de dois métodos: secagem contínua e secagem intermitente. O método de secagem, após a fermentação, afeta a qualidade de bebida do café, visto que a qualidade do café fermentado e seco, via secagem intermitente, foi superior com o tempo efetivo de secagem inferior. A fermentação combinada com a secagem contínua intensifica atributos negativos da bebida do café. A fermentação mais prolongada contribuiu, para aumentar os conteúdos dos ácidos succínico e acético, na redução da concentração de açúcares e maior concentração de ácidos graxos linolênico, behêmico, esteárico, araquídico e oleico. Para o café natural, nas secagens contínua e intermitente, os modelos matemáticos que melhor descrevem os dados experimentais de teor de água de equilíbrio foram os modelos de Dois Termos e Henderson & Pabis modificado.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L.. Fermentação. Culturas iniciadoras. Secagem intermitente.

## ABSTRACT

Brazil is the largest producer of Arabica coffee in the world and the specialty coffee market has also gained importance, on average these coffees are traded at a premium of 27.1%. To be considered special, coffee must express a high potential for aroma and flavor, in addition to an intrinsic quality, and this quality comes from the interaction between genotype, environment and processing. Thus, the objective of this work was to evaluate the quality of natural coffee beans with and without yeast inoculation with different fermentation times and the drying kinetics of two methods: continuous and intermittent drying. The drying method, after fermentation, affects the quality of the coffee beverage, and the quality of the fermented and dried coffee via intermittent drying was higher with the lower effective drying time. Fermentation combined with continuous drying intensifies negative attributes of the coffee beverage. The longer fermentation contributed to increase the contents of succinic and acetic acids, reducing the concentration of sugars and higher concentration of linolenic, behemic, stearic, arachidic and oleic acids. For natural coffee in continuous and intermittent drying, the mathematical models that best describe the experimental data of equilibrium water content were the two-term and modified Henderson & Pabis models.

Keywords: *Coffea arabica* L.. Fermentation. Starter Cultures. Intermittent Drying.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Secadores e sistema de secagem .....	27
Figura 2. Questionário de avaliação sensorial CATA(Check All That Apply).....	34
Figura 3 – Valores de razão de umidade observados e estimados pelos modelos de Dois Termos e de Henderson & Pabis modificado para a secagem contínua do café natural em função do tempo. ....	39
Figura 4 - Valores de razão de umidade observados e estimados pelos modelos de Dois Termos e de Henderson & Pabis modificado para a secagem intermitente do café natural em função do tempo. ....	43
Figura 5 – Análise de Componentes Principais (PCA) da intensidade dos atributos e nota da análise sensorial dos cafés fermentados em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e formas de secagem (contínua e intermitente). ....	47
Figura 6 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) dos descritores de aroma da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente).....	49
Figura 7 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) dos descritores de sabor da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente). ....	51
Figura 8 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) do tipo de acidez da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente). ....	53
Figura 9 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) do tipo de corpo da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente). ....	55
Figura 10 - Análise de componentes principais (PCA) de ácidos orgânicos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação. ....	58
Figura 11 - Análise de componentes principais (PCA) de açúcares presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação. ....	60

Figura 12 - Análise de componentes principais (PCA) de compostos bioativos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação. ....	62
Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) de ácidos graxos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação. ....	64
Figura 14 - Análise de componentes principais (PCA) de compostos voláteis presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação. ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de café natural .....	29
Tabela 2. Representação esquemática do desenho experimental .....	30
Tabela 3 – Inoculação, Tempo de fermentação, Método de secagem, Contínua (Con) e Intermitente (Int), tempo de secagem, tempo de secagem efetivo e teor de água inicial e final do café natural. ....	36
Tabela 4 – Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), desvio-padrão da estimativa (SE, decimal), para os modelos analisados na secagem do café natural para a secagem contínua.....	37
Tabela 5 – Coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados experimentais de secagem contínua de café natural. ....	38
Tabela 6 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), desvio-padrão da estimativa (SE, decimal), para os modelos analisados na secagem do café natural para a secagem intermitente. ....	41
Tabela 7 - Coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados experimentais de secagem intermitente de café natural. ....	42
Tabela 8 - Tabela de Análise de Variância.....	44
Tabela 9 – Médias das notas da análise sensorial, em função da secagem. ....	45
Tabela 10 – Médias das notas da análise sensorial, interação tempo de fermentação x levedura. ....	45
Tabela 11 - Descritores dos atributos sensoriais com maior correlação para cada tratamento.	57

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
2.1	Cafés especiais .....	13
2.2	Processamento do café .....	14
2.3	Fermentação para a produção de cafés especiais .....	15
2.3.1	Uso de culturas iniciadoras .....	16
2.3.2	Compostos químicos produzidos durante a fermentação .....	19
2.4	Secagem do café .....	20
2.4.1	Teoria da secagem .....	20
2.4.2	Cinética de secagem .....	21
2.4.3	Secagem contínua e intermitente .....	22
2.4.4	Modelagem matemática na secagem .....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1	Caracterização do experimento .....	25
3.1.1	Obtenção da matéria-prima .....	25
3.1.2	Inoculação .....	25
3.1.3	Fermentação .....	25
3.1.4	Secagem .....	26
3.1.5	Desenho experimental .....	30
3.2	Análises químicas .....	30
3.2.1	Ácidos orgânicos .....	31
3.2.2	Açúcares .....	31
3.2.3	Bioativos .....	32
3.2.4	Perfil de ácidos graxos .....	32
3.2.5	Compostos voláteis .....	33
3.3	Análise sensorial .....	34
3.4	Análise estatística .....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
4.1	Secagem .....	36
4.1.1	Curvas de Secagem Contínua .....	36
4.1.2	Curvas de Secagem Intermitente .....	40

4.2	Caracterização sensorial .....	44
4.3	Caracterização Química .....	57
4.3.1	Perfil de Ácidos orgânicos .....	58
4.3.2	Perfil dos Açúcares.....	59
4.3.3	Perfil dos Compostos bioativos.....	61
4.3.4	Perfil de Ácidos graxos .....	63
4.3.5	Perfil de Compostos voláteis.....	65
5	CONCLUSÕES.....	68
	REFERÊNCIAS .....	69

## 1 INTRODUÇÃO

A complexidade e intensidade dos atributos qualitativos na bebida do café dependem de fatores ambientais, genéticos e do nível tecnológico adotado desde a formação dos grãos até os processos de pós-colheita (BORÉM *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2011).

O processamento do café é um dos fatores que define a composição química dos grãos crus pelas alterações metabólicas intrínsecas que ocorrem nos grãos, durante o processo, refletindo em variações sensoriais. Vários aspectos físico-químicos, microbiológicos, agrícolas, culturais e relacionados às condições de processamento e armazenamento podem influenciar na qualidade final da bebida (DIEGO *et al.*, 2016; DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010).

Existem dois tipos de processamentos de café, um deles é denominado via-seca (café natural), cujos componentes anatômicos do fruto (exocarpo, mesocarpo e endocarpo) permanecem intactos; outro é o processamento via-úmida em que são obtidos três tipos distintos, os cafés descascados, cafés despulpados e os cafés desmucilados (DIEGO *et al.*, 2016; DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; SAATH *et al.*, 2012).

Durante o processamento por via seca, os frutos intactos do café secam em terraços ou plataformas de concreto, asfalto ou terra batida. O processo envolve poucas etapas e baixa demanda de equipamentos. Os cafés naturais são mais encorpados e menos ácidos que os cafés processados por via úmida (SCHWAN; SILVA; BATISTA, 2012).

A fermentação também é considerada uma forma de processamento do café e é responsável pela degradação espontânea de polpa e mucilagem do fruto. É um processo de transformações pelo qual o alimento passa por ação de microrganismos, resultando em um produto diferente de sua matriz original. Essas populações de microrganismos são diversas e incluem bactérias, leveduras e fungos filamentosos, os quais predominam nos frutos que sofrem constantes mudanças físicas e químicas pelo metabolismo das sementes e à perda gradual de água. Uma estratégia é a utilização de população isolada de microrganismos de uma mesma espécie, ou uma mistura que é denominada de cultura “starter” ou iniciadora. Essa população previamente conhecida é inoculada diretamente na matéria-prima para que possa predominar sobre a microbiota natural e provocar alterações desejáveis (JAY, 2005). A fermentação inoculada proporciona um produto mais uniforme e de qualidade.

O processo de secagem é uma etapa de grande importância na pós-colheita sendo considerada uma das técnicas de preservação mais antiga utilizada pelo homem. Empregada

como forma de manutenção da qualidade dos alimentos em que, com a redução do teor de água, visa-se reduzir as atividades biológicas de microrganismos, minimizando-se reações de deterioração e alterações físicas e químicas durante o armazenamento (ARAÚJO *et al.*, 2014).

A secagem e armazenamento do fruto do café é importante, para a preservação da qualidade sensorial e sanitária, reduzindo o teor de água e, assim, evitando a colonização principalmente de fungos filamentosos que podem criar risco de contaminação por micotoxinas, reduzindo a qualidade da bebida. O teor de água inicial do café colhido é de 55-60% e, após a secagem, reduz o teor de água para 12% (SCHWAN; SILVA; BATISTA, 2012).

A secagem pode ser realizada por um processo contínuo, sem período de descanso até o alcance do teor de água desejado, ou por processo de secagem intermitente; a conclusão da secagem ocorre após certo período de descanso. A secagem intermitente é considerada uma das mais promissoras soluções, para se ter maior eficiência energética e qualidade do produto, sem ocasionar uma elevação no custo da secagem, tendo em vista que o processo de secagem consome aproximadamente 20-25% da energia utilizada na indústria de processamento de alimentos (KUMAR; KARIM; JOARDDER, 2014).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de grãos de café arábica processados pela via seca (café natural), com e sem inoculação de leveduras com diferentes tempos de fermentação e a cinética de secagem de dois métodos diferentes de secagem: contínua e intermitente.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Cafés especiais**

O Brasil é o maior produtor de café do mundo. Em 2020, a produção de café arábica foi de 48,77 milhões de sacas. A exportação de cafés diferenciados vem ganhando força, ao longo do tempo, em janeiro de 2021, a exportação de café arábica foi de 2,6 milhões de sacas, das quais 15,6% são de cafés diferenciados com um ágio médio de 27,1% (BRASIL, 2020; CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFE, 2021).

O segmento de cafés especiais surgiu com a fundação da *Specialty Coffee Association of America* (SCAA). Em 1982, com o objetivo de estimular a produção e o consumo de cafés especiais, nos quais a palavra especial remete a algo muito bom, de qualidade superior e

diferenciada e potencial elevado na expressão de aroma e sabor. Em 2017 a *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) e a *Specialty Coffee Association of Europe* (SCAE) oficialmente se tornaram uma organização única, denominada *Specialty Coffee Association* (SCA) fortalecendo o mercado de cafés especiais.

A SCA estabeleceu uma completa e consistente metodologia para a definição e avaliação de café. Pela metodologia, o café é considerado como especial desde que atenda as avaliações de qualidade física e qualidade sensorial. Portanto o lote de café especial não deve apresentar defeitos, como grão de café totalmente preto e ardido, grãos colonizados por fungos, grãos com ataque severo de insetos, café em coco, impurezas e grãos imaturos. Toleram-se até cinco defeitos equivalentes de grãos de café parcialmente preto, ardido, café em pergaminho, mofado, imaturo, malformado, concha, quebrado e grão brocado com ataque leve. Por fim, a bebida deve apresentar pontuação mínima de 80 pontos com base em dez atributos sensoriais. A metodologia permite inferir que o café classificado como especial passou por processos adequados desde a instauração e manejo da lavoura até as práticas de pós-colheita (LINGLE, 2011; SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - SCA, 2018).

## **2.2 Processamento do café**

O processamento do café é um dos fatores que definem a composição química dos grãos crus pelas alterações metabólicas intrínsecas que ocorrem nos grãos, durante o processo, refletindo em variações sensoriais (DIEGO *et al.*, 2016; DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; SAATH *et al.*, 2012).

O fruto do café consiste no exocarpo (epicarpo ou crosta), mesocarpo (mucilagem ou polpa), endocarpo (pergaminho), espermoderma (película prateada), endosperma e embriões. O grão de café utilizado para a preparação da bebida é o endosperma. Para a obtenção de grãos crus, há dois tipos de processos aplicados na pós-colheita: via-seca e via-úmida e a escolha do tipo de processamento está condicionada à uniformidade de maturação dos frutos, às condições climáticas locais na época da colheita e à disponibilidade de água no local de produção (SCHWAN; SILVA; BATISTA, 2012).

O processamento via seca produz o café natural, cujos componentes anatômicos do fruto permanecem intactos (exocarpo, mesocarpo e endocarpo). Durante esse processo, os frutos intactos do café secam em terraços ou plataformas de concreto, asfalto, envolvendo poucas etapas e baixa demanda de equipamentos. O processo de colheita dos frutos produz lotes de frutos, em diferentes estágios de maturação, que podem ou não serem separados por densidade

e postos para secar por 10 a 20 dias, dependendo das condições climáticas. Os frutos são movimentados diariamente, para que sequem uniformemente, e esse processo continua até atingir 11% e 12% de teor de água (BORÉM, 2008a).

De forma geral, os cafés obtidos pelo processamento via seca originam perfis sensoriais com corpo mais acentuado, alta doçura, acidez moderada e complexidade de sabores e aroma; já para os cafés obtidos pelo processamento via úmida geralmente são mais brilhantes e limpos, com menor corpo, acidez e aroma agradáveis (BYTOF; SELMAR; SCHIEBERLE, 2000; GHOSH; VENKATACHALAPATHY, 2014).

O processamento por via-úmida fornece os cafés descascados, cafés despulpados e os cafés desmucilados. Os cafés descascados são obtidos, a partir da retirada do exocarpo (casca) de forma mecânica; os cafés despulpados são obtidos, quando a casca (exocarpo) é retirada de forma mecânica e a mucilagem (mesocarpo) é retirada com a fermentação biológica e os cafés desmucilados são obtidos, quando a casca (exocarpo) e a mucilagem (mesocarpo) são retiradas de forma mecânica. Nesse processo, o pergaminho permanece aderido aos grãos (BORÉM, 2008a; PEREIRA *et al.*, 2019).

Segundo Giomo e Borém (2011), a interação genótipo x ambiente x processamento é responsável pela qualidade intrínseca do café, que é representada por tudo aquilo que os grãos possuem, em termos de compostos químicos, que, após o processo de torra, irão proporcionar sabor, aroma, doçura, acidez e amargor à bebida. A fermentação é uma forma de processamento, já que ela tem a capacidade de alterar a composição química dos grãos. O processo de fermentação será abordado de forma mais profunda no próximo tópico.

### **2.3 Fermentação para a produção de cafés especiais**

O significado biotecnológico de fermentação já sofreu diversas alterações ao longo do tempo. Jay (2005) chegou à seguinte definição: é um processo, no qual transformações químicas são realizadas em um substrato orgânico pela ação de enzimas produzidas por microrganismos. Tortora, Funke e Case (2005) definiram fermentação como sendo qualquer processo metabólico que libere energia de um açúcar ou outra molécula orgânica, não demandando oxigênio ou um sistema transportador de elétrons e usa uma molécula orgânica comoceptor final de elétrons. Diante disso, pode-se entender que fermentação é um processo de transformações, pelo qual o alimento passa, por meio da ação de microrganismos, resultando em um produto diferente de sua matriz original.

Joët *et al.* (2010) relatam que os cafés já possuem todos os precursores requeridos para o aroma e sabor que são gerados, durante a torra; foram identificados mais de 700 compostos tanto voláteis como não voláteis, contudo o crescimento de microrganismos, durante os estágios de processamento, pode conferir notas adicionais de sabor pelos metabólitos produzidos pela fermentação e pelo seu potencial de migrar para dentro do grão (NIGAM; SINGH, 2014).

Os microrganismos estão naturalmente presentes, durante o processamento do café e utilizam os diversos compostos da polpa e mucilagem como nutrientes, durante as etapas de fermentação, secretando ácidos orgânicos e outros metabólitos que podem afetar as características sensoriais finais da bebida. A microbiota pode variar, de acordo com vários fatores: características regionais, composição do fruto do café e método de fermentação (EVANGELISTA *et al.*, 2014b).

A fermentação pode ser realizada com imersão em água (método úmido), quando é feita em tanque, para a remoção da mucilagem ou de forma seca, conhecida como fermentação semissólida. A dupla fermentação ou fermentação mista é realizada, quando se inicia com a fermentação semissólida, que tem o objetivo de evitar o desenvolvimento de fungos com a uma acidificação do ambiente, seguida da fermentação em água (BRESSANI *et al.*, 2020; EVANGELISTA *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2018).

Estudos em vários produtos vêm sendo realizados, inclusive no café, sobre a população microbiana e as fermentações envolvidas, durante o processamento, revelando a microbiota naturalmente presente no fruto e, ao longo do seu processamento, como culturas iniciadoras na produção de cafés especiais (EVANGELISTA *et al.*, 2015; FRANK; LUM; DELACRUZ, 1965; SILVA *et al.*, 2000; VAN PEE; CASTELEIN, 1971).

### **2.3.1 Uso de culturas iniciadoras**

A qualidade do café é uma característica altamente complexa, influenciada por todos os processos, desde o cultivo até a torra. A presença de microrganismos pode interferir nessa característica. Durante a fermentação do café, alguns microrganismos estão associados à degradação da polpa e mucilagem (rica em polissacarídeos), produzindo álcoois e ácidos e outros compostos metabólicos que interferem na qualidade final da bebida (FREITAS, 2018).

Os microrganismos estão naturalmente presentes, durante o processamento do café e utilizam os diversos compostos da polpa e mucilagem como nutrientes, durante as etapas de fermentação, secretando ácidos orgânicos e outros metabólitos que podem afetar as

características sensoriais finais da bebida (FREITAS, 2018). Foi identificada uma variedade microbiana, incluindo bactérias, leveduras e fungos filamentosos, em frutos de café, em diferentes estágios de maturação e durante o processo geral de secagem. Esses microrganismos predominam nos frutos, pois sofrem constantes mudanças físicas e químicas. Essas alterações devem-se ao metabolismo das sementes e à perda gradual de água (SILVA *et al.*, 2008).

Durante o período, no qual os frutos permanecem em fermentação, ocorre o crescimento microbiano por espécies que são capazes de suportar as mudanças no pH, teor de água e teor de açúcar que ocorrem nesse período e secretam pectinases que despolimerizam a polpa. A despolimerização da pectina é a fonte de carbono aos microrganismos após a ingestão inicial de açúcares simples desses microrganismos. No início da fermentação, a alta atividade de água facilita o desenvolvimento e a ação de bactérias sobre o fruto do café que são gradualmente substituídas por leveduras e fungos filamentosos ao final do processo (HARUTA *et al.*, 2006).

A presença de ácidos orgânicos, provenientes do metabolismo da fermentação (ácidos acético, láctico, butírico e propiônico), confirma a ação microbiana, no processo de fermentação de cafés naturais e, no processo via úmida, a mucilagem que permanece no grão é o substrato utilizado por bactérias e leveduras durante a fermentação. Na fermentação, os precursores de compostos que realçam o sabor são naturalmente excretados pela microbiota fermentativa presente nos frutos do café (VILELA *et al.*, 2010).

Evangelista *et al.* (2015), observando as espécies de levedura, presentes nos grãos de café fermentados pelo método úmido, verificaram que a diversidade de espécies bacterianas foi maior que as de leveduras: 23 espécies de bactérias e 10 espécies de leveduras foram identificadas. As leveduras identificadas foram: *Hanseniaspora uvarum*, *Meyerozyma caribbica*, *Pichia fermentans*, *Debaryomyces hansenii*, *Torulaspota delbrueckii*, *Candida railenensis*, *Candida quercitrusa*, *Wickerhamomyces ciferrii*, *W. anomalus*, *Candida glabrata*, sendo *M. caribbica* e *T. delbrueckii* as leveduras mais prevalentes no fruto do café. As bactérias são *Klebsiella oxytoca*, *Enterococcus sp.*, *S. warneri*, *Ochrobactrum pseudogrignonense*, *Chryseobacterium taichungense*, entre outras, a *Staphylococcus warneri* que foi a bactéria mais prevalente identificada no fruto de café e durante a fermentação.

Avallone *et al.* (2002) observaram que a maioria das bactérias aeróbicas, encontradas no processo de fermentação, eram bacilos Gram-negativos. As cepas isoladas com maiores frequências foram termotolerantes comumente distribuídos no ambiente e identificados como

*Klebsiella* e *Erwinia*. As bactérias lácticas foram *Leuconostoc mesenteroides* subsp *dextranicum* e *Lactobacillus brevis*. As leveduras isoladas apresentaram boa capacidade fermentativa e foram variadas, consistiram em linhagens clássicas encontradas em plantas como os gêneros *Kloeckera*, *Candida* e *Cryptococcus*.

O método mais simples e antigo de fermentar alimentos depende dos microrganismos naturalmente presentes na matéria-prima. Além dos microrganismos corretos, é necessário que condições ideais ao crescimento estejam estabelecidas. Mesmos assim, o sucesso nas fermentações naturais não é garantido, a probabilidade de obtenção de um produto com o mesmo padrão de qualidade e apto ao consumo é incerta, o que se torna um inconveniente para a produção industrial. A inconstância das fermentações naturais mostrou a necessidade de buscar tecnologias que permitam produzir alimentos fermentados com valor agregado, qualidade sensorial, segurança alimentar, larga escala e padrão ao longo do tempo (HUTKINS, 2019).

A utilização de culturas iniciadoras, na etapa de processamento do café, é uma alternativa viável, já que as culturas iniciadoras realizam a remoção mais rápida da mucilagem e geram compostos que melhoram a qualidade sensorial. Podem agregar valor ao café sem aumentar de forma significativa o custo de produção (EVANGELISTA *et al.*, 2014a).

Culturas iniciadoras consistem em grupos específicos de microrganismos que são introduzidos diretamente na matéria-prima para dominar a microbiota já existente (nativa) e trazer mudanças desejadas na bebida. Em geral, essas mudanças levam ao maior tempo de prateleira, maiores valores nutricionais e de saúde, aumento das qualidades sensoriais e com isso uma maior agregação de valor econômico (HUTKINS, 2019).

A presença de algumas leveduras, como *Saccharomyces*, *Pichia*, *Candida* e *Meyerozyma*, traz benefícios para o processamento do café pelo seu importante papel na degradação da mucilagem rica em pectina e por inibir o crescimento de fungos micotoxigênicos (MASOUD; JESPERSEN, 2006; MASSAWE; LIFA, 2010). Portanto essas leveduras são linhagens interessantes que podem ser utilizadas como culturas iniciadoras.

Evangelista *et al.* (2014a) avaliaram o potencial de utilização de quatro leveduras, como culturas iniciadoras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida parapsilosis* e *Pichia guilliermondii*), na fermentação de cafés naturais processados via seca e via úmida. Os cafés inoculados demonstraram características sensoriais superiores às do

controle, indicando um aumento na qualidade sensorial, obtendo um café com aroma de caramelo, ervas e frutas.

É importante conhecer a microbiota presente, durante o processamento do café, principalmente na seleção de culturas iniciadoras, que podem ser utilizadas na produção de produtos finais diferenciados e na inibição do crescimento de fungos micotoxigênicos (FREITAS, 2018).

### **2.3.2 Compostos químicos produzidos durante a fermentação**

A microflora inicial da fermentação do café geralmente é rica e acidifica significativamente a massa de café com a maior produção de ácido orgânico. Durante a fermentação do café, alguns microrganismos pectinolíticos estão associados à degradação da polpa e mucilagem (rico em polissacarídeos), produzindo álcoois e ácidos e outros compostos metabólicos que interferem na qualidade final da bebida (SILVA *et al.*, 2013) estudaram essas características para selecionar microrganismos a serem utilizados como iniciadores de cultura na fermentação do café.

Os metabólitos microbianos produzidos neste período podem se difundir nos grãos e influenciar na qualidade final da bebida. A diversidade microbiana nesse processo é alta e várias espécies de bactérias, leveduras e fungos filamentosos já foram identificadas (SILVA *et al.*, 2008), mas sabe-se que esses últimos não estão envolvidos na fermentação.

O envolvimento de espécies de leveduras, no processo de fermentação e ação bacteriana, pode ser assumido, com base em seu potencial, para produzir pectina liase e poligalacturonases, que causam degradação da polpa e mucilagem do fruto natural do café (fermentação). O papel da levedura pode estar relacionado não apenas ao processo de fermentação, mas também ao controle do crescimento de fungos filamentosos. Isolados pertencentes aos gêneros *Debaryomyces* e *Pichia* demonstraram a capacidade de inibir o crescimento de fungos toxigênicos e podem, portanto ter potencial para o controle biológico (RAMOS *et al.*, 2010).

O consumo de açúcar pela microflora é um importante metabolismo. Em geral, os microrganismos primeiro consomem o substrato, que é facilmente metabolizado, como um monossacarídeo, antes de hidrolisar um polissacarídeo, como os produtos de degradação de

pectina. Avallone *et al.* (2001) observaram uma diminuição significativa (60%) dos açúcares simples totais (glicose, frutose e sacarose) ao longo do tempo de fermentação. Concomitantemente, a microflora produziu ácidos lático e acético, induzindo acidificação de pH 6,3 a 4,1.

Evangelista *et al.* (2015) identificaram a formação dos ácidos acético e lático, ao longo da fermentação, sendo o ácido lático o principal ácido encontrado. Os outros ácidos detectados foram os ácidos málico, cítrico e succínico. Esses ácidos já estão naturalmente presentes no grão de café, e suas concentrações diminuíram, durante a fermentação, mas o ácido succínico apresentou um leve aumento ao final do processo. A variação desses ácidos, em razão do metabolismo microbiano, altera o valor do pH e influencia a microbiota presente no tanque, podendo influenciar no sabor e na qualidade final da bebida.

Alguns compostos voláteis, como ésteres, também podem influenciar na qualidade da bebida, desempenhando um papel, no desenvolvimento do aroma durante a fermentação, além de também influenciar a diversidade da microbiota envolvida durante o processamento dos grãos de café (EVANGELISTA, 2014).

## **2.4 Secagem do café**

A secagem é uma etapa de grande importância no pós-colheita sendo considerada uma das técnicas de preservação mais antigas utilizadas pelo homem. Empregada como forma de manutenção da qualidade dos alimentos, com a redução do teor de água, visa-se reduzir as atividades biológicas de microrganismos e minimizando-se reações de deterioração e alterações físicas e químicas durante o armazenamento (ARAÚJO *et al.*, 2014).

### **2.4.1 Teoria da secagem**

A secagem é o processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, em que há eliminação do excesso de teor de água, por meio de evaporação, causada por convecção forçada do ar aquecido passando pelo produto. A

secagem ocorre, quando há diferença de pressão de vapor de água entre a superfície do produto e do ar que o envolve, ocorrendo a migração da água do seu interior para a periferia. Para isso, durante o processo de secagem, a pressão de vapor de água, na superfície ( $P_g$ ) do grão, deve ser superior à pressão de vapor do ar de secagem ( $P_{ar}$ ). Vários fatores afetam a secagem do café, como o método de secagem, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (BORÉM, 2008b).

O fenômeno de migração de água dentro da semente de café ainda não é inteiramente conhecido. Inúmeros mecanismos térmicos e físicos foram propostos, para descrever o transporte de água, em produtos capilares porosos higroscópicos. Alguns pesquisadores afirmam que o transporte de água ocorre pela difusão líquida, difusão gasosa ou uma combinação desses mecanismos. Teorias recentes defendem que a movimentação de água é, em grande parte, determinada pela difusão líquida (HII; BOREM, 2020).

#### **2.4.2 Cinética de secagem**

Com o objetivo de obter um produto de melhor qualidade, o estudo da cinética de secagem tem grande importância, pois nos possibilita selecionar a melhor combinação de temperatura de secagem e tempo para o processo, sendo, desta maneira, possível controlar os fatores que podem danificar o produto (KOWALSKI, 2007).

O processo de secagem, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, pode ser dividido em um período de taxa constante e outro com taxa decrescente (BORÉM, 2008b).

O período de secagem a taxa constante ocorre, quando o café se encontra com teor de água suficiente, para mantê-la em sua superfície em forma de água livre. Nesse período, a temperatura do produto mantém-se igual à do ar de secagem saturado, e as transferências de calor e massa se compensam, ou seja, a energia perdida, na forma de calor sensível, é recuperada na forma de calor latente de vaporização. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem, porque a taxa interna de deslocamento de água para a superfície do produto, é igual ou maior que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água retida por capilaridade (BORÉM, 2008a).

No período de taxa decrescente de secagem, a taxa interna de transporte de água é menor que a evaporação superficial. Dessa forma, a transferência de calor do ar para o produto não é compensada e, conseqüentemente, a temperatura do grão aumenta, tendendo

a atingir a temperatura do ar de secagem. Nesta fase, ocorrem os maiores riscos de perda de qualidade por danos térmicos (HII; BOREM, 2020).

### 2.4.3 Secagem Intermitente

Uma das maiores preocupações da indústria alimentícia, além da qualidade dos produtos, é o tempo de secagem. Qualquer tipo de procedimento que possa reduzir o tempo de processamento, para se obter um teor de água ideal, ocasionará uma redução no custo operacional, em virtude da economia de energia, aumentar o rendimento do produto e minimizar a degradação da qualidade pelo maior tempo dentro do secador. Por isso, escolher a melhor técnica de secagem disponível é altamente desejável (CHOU *et al.*, 2000).

A secagem intermitente é considerada uma das mais promissoras soluções para ter uma maior eficiência energética e de qualidade do produto, sem ocasionar uma elevação no custo da secagem, tendo em vista que o processo de secagem consome aproximadamente 20-25% da energia utilizada na indústria de processamento de alimentos (KUMAR; KARIM; JOARDDER, 2014).

A forma mais usual de realizar a secagem intermitente é alternando períodos de secagem, em que o produto recebe ar aquecido na câmara de secagem, com períodos de descanso. A secagem intermitente também pode ser obtida, controlando o fornecimento de energia térmica, variando a velocidade, temperatura, umidade relativa e pressão do ar de secagem, ou variando o modo de entrada da energia, como convecção, condução, radiação e microondas (KUMAR; KARIM; JOARDDER, 2014).

O descanso se inicia somente no período de taxa decrescente de secagem. Durante esse período, a taxa de secagem é reduzida com a quantidade insuficiente de água para ser removida. Essa estratégia permite a migração da água do centro para a periferia do produto (CHUA; MUJUMDAR; CHOU, 2003). Como consequência, após o período de descanso, a água superficial é facilmente removida, no próximo período de secagem, aumentando assim a taxa de secagem. A redistribuição da água, além de facilitar a secagem, reduz os gradientes hídricos e térmicos e, conseqüentemente, o estresse térmico e os danos físicos ao produto, sem violar a sua estrutura (MUJUMDAR, 2014).

A determinação do tempo de descanso mais eficiente na secagem intermitente busca obter uma otimização, no processo de secagem, redução de custos de energia e obter um produto com maior qualidade final (KOWALSKI; PAWŁOWSKI, 2011). Martin *et al.* (2009), estudando a secagem intermitente do café em pergaminho, observaram uma redução de 24,56% no tempo efetivo de secagem, em relação à secagem contínua, realizando a secagem intermitente por 12 horas de secagem, com ar aquecido a 50°C e 12 horas de descanso.

Borém *et al.* (2014), também estudando a secagem intermitente do café em pergaminho, observaram que os cafés submetidos a um período de descanso de dois e seis dias até a retomada da secagem, independente do teor de água na interrupção da secagem, apresentaram menores danos nas membranas celulares, quando comparados com os cafés submetidos à secagem contínua e intermitente de 12 dias de descanso.

Isquierdo *et al.* (2011), estudando tempo de descanso na secagem intermitente, observaram menores valores de lixiviação de potássio e condutividade e, conseqüentemente, maior integridade do sistema de membrana celular, quando comparado à secagem contínua. Em grãos secos, em processo de secagem intermitente, com a interrupção da secagem, o teor de água era de 24%, descanso de dois a 12 dias e posterior secagem para 11%.

#### **2.4.4 Modelagem matemática na secagem**

O estudo do sistema de secagem, sua otimização, sua viabilidade, para a aplicação para uso comercial, pode ser obtido por simulações matemáticas. A simulação matemática do processo de secagem fornece uma ferramenta útil para prever os fenômenos que ocorrem durante esse processo. Vários modelos matemáticos têm sido estudados com o objetivo de projetar, controlar e otimizar processos de secagem, bem como a compreensão dos processos relacionados (MUJUMDAR, 2014).

Existem diversos modelos do processo de secagem e todos têm a variável temporal. Esses modelos podem ser descritos por diferentes métodos, teóricos, semiempíricos e empíricos. As equações empíricas e semiempíricas possuem uma relação direta entre o conteúdo de água no produto e o tempo de secagem, mas não fornecem indicações sobre os fenômenos de transporte de massa e energia no interior dos grãos. São análogas à lei de Newton para o resfriamento, assumindo que a taxa de secagem é proporcional à diferença entre o teor de água do produto e o seu respectivo teor de água de equilíbrio para as

condições de secagem especificadas. As equações teóricas, geralmente, levam em consideração a difusão de líquido e/ou vapor dentro do produto (KOWALSKI, 2007; MUJUMDAR, 2014).

Muitos são os modelos que têm sido ajustados para descrever o processo de secagem de produtos capilares porosos higroscópicos. Entre eles, estão os modelos de Midilli (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002), de Page (PAGE, 1949), de Thompson (THOMPSON; PEART; FOSTER, 1968), de Verma (VERMA *et al.*, 1985), de Henderson e Pabis (HENDERSON; PABIS, 1961), de Henderson e Pabis modificado (KARATHANOS; BELESSIOTIS, 1999), de dois termos (HENDERSON, 1974), de exponencial de dois termos (SHARAF-ELDEEN; BLAISDELL; HAMDY, 1980), de Newton (LEWIS, 1921), de Wang e Singh (WANG; SINGH, 1978) e de Valcam (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do experimento**

O trabalho foi realizado no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Os frutos de café da espécie *Coffea arabica* variedade Catucai 2 SL foram colhidos, entre julho e agosto de 2020, na cidade de Nazareno, localizada no Sul de Minas Gerais, Brasil.

##### **3.1.1 Obtenção da matéria-prima**

Os frutos de café foram colhidos de forma mecânica e separados por densidade para a remoção dos frutos com menor densidade (brocados, mal granados, secos e chochos). Os frutos de café com maior densidade foram selecionados, manualmente, para garantir a presença de apenas frutos maduros. O processamento foi realizado pela via seca, que consiste em fermentar e secar os frutos com todas as partes constituintes (exocarpo, mesocarpo e endocarpo).

##### **3.1.2 Inoculação**

Os frutos de café selecionados foram divididos em dois lotes. Em um lote, foi realizada a fermentação com a microbiota indígena e o outro lote foi realizada a inoculação da cultura iniciadora ADY B0620 da empresa Lallemand® seguido de fermentação dos frutos. A inoculação foi realizada, conforme protocolo apresentado pela Lallemand®, utilizando a proporção de 0,001 kg de levedura seca ativa para 1 kg de café cereja.

##### **3.1.3 Fermentação**

Foram obtidas amostras dos tempos de fermentação 0, 48 e 96h. As fermentações foram realizadas em recipientes cilíndricos (produzidos em plástico de polietileno de alta densidade e alto peso molecular – HDPE, com matéria-prima virgem) hermeticamente fechados com capacidade de 100 litros.

		Bloco 1								
Tratamento	Biorreator	° Brix								
		0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h
Inoculação levedura Lallemand	A	19	15	16.5	14	13.5	11.5	11	10	10
	B	19	16	14.5	15.5	13.5	-	-	-	-
Leveduras indígenas	C	15	14	11	11	9	8	8	7	7
	D	17	16	14	14	8.5	-	-	-	-

		Bloco 2								
Tratamento	Biorreator	° Brix								
		0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h
Inoculação levedura Lallemand	A	18	15.5	15	15	13	12	11	10	9.5
	B	18	17	16.5	14	14	-	-	-	-
Leveduras indígenas	C	18	15	13.5	13	11	9.5	9	9	8
	D	18	15.5	14.5	13.5	11	-	-	-	-

		Bloco 1								
Tratamento	Biorreator	Temperatura Média (°C)								
		0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h
Inoculação levedura Lallemand	A	21.8	20.8	22.6	22.2	24	23.8	24.8	22.1	22.3
	B	22.1	22.5	23.2	22.4	24.9	-	-	-	-
Leveduras indígenas	C	21	21.4	23.6	23.6	25	23.6	24.2	20.8	22.4
	D	21.2	21	23.6	23.1	24.6	-	-	-	-

		Bloco 2								
Tratamento	Biorreator	Temperatura Média (°C)								
		0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h
Inoculação levedura Lallemand	A	20.5	18.1	16.3	19	20.8	19.2	21	18.9	21.4
	B	20.3	18.2	20.5	18.9	20.5	-	-	-	-
Leveduras indígenas	C	18.5	18.2	20.8	19.4	21.2	19.9	21	19	20.8
	D	18.6	18.4	20.5	20	21	-	-	-	-

Fonte: Do autor (2022).

### 3.1.4 Secagem

Após atingir o tempo de fermentação, o café foi destinado à secagem até atingir o teor de desejado (11% b.u.). A secagem foi realizada de forma contínua e de forma intermitente. Na secagem contínua, os cafés foram submetidos ao processo de secagem mecânica até atingir o teor de água estimado de 11% (b.u.) sem interrupção.

Na secagem intermitente, os cafés foram submetidos a períodos de secagem e repouso. Essa técnica foi dividida em três etapas. Na primeira etapa de secagem, os frutos foram secos até o teor de água de 30 a 35% (b.u.); ao atingir esse nível, foram transferidos para silos de

madeira termicamente isolados onde permaneceram por 12 horas. Na segunda etapa de secagem, os frutos foram secos até o teor de água de 20 a 25% (b.u.); mais uma vez, foram submetidos a um repouso de 12 horas. Na terceira etapa de secagem, os frutos foram secos até o teor de água de 15 a 18% (b.u.) e os frutos permaneceram em repouso por 24 horas e foram secos até atingirem o teor de água estimado de 11% (b.u.).

As etapas de secagem e repouso foram definidas teoricamente, usando a técnica de elementos finitos, para simular a distribuição de água no interior do fruto, sendo o tempo de repouso definido, quando existisse uma homogeneidade na distribuição de água no interior do fruto. Essa técnica é um conjunto de ferramentas computacionais, baseadas em algoritmos numéricos, para resolver e interpretar problemas no escoamento de fluidos (AMARAL *et al.*, 2018; SCHNEIDER; MALISKA, 2000).

A secagem foi realizada em dois secadores mecânicos de camada fixa, contendo, cada um, seis compartimentos com capacidade de 19kg de café cereja (Figura 1). A temperatura de secagem foi de 40°C e o fluxo de ar foi mantido em  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) de vazão. Durante toda a secagem, o café foi pesado, para a confecção das curvas, tempos e taxas de secagem.

Figura 1. Secadores e sistema de secagem



Fonte: Do autor (2022).

O teor de água dos frutos de café natural, tanto no início quanto no final da secagem, foi determinado pelo método padrão de estufa,  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , durante 24 horas, de acordo com a Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Com a massa e o teor de água inicial dos frutos, o acompanhamento da secagem foi realizado pelo método gravimétrico (perda de massa) até atingir o teor de água desejado; foi utilizada uma balança analítica com resolução de 0,01 g, de acordo com a equação abaixo.

$$U_t = \frac{M_{ai} - (M_{ti} - M_{tt})}{M_{ms}} \quad (1)$$

Em que

$U_t$ : teor de água no tempo  $t$  (kg de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup> (bs));

$M_{ai}$ : massa de água inicial (kg);

$M_{ti}$ : massa total inicial (kg);

$M_{tt}$ : massa total no tempo  $t$  (kg);

$M_{ms}$ : massa de matéria seca (kg).

Para avaliar a velocidade, em que a água será evaporada, a taxa de secagem do produto foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Tx. Sec.} = \frac{U_{ant} - U_{at}}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que

Tx.Sec.: taxa de secagem (g de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>);

$U_{ant}$ : teor de água no tempo anterior (g de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup> (bs));

$U_{at}$ : teor de água atual (g de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup> (bs));

$\Delta t$ : intervalo de tempo entre as pesagens (h).

Para descrever diferentes modelos de secagem em camada fina, a razão de umidade (RU) é essencial. A razão de umidade, durante a secagem, em função das variáveis avaliadas, foi determinada pela Equação 3.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (3)$$

Em que

RU: razão de umidade (adimensional)

$U$ : teor de água do produto no tempo  $t$  (kg de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup>, (bs));

$U_e$ : teor de água de equilíbrio do produto (kg de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup>, (bs));

$U_i$ : teor de água inicial do produto (kg de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup>, (bs)).

O teor de água de equilíbrio higroscópico foi calculado pela Equação 4 (AFONSO JÚNIOR, 2001).

$$Ue = (2,0222 + 0,0288 \times T - 18,7397 \times UR^{8,6181})^{-2,1385} \quad (4)$$

Em que

Ue: teor de água de equilíbrio do produto (kg de água.kg de matéria seca<sup>-1</sup>, (bs));

T: temperatura do ar de secagem, (°C);

UR: umidade relativa do ar de secagem, (decimal).

Os modelos matemáticos (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais de secagem, utilizando o Software Statistica 10.0 (AMARAL *et al.*, 2018; CORRÊA *et al.*, 2010).

*Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de café natural*

Modelo	Equação	
Midilli	$RU = a \exp(-k t^n) + b t$	(5)
Page	$RU = \exp(-k t^n)$	(6)
Thompson	$RU = \exp((-a - (a^2 + 4 b t)^{0,5}) / 2 b)$	(7)
Verma	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(8)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k t)$	(9)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(10)
Dois termos	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(11)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k a t)$	(12)
Newton	$RU = \exp(-k t)$	(13)
Wang e Singh	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(14)
Valcam	$RU = a + b \cdot t + c \cdot t^{1,5} + d \cdot t^2$	(15)

Em que

RU – Razão de umidade (adimensional);

t – Tempo de secagem, (h);

k,  $k_0$  e  $k_1$  – Constantes de secagem;

a, b, c, d, n – Coeficientes dos modelos.

Fonte: Do autor (2022).

Os parâmetros utilizados para selecionar o melhor modelo foram: o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P), o erro médio estimado (SE). Os valores

de P e de SE foram estimados de acordo com as equações 16 e 17 (ALVES *et al.*, 2013; AMARAL *et al.*, 2018; CORRÊA FILHO *et al.*, 2015).

$$P = \frac{100}{n} \times \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (16)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (17)$$

Em que

P: erro médio relativo (%);

SE: desvio-padrão da estimativa (decimal);

Y: valor observado experimentalmente;

Y0: valor calculado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: número de graus de liberdade do modelo.

### 3.1.5 Desenho experimental

O estudo foi realizado com 24 parcelas, sendo dois TIPOS DE FERMENTAÇÃO (microbiota indígena e a cultura iniciadora da empresa Lallemand), três tempos de fermentação (0, 48 e 96h), dois métodos de secagem (contínua e intermitente) e duas repetições.

Tabela 2. Representação esquemática do desenho experimental

Café maduro (var. Catucaí 2SL)											
↓											
Seleção por densidade											
↓											
Seleção manual											
↓						↓					
Microbiota indígena						Levedura Lallemand					
↓											
Tempo de fermentação (h)						Tempo de fermentação (h)					
0		48		96		0		48		96	
↓		↓		↓		↓		↓		↓	
Método de secagem											
Int	Con	Int	Con	Int	Con	Int	Con	Int	Con	Int	Con
↓											
11% b.u.											
IYID0	IYCD0	IYID48	IYCD48	IYID96	IYCD96	AYID0	AYCD0	AYID48	AYCD48	AYID96	AYCD96
H	H	H	H	H	H	H	H	H	8H	H	6H

Fonte: Do autor (2022).

## 3.2 Análises químicas

Ácidos orgânicos, açúcares, compostos bioativos e perfil de ácidos graxos foram realizados em grãos de café cru. Análise de compostos voláteis foi realizada nos grãos torrados.

Os grãos de café foram moídos, em moinho 11A basic (IKA, Brasil), por 1 minuto; logo depois foi adicionado nitrogênio líquido para facilitar a moagem e evitar oxidações nas amostras. Após a moagem, as amostras foram acondicionadas, em tubos de centrifugação de 15mL e armazenadas em deepfreezer, à temperatura de -80 °C, até a realização das análises.

### 3.2.1 Ácidos orgânicos

Café cru moído (250 mg) foram pesados e colocados em tubos de centrifugação com 25 mL de ácido perclórico 0,23% para a realização da análise de ácidos orgânicos. A solução foi agitada por 10 minutos. Logo após, o extrato foi filtrado em papel de filtro comum e, em seguida, filtrado em membrana de 0,45 µm. A determinação desses compostos foi por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência Agilent (HPLC), com base na metodologia descrita por Jham *et al.* (2002), utilizando-se 10mM de ácido perclórico a uma taxa de fluxo constante de 0,6 mL.min<sup>-1</sup>, como fase móvel e a coluna de cromatografia utilizada foi C610H (Coluna cromatográfica Supelco 610H) a 50 °C, monitorada por espectrofotometria de UV a 210 nm.

Soluções padrão de ácidos cítrico, málico, tartárico, succínico, láctico, quínico e acético (marca sigma) foram utilizadas, para a identificação dos picos do cromatograma, comparações dos tempos de retenção e para o cálculo de sua concentração nas amostras. Os níveis finais de ácidos orgânicos são dados em porcentagem de matéria seca (% m.s).

### 3.2.2 Açúcares

As amostras de cafés desengorduradas (100mg) foram pesadas, em um tubo de microcentrífuga de 2mL e, em seguida, adicionou-se 1,0 mL de água Milli-Q. Os tubos foram colocados em um banho ultrassônico a 80°C por 15 min. Uma alíquota de 500 µl do extrato foi transferida, para outro tubo de 1,5 mL e, então, centrifugados a 5500 rpm por 5min. O

sobrenadante foi filtrado com o filtro de seringa de 0,45  $\mu\text{M}$  (Membrana PTFE hidrofílico) e injetado diretamente no cromatógrafo equipado com detector de índice de refração (Cromatógrafo Agilent 1260 Infinity II, coluna cromatográfica Supelco 610H, detector de índice de refração, forno 40 graus, utilizando-se padrões de rafinose, sacarose, glicose, frutose e arabinose. Marca sigma).

### 3.2.3 Compostos Bioativos

Os compostos não voláteis cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), segundo metodologia adaptada de Vitorino *et al.* (2001). Amostras de 0,5 g de café cru moído foram extraídas em 50 mL água destilada em ebulição e colocadas em banho-maria (aproximadamente 96° C), com água em ebulição, durante 3 min. O extrato foi filtrado em papel de filtro comum e, em seguida, filtrado em membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ . A determinação desses compostos foi realizada, em cromatógrafo da marca Shimadzu, com sistema de detecção por arranjo de diodos (modelo SPD-M10A), coluna cromatográfica Discovery C18 (250 x 4,6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ), comprimento de onda de 272 nm. A fase móvel constituiu-se de solução metanol: água: ácido acético (20:80:1), com fluxo de 1 mL.min<sup>-1</sup>. Para a identificação e análise quantitativa, foi elaborada curva-padrão, utilizando-se padrões de cafeína, trigonelina e ácido-5-cafeiolquínico (5-ACQ).

### 3.2.4 Perfil de ácidos graxos

Para a determinação dos ácidos graxos, foram pesados 250 mg de grão cru moído de cada amostra e foram acondicionados em tubos de microcentrífuga de 2,5 mL com a adição de 1,0 mL de hexano. Em seguida, os tubos foram colocados e mantidos em banho ultrassônico por 10 minutos a temperatura ambiente. Após, os tubos foram centrifugados a 5.000 rpm por 2 minutos. Alíquota de 500  $\mu\text{L}$  de cada sobrenadante foi transferida para tubos criogênicos de 2,0 mL. O hexano residual, presente na alíquota, foi evaporado em capela de exaustão e o conteúdo de ácido graxo foi conduzido para as etapas de hidrólise de lipídeos.

Aproximadamente 10 mg de óleo extraído foi diluído em 100  $\mu\text{l}$  de uma solução de etanol (95%) / hidróxido de potássio 1 mol.L<sup>-1</sup> (5%) e agitado em vórtex por 10 segundos, o óleo foi hidrolisado, utilizando um forno de microondas doméstico Panasonic®, à potência de

80 W, durante 5 minutos. Após resfriamento, foram adicionados 400  $\mu\text{L}$  de ácido clorídrico a 20%, aproximadamente 40mg de NaCl e 600  $\mu\text{L}$  de acetato de etila. A mistura foi agitada em vórtex por 10 segundos e deixada em repouso por 5 minutos. Então, uma alíquota de 300  $\mu\text{L}$  da camada orgânica foi retirada, colocada em tubos de microcentrífuga e secada por evaporação, obtendo-se, assim, os ácidos graxos livres (CHRISTIE, 1989).

Os ácidos graxos livres foram metilados com 100  $\mu\text{L}$   $\text{BF}_3$ .metanol<sup>-1</sup> (14%) e aquecidos em banho de água, a 80 °C por 10 minutos. Em seguida, foram diluídos com 300  $\mu\text{L}$  de metanol e analisados por cromatografia gasosa.

Os ácidos graxos mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, araquídico, linolênico, behênico foram determinados em um cromatógrafo a gás Shimadzu GC2010 que possui um detector por ionização de chamas. Foi utilizada uma coluna SP-2560 (Supelco) 100 m x 0,25 mm, com gradiente de temperatura: 140 °C, 5 minutos, 4°C.min<sup>-1</sup> até 240 °C permanecendo nesta temperatura por 30 min; injetor (split de 1.20<sup>-1</sup>), a 240 °C e detector a 240 °C; Hélio como gás de arraste (2 mL.min<sup>-1</sup>) e volume de injeção de 2  $\mu\text{L}$ . A identificação dos picos correspondentes a cada ácido graxo foi feita por comparação com padrões de ácidos graxos metilados Supelco37. Os teores finais foram dados em porcentagem de área relativa.

### 3.2.5 Compostos voláteis

As amostras de café torrado foram moídas em moinho IKA 11A, e 1g de cada amostra colocado em vials hermeticamente fechados, para a análise de composição volátil, conforme a metodologia de Rabelo *et al.* (2021).

Os compostos voláteis foram extraídos, utilizando o headspace estático do equipamento GC-MS modelo QP - 2010 SE (Shimadzu), equipado com uma coluna NST- 100 (30 m  $\times$  0,25 mm  $\times$  0,25  $\mu\text{m}$ ), com fase de polietilenoglicol similar a Carbowax®. Os vials, contendo as amostras, foram colocados no equipamento e permaneceram nele por 30min até atingir o equilíbrio a 70°C.

A fase volátil foi injetada modo split no cromatógrafo gasoso (GC) com posterior detecção, utilizando espectrômetro de massa (MS). A temperatura do injetor foi ajustada a 220 °C. O gás hélio, utilizado como transportador, foi mantido com um de fluxo de 1 mL.min<sup>-1</sup>.

A programação de aquecimento foi: durante 6 min a temperatura do forno foi mantida a 25 °C, logo após, a temperatura foi aquecida até 70 °C com a taxa de 10°C.min<sup>-1</sup> até 95°C a 5°C.min<sup>-1</sup> até 115°C a 10°C.min<sup>-1</sup> até 170 °C a 5°C.min<sup>-1</sup> e, finalmente, até 215 °C a 40°C.min<sup>-1</sup>. O tempo total da corrida foi de 35 minutos.

A análise dos dados e a identificação dos compostos foram realizadas, usando o software GCMSsolution (versão 4.4, Shimadzu Corporation, Japão) e o banco de dados NIST NIST/EPA/NIH 2014. A identificação química foi realizada comparando os espectros de MS com o banco de dados. Os resultados foram expressos, em área percentual relativa, que corresponde à área do pico referente à cada composto identificado, calculada a partir da área total do cromatograma.

### 3.3 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada por cinco Juízes Certificados pela SCA com a utilização da metodologia descritiva CATA (Check All That Apply) (TIEPO *et al.*, 2020). O questionário de avaliação sensorial CATA (Figura 2) foi composto por um levantamento de descritores sensoriais que melhor descreviam os atributos aroma e sabor do experimento. Os degustadores foram solicitados a responder ao questionário CATA, assinalando os descritores que melhor descrevessem a amostra. A quantidade de marcações não foi restringida, o degustador poderia marcar a quantidade que julgasse necessário.

Figura 2. Questionário de avaliação sensorial CATA (Check All That Apply)

CATA						
AROMA			FLAVOR			ACIDITY
FRUITY	SPICES	HERBAL	FRUITY	SPICES	HERBAL	
Red fruit	Pepper	Straw	Red fruit	Pepper	Straw	Citric
Yellow fruit	Cinnamon	Grassy	Yellow fruit	Cinnamon	Grassy	
Citric fruit	Anise	Cucumber	Citric fruit	Anise	Cucumber	
Tropical fruit	Nugmet	Pea	Tropical fruit	Nugmet	Pea	Phosphoric
Dry fruit	Clove	Herb-like	Dry fruit	Clove	Herb-like	
FLORAL	Tabacco	DEFECTS	FLORAL	Tabacco	DEFECTS	Malic
Jasmim	CHOCOLATE	Rubber	Jasmim	CHOCOLATE	Rubber	Acetic
Coffee flower	Milk chocolate	Medicinal	Coffee flower	Milk chocolate	Medicinal	
Orange flower	Dark chocolate	Earthy	Orange flower	Dark chocolate	Earthy	
Black tea	NUTTY	Woody	Black tea	NUTTY	Woody	Tartaric
Chamomile	Peanuts	Musty	Chamomile	Peanuts	Musty	
SWEET	Hazelnut	Cardboard	SWEET	Hazelnut	Cardboard	
Brown sugar	Almond	Phenolic	Brown sugar	Almond	Phenolic	BODY
Vanilla	Walnut	Smoked	Vanilla	Walnut	Smoked	
Honey	FERMENTED	Saur	Honey	FERMENTED	Saur	
Caramel	Winy	Acetic fermentation	Caramel	Winy	Acetic fermentation	Creamy
Molasses	Alcoholic	Rotten	Molasses	Alcoholic	Rotten	
Sugar cane	Coffee pulp	Past Crop	Sugar cane	Coffee pulp	Past Crop	Viscous
Sucrose	Lactéal	Rancid	Sucrose	Lactéal	Rancid	

Fonte: Do autor (2022).

A torra, moderadamente leve, foi realizada em 100g de grãos de café peneira 16 e, acima, o tempo de torração não foi inferior a 8 minutos ou superior a 12 minutos. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 12 horas à degustação.

### **3.4 Análise estatística**

#### **Análise sensorial**

Os resultados quantitativos obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ScottKnott, a 1% de significância, para os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

Foi realizada, para melhor compreensão da relação dos tratamentos com a análise sensorial, a análise dos componentes principais (PCA), utilizando o software estatístico CHEMOFACE (v1.64).

Foi aplicada a análise de múltiplos fatores (MFA) aos dados obtidos pelo questionário CATA para os atributos aroma e sabor. Os dados correspondem à frequência de uso de cada classe de descritores, para descrever cada tratamento, sendo essa frequência a contagem do número de degustadores que usaram a classe multiplicado pelo número de repetições do tratamento. As classes que apresentaram uma frequência menor que 20% foram excluídas da análise de múltiplos fatores. As análises foram realizadas, conforme metodologia descrita por Ossani *et al.* (2017), com o software R (v4.0.3).

#### **Análises químicas**

Para se ter melhor compreensão da relação dos tratamentos com a composição química (Ácidos orgânicos, Açúcares, Bioativos, Ácidos Graxos e Voláteis), foram realizadas análise dos componentes principais (PCA), utilizando o software estatístico CHEMOFACE (v1.64).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Secagem

Na Tabela 3 são apresentados o tempo de secagem total e efetivo (h). O tempo efetivo de secagem se refere ao tempo total de secagem, retirando os tempos de descanso) e o teor de água inicial e final do café natural. A temperatura do ar de secagem manteve-se em torno de 40°C e o fluxo de ar em 24 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> (0,4 m.s<sup>-1</sup>) de vazão, durante todo o processo de secagem.

Tabela 3 – Inoculação, Tempo de fermentação, Método de secagem [Contínua (Con) e Intermitente (Int)], tempo de secagem, tempo de secagem efetivo e teor de água inicial e final do café natural.

Inoculação	Tempo de Fermentação (h)	Método de Secagem	Tratamento	Tempo de Secagem (h)	Tempo Efetivo de Secagem (h)	Teor de água (bs)	
						Inicial	Final
Microbiota indígena	0	Con	IYCD0h	84	84	218,19	12,93
		Int	IYID0h	114	74	211,27	14,73
	48	Con	IYCD48h	84	84	218,99	12,66
		Int	IYID48h	117	76	217,59	14,20
	96	Con	IYCD96h	82	82	221,49	12,84
		Int	IYID96h	127	88	221,13	12,00
Levedura ADY 0620	0	Con	AYCD0h	72	72	225,62	13,31
		Int	AYID0h	113	74	229,60	13,89
	48	Con	AYCD48h	96	96	235,71	10,48
		Int	AYID48h	124	84	228,32	12,10
	96	Con	AYCD96h	86	86	236,22	12,19
		Int	AYID96h	119	78	234,16	12,85

Fonte: Do autor (2022).

#### 4.1.1 Curvas de Secagem Contínua

Na Tabela 4, encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados, para a comparação entre onze modelos de secagem analisados, na condição secagem contínua utilizadas para o café natural.

Tabela 4 – Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), desvio-padrão da estimativa (SE, decimal), para os modelos analisados na secagem do café natural na secagem contínua.

Modelos	IYCD0h			IYCD48h			IYCD96h		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Newton	99,86	12,604	0,016	99,49	19,625	0,029	99,25	34,249	0,032
Henderson & Pabis	99,86	12,957	0,016	99,49	19,772	0,029	99,25	33,438	0,032
Page	99,86	11,483	0,016	99,57	13,646	0,027	99,48	21,632	0,028
Wang & Singh	97,89	41,670	0,062	96,21	52,094	0,077	99,39	78,771	0,097
Valcam	99,91	4,151	0,011	99,74	11,885	0,021	99,69	17,136	0,021
Midilli	99,95	17,459	0,020	99,73	19,141	0,027	99,72	29,018	0,027
Dois termos	<b>99,95</b>	<b>3,586</b>	<b>0,009</b>	<b>99,82</b>	<b>7,167</b>	<b>0,018</b>	99,85	5,347	0,015
Exponencial de dois termo	99,86	12,604	0,016	99,49	19,625	0,029	99,25	34,249	0,032
Henderson & Pabis mod.	99,95	3,587	0,009	<b>99,82</b>	<b>7,167</b>	<b>0,018</b>	<b>99,87</b>	<b>5,854</b>	<b>0,015</b>
Thompson	99,89	7,694	0,014	99,69	7,220	0,023	99,69	11,245	0,022
Verma	99,92	4,128	0,012	99,73	7,857	0,022	99,78	6,182	0,019

Modelos	AYCD0h			AYCD48h			AYCD96h		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Newton	99,82	12,834	0,018	99,59	14,182	0,027	99,44	26,335	0,029
Henderson & Pabis	99,84	13,643	0,018	99,59	14,238	0,027	99,44	26,209	0,029
Page	99,82	12,777	0,018	99,66	9,285	0,025	99,56	18,596	0,027
Wang & Singh	97,90	42,711	0,062	97,30	39,227	0,069	94,65	71,424	0,090
Valcam	99,89	4,539	0,015	99,82	7,463	0,018	99,77	11,808	0,019
Midilli	99,93	18,906	0,022	99,78	14,214	0,025	99,77	24,976	0,027
Dois termos	<b>99,93</b>	<b>3,952</b>	<b>0,011</b>	<b>99,86</b>	<b>7,314</b>	<b>0,016</b>	<b>99,87</b>	<b>4,193</b>	<b>0,015</b>
Exponencial de dois termo	99,82	12,834	0,018	99,59	14,182	0,027	99,44	26,335	0,029
Henderson & Pabis mod.	<b>99,93</b>	<b>3,952</b>	<b>0,011</b>	<b>99,86</b>	<b>7,314</b>	<b>0,016</b>	99,87	4,194	0,015
Thompson	99,84	8,697	0,017	99,76	6,438	0,021	99,71	10,325	0,022
Verma	99,88	4,552	0,015	99,78	7,971	0,020	99,79	5,385	0,019

Fonte: Do autor (2022).

Para a secagem contínua do café natural, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a 1,0 (Tabela 4). Ao utilizar somente esse coeficiente, não se constitui um bom critério de seleção para modelos não lineares, sendo necessária uma análise conjunta dos parâmetros ( $R^2$ ), erro médio relativo (P) e desvio-padrão da estimativa (SE). A capacidade de um modelo, para descrever com fidelidade determinado processo físico, é inversamente proporcional ao valor do desvio-padrão da estimativa. No que se refere ao erro médio relativo, valores inferiores a 10% são recomendados (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996; MOHAPATRA; RAO, 2005).

Para a secagem contínua, os modelos Dois termos e Henderson & Pabis mod. atenderam aos critérios, para uma boa seleção, para os tratamentos AYCD0h, AYCD48h e IYCD48h. Em relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apresentaram valores superiores a 99,82%; ao considerar o critério de erro médio relativo (P), apresentaram valores aceitáveis para todos os tratamentos abaixo de 7,314% e, ao analisar o valor do desvio-padrão da estimativa (SE), para todos os tratamentos, obtiveram-se valores abaixo de 0,018, no tratamento IYCD96h. O modelo que melhor se ajustou foi o Henderson & Pabis mod. com  $R^2$  de 99,87%, P 5,854% e SE de 0,015 e, para os tratamentos IYCD0h e AYCD96h, o modelo foi o de Dois termos com  $R^2$  de 99,87%, P 4,193% e SE de 0,015.

Em função do menor número de parâmetros e, conseqüentemente, maior simplicidade em relação ao modelo de Henderson & Pabis modificado, o modelo de Dois Termos foi selecionado, para descrever a cinética de secagem dos frutos de café, nos tratamentos AYCD0h, AYCD48h e IYCD48h.

Na Tabela 5, são apresentados os coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados observados da cinética de secagem contínua.

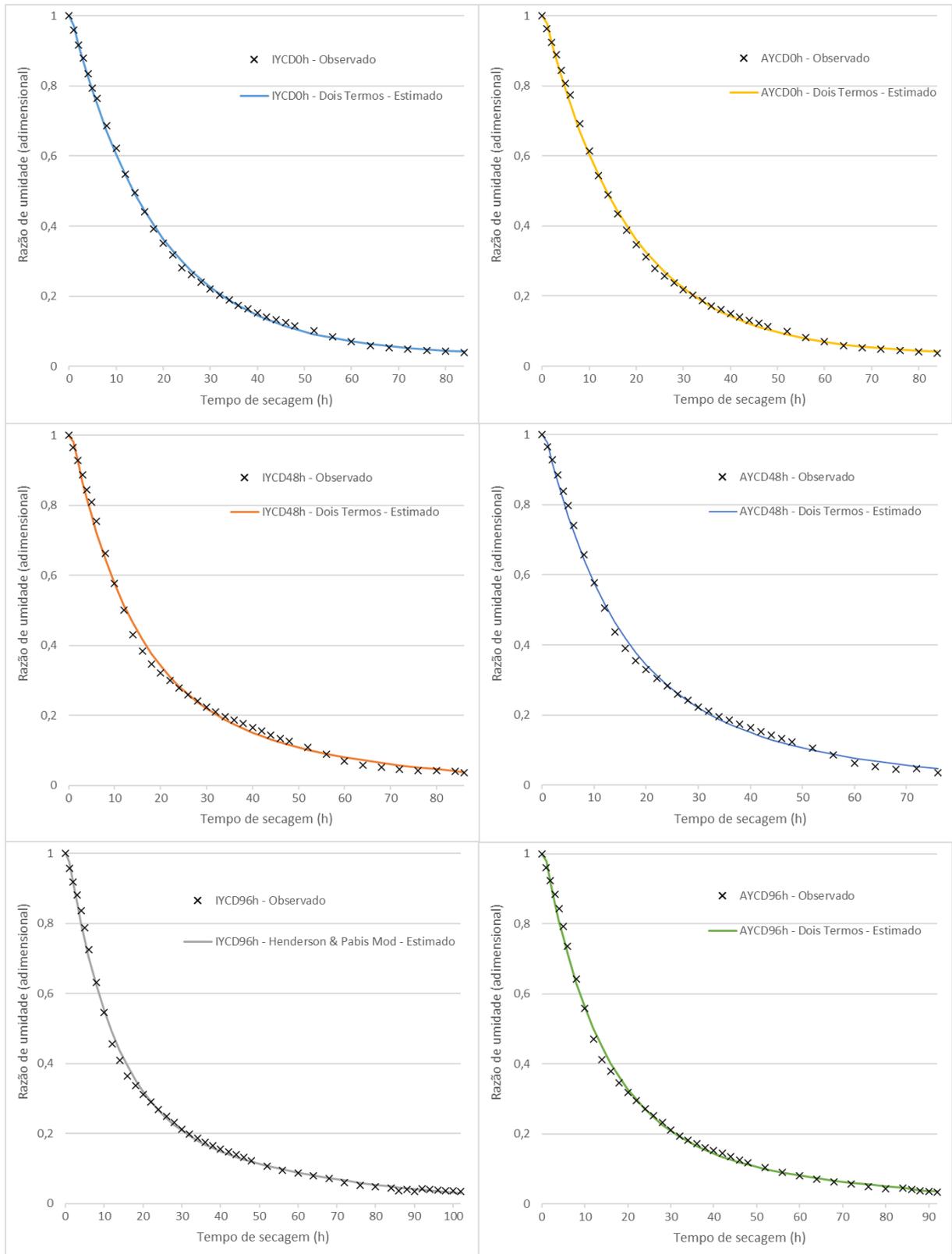
Tabela 5 – Coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados experimentais de secagem contínua de café natural.

Modelo	Inoculação	Tempo de Fermentação (h)	Tratamento	Coeficientes					
				k	k0	k1	a	b	c
Dois Termos	Microbiota indígena	0	IYCD0h	0,0554	0,0041	0,9771	0,0458		
Dois Termos		48	IYCD48h	0,0042	0,0564	0,0466	0,9853		
Henderson & Pabis Mod.		96	IYCD96h	0,0245	0,0810	0,0810	0,3264	0,2641	0,4549
Dois Termos	Levedura Lallemand	0	AYCD0h		0,0275	0,0831	0,3781	0,6629	
Dois Termos		48	AYCD48h		0,0275	0,0831	0,3781	0,6629	
Dois Termos		96	AYCD96h		0,0802	0,0204	0,7902	0,2540	

Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 3, apresentam-se os comportamentos da razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Dois Termos para os tratamentos IYCD0h, IYCD48h, AYCD0h, AYCD48h e AYCD96h, e a razão de umidade observada e estimada pelo modelo de Henderson & Pabis, modificada para o tratamento IYCD96h.

Figura 3 – Valores de razão de umidade observados e estimados pelos modelos de Dois Termos e de Henderson & Pabis modificados para a secagem contínua do café natural em função do tempo



Fonte: Do autor (2022).

Conforme a Figura 3, nota-se o bom ajuste dos modelos de Dois Termos e Henderson & Pabis, modificados para a secagem contínua dos cafés naturais fermentados e não fermentados, constatando que esses modelos são adequados para representar os dados experimentais. Esses resultados estão de acordo com estudos realizados, para a secagem de frutos do café e que obtiveram ajuste satisfatório ao modelo de Henderson e Pabis modificado (ALVES *et al.*, 2013); o modelo de Dois Termos obteve ajuste satisfatório para a secagem de *Coffea canephora* em terreiro de concreto (RESENDE *et al.*, 2009) e em terreiro de chão batido (RESENDE *et al.*, 2010).

Em trabalhos com outros produtos, como o feijão adzuki (*Vigna angularis*) (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010) e folhas de sálvia, o modelo de Henderson & Pabis modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem (RADÜNZ *et al.*, 2010). O modelo de Dois termos se ajustou também para a farinha de grãos residuais de urucum (SANTOS *et al.*, 2013).

#### **4.1.2 Curvas de Secagem Intermitente**

Na Tabela 6, encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados, para a comparação entre onze modelos de secagem analisados, na condição secagem intermitente, utilizada para o café natural fermentado com inoculação e sem inoculação de leveduras.

Tabela 6 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), desvio-padrão da estimativa (SE, decimal), para os modelos analisados na secagem do café natural para a secagem intermitente

Modelos	IYID0h			IYID48h			IYID96h		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Newton	99,91	7,588	0,013	99,53	29,268	0,025	99,49	26,260	0,028
Henderson & Pabis	99,92	8,285	0,012	99,53	29,021	0,025	99,52	24,937	0,027
Page	99,91	8,427	0,013	99,64	19,093	0,023	99,73	14,666	0,021
Wang & Singh	98,95	32,615	0,045	95,73	68,089	0,079	96,00	55,125	0,077
Valcam	99,91	5,282	0,013	99,83	10,201	0,016	99,92	6,439	0,012
Midilli	99,96	15,291	0,017	99,85	29,328	0,024	99,90	22,494	0,022
Dois termos	<b>99,95</b>	<b>4,338</b>	<b>0,010</b>	99,90	4,661	0,013	<b>99,96</b>	<b>2,997</b>	<b>0,008</b>
Exponencial de dois termo	99,91	7,588	0,013	99,53	29,268	0,025	99,49	26,260	0,028
Henderson & Pabis mod.	<b>99,95</b>	<b>4,338</b>	<b>0,010</b>	<b>99,90</b>	<b>4,660</b>	<b>0,013</b>	<b>99,96</b>	<b>2,997</b>	<b>0,008</b>
Thompson	99,91	5,715	0,013	99,79	9,810	0,019	99,88	6,904	0,014
Verma	99,93	4,469	0,012	99,85	4,831	0,016	99,93	3,850	0,011

Modelos	AYID0h			AYID48h			AYID96h		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Newton	99,76	17,845	0,020	99,75	15,538	0,021	99,68	23,713	0,022
Henderson & Pabis	99,76	17,570	0,020	99,75	16,082	0,021	99,69	23,124	0,022
Page	99,83	10,782	0,017	99,78	11,615	0,020	99,79	15,140	0,019
Wang & Singh	97,46	49,229	0,063	97,88	44,077	0,059	96,54	60,298	0,073
Valcam	99,91	6,461	0,012	99,88	6,099	0,015	99,94	6,311	0,010
Midilli	99,92	16,647	0,018	99,88	17,857	0,022	99,92	22,120	0,020
Dois termos	<b>99,95</b>	<b>3,407</b>	<b>0,010</b>	<b>99,92</b>	<b>6,112</b>	<b>0,013</b>	<b>99,96</b>	<b>4,473</b>	<b>0,008</b>
Exponencial de dois termo	99,76	17,845	0,020	99,75	15,538	0,021	99,68	23,713	0,022
Henderson & Pabis mod.	<b>99,95</b>	<b>3,407</b>	<b>0,010</b>	<b>99,92</b>	<b>6,112</b>	<b>0,013</b>	<b>99,96</b>	<b>4,473</b>	<b>0,008</b>
Thompson	99,90	4,265	0,013	99,84	5,466	0,017	99,89	7,195	0,014
Verma	99,92	3,939	0,012	99,86	6,562	0,016	99,94	5,320	0,011

Fonte: Do autor (2022).

Similar à secagem contínua, os modelos Dois termos e Henderson & Pabis mod. atenderam aos critérios a uma boa seleção à secagem intermitente, para os tratamentos IYID0h, AYID0h, AYID48h, IYID96h e AYID96h. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores superiores a 99,92%; o critério de erro médio relativo (P) apresentou valores aceitáveis, para todos os tratamentos abaixo de 6,112% e, ao analisar o valor do desvio-padrão da estimativa (SE), para todos os tratamentos, obtiveram-se valores abaixo de 0,013; no tratamento IYID48h, o modelo que melhor se ajustou foi o Henderson & Pabis mod. com  $R^2$  de 99,90%, P 4,660% e SE de 0,013.

Com o menor número de parâmetros e, conseqüentemente, maior simplicidade, em relação ao modelo de Henderson & Pabis modificado, o modelo de Dois Termos foi selecionado, para descrever a cinética de secagem dos frutos de café, nos tratamentos IYID0h, AYID0h, AYID48h, IYID96h e AYID96h.

Na Tabela 7, são apresentados os coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados observados da cinética de secagem intermitente

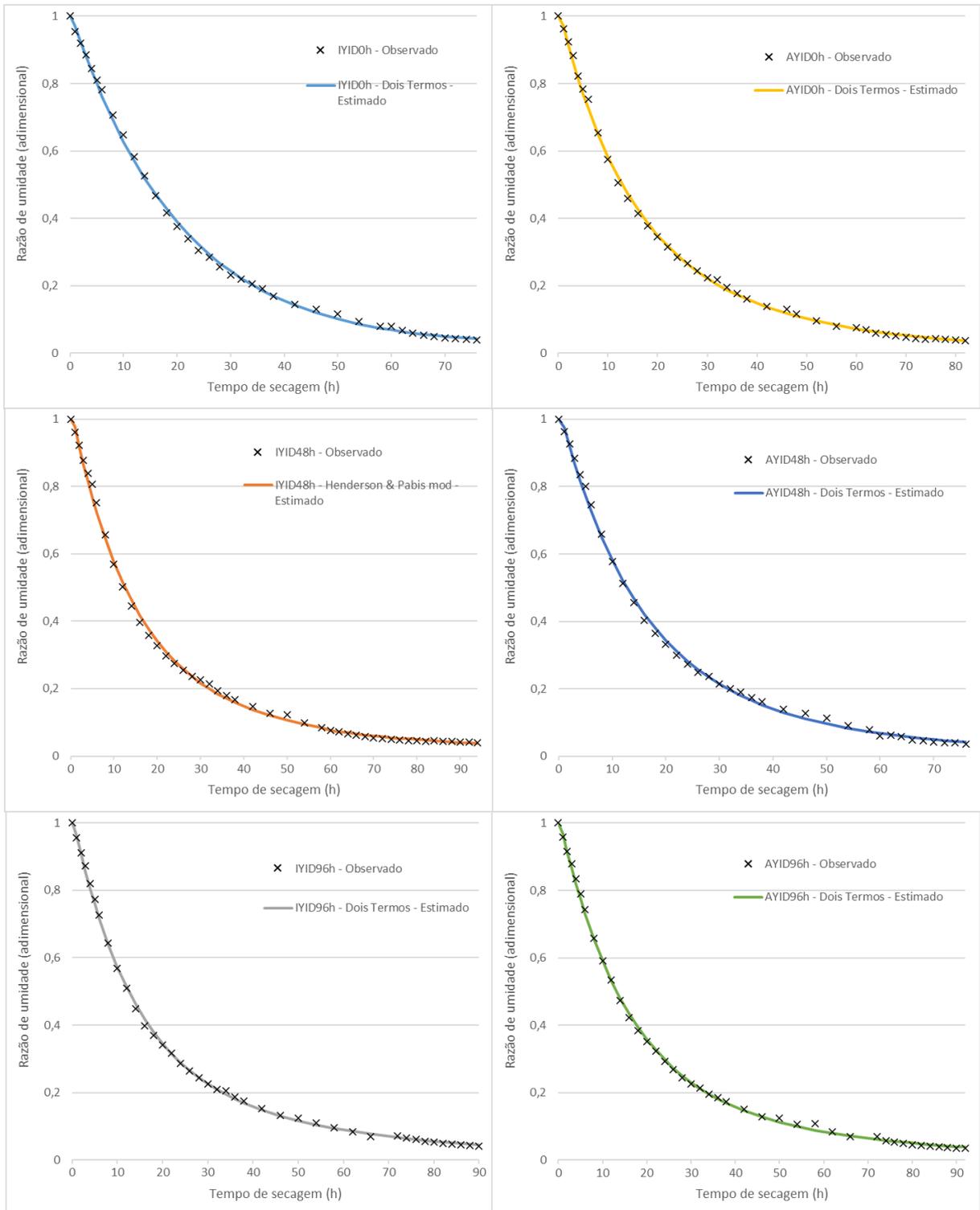
Tabela 7 - Coeficientes do modelo de Dois Termos e Henderson & Pabis mod. ajustados aos dados experimentais de secagem intermitente de café natural

Modelo	Inoculação	Tempo de Fermentação (h)	Tratamento	Coeficientes					
				k	k0	k1	a	b	c
Dois Termos		0	IYID0h		0,0492	-0,0073	1,0082	0,0107	
Henderson & Pabis Mod.	Microbiota indígena	48	IYID48h	0,0733	0,0196	0,0733	0,4225	0,2293	0,3855
Dois Termos		96	IYID96h		0,0196	0,0733	0,2293	0,8080	
Dois Termos		0	AYID0h		0,0720	0,0256	0,7646	0,2709	
Dois Termos	Levedura Lallemand	48	AYID48h		0,0215	0,0789	0,3009	0,7245	
Dois Termos		96	AYID96h		0,0688	0,0203	0,7843	0,2406	

Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 4, apresentam-se os comportamentos da razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Dois Termos, para os tratamentos IYID0h, AYID0h, AYID48h, IYID96h e AYID96h, e a razão de umidade observada e estimada pelo modelo de Henderson & Pabis modificado para o tratamento IYID48h.

Figura 4 - Valores de razão de umidade observados e estimados pelos modelos de Dois Termos e de Henderson & Pabis modificado para a secagem intermitente do café natural em função do tempo



Fonte: Do autor (2022).

Conforme a Figura 4, nota-se o bom ajuste dos modelos de Dois Termos e Henderson & Pabis modificado, para a secagem intermitente dos cafés naturais fermentados e não fermentados, constatando que esses modelos são adequados para representar os dados experimentais.

Em trabalhos com outros produtos, como o arroz (CIHAN; KAHVECI; HACIHAFIZOĞLU, 2007), arroz em casca (GOLMOHAMMADI *et al.*, 2016) e a cebola (TAKOUGNADI; BOROZE; AZOUMA, 2018), o modelo de Dois Termos foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem. O modelo de Henderson & Pabis modificado se ajustou também para pimenta vermelha (ALIBAS, 2012).

## 4.2 Caracterização sensorial

Foi realizada a análise estatística das médias das notas da análise sensorial por meio de Análise de Variância com teste de média Scott-Knott a 99% de probabilidade. Os resultados desta análise são apresentados nas Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 - Tabela de Análise de Variância

Fator de Variância	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Levedura	1	39,270	39,270	69,398	0,0000 *
Tempo de fermentação	2	9,593	4,796	8,476	0,0059 *
Secagem	1	7,150	7,150	12,636	0,0045 *
Bloco	1	0,260	0,264	0,460	0,5115 ns
Levedura x tempo de fermentação	2	19,291	0,965	17,045	0,0004 *
Levedura x secagem	1	4,950	4,950	8,748	0,0130 ns
Tempo de fermentação x secagem	2	6,511	3,255	5,754	0,0195 ns
Levedura x tempo de fermentação x secagem	2	2,616	1,308	2,311	0,1452 ns
Erro	12	6,225	0,566		
Total	23				
CV (%)	0,88				
Média Geral	83,61	Número de observações:		24	

\* Valores significativos a 99% de probabilidade; ns: não significativo.

Fonte: Do autor (2022).

Os fatores levedura, tempo de fermentação e secagem, individualmente, interferem significativamente nos resultados. Porém a única interação significativa é a entre o tipo (fermentação indígena ou fermentação inoculada com ADY B0620) e tempo de fermentação (0h, 48h e 96h).

As médias das notas sensoriais dos tratamentos com secagem intermitente foram significativamente maiores que dos tratamentos com secagem contínua. Na Tabela 9, são mostrados os resultados do teste de médias realizado para a secagem.

Tabela 9 – Médias das notas da análise sensorial, em função da secagem

Forma de Secagem	Médias das Notas
Intermitente	84,16 A
Contínua	83,07 B

\* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott (0,01).

Fonte: Do autor (2022).

Também foi realizado o teste de médias, para avaliar a interação entre tempo de fermentação e tipo de fermentação, apresentado na Tabela 10. As médias das notas sensoriais da fermentação indígena não apresentaram diferença significativa entre os tempos de fermentação. Já para fermentação inoculada com levedura ADY B0620, no tempo de fermentação de 0h, não houve diferença estatística da fermentação indígena, apresentando maior média que os tempos de fermentação de 48 e 96h que foram significativamente diferentes.

Tabela 10 – Médias das notas da análise sensorial, interação tempo de fermentação x levedura

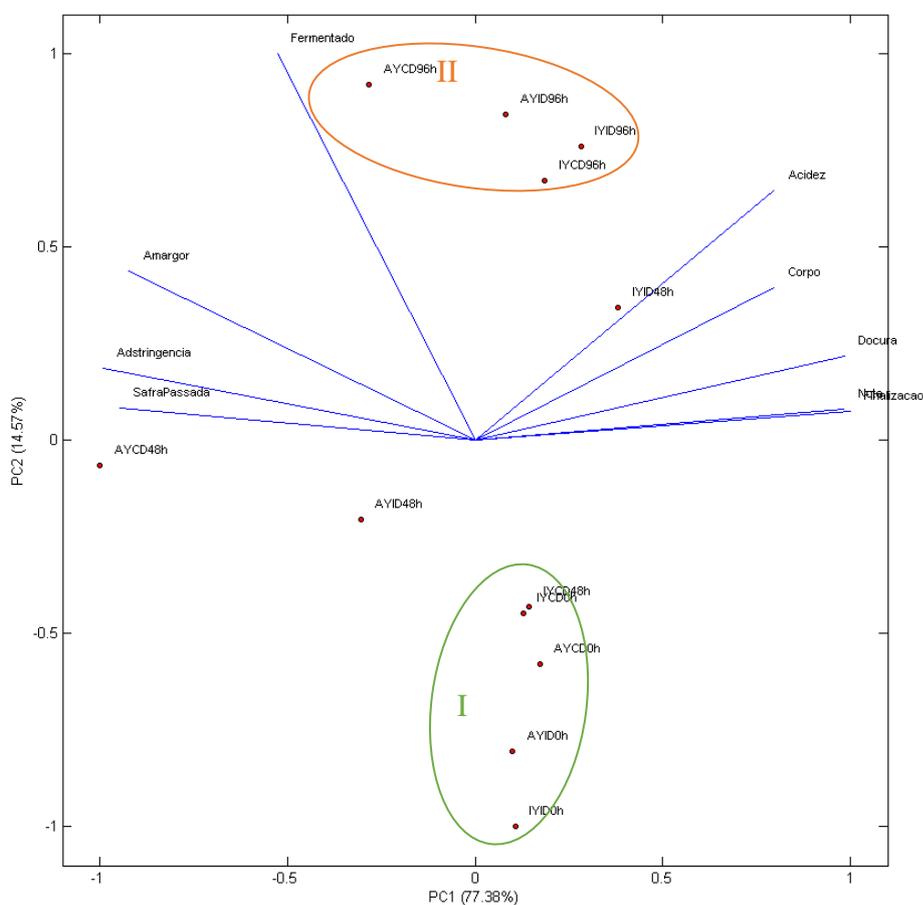
Tempo de fermentação	Fermentação Indígena	Levedura ADY B0620
0	84,05 aA*	83,88 aA
48	84,98 aA	80,48 bB
96	85,65 aA	82,65 bB

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott (0,01).

Fonte: Do autor (2022).

Para a intensidade dos atributos, foi realizada a análise de componentes principais (PCA), apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Análise de Componentes Principais (PCA) da intensidade dos atributos e nota da análise sensorial dos cafés fermentados em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e formas de secagem (contínua e intermitente)



Em que: AY – levedura ADY B0620; IY – levedura indígena; CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação. Intensidades avaliadas: doçura, acidez, corpo, finalização, adstringência, amargor, fermentado, safra velha e nota sensorial.

Fonte: Do autor (2022).

Nota-se a formação de dois grupos distintos: grupo I - tratamentos fermentados por 0h (AYCD0h, IYCD0h, AYID0h, IYID0h); grupo II - tratamentos fermentados por 96h (AYCD96h, IYCD96h, AYID96h, IYID96h). Os tratamentos fermentados por 48h diferiram nesta análise.

É apresentada uma separação entre os tratamentos, em que os AYCD0h, IYCD0h, AYID0h, IYID0h, IYCD48h, IYID48h, IYCD96h, IYID96h e AYID96h possuem correlação

positiva, apresentando maiores intensidades de doçura, corpo, finalização e nota. O tratamento AYCD96h possui maior intensidade de fermentado. E os tratamentos AYCD48h e AYID48h apresentam maiores intensidades de safra velha, adstringência e amargor.

Na análise sensorial realizada, além da obtenção dos parâmetros de nota final e intensidade dos atributos, a técnica de Check All That Apply (CATA) foi realizada. Para os descritores dos atributos de aroma e sabor estudados na análise sensorial, foram realizadas Análises Múltiplas de Fatores (MFA).

Os resultados da MFA são apresentados em três formas de gráficos.

(1) Gráfico de inércia dos grupos: analisa o efeito dos grupos nas descrições dos atributos. Quanto mais próximos os grupos estiverem, menor é a sua interferência perante as variáveis resposta. Ao passo que quanto mais distantes os grupos estiverem maior é a interferência.

(2) Gráfico de correspondência: relaciona as duas fontes de variação nos tempos de fermentação. Os vetores opostos indicam a influência dos grupos perante a fonte de variação. Quanto maior o módulo dos grupos, mais significativo é o efeito do grupo à fonte de variação.

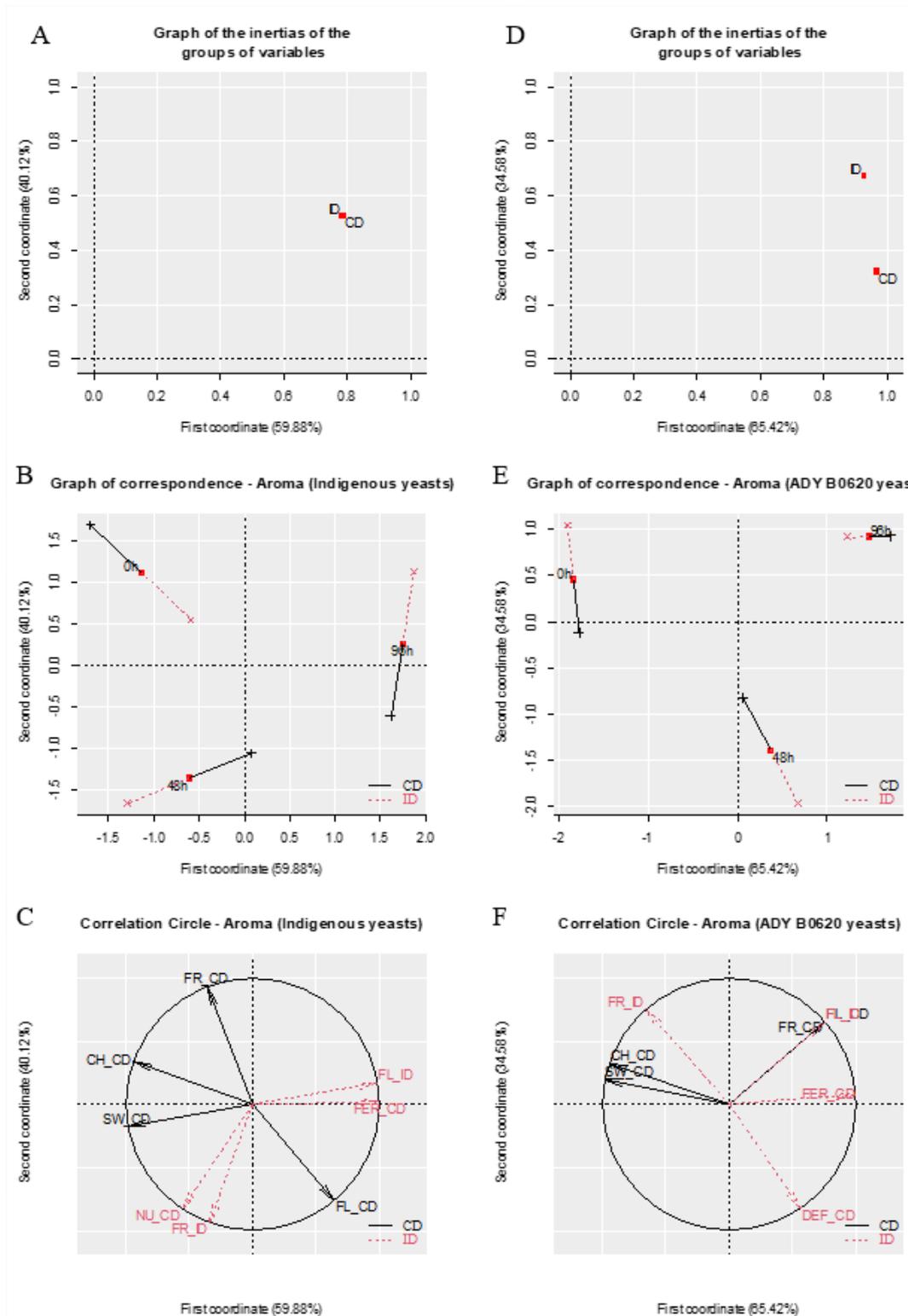
(3) Círculo de correlação: relaciona as variáveis resposta (descritores dos atributos) com as fontes de variação obtidas no gráfico de correspondência.

Os resultados da MFA, analisando a diferença dos descritores sensoriais, em função da utilização de leveduras indígenas e da levedura ADY B0620, são apresentados da Figura 6 a Figura 9.

Em que

- Grupos: são secagem contínua e intermitente;
- Fontes de variação: tempo de fermentação em função da forma de secagem (secagem contínua e secagem intermitente);
- Variáveis resposta: descritores dos atributos de aroma, sabor, acidez e corpo relacionados à secagem.

Figura 6 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) dos descritores de aroma da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente).



Em que: CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação; FR – frutado; FL – floral; SW – adocicado; CH – chocolate; NU – castanhas; FER – fermentado; DEF – defeitos.

Fonte: Do autor (2022).

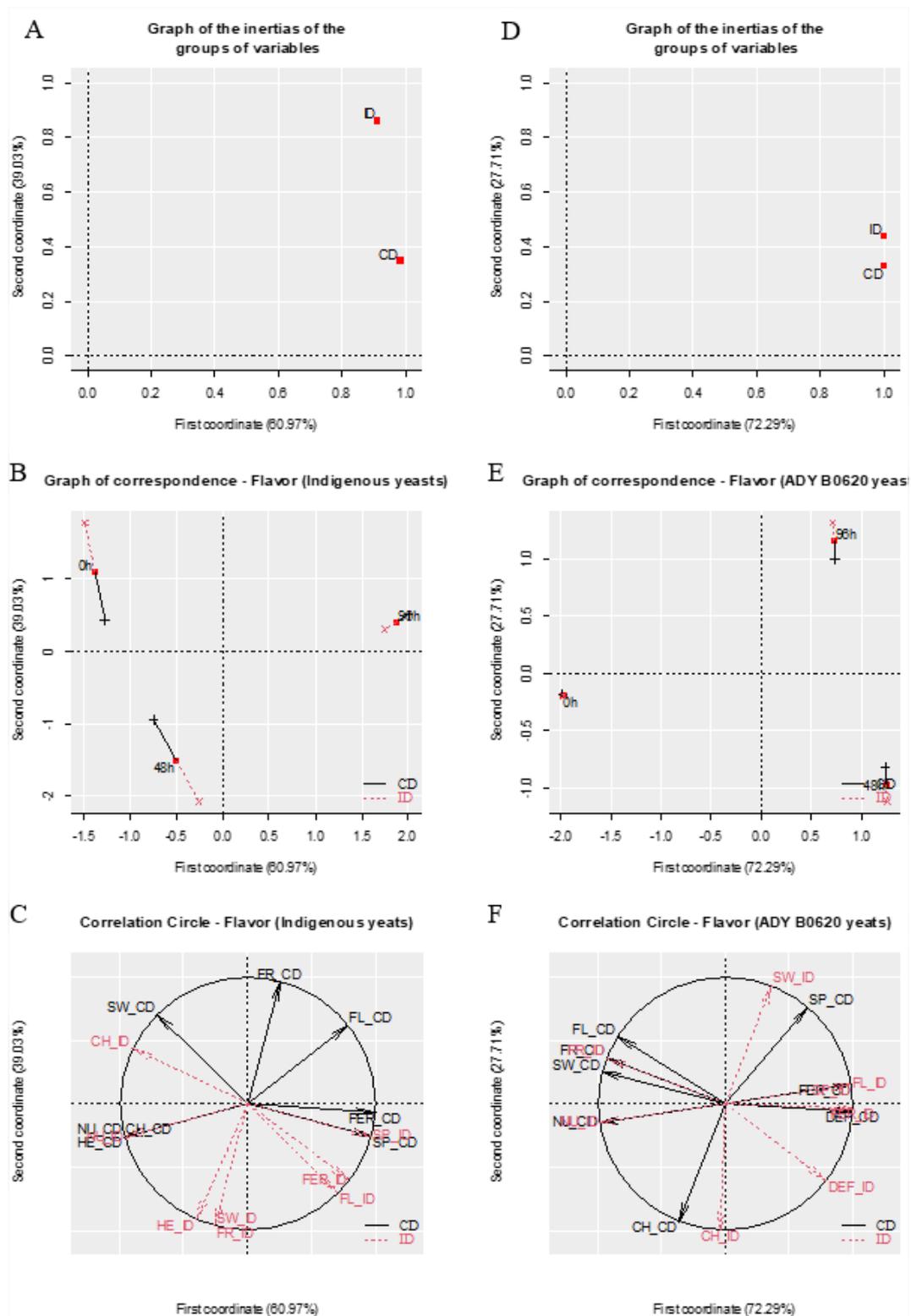
Nos gráficos de inércia dos grupos (tipo de secagem) das variáveis (tratamentos), observa-se que, para a levedura indígena, não há interferência do tipo de secagem (intermitente e secagem contínua Figura 6A). Para a levedura ADY B0620, observa-se o distanciamento dos centroides, cujo afastamento representa a variabilidade da frequência dos descritores de aroma, de acordo com cada tipo de secagem (contínua ou intermitente) (Figura 6D).

A fermentação indígena apresentou diferença para os tempos de fermentação. No gráfico de correspondência dos descritores de aroma, cada grupo ocupou um quadrante. Os vetores que representam as duas formas de secagem (intermitente e contínua), por serem de tamanhos semelhantes, mas opostos, mostram que a secagem faz diferença para o atributo aroma para cada tempo de fermentação (Figura 6B). A fermentação com inoculação da levedura ADY B0620, também, apresentou diferença entre os tempos de fermentação. No entanto os módulos da fermentação indígena dos grupos têm um tamanho reduzido, se comparados com os módulos da levedura indígena, para o grupo de 96h de fermentação, sendo o tamanho do vetor menor. Isto é, a secagem contínua para a intermitente foi insignificante para o aroma (Figura 6E).

Os círculos de correlação da fermentação indígena destacam que as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua foram descritas com aroma de chocolate e frutado. As amostras com 48h de fermentação e secagem contínua foram descritas como adocicadas e, com secagem intermitente, foram descritas com aroma de castanhas e frutado. Com 96h de fermentação e secagem contínua, foram descritas com aroma floral e secagem intermitente como aroma floral e fermentado (Figura 6C).

Os círculos de correlação da fermentação inoculada com levedura ADY B0620 mostram que as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua foram descritas com aroma de chocolate e adocicado e com secagem intermitente com aroma frutado. As amostras com 48h de fermentação e secagem intermitente foram descritas com aroma defeituoso. No entanto as amostras com 96h de fermentação e secagem contínua o aroma foi descrito como frutado e floral e secagem intermitente como floral e fermentado (Figura 6F).

Figura 7 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) dos descritores de sabor da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente).



Em que: CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação; FR – frutado; FL – floral; SW – adocicado; SP – especiarias; CH – chocolate; NU – castanhas; FER – fermentado; HE – herbáceo; DEF – defeitos.

Fonte: Do autor (2022).

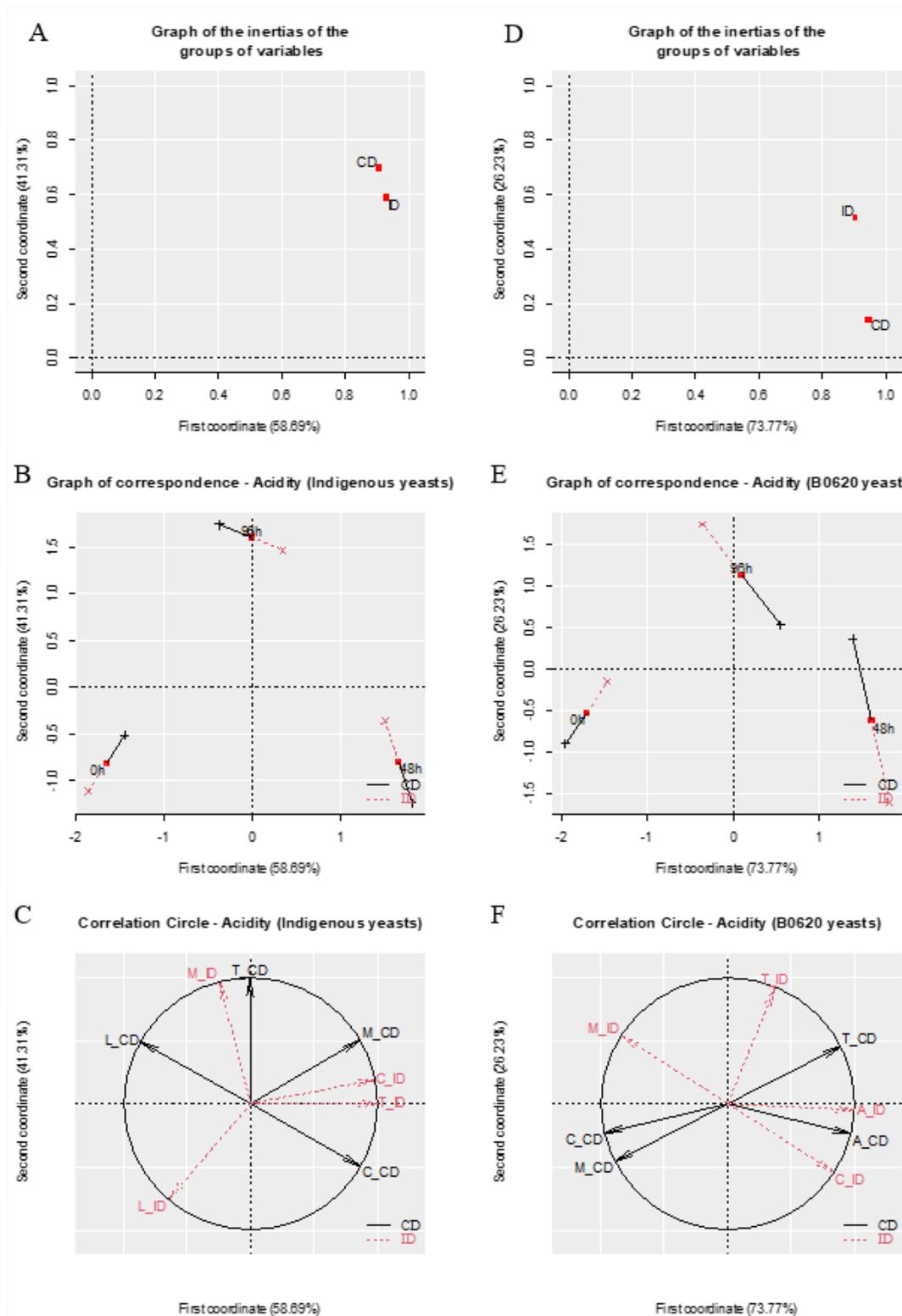
Nos gráficos de inércia dos grupos (tipo de secagem) das variáveis (tratamentos), observa-se que, para a levedura indígena, exerceu influência no sabor pelo tipo de secagem (Figura 7A), já para a levedura ADY B0620, observa-se que também há influência do tipo de secagem no sabor, mas em menor representatividade que com a levedura indígena (Figura 7D).

No gráfico de correspondência dos descritores de aroma para a levedura indígena, observa-se que existe diferença para os tempos de fermentação, tendo em vista que cada grupo ocupou um quadrante, porém, para a fermentação de 96h, a diferença é pequena pelo tamanho reduzido do módulo (Figura 7B). Para a levedura ADY B0620, também, observa-se uma diferença entre os tempos de fermentação, porém os módulos dos grupos têm um tamanho reduzido, se comparados com os módulos da levedura indígena. Para o grupo de 96h de fermentação, o módulo é quase inexistente, representando que a secagem contínua, para a intermitente, não foi significativa para o sabor (Figura 7E).

Nos círculos de correlação das leveduras indígenas, as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua foram descritas com sabor adocicado e secagem intermitente com sabor de chocolate. As amostras com 48h de fermentação e secagem contínua foram descritas com sabor de castanhas, herbáceo e chocolate e, com secagem intermitente, foram descritas com sabor de castanhas, herbáceo, adocicado e frutado e, com 96h de fermentação e secagem contínua, como aroma floral e frutado (Figura 7C).

Os círculos de correlação da levedura ADY B0620, as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua e intermitente foram descritas com sabor de chocolate e castanhas. As amostras com 48h de fermentação e secagem contínua com sabor defeituoso e secagem intermitente foram descritas com sabor defeituoso e fermentado; para as amostras com 96h de fermentação e secagem contínua, o sabor foi descrito como especiarias e fermentado e secagem intermitente como especiarias e adocicado (Figura 7F).

Figura 8 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) do tipo de acidez da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente).



Em que: CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação; C – cítrica; F – fosfórica; M – Málica; A – acética; L – lática; T – tartárica.

Fonte: Do autor (2022).

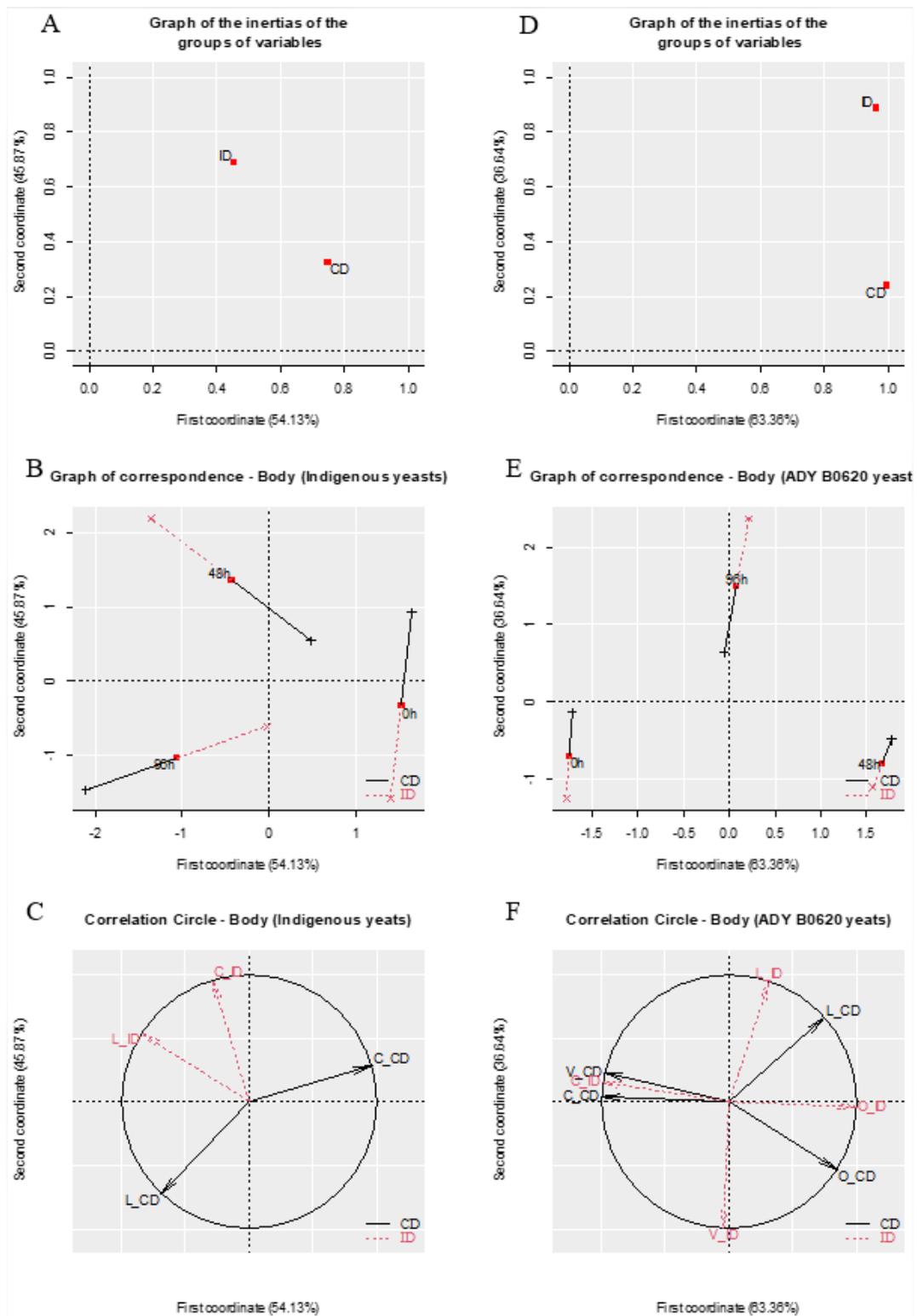
Nos gráficos de inércia dos grupos (tipo de secagem) das variáveis (tratamentos), observa-se que, para a levedura indígena, existe influência na acidez, de acordo com o tipo de secagem (Figura 8A), já para a levedura ADY B0620 observa-se que também há influência do tipo de secagem na acidez, mas em maior escala, se comparado com a levedura indígena (Figura 8D).

No gráfico de correspondência dos descritores de acidez para a levedura indígena, observa-se que há diferença, para os tempos de fermentação, tendo em vista que cada grupo ocupou um quadrante (Figura 8B). Para a levedura ADY B0620, também, observa-se uma diferença entre os tempos de fermentação. Comparando-se os módulos dos grupos, verifica-se que os tempos de fermentação têm maior influência na levedura ADY B0620, em razão do tamanho maior dos módulos (Figura 8E).

Nos círculos de correlação das leveduras indígenas, as amostras, com tempo 0h de fermentação e secagem intermitente, foram descritas com acidez láctica; as amostras com 48h de fermentação e secagem contínua foram descritas com acidez cítrica e, com secagem intermitente, foram descritas com acidez tartárica e, com 96h de fermentação e secagem contínua, com acidez tartárica e, com secagem intermitente, com acidez málica (Figura 8C).

Os círculos de correlação da levedura ADY B0620, as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua foram descritas com acidez cítrica e málica; as amostras com 48h de fermentação e secagem contínua, com acidez acética e tartárica e secagem intermitente foram descritas com acidez cítrica e acética; para as amostras com 96h de fermentação e secagem contínua, com acidez tartárica e secagem intermitente com acidez tartárica e málica (Figura 8F).

Figura 9 – Análise Múltipla de Fatores (MFA) do tipo de corpo da análise sensorial dos cafés fermentados com levedura indígena (1ª coluna) e levedura ADY B0620 (2ª coluna) em diferentes tempos de fermentação (0h, 48h e 96h) e forma de secagem (contínua e intermitente)



Em que: CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação; C – cremoso; V – viscoso; O – oleoso; L – licoroso.

Fonte: Do autor (2022).

Nos gráficos de inércia dos grupos (tipo de secagem) das variáveis (tratamentos), observa-se que, para as duas leveduras indígena e ADY B0620, existe influência no corpo da bebida e uma influência grande, porém a influência é superior com a levedura ADY B0620 (Figura 9A e D).

No gráfico de correspondência dos descritores de corpo, para as duas leveduras indígena e ADY B0620, observa-se que há diferença, para os tempos de fermentação, tendo em vista que cada grupo ocupou um quadrante (Figura 9B e E). Ao comparar os módulos dos grupos, verifica-se que os tempos de fermentação têm maior influência na levedura indígena pelo tamanho maior dos módulos.

Nos círculos de correlação das leveduras indígenas, as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem contínua foram descritas com corpo cremoso; as amostras com 48h de fermentação e secagem intermitente foram descritas com corpo cremoso e licoroso e com 96h de fermentação e secagem contínua com corpo licoroso (Figura 9C).

Os círculos de correlação da levedura ADY B0620, as amostras com tempo 0h de fermentação e secagem intermitente foram descritas com corpo viscoso; as amostras com 48h de fermentação foram descritas com corpo oleoso, não importando o tipo de secagem; para as amostras com 96h de fermentação, com corpo licoroso independentemente do tipo de secagem (Figura 9F).

Os descritores de sabor, aroma, acidez e corpo com maior correlação, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Descritores dos atributos sensoriais com maior correlação para cada tratamento

Fermentações	Tempo de fermentação	Secagem	Nota	Descritores
Indígenas	0 h	Contínua	84,2	Aroma frutado e chocolate; sabor adocicado; corpo cremoso.
		Intermitente	83,9	Sabor chocolate; acidez láctica.
	48 h	Contínua	84,6	Aroma adocicado; sabor: chocolate, adocicado e herbáceo; acidez cítrica; corpo cremoso.
		Intermitente	85,4	Aroma frutado e castanhas; sabor frutado, adocicado, castanhas e herbáceo; corpo cremoso e licoroso;
	96 h	Contínua	85,6	Aroma floral; sabor frutado, floral; acidez tartárica; corpo licoroso.
		Intermitente	85,7	Aroma floral e fermentado; acidez cítrica e málica.
ADY B0620	0 h	Contínua	84,1	Aroma chocolate e adocicado; sabor: chocolate e castanhas; acidez cítrica e málica; corpo cremoso e viscoso.
		Intermitente	83,7	Aroma frutado; sabor chocolate e castanhas; corpo cremoso e viscoso.
	48 h	Contínua	78,7	Aroma defeituoso; sabor defeituoso; acidez acética; corpo oleoso.
		Intermitente	82,3	Sabor fermentado e defeituoso; acidez cítrica e acética; corpo oleoso.
	96 h	Contínua	81,3	Aroma frutado e floral; sabor especiarias e fermentado; acidez tartárica; corpo licoroso.
		Intermitente	84,1	Aroma floral e fermentado; sabor adocicado, floral e especiarias; acidez málica e tartárica; corpo licoroso.

Fonte: Do autor (2022).

### 4.3 Caracterização Química

As sensações gustativas experimentadas, ao apreciar um café, são consequência de um equilíbrio entre a concentração dos diversos compostos voláteis e não voláteis presentes no café. Essa sensação é relatada como uma percepção multimodal, incluindo paladar, olfato, tato,

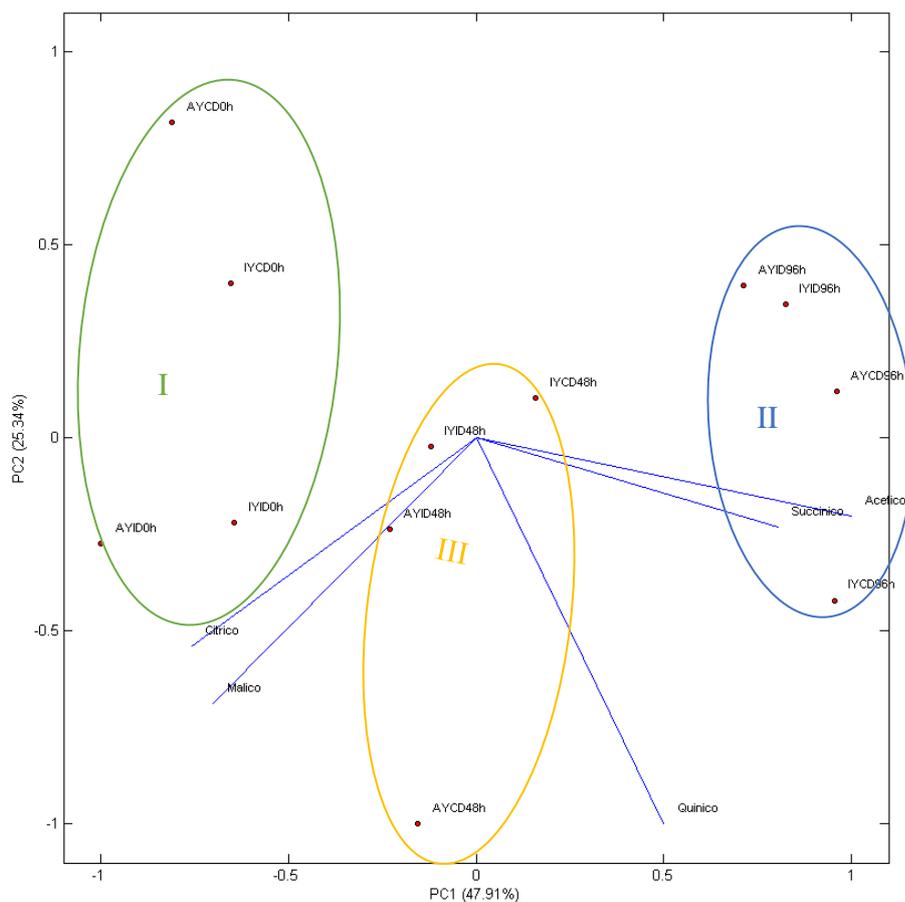
som e visão, em que a estimulação de um sentido provoca a percepção de outro sentido (FARAH, 2019).

### 4.3.1 Perfil de Ácidos orgânicos

Uma das sensações gustativas primárias do café é a acidez, como sensação positiva ou como sensação negativa. A acidez tem influência direta na qualidade sensorial da bebida, juntamente com aroma e compostos amargos e doces. Os principais compostos responsáveis pela acidez do café são os ácidos orgânicos (FARAH, 2019).

Neste estudo, foram identificados os ácidos cítrico, málico, quínico, succínico e acético, e os conteúdos desses ácidos orgânicos foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), para a melhor compreensão (Figura 10).

Figura 10 - Análise de componentes principais (PCA) de ácidos orgânicos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação.



Em que: AY – levedura ADY B0620; IY – levedura indígena; CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação. Intensidades avaliadas: Ácidos cítrico, málico, quínico, succínico e acético.

Fonte: Do autor (2022).

As duas componentes principais explicaram 73,25% da variabilidade dos dados, visto que a primeira foi responsável por explicar 47,91% e a segunda componente principal por 25,34%. É possível verificar três grupos que diferiram pelo tempo de fermentação, independente da inoculação ou do tipo de secagem.

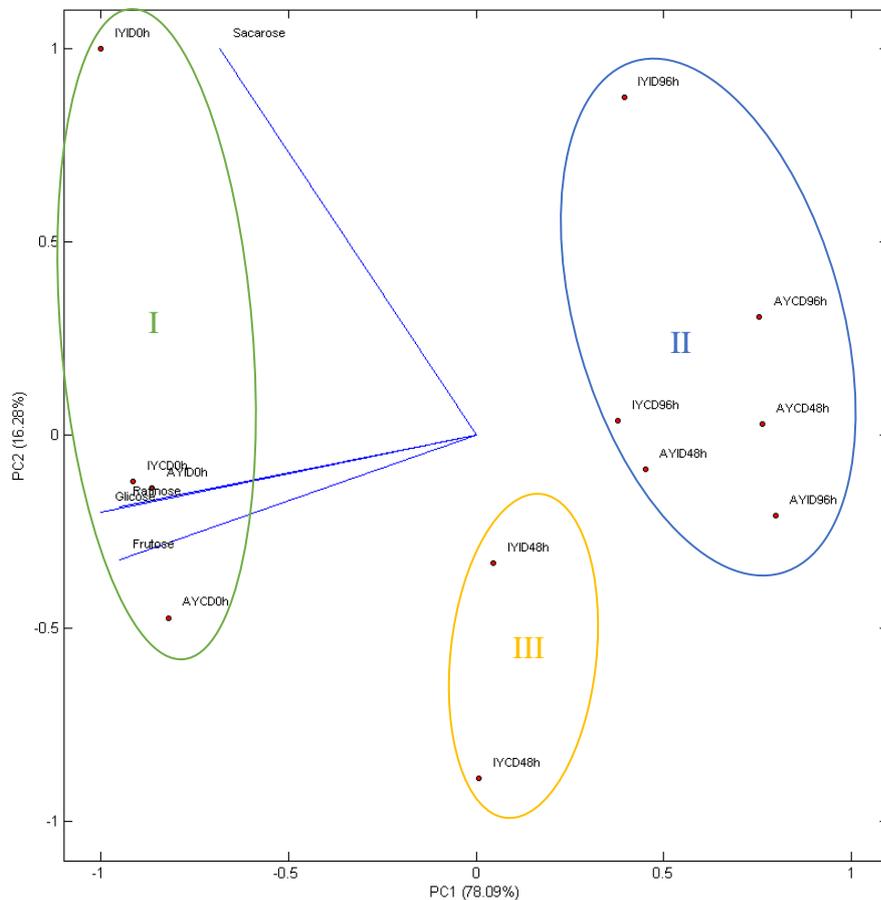
Os ácidos cítrico e málico foram correlacionados com o tempo 0h de fermentação, as amostras com o tempo de fermentação de 96h ficaram deslocadas à direita da figura, sendo correlacionadas com o ácido succínico e acético. A maior concentração desses ácidos pode ser relacionada à ação das leveduras, tendo em vista que o ácido succínico é originado, no ciclo do ácido cítrico e, também, da degradação do ácido málico (KITZBERGER; SCHOLZ; BENASSI, 2014). A produção do ácido acético pode ocorrer, a partir de fermentação de açúcares disponíveis ou utilizando o ácido cítrico como fonte (HO; FLEET; ZHAO, 2018; JAYARAM *et al.*, 2014).

Já as amostras com tempo de fermentação de 48h ficaram próximas à origem com menores concentrações de todos os ácidos, com exceção da amostra com inoculação da levedura ADY 0620, com secagem contínua que apresentou uma concentração maior de ácido quínico.

#### **4.3.2 Perfil dos Açúcares**

Os conteúdos de sacarose, rafinose, glicose e frutose foram submetidas à análise de componentes principais (PCA) (Figura 11); a primeira e a segunda componente principal explicaram juntas 94,37% da variabilidade dos dados, visto que a primeira componente explicou 78,09% e a segunda componente 16,28%.

Figura 11 - Análise de componentes principais (PCA) de açúcares presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação



Em que: AY – levedura ADY B0620; IY – levedura indígena; CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação. Intensidades avaliadas: Sacarose, Glicose, Rafinose e Frutose.

Fonte: Do autor (2022).

Para os açúcares, foram criados três grupos distintos. O Grupo I com as amostras com 0h de fermentação, sem influência da inoculação ou não e também do tipo de secagem, que estão localizadas à esquerda e têm uma correlação positiva com os açúcares sacarose, rafinose, glicose e frutose. A amostra com secagem intermitente apresentou maior quantidade de sacarose.

O Grupo II é composto pelas amostras com 96h de fermentação. Independentemente do método de fermentação, do tipo de secagem e, também, com as amostras que fermentaram por 48h que foram inoculadas com a levedura ADY 0260, independentemente do tipo de secagem,

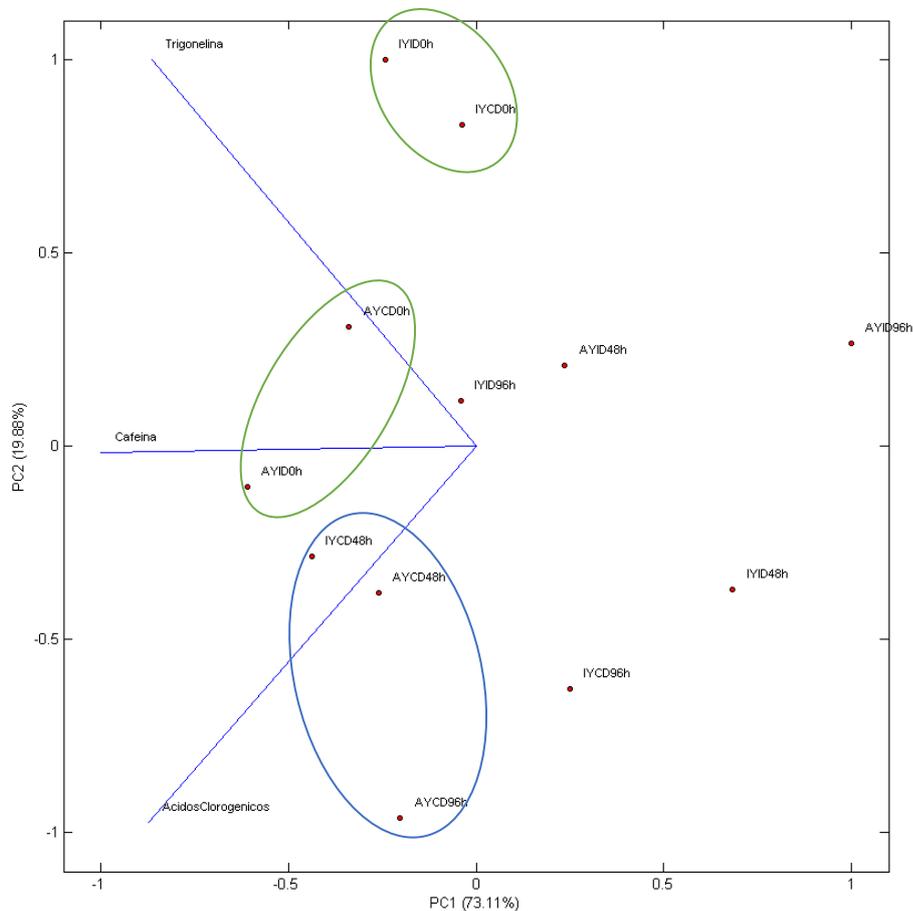
possuem correlação negativa com os açúcares, possuindo menores concentrações. O último grupo é composto pelas amostras com 48h de fermentação, sem inoculação de leveduras, independentemente do tipo de secagem.

A sacarose tem grande representatividade na quantidade de açúcares no grão verde e é considerada um precursor importante na formação de sabores e aromas. Durante a fermentação, a glicose é o primeiro açúcar a ser consumido. Os microrganismos utilizam os açúcares como fonte de carbono, para seu desenvolvimento, ocorrendo a redução gradual dos níveis desses compostos. Essas leveduras têm a capacidade de produzir compostos orgânicos como o ácido succínico (PALUMBO, 2020; SILVA *et al.*, 2013). Isso explica a redução dos índices de açúcares ao longo do tempo de fermentação. A fermentação inoculada com levedura apresentou consumo de açúcares, em menor tempo, quando comparado com a fermentação indígena (as concentrações foram estatisticamente diferentes); a inoculação da levedura deve ter acelerado o consumo dos açúcares, por isso, essas amostras ficaram relacionadas com as amostras de 96h de fermentação.

### **4.3.3 Perfil dos Compostos bioativos**

Os conteúdos de cafeína, trigonelina e ácido clorogênico foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) (Figura 12). A primeira e a segunda componente principal explicaram juntas 92,99% da variabilidade dos dados, visto que a primeira componente explicou 73,11% e a segunda componente 19,88%.

Figura 12 - Análise de componentes principais (PCA) de compostos bioativos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação



Em que: AY – levedura ADY B0620; IY – levedura indígena; CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação. Intensidades avaliadas: Trigonelina, Cafeína e Ácidos Clorogênicos.

Fonte: Do autor (2022).

Não houve um agrupamento claro para as amostras. Por meio dessa análise, é possível perceber que as amostras com tempo de fermentação 0h foram influenciadas pelo tipo de fermentação e não pelo tipo de secagem. As amostras que não foram inoculadas estão agrupadas, no primeiro quadrante esquerdo, na parte superior direita, demonstrando uma concentração maior de trigonelina. No entanto amostras que foram inoculadas pela levedura ADY 0620 ficaram mais próximas à origem e relacionadas com a cafeína e trigonelina.

As amostras de secagem contínua com e sem inoculação de leveduras com fermentação de 48h e a amostra de secagem contínua com inoculação de levedura com fermentação de 96h

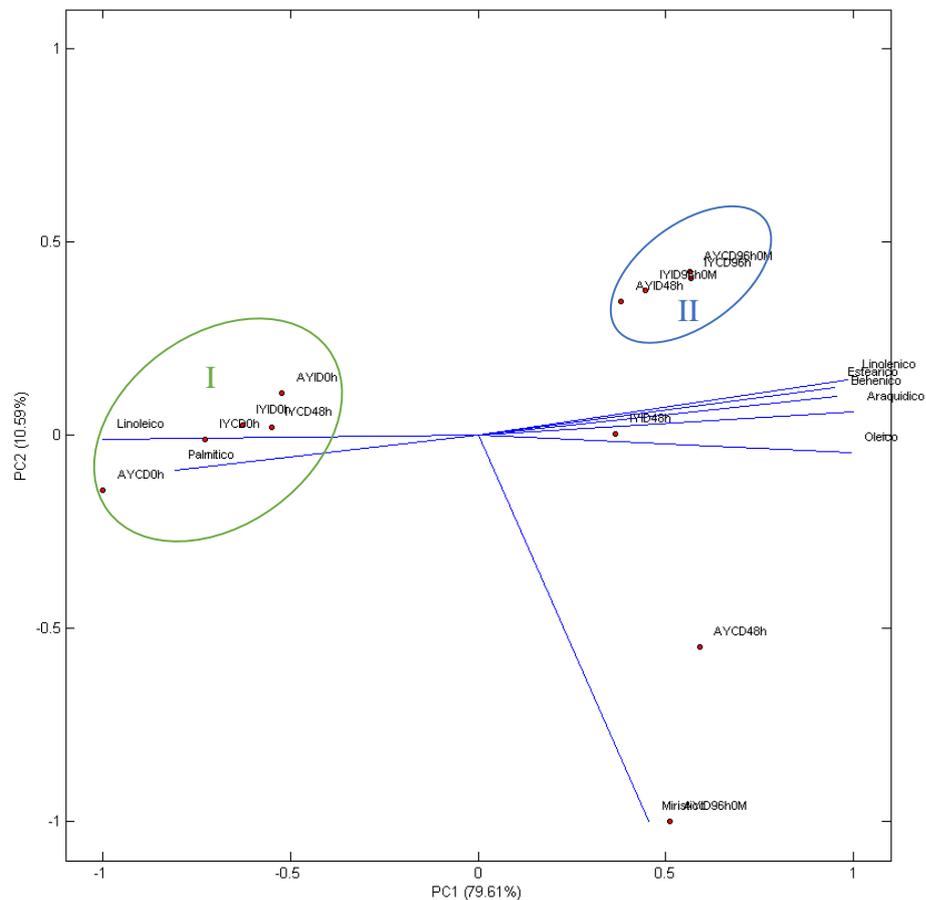
apresentaram maiores concentrações de ácidos clorogênicos e apresentaram notas finais mais baixas (Tabela 11). O ácido clorogênico contribui para a acidez final, conferindo adstringência e amargor à bebida de café (VARIYAR *et al.*, 2003).

#### **4.3.4 Perfil de Ácidos graxos**

Foram identificados oito ácidos graxos presentes, em todas as amostras analisadas, sendo eles os ácidos graxos saturados mirístico, palmítico, esteárico, araquídico, behênico, o ácido graxo monoinsaturado oleico e os ácidos graxos poli-insaturados linolênico e linoleico. O conhecimento do tipo de ácidos graxos dos grãos crus nos permite ter uma ideia da qualidade do café. Os ácidos graxos são determinantes à geração de produtos de oxidação termicamente induzidos, que reagem, durante a reação de Maillard, que ocorre durante a torração, gerando compostos relacionados às características sensoriais do café (FLAMENT, 2002).

Para a compreensão da complexidade da interação do perfil de ácidos graxos em relação a cada tratamento, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), gerando um biplot (Figura 13). As duas componentes principais foram responsáveis por explicar 90,2% da variabilidade entre os tratamentos, já que a primeira componente principal representou 79,61% e 10,59% para a segunda componente principal.

Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) de ácidos graxos presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação



Em que: AY – levedura ADY B0620; IY – levedura indígena; CD – secagem contínua; ID – secagem intermitente; 0h – 0h de fermentação; 48h – 48h de fermentação; 96h – 96h de fermentação. Intensidades avaliadas: ácidos graxos saturados mirístico, palmítico, esteárico, araquídico, behênico, o ácido graxo monoinsaturado oleico e os ácidos graxos poli-insaturados linolênico e linoleico.

Fonte: Do autor (2022).

Os ácidos graxos linoleico e palmítico foram correlacionados aos tratamentos com 0h de fermentação, independentemente do tipo de secagem e inoculação ou não e com o tratamento com 48h de fermentação sem inoculação com secagem contínua. O ácido graxo palmítico tem uma relação positiva com a qualidade e pode ser considerado como marcador da qualidade do café e o ácido graxo linoleico pode estar relacionado com uma acidez, aroma, corpo e sabor menos intenso (FIGUEIREDO *et al.*, 2015).

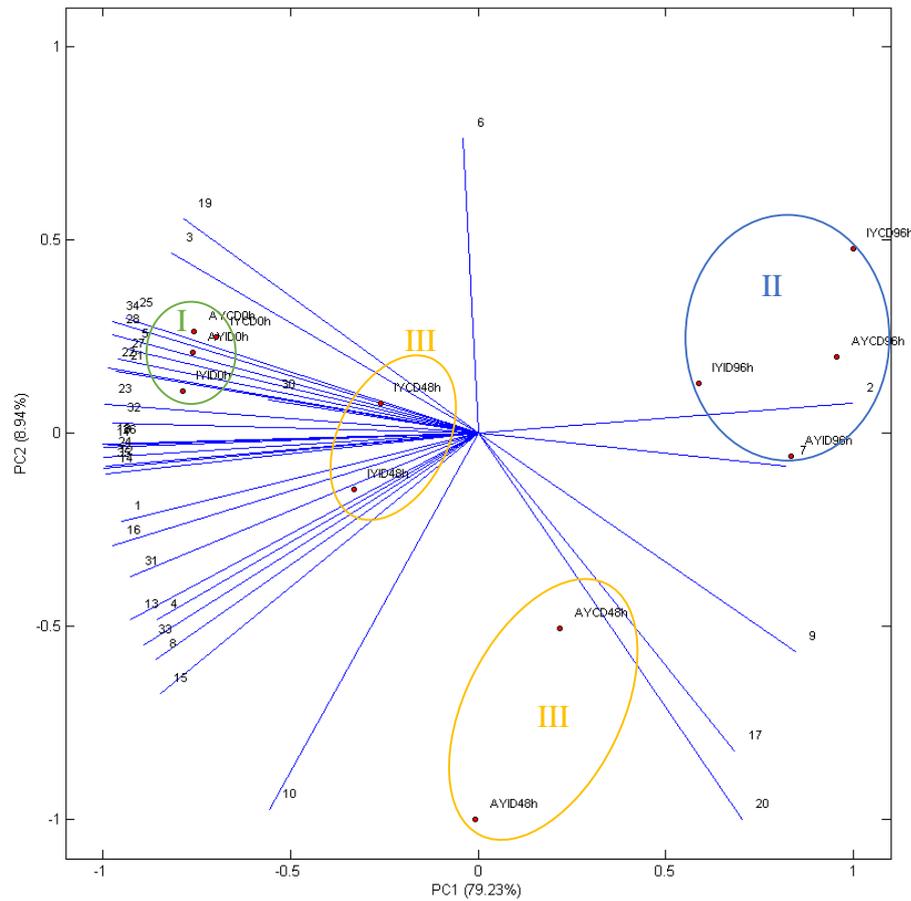
Um outro grupamento foi formado, no quadrante superior direito, sendo correlacionado com os ácidos graxos linolênico, behênico, esteárico e araquídico os quais foram relacionados com correlação positiva ao corpo da bebida (FIGUEIREDO *et al.*, 2015) e oleico, contendo as amostras com fermentação de 48h com inoculação e secagem intermitente e com fermentação de 96h com exceção da amostra com inoculação e secagem intermitente que foi correlacionada com o ácido graxo mirístico. As amostras de 48h de fermentação não tiveram tendência de formação de grupo.

#### 4.3.5 Perfil de Compostos voláteis

Os mecanismos de formação do aroma do café são extremamente complexos e têm uma grande variedade de interações entre todas as rotas envolvidas. Os mecanismos de maior representatividade incluem a Reação de Maillard e a Degradação Strecker. A reação de Maillard é uma reação entre substâncias, contendo nitrogênio (proteínas, peptídeos, aminoácidos, serotonina e trigonelina) e carboidratos redutores, hidroxíácidos e fenóis, para formar aminoaldoses e aminocetonas por condensação. A Degradação Strecker é uma reação entre um aminoácido e um  $\alpha$ -dicarbonil com a formação de uma aminocetona que se condensa para formar compostos heterocíclicos de nitrogênio ou reage com formaldeído para formar oxazoles (BUFFO; CARDELLI-FREIRE, 2004).

Trinta e quatro compostos foram identificados nesta pesquisa, entre eles, quatro ácidos, 1(um) álcool, três aldeídos, 1(um) amida, duas aminas, quatro cetonas, 1(um) dioxolano, 1(um) fenol, nove furanos, seis pirazinas, 1(um) piridina e 1(um) pirrol. A composição volátil foi analisada, por meio da análise de componentes principais (PCA) (Figura 14), com a finalidade de explicar a variação das amostras e as características químicas. Os dois componentes principais juntos explicaram 88,17% da variabilidade total dos dados. As amostras foram categorizadas em dois grupos em função do fator tempo de fermentação.

Figura 14 - Análise de componentes principais (PCA) de compostos voláteis presentes em grãos de café com inoculação e sem inoculação de leveduras em diferentes tempos totais de fermentação



Legenda - 1 - 2-metil-Furano, 2 - 4-oxo-Ácido pentanoico, 3 - 3-metil-Furano, 4 - Butanal, 5 - 2-metil-Butanal, 6 - 3-metil-Butanal, 7 - 2,4,5-trimetil-1,3-Dioxolano, 8 - 2,5-dimetil-Furano, 9 - Ácido propanoico, éster etílico, 10 - 5-etil-4-metil-3-Heptanona, 11 - 5-Nonilamina, 12 - 2,3-Pentanodiona, 13 - 1-metil-1H-pirrol, 14 - 3-metil-Fenol, 15 - Piridina, 16 - Pirazina, 17 - 1-Pentanol, 18 - metil-Pirazina, 19 - Ácido hidroxipiválico, 20 - Éter Furfurílico ou Éter Difurfurílico, 21 - metil-Ureia, 22 - 2,5-dimetil-Pirazina, 23 - 2,6-dimetil-Pirazina, 24 - etil-Pirazina, 25 - 2-etil-6-metil-Pirazina, 26 - 1-Hidroxi-2-butanona, 27 - 1,2-bis[(4-amino-3-furazanyl)oxi]-Etano, 28 - Furfural, 29 - Ácido acético, 30 - Formato de furfural, 31 - 1-(2-furanil)-Etanona, 32 - acetato-2-furanometanol, 33 - 5-metil-2-furanocarboxaldeído, 34 - 2-furanometanol.

Fonte: Do autor (2022).

O grupo I, composto pelas amostras com tempo 0 de fermentação, ficou agrupado, no quadrante superior esquerdo, independentemente do tipo de secagem (contínua e intermitente) e da levedura inoculada, isso representa que não houve influência da inoculação, tempo de fermentação e também do tipo de secagem. Essas amostras se correlacionaram com concentrações maiores de: 2-etil-6-metil-pirazina que proporciona [\[1\]](#) sabor de amendoim torrado (MAEZTU *et al.*, 2001); 2-furanometanol, que é caracterizado por apresentar aroma muito suave, ligeiramente caramelo (FLAMENT, 2002); Furfural que está associado a notas de amêndoa doce (TOLEDO *et al.*, 2016); 2-metil-butanal que é um produto da pirólise da isoleucina, mas pode também ser gerado pela reação de Maillard, proporcionando o sabor de malte presente no café (FLAMENT, 2002); 2,5-dimetil-pirazina relaciona-se com notas de avelã / torrado (AKIYAMA *et al.*, 2005); e 2,6-dimetil-pirazina tem um odor doce, noz e frutado (YU *et al.*, 2021). Esses aromas / sabores estão de acordo com os encontrados para as amostras com tempo zero de fermentação de acordo com a Tabela 11.

O segundo grupo ficou, no quadrante superior direito da figura e sofreu influência somente do tempo de fermentação, é composto pelas amostras com o tempo de fermentação de 96 horas. Esse grupo foi relacionado com maiores concentrações dos compostos ácido 4-oxo-pentanoico que tem um sabor doce, caramelo e ácido (FLAMENT, 2002) e 2,4,5-trimetil-1,3-Dioxolano são moléculas que compõem o aroma do café naturalmente. Tateo *et al.* (1998) sintetizaram os dioxolanos para simular o aroma de café.

As amostras com tempo de fermentação de 48 horas foram influenciadas pela ação da levedura. As inoculadas com a levedura ADY B0620 encontram-se, no quadrante inferior direito e apresentaram concentrações superiores de 1-Pentanol que apresenta aroma um áspero, odor químico, mas não tão pesado, porém mais penetrante, nauseante (FLAMENT, 2002), Éter Difurfurílico com aroma de notas de queimado fracas (TOLEDO *et al.*, 2016) e o Ácido propanoico lembra o odor de leite azedo, queijo ou manteiga (FLAMENT, 2002). Esses podem explicar o aroma / sabor defeituoso encontrado na Tabela 11.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições, em que foi desenvolvido o presente trabalho, conclui-se que:

- O método de secagem, após a fermentação, afeta a qualidade da bebida do café, pois a qualidade do café fermentado e seco via secagem intermitente é maior com tempo efetivo de secagem inferior;
- A fermentação combinada com a secagem contínua intensifica atributos negativos da bebida do café;
- A fermentação mais prolongada contribuiu, para o aumento do conteúdo dos ácidos succínico e acético, redução na concentração de açúcares e maior concentração de ácidos graxos linolênico, behemico, esteárico, araquídico e oleico.
- Para o café natural, nas secagens contínua e intermitente, os modelos matemáticos que melhor descreveram os dados experimentais de teor de água de equilíbrio foram os modelos de Dois Termos e Henderson & Pabis modificado.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- AKIYAMA, M. A. *et al.* Characterization of flavor compounds released during grinding of roasted robusta coffee beans. **Food Science and Technology Research**, Wageningen, v. 11, n. 3, p. 298-307, 2005.
- ALIBAS, I. Selection of a the best suitable thin-layer drying mathematical model for vacuum dried red chili pepper. **Journal of Biological & Environmental Sciences**, Turkey, v. 6, n. 17, p. 161-170, 2012.
- ALVES, G. E. *et al.* Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.
- AMARAL, R. *et al.* Simulation of coffee fruit drying using computational fluid dynamics. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 477-488, 2018.
- ARAÚJO, W. D. *et al.* Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 279-286, 2014.
- AVALLONE, S. *et al.* Involvement of pectolytic micro-organisms in coffee fermentation. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 2, p. 191-198, 2002.
- AVALLONE, S. *et al.* Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. **Current Microbiology**, New York, v. 42, n. 4, p. 252-256, 2001.
- BORÉM, F. M. Armazenamento do café. *In*: ISQUIERDO, E. P.; FERNANDES, S. M.; FERNANDES, M. (ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: Editora UFLA, 2008a. p. 351-388.
- BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: Editora UFLA, 2008b.
- BORÉM, F. M. *et al.* Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 609-616, 2014.
- BORÉM, F. M. *et al.* Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 52, p. 1-6, 2013.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira café**. Brasília, DF: Conab, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

BRESSANI, A. P. P. *et al.* Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. **Food Research International**, Barking, v. 128, p. 108773, 2020.

BUFFO, R. A.; CARDELLI-FREIRE, C. Coffee flavour: an overview. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v. 19, n. 2, p. 99-104, 2004.

BYTOF, G.; SELMAR, D.; SCHIEBERLE, P. New aspects of coffee processing: how do the different post harvest treatments influence the formation of potential flavour precursors? **Journal of Applied Botany**, Berlin, v. 74, n. 3/4, p. 131-136, 2000.

CHOU, S. K. *et al.* On the intermittent drying of an agricultural product. **Food and Bioproducts Processing**: transactions of the institution of chemical engineers, part C, Davis, v. 78, n. 4, p. 193-203, 2000.

CHRISTIE, W. W. Gas chromatography and lipids: a practical guide. **Analytical Biochemistry**, Madison, v. 184, n. 1, p. 192, Jan. 1989.

CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; CHOU, S. K. Intermittent drying of bioproducts: an overview. **Bioresource Technology**, Essex, v. 90, n. 3, p. 285-295, 2003.

CIHAN, A.; KAHVECI, K.; HACIHAFIZOĞLU, O. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p. 293-298, 2007.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. **Relatório mensal**. São Paulo: Cecafe, 2021.

CORRÊA, P. C. *et al.* Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA FILHO, L. C. *et al.* Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 797-802, 2015.

DIEGO, E. R. *et al.* Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 27, p. 2412-2422, 2016.

DUARTE, G. S.; PEREIRA, A. A.; FARAH, A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 851-855, 2010.

EVANGELISTA, S. R. **Avaliação da microbiota presente no processamento úmido do café, e do uso de culturas iniciadoras no processamento natural e semi-seco**. 2014. 183 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

EVANGELISTA, S. R. *et al.* Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. **Food Research International**, Barking, v. 61, p. 183-195, 2014a.

EVANGELISTA, S. R. *et al.* Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. **Food Microbiology**, London, v. 44, p. 87-95, 2014b.

EVANGELISTA, S. R. *et al.* Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 210, p. 102-112, 2015.

FARAH, A. Coffee production, quality and chemistry. *In*: FARAH, A. **Coffee**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2019. p. P001-P004.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2014.

FIGUEIREDO, L. P. F. *et al.* Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 10, n. 35, p. 3484-3493, 2015.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. New York: Wiley, 2002.

FRANK, H. A.; LUM, N. A.; DELACRUZ, A. S. Bacteria responsible for mucilage-layer decomposition in kona coffee. **Applied Microbiology**, Oxford, v. 13, n. 2, p. 201-207, 1965.

FREITAS, V. V. **Avaliação da fermentação do café arábica com uso de culturas starters**. 2018. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

GHOSH, P.; VENKATACHALAPATHY, N. Processing and drying of coffee: a review. **International Journal of Engineering Research & Technology**, Gujarat, v. 3, n. 12, p. 784-794, 2014.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Journal of Physics A: mathematical and theoretical**, London, v. 44, n. 8, p. 7-16, 2011.

GOLMOHAMMADI, M. *et al.* Study on drying kinetics of paddy rice: intermittent drying. **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering**, Coimbatore, v. 35, n. 3, p. 105-117, Sept. 2016.

HARUTA, S. *et al.* Succession of bacterial and fungal communities during a traditional pot fermentation of rice vinegar assessed by PCR-mediated denaturing gradient gel electrophoresis. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 109, n. 1/2, p. 79-87, 2006.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory i. temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 6, p. 169-174, 1961.

HII, C. L.; BOREM, F. M. **Drying and roasting of cocoa and coffee**. Boca Raton: CRC, 2020.

HO, V. T. T.; FLEET, G.; ZHAO, J. Unravelling the contribution of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria to cocoa fermentation using inoculated organisms. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 279, p. 43-56, Aug. 2018.

HUTKINS, R. **Microbiology and technology of fermented foods**. Ames: Blackwell, 2019.

ISQUIERDO, E. P. *et al.* Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2011.

JAY, J. M. **Microbiologia dos alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

JAYARAM, V. B. *et al.* Succinic acid in levels produced by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) during fermentation strongly impacts wheat bread dough properties. **Food Chemistry**, London, v. 151, p. 421-428, 2014.

JHAM, G. N. *et al.* Comparison of GC and HPLC for the quantification of organic acids in coffee. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 13, n. 2, p. 99-104, Mar. 2002.

JOËT, T. *et al.* Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 693-701, 2010.

KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 74, n. 4, p. 355-361, Dec. 1999.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. dos S.; BENASSI, M. de T. Bioactive compounds content in roasted coffee from traditional and modern *Coffea arabica* cultivars grown under the same edapho-climatic conditions. **Food Research International**, Barking, v. 61, p. 61-66, 2014.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 223, n. 2, p. 195-201, 2006.

KOWALSKI, S. J. Drying of porous materials. **Transport in Porous Media**, Haifa, v. 66, n. 1/2, p. 1-2, Feb. 2007.

KOWALSKI, S. J.; PAWŁOWSKI, A. Energy consumption and quality aspect by intermittent drying. **Chemical Engineering and Processing: process intensification**, Lausanne, v. 50, n. 4, p. 384-390, 2011.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: a critical review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 121, n. 1, p. 48-57, 2014.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Industrial & Engineering Chemistry**, Washington, DC, v. 13, n. 5, p. 427-432, May 1921.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7<sup>th</sup> ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MAEZTU, L. *et al.* Characterization of espresso coffee aroma by static headspace GC - MS and sensory flavor profile. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 49, n. 11, p. 5437-5444, Nov. 2001.

MARTIN, S. *et al.* Qualidade do café cereja descascado submetido a secagem contínua e intermitente, em secador de camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, p. 30-36, 2009. Número especial Café.

MASOUD, W.; JESPERSEN, L. Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 110, n. 3, p. 291-296, Aug. 2006.

MASSAWE, G. A.; LIFA, S. J. Yeasts and lactic acid bacteria coffee fermentation starter cultures. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, Genève, v. 2, n. 1, p. 41-82, Jan. 2010.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, July 2002.

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

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 4<sup>th</sup> ed. Boca Raton: CRC, 2014.

NIGAM, P. S.; SINGH, A. **Cocoa and coffee fermentations**. London: Elsevier, 2014.

OSSANI, P. C. *et al.* Qualidade de cafés especiais: uma avaliação sensorial feita com consumidores utilizando a técnica MFACT. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 92-100, 2017.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. 44 f. Degree (Master in Agricultural Engineering) - Purdue University, West Lafayette, 1949.

PALUMBO, J. M. C. **Compreendendo o impacto da fermentação de café em biorreatores fechados na microbiota e na qualidade sensorial do café**. 2020. 83 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

PEREIRA, G. V. de M. *et al.* Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans: a review. **Food Chemistry**, London, v. 272, p. 441-452, Aug. 2019.

- RABELO, M. H. S. *et al.* Impacts of quaker beans over sensory characteristics and volatile composition of specialty natural coffees. **Food Chemistry**, London, v. 342, p. 128304, Aug. 2021.
- RADÜNZ, L. L. *et al.* Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 979-986, 2010.
- RAMOS, D. M. B. *et al.* Inibição in vitro de fungos toxigênicos por *Pichia* sp. e *Debaryomyces* sp. isoladas de frutos de café (*Coffea arabica*). **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 397-402, 2010.
- RESENDE, O. *et al.* Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 247-256, 2010.
- RESENDE, O. *et al.* Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea Canephora pierre*) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.
- RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.
- RIBEIRO, F. C. *et al.* Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 47, n. 4, p. 341-348, 2011.
- RIBEIRO, L. S. *et al.* Microbiological and chemical-sensory characteristics of three coffee varieties processed by wet fermentation. **Annals of Microbiology**, Berlin, v. 68, n. 10, p. 705-716, 2018.
- SAATH, R. *et al.* Alterações na composição química e sensorial de Café (*Coffea arabica*) nos processos pós-colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96, 2012.
- SANTOS, D. da C. *et al.* Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.
- SCHNEIDER, F. A.; MALISKA, C. R. Uma formulação em volumes finitos usando malhas não-estruturadas. *In: BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING*, 2000, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABCM, 2000. p. 9-25.
- SCHWAN, R.; SILVA, C.; BATISTA, L. Coffee fermentation. *In: HUI, Y. H.; EVRANUZ, E. Ö. (ed.). Handbook of plant-based fermented food and beverage technology*. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC, 2012. p. 677-690.
- SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corn drying. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 23, n. 5, p. 1261-1265, 1980.
- SILVA, C. F. *et al.* Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 235-247, 2013.

SILVA, C. F. *et al.* Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 60, n. 2/3, p. 251-260, 2000.

SILVA, C. F. *et al.* Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. **Food Microbiology**, London, v. 25, n. 8, p. 951-957, 2008.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropa fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 278-285, jun. 2013.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Coffee standards table of contents**. Irvine: SCA, 2018.

TAKOUGNADI, E.; BOROZE, T. E. T.; AZOUMA, O. Y. Development of an intermittent drying process of onion. **Cogent Food and Agriculture**, London, v. 4, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2017.1422225#:~:text=Onion%20slices%2C%205%20mm%20thick,24%20dm3%2Fs>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TATEO, F. *et al.* Identification of 1,3-Dioxolanes in coffee-like flavorings. **Journal of High Resolution Chromatography**, Weinheim, v. 21, n. 12, p. 658-660, Dec. 1998.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: a new model. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 11, n. 4, p. 582-586, 1968.

TIEPO, C. B. V. *et al.* Sensory methodologies used in descriptive studies with consumers: Check-All-That-Apply (CATA) and variations. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. e407985705, July 2020.

TOLEDO, P. R. A. B. *et al.* Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 15, n. 4, p. 705-719, July 2016.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

VAN PEE, W.; CASTELEIN, J. The yeast flora of fermenting robusta coffee. **East African Agricultural and Forestry Journal**, Grahamstown, v. 36, n. 3, p. 308-310, 1971.

VARIYAR, P. S. *et al.* Flavoring components of raw monsooned arabica coffee and their changes during radiation processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 27, p. 7945-7950, 2003.

VERMA, L. R. *et al.* Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 28, n. 1, p. 296-301, 1985.

VILELA, D. M. *et al.* Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). **Food Microbiology**, London, v. 27, n. 8, p. 1128-1135, 2010.

VITORINO, M. D. *et al.* Metodologias de obtenção de extrato de café visando a dosagem de compostos não-voláteis. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, p. 17-24, Jan. 2001.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, Saint Joseph, v. 11, p. 1-20, 1978.

YU, J. *et al.* Analysis of volatile compounds in coffee prepared by various. **Foods**, Basel, v. 10, n. 6, p. 1347, June 2021.