

Utilização do planejamento fatorial para avaliação do impacto do processo de torrefação no perfil físico-químico de blends de café

Utilization of factorial design evaluation of impact of roasting process in the physical-chemical profile of coffee blends

Uso de diseño factorial para evaluar el impacto del proceso de tostado en el perfil fisicoquímico de mezclas de café

Recebido: 22/07/2022 | Revisado: 08/08/2022 | Aceito: 10/08/2022 | Publicado: 19/08/2022

Aline Maria Tenório Elias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8644-4870>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: alinetenorio@gmail.com

Marcelo Edvan dos Santos Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-1632>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: marcelo_eauag@hotmail.com

Venancio Ferreira de Moraes Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5759-188X>
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
E-mail: venanciomoraes@hotmail.com

Wallysson Wagner Vilela Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5589-1408>
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil
E-mail: wallysson70@gmail.com

Rodrigo Lira Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8060-9697>
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil
E-mail: rodrigolira1@outlook.com

Tatiana Souza Porto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1571-8897>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: portots@gmail.com

Suzana Pedroza da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-3093>
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil
E-mail: suzana.pedroza@ufape.edu.br

Resumo

As espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, arábica e conilon, respectivamente, são as mais utilizadas mundialmente pelas torrefadoras de café. São espécies que conferem características sensoriais distintas e variáveis em função de suas concentrações e técnicas de processamento. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo traçar o perfil físico-químico de *blends* elaborados com café arábica e conilon submetidos a diferentes condições de torrefação. Foram elaborados onze *blends*, de acordo com um planejamento fatorial completo 2^3 , em diferentes concentrações de arábica e conilon, temperatura e tempo de torra. Os *blends* foram torrados, moídos, analisados físico-quimicamente e os resultados submetidos à análise estatística. Todos os *blends* classificados como torra fina, mostraram baixa perda de massa e bom rendimento. A densidade foi mais elevada para os *blends* com maior concentração do conilon. O pH e a cor foram os parâmetros mais influenciados pelo grau de torra. Os valores de umidade, sólidos solúveis totais, extrato aquoso, cafeína e lipídeos estavam de acordo com o exigido pela legislação. Foi observado que os experimentos elaborados com 31,25% de café arábica, torrados a 170 °C por 12 min, mostraram resultados satisfatórios, em relação aos aspectos visuais e físico-químicos, indicando que este pode ser um padrão de *blend* adotado pelas indústrias torrefadoras de café.

Palavras-chave: Análises físico-química; Café; Torra.

Abstract

The species *Coffea arabica* and *Coffea canephora*, arabica and conilon, respectively, are the most widely used by coffee roasters worldwide. This work aimed to trace the physicochemical profile of blends made with Arabica and Conilon coffee subjected to different roasting conditions. Eleven blends were prepared, according to a complete 2^3

factorial design, in different concentrations of arabica and conilon, temperature and roasting time. The blends were roasted, ground, physico-chemically analyzed and the results submitted to statistical analysis. All blends classified as fine roast, showed low mass loss and good yield. Density was higher for blends with higher concentration of conilon. pH and color were the parameters most influenced by the degree of roasting. The values of moisture, total soluble solids, aqueous extract, caffeine, and lipids were in accordance with what is required by legislation. It was observed that the experiments elaborated with 31.25% arabica coffee, roasted at 170 °C for 12 min, showed good results, in relation to the visual and physicochemical aspects, indicating that it can be a standard of blend adopted by the roasting industries of coffee.

Keywords: Physical-chemical analysis; Coffee; Roast.

Resumen

Las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, arábica y conilon, respectivamente, son las más utilizadas a nivel mundial por los tostadores de café. Estas son especies que confieren características sensoriales distintas y variables dependiendo de sus concentraciones y técnicas de procesamiento. En ese sentido, este trabajo tuvo como objetivo trazar el perfil fisicoquímico de *blends* elaborados con café arábica y conilon sometidos a diferentes condiciones de tueste. Se prepararon once *blends*, según un diseño factorial completo de 23, a diferentes concentraciones de arábica y conilon, temperatura y tiempo de tostado. Las mezclas fueron tostadas, molidas, analizadas fisicoquímicamente y los resultados sometidos a análisis estadístico. Todas las mezclas clasificadas como tueste fino mostraron baja pérdida de masa y buen rendimiento. La densidad fue mayor para las mezclas con mayor concentración de conilon. El pH y el color fueron los parámetros más influenciados por el grado de tostado. Los valores de humedad, sólidos solubles totales, extracto acuoso, cafeína y lípidos estuvieron de acuerdo con lo exigido por la legislación. Se observó que los experimentos realizados con café arábica al 31,25%, tostado a 170 ° C durante 12 min, arrojaron resultados satisfactorios, en relación con los aspectos visual y fisicoquímico, indicando que este puede ser un patrón de mezcla adoptado por las industrias tostadoras de café.

Palabras clave: Análisis fisicoquímico; Café; Quemar.

1. Introdução

O café é a *commodity* agrícola mais comercializada no mundo, destacando-se como a segunda bebida mais consumida em função de suas características sensoriais e propriedades funcionais (Kang et al., 2022). Os atributos de sabor e aroma do café são formados por uma mistura complexa de compostos voláteis e não voláteis capazes de interferir nas propriedades químicas do café, como pH e acidez influenciando diretamente a aceitabilidade por parte dos consumidores (Lin et al., 2022). Adicionalmente, a presença de compostos bioativos atribuindo propriedades funcionais à bebida do café despertam o interesse do consumidor (Han & Lee, 2021). De acordo com os dados da organização internacional do café (OIC, 2022), a estimativa para o ano cafeeiro 2021/2022 é de que o consumo de café deve superar o volume de produção.

O consumo do café está inserido como um hábito cultural que atinge diferentes regiões geográficas, faixas etárias e classes sociais (Teles e Behrens, 2019). A bebida de café é produzida a partir dos grãos provenientes de arbustos da família Rubiaceae pertencente ao gênero *Coffea*, o qual possui diversas espécies, das quais destacam-se os cafés Arábica (*Coffea arabica*) e Robusta (*Coffea canephora*) como as espécies mais produzidas e comercializadas no mundo (Folmer, 2017; Perdani; et al., 2019).

As variedades de café impactam diretamente nas propriedades físico-químicas da bebida, de modo que, a formulação de *blends*, especialmente entre as espécies Arábica e Robusta, é comumente utilizada como uma alternativa na busca por um produto de qualidade sensorial adequada. De acordo com (Santos et al., 2020) a mistura de grãos de variedades de café favorece a formação das propriedades sensoriais da bebida, além de ocasionar uma redução no custo de produção em função da utilização de variedades menos exigentes em termos agrícolas.

Assim como as diversas formulações de *blends*, o processo de torrefação é um estágio crítico no processamento do café. Durante a torra, o café passa por processos como a perda de massa e umidade dos grãos, seguida de reações complexas de pirólise responsáveis pela degradação e síntese de diversos compostos precursores de aroma e sabor do café (Ruta; Farcasano, 2021). Adicionalmente, a torra ocasiona degradação de açúcares, proteínas, ácidos clorogênicos e compostos fenólicos durante

a reação de Maillard promovendo alterações físico-químicas a partir da formação de compostos voláteis como furanos, pirazinas, pirroles, ácidos e ésteres responsáveis pelas propriedades sensoriais da bebida do café (Tang et al., 2021).

As propriedades intrínsecas dos grãos, bem como as diversas variáveis de processamento influenciam diretamente as características físico-químicas do café. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo traçar o perfil físico-químico de *blends* elaborados com café arábica e robusta submetidos à diferentes condições de torrefação. As duas espécies que compõem os *blends* avaliados são as mais importantes economicamente e mais utilizadas pelas indústrias torrefadoras de café, sendo fundamental a realização de estudos sobre suas características individuais, de modo a potencializar a qualidade das combinações elaboradas, garantindo um produto com atributos físico-químicos e sensoriais adequados.

2. Metodologia

Os *blends* de café foram elaborados com amostras de café arábica e conilon, fornecidas por uma indústria torrefadora de café localizada no município de Garanhuns-PE. O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Alimentos (LAAL) na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE).

As condições experimentais foram determinadas por meio de um planejamento fatorial 2^3 com três pontos centrais para os *blends* de café arábica e conilon a partir do qual, foi estabelecido um total de 11 ensaios. A distribuição de níveis por experimento está apresentada na Tabela 1. Foram estudadas, como variáveis independentes, a temperatura (140, 170 e 200 °C), o tempo de torrefação (7, 12 e 17 min) e a concentração de café arábica nos *blends* (12,5, 31,25 e 50 %). Os valores das variáveis independentes foram determinados a partir das condições de processamento comumente utilizadas em indústrias torrefadoras de café.

A torra foi realizada em chapa aquecedora com controle de temperatura, seguindo as condições estabelecidas no planejamento experimental (Tabela 1). Os grãos foram moídos em moinho convencional e a produção de *blends* de café arábica e conilon foi realizada seguindo os limites estabelecidos pela legislação vigente, IN 16/2010 (BRASIL, 2010).

As análises de rendimento, teor de umidade, teor de cinzas, densidade aparente, cor, pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, índice de acidez, índice de saponificação, proteínas, carboidratos por diferença, extrato aquoso e teor de cafeína foram realizadas de acordo com os Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz (2008).

A granulometria foi determinada com base na porcentagem de retenção em peneiras granulométricas com agitação por 10 minutos e reostato na posição 5, de acordo com a metodologia descrita pela Brasileira da Indústria de café (ABIC, 2013). Perda de Massa foi avaliada de acordo com a metodologia descrita por Campos (2016), a partir da razão entre as massas dos grãos crus e torrados. A determinação do teor lipídico foi realizada por meio de extração tipo Soxhlet, utilizando n-hexano como solvente seguindo a metodologia descrita por Detmann et al. (2012). Os níveis de acidez/ácidos graxos livres foram determinados por titulometria de acordo com a metodologia descrita por Quast e Aquino (2004), sendo expresso em porcentagem de ácidos graxos livres (%AGL). As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata e a influência das diferentes condições de processamento nas variáveis dependentes foi avaliada utilizando o *software* Statistica 7.0.

Tabela 1. Condições experimentais dos experimentos de torra de blends de café de acordo com um planejamento fatorial completo 2³.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração do café arábica (%)
1	140	7	12,5
2	200	7	12,5
3	140	17	12,5
4	200	17	12,5
5	140	7	50
6	200	7	50
7	140	17	50
8	200	17	50
9	170	12	31,25
10	170	12	31,25
11	170	12	31,25

Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

A granulometria de todas as amostras avaliadas foi classificada como fina (0 % de retenção em peneiras 12 e 16), indicando a classificação comercial de “Café Tradicional” segundo o Regulamento Técnico da ABIC (2013). De acordo com Oliveira et al. (2014) a granulometria, juntamente com o grau de torra exerce influência importante sobre o teor de umidade de cafés torrados e moídos. A moagem dos grãos aumenta a área superficial facilitando a absorção de umidade do meio. Adicionalmente, Córdoba et al. (2020) enfatizam que fatores como o tamanho e a forma das partículas tendem a afetar as taxas de extração e difusão dos compostos químicos presentes no pó do café, afetando significativamente os atributos sensoriais da bebida final.

Os maiores percentuais de perda de massa foram registrados nos ensaios 4 e 8, sendo de 18,90% e 16,34% respectivamente. Ambos foram submetidos ao processo de torrefação mais drástico (200 °C por 17 min) (Tabela 2). Os ensaios 1 e 5 destacaram-se por apresentar as menores perdas de massa, 11,30% e 11,66%, respectivamente, e ambos passaram pelo processo de torrefação mais ameno, sendo à temperatura de 140 °C por 7 min. Esses resultados indicam que a perda de massa é dependente da temperatura no processo de torrefação, de modo que, temperaturas mais elevadas ocasionaram maior percentual de perda de massa da amostra. No entanto, a concentração das variedades de café e os tempos de torrefação avaliados nesse estudo não mostraram efeitos significativos para massa percentual, assim como as interações entre as 3 variáveis independentes também não mostraram efeitos significativos para os 11 ensaios analisados em relação à perda de massa (Tabela 2). O processo de desidratação ocasionado pela torrefação contribui para a perda de massa do grão, porém os níveis de desidratação são variáveis em função do grau de torra, onde as torras mais escuras promovem maior perda de massa (Schenker & Rothgeb, 2017).

Tabela 2. Resultados experimentais referentes aos parâmetros físico-químicos de cafés torrados sob diferentes condições de acordo com um planejamento fatorial completo 2³.

Parâmetros	Ensaio										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PM (%)	11,30±0,00	14,64±0,00	14,50±0,00	18,90±0,00	11,66±0,00	15,70±0,00	13,32±0,00	16,34±0,00	14,90±0,00	13,68±0,00	12,80±0,00
Rend. (%)	99,10±0,00	96,89±0,00	98,47±0,00	91,63±0,00	98,42±0,00	94,41±0,00	97,02±0,00	91,33±0,00	97,47±0,00	96,88±0,00	99,38±0,00
Umidade (%)	3,58±0,28	5,09±0,81	3,07±1,07	2,92±0,15	3,11±0,51	3,73±0,87	3,13±1,07	2,07±1,50	3,12±0,22	3,06±0,41	3,40±0,09
Cinzas (%)	5,13±1,13	4,77±0,70	5,89±0,68	5,21±0,07	5,19±0,151	4,23±0,20	5,10±0,72	5,49±1,30	4,92±0,82	5,08±0,29	4,47±0,67
ρ_{ap} (g/mL)	0,56±0,00	0,50±0,00	0,48±0,00	0,48±0,00	0,53±0,00	0,46±0,00	0,49±0,00	0,46±0,00	0,49±0,00	0,51±0,00	0,50±0,00
L*	39,65±1,20	28,65±1,46	22,30±1,69	16,30±0,28	23,95±0,78	21,85±0,35	25,65±0,35	14,45±0,21	20,55±0,07	21,60±1,62	21,35±0,07
a*	11,90±2,83	13,20±0,71	10,95±1,06	8,30±0,00	10,15±0,49	12,90±0,74	12,45±1,06	8,10±0,28	9,80±0,56	9,40±0,14	9,45±0,35
b*	25,75±0,49	18,65±2,33	16,40±0,28	9,50±2,40	15,65±1,20	14,90±0,98	17,25±2,16	8,65±0,49	10,85±2,05	13,10±0,77	14,30±0,99
pH	5,83±0,04	5,92±0,03	5,81±0,05	6,21±0,04	5,61±0,16	6,10±0,27	5,70±0,08	6,07±0,09	5,85±0,06	5,81±0,11	5,75±0,08
SST (%)	29,00±0,00	29,00±0,00	29,00±0,00	29,00±0,00	30,00±0,00	30,00±0,00	30,00±0,00	29,00±0,00	29,00±0,00	30,00±0,00	30,00±0,00
ATT (%)	85,44±0,00	89,00±0,78	99,68±0,14	89,00±0,07	131,72±0,35	117,49±0,21	96,12±0,49	74,76±0,07	67,64±0,07	138,84±0,07	103,24±0,49
IA (mg NaOH/g)	1,60±0,00	2,00±0,56	2,00±0,56	2,40±0,00	1,60±0,00	1,60±0,00	2,00±0,56	2,40±0,00	2,40±0,00	1,60±0,00	1,60±0,00
AGL (%)	1,12±0,00	1,40±0,39	1,40±0,39	1,68±0,00	1,12±0,00	1,12±0,00	1,40±0,39	1,68±0,00	1,68±0,00	1,12±0,00	1,12±0,00
Lipídeos (%)	20,04±0,15	23,77±0,94	18,71±0,43	19,24±0,37	22,42±0,03	22,43±0,97	24,42±0,25	20,22±0,71	23,71±0,55	20,82±0,95	19,93±0,26
IS (mg KOH/g)	142,59±0,00	145,27±0,00	144,38±0,00	148,88±0,00	145,27±0,00	144,83±0,00	146,17±0,00	145,27±0,00	142,59±0,00	145,72±0,00	142,59±0,00
Açúcares redutores (%)	0,911±0,000	0,911±0,000	0,911±0,000	0,914±0,000	0,911±0,000	0,911±0,000	0,980±0,000	0,980±0,000	0,917±0,000	0,911±0,000	0,980±0,000
Proteínas (%)	11,28±0,26	10,49±0,47	9,62±0,09	9,18±0,61	11,36±0,85	10,49±0,23	7,87±0,85	8,75±0,03	11,37±0,00	11,37±0,00	14,00±0,00
Carb. (%)	66,14±0,63	65,48±0,22	70,78±0,36	71,49±0,13	66,32±0,31	66,51±0,70	67,42±0,22	68,48±0,40	68,64±0,26	68,72±0,55	65,98±0,27
Extrato Aquoso (%)	20,50±0,05	21,5±0,01	22,50±0,07	22,50±0,01	26,25±0,01	24,75±0,00	22,00±0,02	29,75±0,03	25,25±0,00	26,25±0,03	24,00±0,02
Cafeína (%)	1,24±0,57	1,38±0,63	1,06±0,00	1,39±0,60	1,39±0,03	1,45±0,05	1,46±0,06	1,60±0,00	1,44±0,60	1,57±0,55	1,62±0,52

(PM) Perda de Massa; (ρ_{ap}) Densidade Aparente; L* Luminosidade variando do branco (L=100) ao preto; a* Coloração na região do vermelho (+a*) ao verde (-a*); b* Coloração no intervalo do amarelo (+b*) ao azul (-b*); (SST) Sólidos Solúveis Totais; (ATT) Acidez Total Titulável; (IA) Índice de Acidez; (AGL) Ácidos Graxos Livres; (IS) Índice de Saponificação. Fonte: Autores.

Após o processamento todos os ensaios apresentaram resultados de rendimento acima de 91% (Tabela 2). Foi observado que o ensaio 1 submetido a uma torra mais branda (140 °C por 7 min) apresentou o maior rendimento (99,10%), enquanto o ensaio 8 submetido à torra mais drástica (200 °C por 17 min), apresentou menor percentual de rendimento (91,33%). Esse comportamento pode estar relacionado com a contração na estrutura dos grãos durante a torrefação em função da grande quantidade de calor absorvido, resultando em uma rápida vaporização do seu conteúdo de água (Fadai et al., 2017). Foi observado que o aumento da temperatura reduziu o rendimento das amostras. Entretanto, a concentração de café e o tempo de torrefação, não mostraram efeitos estatisticamente significativos para o atributo rendimento analisado nos diferentes *blends* estudados (Tabela 3).

Tabela 3. Efeitos estatísticos calculados para as respostas das análises físico-químicas dos *blends* de cafés em diferentes condições de torra de acordo com um planejamento fatorial completo 2³.

Variáveis ou Interações	(1)	(2)	(3)	1 X 2	1 X 3	2 X 3
	Temperatura de Torra	Tempo de Torra	Concentração de Café Arábica			
PM (%)	5,086*	3,272	-0,737	0,134	-0,245	-1,723
Rend. (%)	-5,339*	-2,806	-1,534	-1,707	-0,113	-0,381
Umidade (%)	2,075	-8,416*	-4,922*	-6,507*	-3,597	2,026
Cinzas (%)	-1,602	2,643	-0,799	1,151	0,420	-0,033
ρ_{ap} (g/mL)	-5,630*	-4,950*	-2,761	3,535	-1,452	-2,121
L	-17,526*	-22,8*	-11,444*	-2,643	1,635	15,470*
a*	-3,061	-13,545*	0,559	-17,925*	-0,996	5,434*
b*	-4,123	-4,673*	-2,177	-1,544	0,723	2,796
pH	9,932*	2,318	-1,755	1,335	2,500	-1,475
SST (%)	-0,786	-0,612	1,699	-0,612	-0,559	-0,612
ATT (%)	-0,474	-0,636	0,530	-0,212	-0,269	-0,919
IA (mg NaOH/g)	0,955	1,531	-0,287	0,306	-0,314	0,306
AGL (%)	0,955	1,531	-0,287	0,306	-0,314	0,306
Lipídeos (%)	-0,521	-1,086	1,338	-1,326	-1,493	1,011
IS (mg KOH/g)	1,334	1,319	0,262	0,266	-1,728	-0,794
Açúcares redutores (%)	-0,563	1,304	1,182	0,277	-0	1,249
Proteínas (%)	-0,645	-1,909	-0,853	0,489	0,407	-0,526
Carboidrato (%)	0,334	3,111	-1,151	0,508	0,261	-1,719
Extrato Aquoso (%)	1,794	1,176	4,504*	2,588	1,816	-0,706
Cafeína (%)	1,958	0,190	2,575	1,027	-0,822	1,484

(PM) Perda de Massa; (ρ_{ap}) Densidade Aparente; L* Luminosidade variando do branco (L=100) ao preto; a* Coloração na região do vermelho (+a*) ao verde (-a*); b* Coloração no intervalo do amarelo (+b*) ao azul (-b*); (SST) Sólidos Solúveis Totais; (ATT) Acidez Total Titulável; (IA) Índice de Acidez; (AGL) Ácidos Graxos Livres; (IS) Índice de Saponificação. *Valores estatisticamente significativos para $p < 0,05$. Fonte: Autores.

A avaliação dos teores de umidade mostrou que o ensaio 8 apresentou o menor percentual de umidade ($2,07 \pm 1,50$ %), no entanto, o mesmo resultado não foi observado no ensaio 4 ($2,92 \pm 0,15$ %), submetido às mesmas condições de torra. A diferença entre os ensaios 4 e 8 consiste nas concentrações de café robusta (87,5% e 50%, respectivamente). Segundo Agnoletti et al. (2019), o café conilon é considerado mais resistente ao calor, conseqüentemente, requer uma torra rigorosa para

ser reduzida a umidade dos grãos aos níveis desejados. Por outro lado, o ensaio 2 submetido a temperatura de 200 °C por 7 min e contendo 12,5% de café arábica, apresentou o maior percentual de umidade dentre as condições estudadas. Foi observado que as variáveis independentes tempo e concentração da variedade arábica, apresentaram efeitos estatisticamente significativos negativos (Tabela 3). A variável temperatura não mostrou efeito significativo sob a umidade, isso porque, a temperatura mínima utilizada nos ensaios (140 °C) já é capaz de reduzir com muita eficiência a umidade do material. Foi percebido que o aumento do tempo e percentual de café arábica provoca a redução da umidade na amostra, bem como a interação entre esses parâmetros apresentou influência significativa nos teores de umidade.

O teor de umidade exerce influência na qualidade do café, impactando a atividade microbiana e enzimática, afetando a preservação do produto e alterando suas características fundamentais, como aroma e sabor (Agnoletti et al., 2019). Para o café torrado e moído, a Instrução Normativa (IN 16/2010) determina como limite máximo permitido, o valor de 5% de umidade. Nesse sentido, com exceção do ensaio 2, todas as amostras em nosso estudo podem ser consideradas como adequadas ao padrão da instrução normativa IN 16/2010.

Os percentuais de cinzas nos ensaios estudados variaram entre $4,23 \pm 0,20$ % e $5,89 \pm 0,68$ % (Tabela 2). A IN 16/2010 determina 5% como limite máximo da presença de cinzas em amostras de café, um teor mais elevado nesse parâmetro pode indicar uma quantidade elevada de impurezas provenientes de defeitos extrínsecos. As condições de torra influenciaram nos valores de densidade, sendo que para torras mais brandas, ensaios 1 e 5, os valores de densidade aparente encontrados foram os maiores, 0,56 e 0,53, respectivamente (Tabela 2). A maior densidade aparente foi encontrada no ensaio 1, o qual possuía maior concentração de café robusta (87,5%). Resultados semelhantes foram observados por Moura et al. (2007), que também observaram aumento da densidade aparente a partir do aumento da concentração de robusta na mistura. Diferenças nos valores de densidade (g/mL) podem estar relacionada a variação genética entre as cultivares, onde o *Coffea canephora* apresenta densidade relativamente maior do que o *Coffea arábica*.

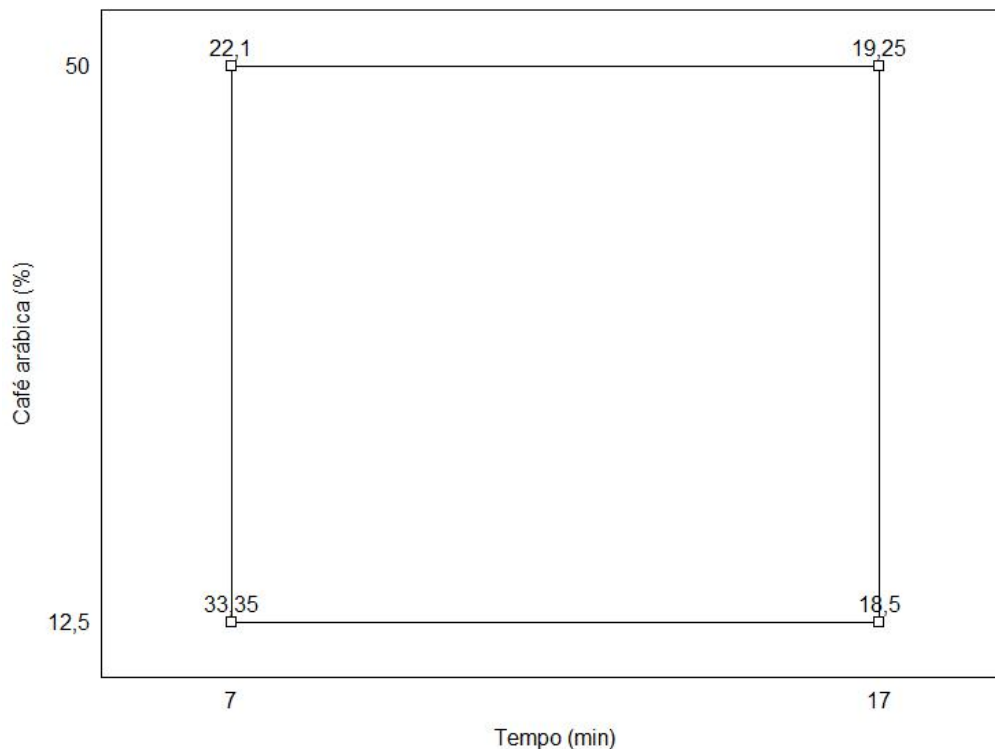
A coloração é o principal atributo para descrever o grau de torra do café. Determinada a partir do parâmetro L (luminosidade) que pode variar de 0 (preto) a 100 (branco), a torra do café pode ser classificada como clara, média ou escura. Almeida-Couto et al. (2020), ao avaliarem a cor de cinco diferentes marcas comerciais de cafés torrados e moídos, observaram uma relação entre os parâmetros L, a* e b* com o grau de torra, corroborando com os resultados obtidos neste estudo. O ensaio 1 (140 °C por 7 min) apresentou uma torra muito clara, obtendo o valor $39,65 \pm 1,20$ para o parâmetro luminosidade. Para os ensaios 2, 5 e 7 foram obtidos valores L de $28,65 \pm 1,46$, $23,95 \pm 0,78$ e $25,65 \pm 0,35$ respectivamente, indicando um perfil de torra clara. Embora o consumo da bebida café seja influenciado por hábitos pessoais, fatores culturais, sociais e econômicos, o grau de torra impacta diretamente nas características sensoriais da bebida café. Nesse sentido, torras muito claras não são recomendáveis para as bebidas de café por conferirem, após a infusão, pouca acidez e corpo, podendo atribuir sabor de grãos crus/verdes ou amadeirado.

Segundo Easto e Willhoff (2017), esse fato pode ser atribuído ao pouco tempo de exposição ao calor, não sendo suficiente para que ocorra as reações químicas responsáveis pelo desenvolvimento do perfil sensorial da bebida café. Para os ensaios 4 e 8, os quais receberam as condições mais extremas de torra (200 °C por 17 min), foram observados valores de $16,30 \pm 0,28$ e $14,45 \pm 0,21$, respectivamente, sendo classificadas como as amostras mais escuras. Segundo Poisson et al. (2017), bebidas extraídas a partir de grãos submetidos à torra muito escura pode apresentar gosto queimado característico, elevado amargor, baixa acidez, de modo geral baixa complexidade sensorial, devido a degradação de compostos químicos ao longo do processo de torra.

Os ensaios 6, 9, 10 e 11 apresentaram valores intermediários para o parâmetro L, sendo classificados como torra média. De acordo com segundo Michelman e Carlsen (2018), grãos de café submetidos a torra média proporcionam uma bebida com maior complexidade sensorial, realçando atributos de corpo, aroma, acidez e doçura na bebida do café. A

luminosidade (L) dos grãos de café foi influenciada significativamente por todas as variáveis independente, apresentando efeito negativo para cada uma delas. Uma interação sinérgica significativa foi observada para as variáveis tempo e concentração de café arábica, que pode ser mais bem visualizada na Figura 1, indicando que a diminuição de ambas as variáveis resultará em grãos de cafés mais claros.

Figura 1. Diagrama de representação geométrica da interação entre as variáveis tempo e concentração de café arábica no parâmetro luminosidade (L) dos grãos de café submetidos ao processo de torra.



Fonte: Autores.

Uma coloração relativamente mais amarelada (coordenada b^*) foi observada para os ensaios 1 e 2, os quais possuíam 87,5% do *Coffea canephora* em sua composição. A cor mais amarelada aparece mais expressivamente com uma maior concentração de café robusta em função da cor natural dos grãos, os quais apresentam coloração mais amarelo/marrom do que os pertencentes à variedade arábica mesmo após o processamento. As amostras provenientes dos ensaios 4, 6 e 8 mostraram valores de pH acima de 6 (Tabela 2), o que evidencia a perda dos ácidos e que processos de torra muito extremos (200 °C) geram um produto de qualidade reduzida, pelo sabor amargo muito acentuado. Teixeira et al. (2016) afirmaram que quanto maior a intensidade da torra, maior o valor do pH, pois ocorre degradação dos ácidos formados no início do processo de torrefação. A variável independente temperatura foi a única estatisticamente significativa (Tabela 3), apresentando efeito positivo indicando que maiores temperaturas irão resultar em blends de café com valores de pH mais elevados.

O teor de sólidos solúveis totais ficou entre 29 e 30% para todos os experimentos avaliados (Tabela 2). Os resultados obtidos indicam que todos os experimentos elaborados se encontraram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, que determina um teor mínimo de 25% de sólidos solúveis totais para café torrado e moído (Brasil, 2010). O teor de sólidos solúveis totais no café está associado ao atributo “corpo” da bebida, quanto maior for o teor de SST, mais “encorpada” será a bebida final.

Os valores obtidos na análise de acidez total titulável foram bastante variáveis e ficaram entre $67,64 \pm 0,07$ e $138,84 \pm 0,07$ % (Tabela 2). Agnoletti et al. (2019) ao avaliar grãos de café do tipo arábica e conilon observaram que tanto para o café arábica quanto para o café conilon os percentuais de acidez total foram elevados após a torra, e, destacou ainda, que em média o café arábica (94,70 a 301,07 %) apresenta maior acidez quando comparado com a variedade conilon (86,26 a 171,47 %). As diferenças observadas nos níveis de acidez total titulável podem ser explicadas por fatores como o estágio de maturação dos grãos, *terroir*, práticas agrícolas empregadas nas etapas de beneficiamento e secagem, e ainda, tipo de torra empregado, fazendo com que ocorra uma maior ou menor degradação dos ácidos orgânicos presentes nos grãos de café (Poisson et al., 2017).

Os resultados encontrados para índice de acidez nos experimentos variaram entre 1,6 e 2,4 mg NaOH/g. De acordo com Quast e Aquino (2004), o índice de acidez está diretamente relacionando com a coloração do café, de modo que amostras mais escuras apresentam índices de acidez mais elevados. Analisando os ensaios 4, 8 e 9, os quais apresentaram os menores valores de "L", $14,45 \pm 0,21$; $16,30 \pm 0,28$; $20,55 \pm 0,07$, respectivamente, observou-se que estes tratamentos apresentaram os maiores índices de acidez, semelhantemente aos resultados reportados por Quast e Aquino (2004). Adicionalmente, o índice de acidez revela o estado de conservação da fração lipídica. Alguns fatores como aquecimento e luz aceleram a decomposição dos glicerídeos favorecendo a formação de ácidos graxos livres, afetando negativamente a estabilidade do produto (Fuentes, 2011). Para ácidos graxos livres, os valores médios percentuais variaram entre 1,12 e 1,68 % (Tabela 2). O percentual de ácidos graxos livres (%AGL) é diretamente proporcional ao teor de acidez das amostras, em função da quebra dos triglicerídeos.

Para todos os experimentos estudados o percentual de lipídeos ficou entre 18 e 24%, em especial, o experimento 7 (140 °C, 17 min, 50% arábica) destacou-se por possuir o maior valor, 24,42% (Tabela 2). Os teores de lipídeos encontrados para todos os tratamentos encontram-se dentro dos padrões da legislação vigente, que determina que para café torrado e moído a porcentagem mínima deverá ser de 8% (BRASIL, 2010). O café apresenta em sua fração lipídica cera, triglicerídeos e ácidos graxos (principalmente os ácidos linoleico e palmítico), terpenos e esteróis (Poisson et al., 2017). Um café com maior quantidade de lipídeos tende a apresentar melhores aromas e sabor, entretanto, também está mais propenso a sofrer oxidação lipídica durante o armazenamento. O ensaio 3 submetido as condições de torra idêntica ao 7, obteve o menor percentual de extrato etéreo, 18,71%. A diferença entre estes ensaios, consiste na concentração das variedades de café, o experimento 3 (87,5% de café conilon) teve teor lipídico inferior ao ensaio 7 (50% conilon), valor próximo ao do estudo de Ribeiro et al. (2014) que verificou que o teor de lipídeos de sua amostra de café arábica reduziu significativamente a partir de adição de concentrações de conilon.

Os valores para os índices de saponificação variaram entre 142,59 e 148,88 mg KOH/g, sendo o maior valor encontrado para o ensaio 4, o qual foi submetido à torra mais drástica e possui a menor concentração de café arábica. Todos os valores obtidos nesse trabalho foram inferiores aos encontrados por Pereira, Pimenta e Escamilhe (2016), em estudos sobre a extração de óleo em grãos de café verde, onde obtiveram os valores para IS variando entre 217,44 e 209,36 mg KOH/g amostra. Pode-se atribuir como causas dessas diferenças o tipo de grão, o tipo e região de cultivo, técnica de torra e métodos de extração, fatores que influenciam no comportamento e nas características gerais do óleo vegetal.

A porcentagem de açúcares redutores para todos os experimentos analisados foi em média de 0,9 % (Tabela 2). Os açúcares redutores são encontrados em pequenas quantidades no café cru, sofrendo incrementos ao longo do processo de torra, onde a hidrólise da sacarose acarreta a formação de açúcares redutores. Deste modo, os açúcares redutores podem reagir com os aminoácidos, dando início à Reação de Maillard, formando os compostos voláteis responsáveis pela cor e aroma do café (Figueiredo, 2013).

Os teores de proteínas dos *blends* avaliados apresentaram valores entre 7 e 14%. Foi observado que os ensaios que passaram por processo de torra durante 17 min (Ensaio 3, 4, 7 e 8), obtiveram uma porcentagem menor de proteínas, ou seja,

boa parte do teor proteico dos grãos crus, foi degradado ou transformado em outros componentes ao longo da torra. Sabe-se que as proteínas degradadas em aminoácidos, reagem com os açúcares também presentes nos grãos e dão início ao processo de Reação de Maillard, que é de extrema importância para qualidade sensorial da bebida café (Poisson *et al.*, 2017; Zhai *et al.*, 2022). Para os percentuais de carboidrato, incluindo fibras, foram observados valores entre 61,48 e 71,49% (Tabela 2). Os carboidratos presentes no café participam de reações de caramelização e reação de Maillard responsáveis pela formação de compostos responsáveis pelo *flavor* da bebida (Santos, 2013).

O teor de extrato aquoso de todos os ensaios avaliados esteve entre $20,50 \pm 0,05$ e $29,75 \pm 0,03$ % (Tabela 2), estando dentro do padrão exigido pela legislação vigente, que determina o teor mínimo de 20% de extrato aquoso para o café torrado e moído comercializado no Brasil (Brasil, 2010). Foi observado efeito significativo apenas para a variável independente concentração de café arábica (Tabela 3), de modo que, maiores concentrações de arábica promoveram um maior o percentual de extrato aquoso. Indicando que o café arábica possui uma quantidade mais expressiva de compostos mesmo após a infusão do café, em comparação ao café do tipo conilon.

O teor de cafeína para os experimentos estudados variou entre 1,06 e 1,62 % (Tabela 2). Agnoletti *et al.* (2019) ao avaliarem o teor de cafeína das espécies arábica e conilon separadamente e observaram uma presença mais expressiva na variedade conilon cru, porém após o processo de torra, o café arábica sofre incrementos no percentual de cafeína, em contrapartida, a cafeína presente no café conilon tende a sofrer uma degradação parcial durante o processamento térmico. A legislação brasileira determina um teor mínimo de 0,7% de cafeína para os cafés torrados e moídos, deste modo, todos os experimentos avaliados estão adequados à norma (Brasil, 2010). A quantidade de cafeína em grãos de café é essencialmente dependente de fatores agrônômicos, variedade da planta, etapas de plantio colheita e beneficiamento, além de aspectos genéticos e sazonais (Cheng *et al.*, 2016). Para a bebida de café, além desses aspectos, as variáveis de extração como, proporção água-café, moagem, temperatura de água durante preparo, tempo de preparo dentre outros, podem afetar o teor final de cafeína nas bebidas (Wang *et al.*, 2016; Angeloni *et al.*, 2019).

4. Conclusões

Foi verificada que a perda de massa, cor, umidade e pH apresentaram total dependência das condições de torrefação, indicando que um processo muito drástico de torra, não é recomendando levando a um menor rendimento do produto e conferindo uma acidez mais acentuada, com potencial para interferir diretamente nos atributos sensoriais da bebida. Adicionalmente, a concentração de café arábica impacta positivamente as propriedades físico-químicas do café, sendo indicada sua utilização na formulação de *blends* contendo quantidades adequadas de café robusta.

Os teores de sólidos solúveis totais, extrato aquoso, lipídeos e cafeína, mostraram-se dentro dos padrões exigidos pelas legislações vigentes relativas ao café torrado e moído, para todos os ensaios. De modo geral, os *blends* referentes ao ponto central (E9, E10 e E11), elaborados com 31,25% de café arábica e 68,75% de café conilon, torrados a 170 °C por 12 min, apresentaram os melhores resultados. Estas condições de processo podem então, ser mais exploradas e apresentam potencial para serem adotada pelas indústrias torrefadoras de café, distanciando pouco de um padrão de torra muito escura, comumente utilizado pela indústria.

A aplicação de padrões de torras mais clara promove a economia do consumo energético em função do tempo reduzido aplicado durante a torra. Nesse sentido, os estudos voltados a utilização de torras claras e médias devem ser aprimorados, uma vez que o menor tempo de exposição a temperaturas elevadas podem tornar o processo menos oneroso, além de apresentarem potencial para melhoria da qualidade sensorial da bebida do café, evitando a formação de compostos responsáveis pelo sabor amargo da bebida. Adicionalmente, estudos aplicando análises sensoriais podem validar os resultados obtidos nas análises físico-químicas, permitindo uma avaliação dos níveis de aceitação do café submetido aos diferentes graus

de torra por parte dos consumidores.

Agradecimentos

CNPQ, CAPES, UFAPE e UFRPE, e a pelo financiamento de bolsas estudantis e apoio à pesquisa.

Referências

- ABIC - Associação Brasileira da Indústria de café (2013). *Norma de Qualidade Recomendável e Boas Práticas de Fabricação de Cafés Torrados em Grão e Cafés Torrados e Moídos*. <https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Norma-PQC-26-06-2018-rev-30.pdf>.
- Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., & Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, 116, 1327 – 1335.
- Almeida-Couto, J. M. F., Ressute, J. B., Belluco, C. Z., Nascimento, M. G., Zago, I. C. C., Costa, J. C. M., Silva, J. M., & Madrona, G. S. (2020). Discriminação da cor e categorização do padrão de torra de cafés torrados e moídos comerciais. *Brazilian Journal of Development*, 6, (2), 7863-7869.
- Brasil. (2010). *Regulamento técnico para o café torrado em grão e para o café torrado e moído*. Brasília. <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=794116535>.
- Campos, R. C. (2016). *Propriedades físicas dos grãos de café moça durante o processo de torra*. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E. & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 20-30.
- Córdoba, N., Fernandez-Alduenda, M., Moreno, F. L., & Ruiz, Y. (2020). Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavor of coffee brews. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 45-60.
- Detmann, E., Souza, M. A., Valadares Filho, S. C., Queiroz, A. C., Berchielli, T. T., Saliba, E. O. S., Cabral, L. S., Pina, D. S., Ladeira, M. M., & Azevedo, J. A. G. (2012). Métodos para análise de alimentos. *Instituto nacional de ciência e tecnologia de ciência animal*. 1ªed.
- Easto, J., & Willhoff, A. (2017). *Craft Coffee: A Manual: Brewing a Better Cup at Home*. Chicago: Surrey Books, 272, 148.
- Fadai, N. T., Melrose, J., Please, C. P., Schulman, A., & Gorder, R. A. V. (2017). A heat and mass transfer study of coffee bean roasting. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 104, 787-799.
- Figueiredo, L. P., Borém, F. M., & Cirillo, M. Â. (2013). The Potential for High Quality Bourbon Coffees from Different Environments. *Journal of Agricultural Science*, 5, 87–98.
- Folmer, Britta (Org.) (2017). *The craft and science of coffee*. Amsterdam; Boston, MA: Elsevier.
- Fuentes, P. H. A. (2011). *Avaliação da Qualidade de Óleos de Soja, Canola, Milho e Girassol durante o Armazenamento*. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Han, I., & Lee, C-S. (2021). Quality properties and bioactive of American cookies with coffee extracts residues. *LWT – Food Science and Technology*, 151, 112173.
- Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. (4a.ed.) 1ª edição digital. São Paulo. p. 1020.
- Kang, G. W., Piao, Z., & Ko, J. Y. (2022). Effects of water types and roasting points on consumer liking and emotional responses toward coffee. *Food Quality and Preference*, 101, 104631.
- Lin, H., Tello, E., Simons, C. T., & Peterson, D. G. (2022). Identification of subthreshold chlorogenic acid lactones that contribute to flavor instability of ready-to-drink coffee. *Food Chemistry*, 395, 133555.
- Michelman, J., & Carlsen, Z. (2018). *The New Rules of Coffee – A Morden Guide for Everyone*. Ten Speed Press, 159, 63.
- Moura, S. C. S. R., Germer, S. P. M., Anjos, V. D. A., Mori, E. E. M., Mattoso, L. H. C., Firmino, A., & Nascimento, C. J. F. (2007). Influência dos parâmetros de torração nas características físicas, químicas e sensoriais do café arábica puro. *Brazilian Journal of Food Technology*, 10, 17-25.
- Oliveira, G. H. H., Corrêa, P. C., Santos, F. L., Vasconcelos, W. L., Junior, C. C., Baptestini, F. M., & Vargas-Elías, G. A. (2014). Caracterização física de café após torrefação e moagem. *Rede de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*, 35, 1813-1827.
- Organização Internacional do Café – OIC (2022). *Relatório sobre o mercado de café – Abril 2022*.
- Perdani, C. G., Pranowo, D., & Qonitatilah. (2019). Total phenols content of green coffee (Coffea arabica and Coffea canephora) in East Java. *International Conference on Green Agroindustry and Bioeconomy*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/230/1/012093/pdf>.
- Pereira, E. B., Pimenta, L. S., & Escamilhe, E. P. (2016). Potencial dos óleos de café verde e de soja na produção de biodiesel via rota etílica. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações*, 14, (1), 464-473.
- Poisson, L., Blank, I., Dunkel, A., & Hofmann, T. (2017). The Roast – Creating the Beans’ Signature. *The Craft and Science of Coffee*. Academic Press, 273-309.

- Quast, L. B., & Aquino, A. D. (2004). Oxidação dos lipídeos em café arábica (*Coffea arabica* L.) e café robusta (*Coffea canephora* P.). *Boletim.CEPPA*, 22, 325-336.
- Ribeiro, B. B., Mendonça, L. M., Assis, G. A., Mendonça, J. M. A., Malta, M. R., & Montanari, F. F. (2014). Avaliação Química e Sensorial de Blends de *Coffea canephora* e *Coffea arabica* L. *Coffee Science*, 9, (2), 178-186.
- Ruta, L. L., & Farcasano, I. C. (2021). Coffee and Yeasts: From Flavor to Biotechnology. *Fermentation*. v. 7, p. 9.
- Santos, E. S. M., Deliza, R., Grandi, D., Freitas, C., & Corrêa, F. B. (2013). Efeito de grãos conilon no perfil sensorial e aceitação de bebidas de café. *Semina: Ciências Agrárias*, 34, 2297-2306.
- Santos, W. W. V., Elias, A. M. T., Donato, M. V. L. C., Medeiros, A. L. T., Barros, D. N., Silva, M. E. S., & Silva, S. P. (2020). Influência das condições de torra e do processo extrativo em blends de café. *Brazilian Journal of Development*, 6, 25079-25092.
- Schenker, S., & Rothgeb, T. (2017). The Roast - Creating the Beans' Signature. *The Craft and Science of Coffee. Academic Press*, 245- 271.
- Tang, V. C. Y., Sun, J., Cornuz, M., Yu, B., & Lassabliere, B. (2021). Effect of solid-state fungal fermentation on the non-volatiles content and volatiles composition of *Coffea canephora* (Robusta) coffee beans. *Food Chemistry*, 337, 128023.
- Teixeira, O. R., Passos, F. R., & Mendes, F. Q. (2016). Qualidade físico-química e microscópica de 14 marcas comerciais de café torrado e moído. *Coffee Science*, 11, 396-403.
- Teles, C. R. A., & Behrens, J. H. (2019). The waves of coffee and the emergence of the new Brazilian consumer. *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*. 257-274.
- Wang, X., William, J., Fu, Y. & Lim, L-T. (2016). Effects of capsule parameters on coffee extraction in single-serve brewer. *Food Research International*, 89, (1), 797 – 805.
- Zhai, X., Yang, M., Zhang, J., Zhang, L., Tian, Y., Li, C., Bao, L., Ma, C. & El-Aty, A. M. (2022). Feasibility of Ultrasound-Assisted Extraction for Accelerated Cold Brew Coffee Processing: Characterization and Comparison with Conventional Brewing. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1-13.