



LÍLIAN VANESSA SILVA

**INFLUÊNCIA DA BROCA-DO-CAFÉ,
Hypothenemus hampei (Coleoptera: curculionidae),
NA QUALIDADE DE CAFÉ ESPECIAL**

**LAVRAS – MG
2025**

LÍLIAN VANESSA SILVA

INFLUÊNCIA DA BROCA-DO-CAFÉ, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae), NA QUALIDADE E INOCUIDADE DE CAFÉ ESPECIAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira
Orientadora

Profa. Dra. Luisa Pereira Figueiredo
Coorientadora

LAVRAS – MG
2025

Ficha catalográfica elaborada pela Catalogação da Biblioteca Universitária da UFLA

Silva, LÍlian Vanessa.

Influência da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*
(Coleoptera: *curculionidae*) na qualidade e inocuidade de café
especial / LÍlian Vanessa Silva - 2024.
100 p. : il.

Orientador(a): Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira.
Coorientador(a): Luisa Pereira Figueiredo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Análise sensorial. 2. Fragmentos de insetos. 3. Ocratoxina A.
4. Lipídios totais. 5. Testes rápidos. I. Pereira, Rosemary Gualberto
Fonseca Alvarenga. II. Figueiredo, Luisa Pereira. III. Título.

LÍLIAN VANESSA SILVA

INFLUÊNCIA DA BROCA-DO-CAFÉ, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae), NA QUALIDADE E INOCUIDADE DE CAFÉ ESPECIAL

INFLUENCE OF THE COFFEE BERRY BORER, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae), ON THE QUALITY AND SAFETY OF SPECIALTY COFFEE

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 26 de agosto de 2024 por

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira - UFPA

Profa. Luisa Pereira Figueiredo - UFPA

Prof. Geraldo Andrade de Carvalho - UFPA

Prof. Sabrina Alves da Silva - UFPA

Prof. Leandro Carlos Paiva - IFPA

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira
Orientadora

Profa. Dra. Luisa Pereira Figueiredo
Coorientadora

LAVRAS – MG
2025

Oto, meu filho, a você dedico o meu sincero e
profundo agradecimento por ter suportado
tudo o que vivenciamos neste período do doutorado.

Te amo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo e por tanto!

Agradeço ao Oto, meu filho, aos meus pais Valda Paulina e Luiz Inácio, à Di Irene e aos meus irmãos Luiz Adriano, Maria Betânia, Marco Túlio, Maurício e Vitor. O apoio e incentivo de vocês é o meu esteio. Agradeço à Selma por tanto carinho, zelo e dedicação!

Agradeço à Amanda e à Laís, que me acolheram e me abrigaram tão bem em Lavras.

Agradeço às amigas, as Lindas!, que sempre trazem leveza e ânimo para a minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio do IFSULDEMINAS e Universidade Federal de Lavras - UFLA. Agradeço o apoio recebido!

Agradeço às alunas da graduação pelo incomensurável apoio: Ana Flávia, Bruna, Franciane, Larissa, Loyane, Luiza Maria, Maria Heloísa, Pamella, Verônica.

Agradeço à grande turma do Núcleo de Estudos em Qualidade, Industrialização e Consumo de Café – QICafê. A vivência foi riquíssima! Agradeço ao Manuel Pajoy pela parceria na realização das atividades do Laboratório de Qualidade do Café.

Agradeço aos colegas das Pós-graduação pelo apoio e encorajamento, especialmente à Juliana Santos Marques, que foi o ombro amigo.

Agradeço a um time de pessoas na UFLA que me ajudaram, aqui representadas por: Prof. Dr. Geraldo Andrade de Carvalho, Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas, Prof. Dr. Vítor de Laia Nascimento, à Profa. Dra. Joelma Pereira, à Profa. Dra. Roberta Hilsdorf Piccoli, ao Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes, Prof. Dr. Flávio Meira Borém e à Profa. Dra. Maria das Graças Cardoso.

Agradeço à coordenadora Profa. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos pelo acolhimento, orientações e paciência na solução de todos os trâmites ao longo do meu percurso.

Agradeço ao Instituto Adolfo Lutz pela valiosa capacitação em microscopia de alimentos, especialmente à Dra. Laís Pauli. E ao Prof. Dr. Jairo Pinto de Oliveira da UFES pelo apoio e orientação com as análises de ocratoxina.

Agradeço às empresas que foram parceiras e ou contribuíram com a condução do doutorado: Associação Brasileira da Indústria de Café, CEM Corporation, Consea Júnior, Cooperativa Regional dos Cafeicultores do Vale do Rio Verde, Nano Smart, Café Rancho São Gabriel e Unique Cafés.

Agradeço com muito respeito e reverência à Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira por acreditar no meu potencial e por me apresentar um tema relevante. Agradeço o carinho, os ensinamentos, o direcionamento, os conselhos e a liberdade para agir. Sou especialmente grata pelo zelo na indicação da minha co-orientadora.

E, claro, com enorme carinho, respeito e reverência, agradeço à Profa. Dra. Luisa Pereira Figueiredo pela humanidade com que me orientou, me ajudou, me fez crescer e, acima de tudo, me permitiu atuar com autonomia. Agradeço pelo encorajamento e por acreditar nos projetos e ações que trouxeram dinamismo ao Laboratório de Qualidade do Café. Avancamos!

A todos, meu sincero muito obrigada!

"Mesmo que esse objetivo tão nobre jamais seja atingido,
mesmo que ele seja apenas um símbolo,
nossas vidas terão sido mais plenas por havermos tentado.
A nossa busca é a nossa redenção."
Marcelo Gleiser.

RESUMO

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: cuculionidae), praga recorrente nos grãos, prejudica a qualidade e o valor econômico do café. A sua incidência aumenta o risco de infração sanitária do café torrado pela presença de matérias estranhas e ocratoxina A (OTA) acima da tolerância, pois o beneficiamento não elimina completamente os grãos brocados. Além disso, alterações nos lipídios podem afetar o aroma e sabor do café torrado e podem ser causadas por danos nos grãos provocados besouro. Café arábica catuaí amarelo é uma cultivar com potencial para ser categorizada como especial, mas grãos atacados pela broca-do-café permanecem mesmo após o beneficiamento. O objetivo, portanto, foi avaliar o efeito dos grãos brocados sobre a qualidade sensorial do café especial, quantificar OTA por teste rápido e fragmentos de insetos por microscopia, e avaliar o efeito dos grãos brocados sobre o teor de lipídios totais empregando métodos econômicos e sustentáveis. Tratamentos com níveis crescentes de grãos brocados de café especial catuaí amarelo foram montados, sendo: controle (sem grãos brocados), SCA (quantidade de grãos brocados tolerados pela *Specialty Coffee Association*), 7%, 20% e 100% de grãos brocados, predominando danos leves nos grãos. As amostras foram torradas em torra clara e moídas em granulometria média fina para a realização das análises, exceto para análise sensorial que seguiu o protocolo SCA. Constatou-se que o limite de defeitos de grãos brocados tolerados pela SCA preserva a qualidade sensorial da bebida e as outras amostras perderam qualidade para os níveis crescentes de grãos brocados. Fungos presentes nos grãos brocados sujos e fezes do besouro estão associados aos atributos deletérios relatados para as amostras a partir de 7% de grãos brocados. As contaminações encontradas estão dentro dos limites legais brasileiros. Os fragmentos de insetos aumentaram com o teor crescente de grãos brocados, mas não houve diferença para OTA, cujo teor foi equivalente em todos os tratamentos. Sensorialmente, quanto maior o número de fragmentos de inseto, pior foi a nota atribuída ao café, possivelmente devido a bolores e metabólitos associados à presença do besouro. O teor de OTA não impactou sensorialmente a qualidade do café. Lipídios totais foram dosados pelos métodos de Bligh-Dyer (BD) e ressonância magnética nuclear (RMN) obtendo-se 14,26% e 15,78% para café torrado e 14,60% e 14,15%, para café cru, respectivamente. Dentro dos tratamentos não houve diferença significativa, mas BD diferiu de RMN. Análise sensorial apontou perda de qualidade com o aumento da quantidade de grãos brocados, mas isso não parece estar relacionado ao teor de lipídios totais. Conclui-se que o beneficiamento foi capaz de gerar um café especial adequado para a industrialização e que a qualidade sensorial é pouco afetada para café especial contendo grãos com danos provocados pela broca-do-café dentro do limite de tolerância estabelecido pela SCA. O teste rápido para OTA por biossensor mostrou-se viável para ser aplicado em controle da qualidade, e os métodos empregados foram eficazes para extrair os lipídios totais do café, mas BD é mais vantajoso. Monitorar aspectos sanitários é importante para avaliar a qualidade do café, complementarmente à análise sensorial.

Palavras-chave: análise sensorial; fragmentos de insetos; ocratoxina A; lipídios totais; testes rápidos; legislação.

ABSTRACT

The coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), is a significant pest affecting coffee beans, impairing both quality and economic value. Its incidence increases the risk of sanitary non-compliance in roasted coffee due to the presence of foreign matter and ochratoxin A (OTA) levels exceeding tolerance limits, as post-harvest processing does not completely eliminate infested beans. Furthermore, alterations in lipid composition, potentially caused by borer-induced bean damage, can negatively affect the aroma and flavor of roasted coffee. Arabica Yellow Catuaí is a cultivar with potential for specialty classification, yet beans damaged by CBB often remain after processing. Therefore, this study aimed to: (1) evaluate the effect of borer-damaged beans on the sensory quality of specialty coffee; (2) quantify OTA using a rapid test and insect fragments via microscopy; and (3) assess the impact of damaged beans on total lipid content using cost-effective and sustainable methods. Treatments were prepared using specialty Yellow Catuaí coffee with increasing percentages of borer-damaged beans (predominantly exhibiting light damage): control (0% damaged), SCA (beans damaged within the Specialty Coffee Association tolerance limit), 7%, 20%, and 100%. Samples were light-roasted and ground to a medium-fine particle size for most analyses; sensory evaluation followed the SCA protocol. Results indicated that the SCA tolerance limit for borer-damaged beans effectively preserved the beverage's sensory quality. However, samples with 7% or more damaged beans exhibited progressively lower quality scores. Detrimental sensory attributes reported in samples containing $\geq 7\%$ damaged beans were associated with fungi and insect frass present in contaminated beans. Observed contamination levels (insect fragments, OTA) remained within Brazilian legal limits. Insect fragment counts increased proportionally with the percentage of damaged beans, whereas no significant difference in OTA content was found across treatments. Sensorially, higher insect fragment counts correlated with lower quality scores, possibly due to molds and associated metabolites linked to CBB presence. OTA content did not appear to sensorially impact coffee quality. Total lipids were quantified using Bligh-Dyer (BD) and Nuclear Magnetic Resonance (NMR) methods, yielding average values of 14.26% (BD) and 15.78% (NMR) for roasted coffee, and 14.60% (BD) and 14.15% (NMR) for green coffee, respectively. While no significant differences in lipid content were observed among treatments within each method, results obtained by BD differed from those obtained by NMR. Sensory analysis revealed quality loss with increasing proportions of damaged beans, but this did not correlate with total lipid content. In conclusion, the applied processing effectively yielded specialty coffee suitable for industrialization. The sensory quality was only minimally affected when CBB-damaged beans were present within the SCA tolerance limit. The rapid biosensor test for OTA proved viable for quality control applications. Both employed methods effectively extracted total lipids, with BD presenting potential advantages. Monitoring sanitary aspects is crucial for quality assessment, complementing sensory analysis.

Keywords: sensory analysis; insect fragments; ochratoxin A; total lipids; rapid tests; legislation.

INDICADORES DE IMPACTO

O café especial tem maior valor agregado que o comum (*commodity*) e seu consumo vem crescendo por um público que deseja maior qualidade e inocuidade, mas os danos causados por *Hypothenemus hampei*, a broca-do-café, podem torná-lo contaminado. Buscou-se empregar métodos viáveis para o controle da qualidade nesta pesquisa, visando contribuir para sua aplicabilidade pela indústria. A análise de gorduras totais por Bligh-Dyer, por exemplo, emprega menos solvente, energia elétrica e água comparando ao método Soxhlet; e a medição por Ressonância Magnética Nuclear não usa reagentes, não gera resíduos e a amostra analisada pode ser utilizada para outros testes. A detecção de ocratoxina por nanotecnologia, além de rápida, emprega menos reagentes, não utiliza equipamentos caros e valida sua possibilidade de uso no controle de qualidade das empresas. Isso favorece o monitoramento da inocuidade do café que chegará ao consumidor. A análise sensorial realizada por provadores especialistas demonstrou que o ser humano ainda é insubstituível para detectar minúcias acerca da qualidade do alimento, superando outros métodos analíticos, destacando que a *expertise* dos profissionais precisa ser valorizada. Portanto, parcerias foram buscadas para custear análises, e reagentes disponíveis no Laboratório de Qualidade do Café foram trocados com outros laboratórios, otimizando os recursos, gerando economicidade e sustentabilidade no experimento. O tema da pesquisa teve expressivo caráter extensionista e despertou o interesse da Associação Brasileira da Indústria de Café (Abic), da *CEM Corporation*, da Nano Smart, da Cooperativa dos Cafeicultores do Vale do Rio Verde e da Unique Cafés, que atuaram como parceiras devido ao interesse em investigar a qualidade do café especial. Isso gerou um projeto paralelo de investigação de broca-do-café com a Abic, o que fomentou recursos para o Laboratório de Qualidade do Café, além da capacitação de cinco estudantes de graduação e uma de pós-graduação. Sendo viabilizado pela Consea Júnior, o projeto fomentou recursos para a empresa júnior e serviu como meio de aprendizagem e aperfeiçoamento para os seus membros devido a sua complexidade. Gerou uma parceria com o Senar Minas que ofertou capacitação sobre o café canéfora para quatro graduandas e sete pós-graduandos. A pesquisa identificou que o rebeneficiamento dos grãos é uma etapa do processo favorável para manter um baixo índice de defeitos e menor risco de fabricação de café torrado e moído fora das especificações legais. Por fim, o consumo de café é amplamente disseminado em todo o país, portanto, a melhoria da qualidade e inocuidade dos grãos impacta positivamente em toda a população. É possível relacionar a pesquisa com os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas: 4 – educação de qualidade; 9 – indústria, inovação e infraestrutura; 17 – Parcerias e meios de implementação.

IMPACT INDICATORS

Specialty coffee commands a higher market value compared to commodity coffee, and its consumption is increasing among consumers seeking superior quality and safety. However, damage inflicted by the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, can result in contamination. This research aimed to employ viable quality control methods, seeking to contribute to their applicability within the industry. For instance, total fat analysis using the Bligh-Dyer method requires less solvent, electrical energy, and water compared to the Soxhlet method. Furthermore, Nuclear Magnetic Resonance (NMR) analysis is reagent-free, generates no waste, and allows the analyzed sample to be utilized for subsequent tests. The detection of ochratoxin A (OTA) using nanotechnology, in addition to being rapid, employs fewer reagents, does not necessitate expensive equipment, and validates its potential application in industrial quality control systems. This facilitates the monitoring of coffee safety for products reaching the consumer. Sensory analysis performed by expert tasters demonstrated that human assessment remains irreplaceable for detecting subtle nuances related to product quality, often surpassing other analytical methods, thereby highlighting the need to value professional expertise. Consequently, partnerships were sought to fund analyses, and available reagents at the Laboratório de Qualidade do Café were exchanged with other laboratories, thereby optimizing resources and promoting cost-effectiveness and sustainability within the study. The research topic possessed a significant outreach component and attracted the interest of the Brazilian Coffee Industry Association (ABIC), CEM Corporation, Nano Smart, the Cooperative of Coffee Growers of the Vale do Rio Verde (COCARIVE), and Unique Cafés. These organizations acted as partners due to their shared interest in investigating specialty coffee quality. This collaboration resulted in a parallel project with ABIC focused on investigating the coffee berry borer, which provided funding for the Laboratório de Qualidade do Café and facilitated the training of five undergraduate students and one postgraduate student. Facilitated by Consea Júnior (a junior enterprise), the project generated resources for the organization and served as a valuable learning and skill development opportunity for its members due to its inherent complexity. A partnership was established with Senar Minas, which offered training on *Coffea canephora* to four undergraduate and seven postgraduate students. The research identified that grain re-processing is a beneficial process stage for maintaining low defect levels and reducing the risk of producing roasted and ground coffee that falls outside legal specifications. Finally, given that coffee consumption is widespread throughout the country, improvements in bean quality and safety positively impact the general population. This research aligns with the following United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs): SDG 4 – Quality Education; SDG 9 – Industry, Innovation and Infrastructure; and SDG 17 – Partnerships for the Goals.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	13
1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Café – relevância econômica no Brasil.....	15
2.2 Broca-do-café.....	19
2.3 Matérias estranhas no café armazenado e processado	25
2.4 Ocratoxina A associada ao café.....	26
2.5 Métodos analíticos	30
2.5.1 Análise de classificação física e sensorial do café	31
2.5.2 Análise de matérias estranhas.....	33
2.5.3 Análise de ocratoxina	33
2.5.4 Análise de lipídios totais	34
2.6 Catuaí amarelo – características sensoriais e composição química	36
REFERÊNCIAS	40
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	49
ARTIGO 1	49
Influência de grãos atacados pela broca-do-café (<i>Hypothenemus hampei</i>) na qualidade sensorial da bebida	49
1 Introdução.....	50
2 Materiais e métodos	51
3 Resultados e discussão	53
4 Conclusão.....	63
5 Referências.....	64
Anexo I	68
ARTIGO 2	69
Deteção rápida de ocratoxina A em café contendo grãos atacados pela broca-do-café (<i>Hypothenemus hampei</i>)	69
1 Introdução.....	70
2 Materiais e Métodos.....	71
3 Resultados e discussão	73
4 Conclusão.....	81
5 Referências.....	82
ARTIGO 3	88
Determinação de lipídios totais em café com diferentes teores de grãos brocados por <i>Hypothenemus hampei</i>	88

1 Introdução.....	89
2 Materiais e métodos	90
3 Resultados e discussão	92
4 Conclusão	95
5 Referências.....	95
TERCEIRA PARTE	98
CONCLUSÃO	98

PRIMEIRA PARTE

A primeira parte desta tese apresenta as informações que embasam, justificam e esclarecem a importância e relevância do estudo que foi realizado. Os artigos contidos na segunda parte apresentam a investigação experimental principal, seus resultados e conclusões, e as considerações gerais da tese estão apresentadas na terceira parte.

1 INTRODUÇÃO

Há tempos a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: curculionidae: Scolytinae), vem sendo relatada como uma das principais pragas do café pela ampla disseminação e elevada infestação nas plantações no Brasil e no mundo, gerando perdas econômicas ao longo da cadeia cafeeira. Os problemas se agravaram no Brasil a partir da proibição do uso do inseticida/acaricida endossulfan em 2013. A venda e uso foram proibidos devido a sua alta persistência ambiental e periculosidade ao ambiente e ao homem, pois causa distúrbios hormonais e aumenta a incidência de câncer. Mecanismos químicos, mecânicos e biológicos vêm sendo desenvolvidos para combater a broca-do-café, mas não atingiram o mesmo nível do agroquímico organoclorado, embora a eficácia do controle dessa praga esteja relacionada sobretudo às boas práticas de manejo das lavouras.

Os grãos danificados pelo besouro perdem qualidade e isso se contrapõe ao número crescente de consumidores que têm buscado sensorialidade, prazer e saudabilidade ao beber um café e têm pagado preços mais altos para os produtos que atingem a categoria de café especial, segundo os critérios da *Specialty Coffee Association* (SCA). Frequentemente há marcas de café envolvidas em problemas sanitários por conterem matérias estranhas, como fragmentos de insetos, e outros contaminantes, como ocratoxina A, mas existem poucos dados sobre o índice de infestação da broca-do-café ao longo da cadeia produtiva e sobre os danos específicos que essa praga causa no café torrado. A indústria deseja atender à demanda por café superior e precisa simultaneamente atingir os critérios legais e comerciais que definem essa qualidade. Por isso tornou-se importante investigar o efeito dos danos provocados pelo ataque da broca-do-café na qualidade e inocuidade do café especial.

Técnicas analíticas mais modernas vêm ganhando espaço devido à capacidade de gerarem resultados confiáveis e por contribuírem com os preceitos de economicidade e sustentabilidade tanto para a pesquisa acadêmica quanto para a aplicabilidade em empresas

comerciais, como cooperativas de café, indústrias torrefadoras e laboratórios analíticos. Por isso, métodos micro-analíticos, métodos nanotecnológicos de detecção rápida e testes não destrutivos foram aplicados para analisar as amostras deste estudo, além da análise sensorial realizada por especialistas, que é usualmente praticada pelas empresas do setor.

Isto posto, o objetivo desta tese foi analisar alguns elementos da composição do grão, aspectos da qualidade sanitária do café torrado e a percepção sensorial da bebida empregando técnicas analíticas que possam ser mais econômicas e sustentáveis, visando avaliar como o nível de infestação da broca-do-café tolerado pelo protocolo de qualidade da SCA afeta o café especial. Espera-se que os resultados encontrados sirvam para estimular reflexões, criar soluções e melhorar as ações de controle da broca-do-café no setor cafeeiro em busca da qualidade e inocuidade inerentes ao café especial.

Considerando este cenário, as hipóteses levantadas são: (1) os grãos pouco atacados pelo *Hypothenemus hampei* remanescentes no café após o rebeneficiamento não causam danos suficientes para alterar seu enquadramento como café especial nos critérios estabelecidos pela SCA; (2) o baixo índice de defeitos referentes aos grãos atacados pela broca no café especial, conforme tolerância da SCA, não são suficientes para afetar o perfil sensorial da bebida; (3) os grãos brocados que permanecem no café especial não oferecem risco do café torrado atingir o limite máximo de matérias estranhas (para fragmentos de insetos) determinado na legislação brasileira; (4) e o enquadramento do café na categoria especial exclui o risco da contaminação com ocratoxina A.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As informações apresentadas no referencial teórico não esgotam o assunto, pois há um grande volume de pesquisas que se relacionam com o estudo que foi realizado. As referências foram obtidas de bases de dados indexadas, como *Web of Science*, livros e informações capturadas de sítios de notícias ou institucionais.

2.1 Café – relevância econômica no Brasil

O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional de café, e o Brasil é o maior produtor e exportador mundial. O Sul do estado e o Cerrado Mineiro são os maiores produtores. O café tem forte presença na economia e nas tradições populares da região e, como bebida em si, o café é uma identidade brasileira. Dados recentes informados pela Embrapa (CAVATON, 2023) indicam que o café é o quarto produto de maior impacto no *ranking* de faturamento das lavouras, medido pelo Valor Bruto da Produção (VBP) sob responsabilidade da Secretaria de Política Agrícola do atual Ministério da Agricultura e Pecuária (MAP). No boletim VBP de julho de 2024 publicado pelo MAP o café continua na 4ª posição com um faturamento que atingiu R\$ 66,49 bilhões (VALOR, 2024). A variedade arábica é dominante, e destaca-se que o nível da qualidade de alguns cafés lhes confere alto valor de comercialização, impulsionando um ciclo de melhoria econômica em todo o setor cafeeiro. Exemplos disso são a Mantiqueira de Minas, área montanhosa que recebeu o *status* de Indicação de Procedência (IP) e Denominação de Origem (DO) para 25 municípios do Sul de Minas Gerais (APROCAM, 2019), e o Cerrado Mineiro, uma DO que abrange 55 municípios e produz cerca de 13% do café brasileiro (REGIÃO, 2022). As condições edafoclimáticas e as cultivares plantadas no Sul de Minas, aliadas às técnicas adequadas de manejo, pós-colheita, beneficiamento e processamento têm levado a região a conquistar diversos prêmios nacionais e mundiais pela qualidade dos seus cafés desde 2005 (COCARIVE, 2019; MARZOCHI, 2019). Esses grãos têm recebido a classificação de cafés especiais quando submetidos aos critérios físicos de classificação e testes sensoriais de degustação.

A *Specialty Coffee Association* (SCA) define um café especial como tendo máximo de cinco defeitos na amostra padrão de 350g, granulometria de peneira 16 e acima, livre de impurezas e, ainda, que a bebida alcance no mínimo 80 pontos na escala *Specialty Coffee Association of America* – SCAA ou *Cup of Excellence* (CCCMG, 2019a). A Associação Brasileira de Cafés Especiais (*Brasilian Specialty Coffee Association* - BSCA) juntamente com

a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil) têm investido na divulgação e valorização de cafés especiais, sobretudo entre jovens empreendedores que vêm investindo na produção rural. Um nanolote de café especial da cidade de Cristina – da DO Mantiqueira de Minas, recebeu um valor maior que R\$ 26 mil por saca de 60 kg (CCCMG, 2019b) e exemplifica a pujança econômica que o café especial vem disseminando e consolidando no setor cafeeiro.

A pesquisa ampla sobre o mercado de café no Brasil realizada em 2016 para a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC) constatou que na percepção dos consumidores o café não possui substituto, portanto, não concorre com outras bebidas; esses consumidores estão atentos às variedades dos produtos e se detectou alto interesse de jovens (de 16 a 25 anos) em consumir café. A tendência de saudabilidade também foi percebida, e os cafés de melhor qualidade usam o apelo de venda de serem mais saudáveis. O sabor, a marca e o aroma são os principais atributos de qualidade desejados pelo consumidor. Numericamente, a pesquisa apontou um cenário onde o volume de vendas de café é crescente para as famílias brasileiras; o consumidor percebe cada vez mais o valor dos cafés *premium* moído e em grãos (conforme classificação de qualidade da ABIC); o mercado está propício aos cafés de melhor qualidade; o consumo de café em grãos cresce nos domicílios e fora do lar; as cápsulas impulsionaram o consumo de café em grão e moído de maior qualidade; o consumo de cafés *gourmet* tem crescido entre os jovens a partir de 20 anos; e em 2016 houve um aumento de 10% de vendas da linha *gourmet*, principalmente de pequenas torrefadoras que entraram no segmento dos cafés especiais (EUROMONITOR, 2017).

Além do aumento interno, o consumo mundial de café vem crescendo a uma taxa de 1,9% ao ano nos 10 últimos anos-cafeeiros, que vão de outubro a setembro, de acordo com a Organização Internacional do Café (OIC), e para o ano de 2021 estimou-se um volume físico de consumo equivalente a 167,01 milhões de sacas, ante a produção de 169,6 milhões de sacas de 60kg (FERREIRA e SANTOS, 2021).

Este fenômeno de maior consumo de cafés de qualidade, a apreciação da bebida, dos seus modos de preparo e a atenção dos consumidores aos sabores, tipo, rastreabilidade e origem dos produtos foi denominado “Terceira Onda do Café”. Ou seja, esse movimento identificado sobretudo a partir de 2015 caracteriza-se pela busca do conhecimento do café, das fazendas produtoras, incluindo a valorização das micro torrefações pela autenticidade e exclusividade do produto, pela origem da produção e pelos métodos utilizados no preparo da bebida (BOAVENTURA et al, 2018; CCCMG, 2019b). No Brasil, a Terceira Onda do Café se fortaleceu a partir dessa época, e conforme constatado por Guimarães et al. (2016), apesar das

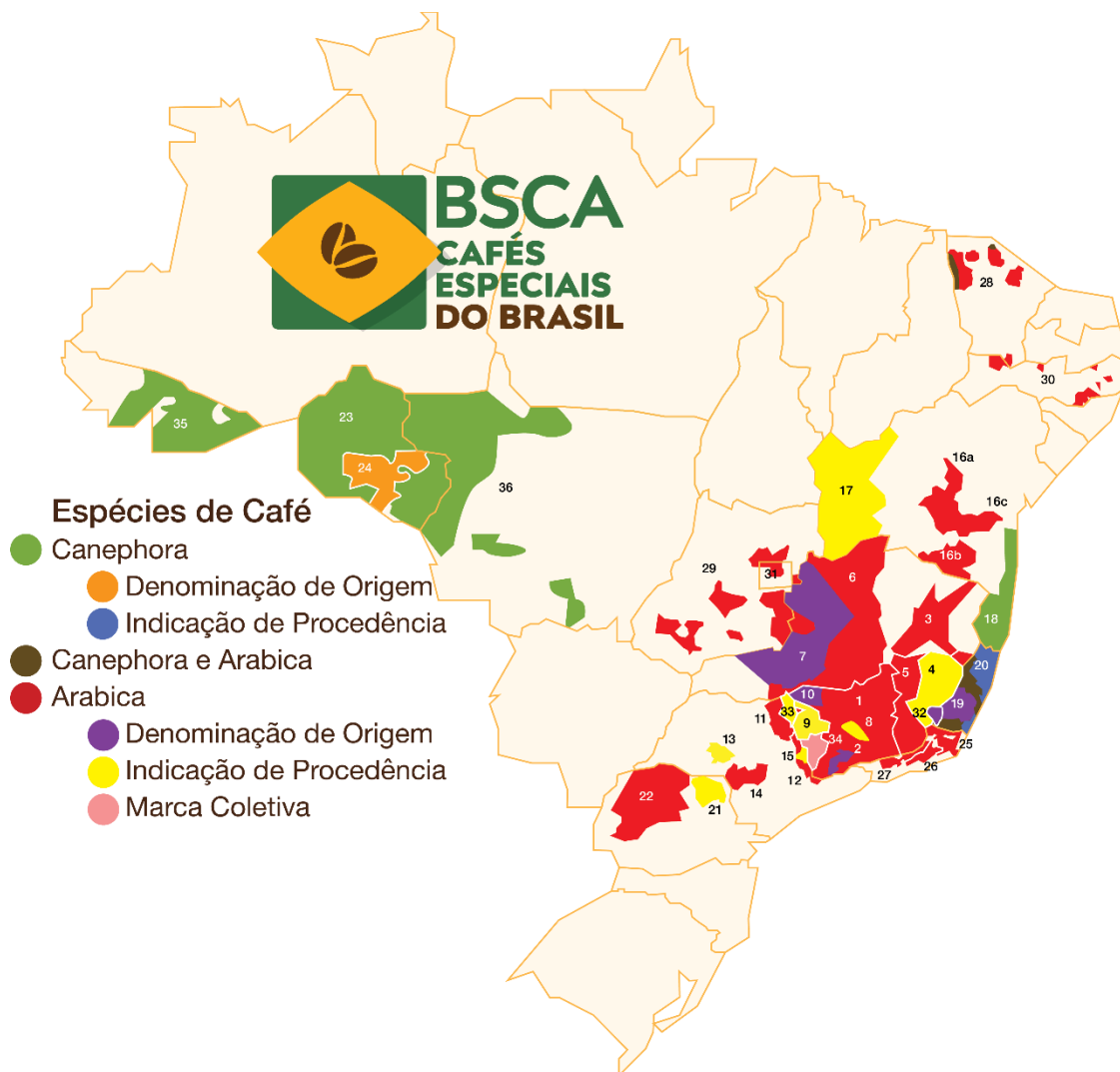
difficultades encontradas, há espaço para o crescimento do segmento de cafés especiais, que tem alto potencial de expansão.

A melhoria da qualidade do café brasileiro tem sido valorizada no exterior e internamente. A maioria da população brasileira consome café e há uma motivação social para isso associada ao hábito, prazer, família, amizade e trabalho (ARRUDA et al, 2009). Pesquisas recentes da ABIC apontam que o perfil heterogêneo de consumidores se mantém quanto à faixa etária, classe social e renda familiar, em todas as regiões brasileiras; que o consumo de café aumentou entre 2019 e 2021, e se manteve em 2023. Os dados confirmam que a relação emocional e afetiva com o café permanece e que o consumo ainda é um hábito diário e um prazer (DOMINGUES et al, 2023). Também constatou-se que uma parcela de consumidores se classificam como ‘apaixonados’ pela bebida e buscam qualidade no café, sendo categorizados em três grupos: (a) o público geral que toma café comum, não entende sobre cafés diferenciados e o assunto não é prioridade para eles; (b) os entusiastas que entendem um pouco sobre café, compram cafés diferenciados e são curiosos com o assunto; e (c) os especialistas que entendem muito de café, fizeram cursos, trabalham ou não na área e falam tecnicamente sobre o assunto. Entusiastas (12%) e especialistas (5%) representaram 17% dos participantes da pesquisa. Os especialistas consomem preferencialmente cafés especiais (59%), mas isso também vem ocorrendo entre os entusiastas (21%) e o público geral (10%). Independente da qualidade do produto consumido, os três grupos destacaram que o excelente aroma é o atributo sensorial mais desejado, e o aroma e sabor foram as sensações que as pessoas mais relataram como lembrança quando experimentam um excelente café (SPCH, 2021).

Este incremento de qualidade do café para consumo interno ocorrido no Brasil nos últimos anos vem gerando mudanças no mercado. Novos produtos e muitas marcas estão surgindo, possuem valor agregado diferenciado, gerando maior renda desde o campo até as cafeterias especializadas. Há maior disponibilidade de cafés especiais e a visibilidade desse segmento vem despertando o interesse das pessoas em degustar tais cafés, gerando um novo hábito no consumidor e maior consumo de café *gourmet* (MELO MARIANO; ÁVILA PALDÊS; TEREZA MOULAZ, 2015) que impulsionou a ABIC a aperfeiçoar seu Programa de Qualidade do Café. Os números da ABIC confirmam a busca dos consumidores por cafés de melhor qualidade, pois em 2023 houve um aumento de 7% no quadro de associados e de 61% no total de produtos certificados comparando com o ano anterior, e foi criada a certificação para café especial, uma nova categoria (ABIC, 2023). Isso é confirmado pelo aumento do número de regiões produtoras de café especial registrado pela BSCA, 36 no total, distribuídas em todas

as regiões do Brasil conforme demonstrado na Figura 1 (BSCA, 2024). Há seis regiões com o *status* de Denominação de Origem e nove têm Indicação de Procedência.

Figura 1. _ Regiões produtoras de cafés especiais no Brasil, conforme denominação BSCA.



O mapa apresenta as áreas onde predominam as plantações das espécies arábica, canéfora ou ambas e aponta aquelas que possuem o *status* de Denominação de Origem, Indicação de Procedência e Marca Coletiva. Título e legenda do mapa são originais da BSCA. Fonte: BSCA 2024.

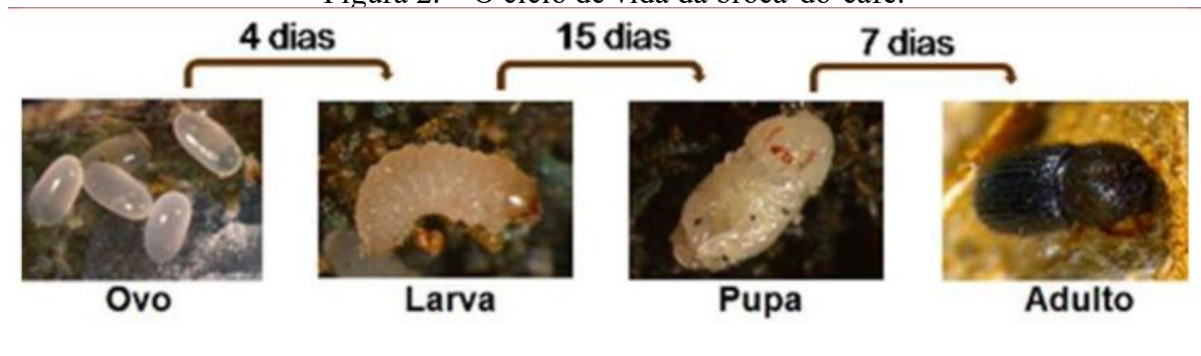
O Conselho Nacional do Café (CNC) estima que 15% da produção em 2021 tenha sido de café especial e indica que o Brasil exportou de 01 de janeiro de 2023 até 30 de junho de 2023 um total de 492 sacas de 60kg de café torrado, 173.763 sacas de café arábica cru e 63 sacas de café conilon cru, todos especiais, segundo dados do Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. O CNC apontou que o consumo *per capita* no Brasil foi de 4,77kg de café torrado em 2022 (CNC, 2024).

O consumo vem aumentando e a boa qualidade da bebida tem sido mais valorizada. Nota-se a importância crescente do café no cenário do agronegócio brasileiro e nas transações internas e internacionais, mas há vários fatores que prejudicam a sua produção; entre eles destaca-se a infestação pela broca-do-café (*H. hampei*). Esse inseto é uma das principais pragas do café e infesta os frutos gerando em média 20% de perdas quantitativas. Segundo dados da Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé – Cooxupé, a infestação por broca vem crescendo e afetou 110 mil sacas dos cooperados, causando prejuízos de R\$ 7 milhões em 2015. Além das perdas quantitativas, a destruição dos grãos afeta a qualidade da bebida e pode favorecer o ataque do café por micro-organismos, aumentando o risco de contaminação por micotoxinas, o que afeta a segurança do produto para o consumo humano (ALVES, 2017; SILVA et al, 2020).

2.2 Broca-do-café

A broca-do-café, um besouro catalogado como *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), é uma das pragas mais importantes na maioria das regiões cafeeiras do Brasil. Infesta os frutos sobretudo no campo, mas também pode danificar grãos armazenados quando as condições de temperatura e umidade de estocagem são favoráveis à proliferação da praga. O inseto adulto é preto, brilhante, com 1,2-1,3mm x 0,5mm (macho) ou 1,2-1,8mm x 0,7mm (fêmea). A fêmea perfura o fruto ou o grão, cava uma galeria e deposita os ovos, que se transformam em inseto adulto entre 21 a 63 dias dependendo das condições climáticas (CARVALHO, 2008; BORÉM, 2023; BEZERRA et al, 2013, apud TRIGO et al, 2022; p. 89). As fases do ciclo de vida do besouro podem ser vistas na Figura 2.

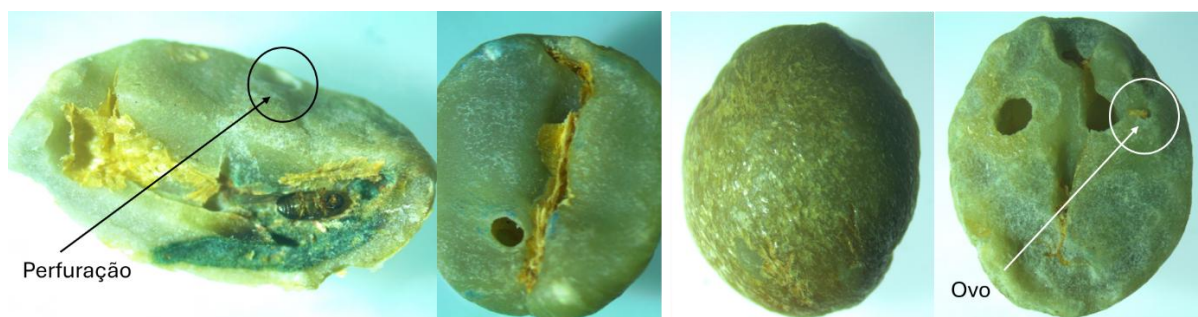
Figura 2. O ciclo de vida da broca-do-café.



Fase juvenil: ovo (4 dias), larva (15 dias) e pupa (7 dias). Fonte: BEZERRA et al (2013), apud TRIGO et al (2022); p. 89.

A fêmea adulta vive 156 dias, deposita de 31 a 119 ovos durante sua vida e após 4 dias nascem as larvas, cujo ciclo dura em torno de 14 dias. Essas se alimentam do grão, que vai perdendo peso e se tornando deteriorado pela broca-do-café. A larva se transforma em pupa e esta não se alimenta por um período médio de 8 dias, quando surge o inseto adulto. Os machos não deixam os frutos, não voam e têm ciclo de vida muito mais curto, de cerca de 40 dias; ou seja os machos permanecem dentro do grão, inclusive após o beneficiamento e a industrialização do café. Embora outras pragas infestem o cafezal, somente *H. hampei* ataca as sementes do café. A ação dos besouros é mais intensa de outubro a dezembro e ocorre sobre os frutos em qualquer estágio de maturação, incluindo frutos secos que sobram nas árvores ou no solo após a colheita (SOUZA e REIS, 1997; TRIGO et al, 2022). Na Figura 3 são mostrados grãos de café especial atacados pela broca-do-café.

Figura 3. Grãos de café especial atacados por *Hypothenemus hampei*.



Na esquerda: inseto inteiro dentro do grão que estava com um furo. Na direita: grão aparentemente normal (dorso), mas contendo ovo da broca-do-café e fungos dentro dos furos (aumento até 30 x).

Fonte: da autora (2023).

Vários são os danos provocados pela broca-do-café aos grãos, tanto quantitativos, quanto qualitativos, podendo-se citar (CARVALHO, 2008; TRIGO et al, 2022; IAMANAKA et al, 2014; NAKAYAMA et al, 2020):

a) queda prematura dos frutos; danos que inviabilizam a produção de sementes; apodrecimento de semente; depreciação do café na classificação por tipo segundo a Classificação Oficial Brasileira (COB); redução do peso dos grãos podendo atingir 20% de perda da lavoura; permanência de insetos e suas evidências capazes de provocar teor de fragmentos de insetos acima do permitido em cafés torrados/móidos;

b) alterações fisiológicas nos grãos (síntese de compostos químicos para proteção da planta podem afetar a qualidade da bebida); fungos e outros micro-organismos podem penetrar no grão pelo orifício aberto pela broca e contribuir para afetar a qualidade da bebida;

c) infestação de bolores é favorecida nos grãos atacados pela broca-do-café, aumentando o risco sanitário pela contaminação do café por ocratoxina A.

Embora a infestação no fruto ocorra essencialmente na lavoura, pode haver infestação em café estocado em condições inadequadas de umidade e temperatura dos armazéns caso haja grãos contendo ovos do besouro, que originarão as larvas, dando sequência ao ciclo biológico da praga, destruindo os grãos estocados. Insetos e fungos são os principais agentes biológicos que causam a perda de qualidade no armazenamento: os insetos consomem o grão e essa atividade eleva a temperatura, acelerando processos bioquímicos celulares indesejados, como a taxa respiratória, que provocam alterações indesejáveis no aroma e sabor do café. E isso também favorece o ataque e a proliferação de fungos, acentuando a perda de qualidade sensorial e sanitária dos grãos armazenados (BORÉM, 2023; PEDROSA et al, 2023).

Há tempos a broca-do-café vem sendo relatada como uma das principais pragas do café pela ampla disseminação e elevada infestação nas plantações no Brasil e no mundo (BORÉM, 2008; GREEN et al, 2015; JOHNSON et al, 2020; PEREIRA et al, 2021), bem como pelas perdas econômicas que provoca (ARISTIZÁBAL et al, 2023), mas existem poucos dados sobre o índice de infestação ao longo da cadeia produtiva. Um estudo detectou em média 18,6% de frutos atacados em café conilon do Cerrado Mineiro, com pico de incidência em julho, na estação seca, para as safras 2014 e 2015. A medição da flutuação populacional detectou incidência de ataque de até 72,4% na safra de 2014 (OLIVEIRA et al, 2018). Na safra de 2013, a incidência da broca foi mensurada em lavouras de café Catuaí IAC99 e de café conilon em Alfenas/MG. Os resultados mostraram que a população da broca no conilon foi maior que no arábica. Constatou-se que com o aumento das chuvas houve redução de frutos brocados (SILVA et al, 2022) e que as áreas mais quentes, secas e com dias mais longos são mais propensas à proliferação do besouro nos cafezais (PEREIRA et al, 2021). A insolação (horas de luz solar) e a temperatura foram as principais covariáveis que afetaram a emergência e a infestação por esse inseto no experimento conduzido por Pereira et al (2021).

Conforme noticiado pela Embrapa, o endossulfan (inseticida), até a sua proibição, era o produto com princípio ativo reconhecidamente eficaz no controle da broca-do-café. Além dele, só havia o registro de alguns produtos do princípio ativo clorpirifós, cuja limitação é a sua eficiência a campo, considerada apenas média (51 a 79% de controle). O informe apresenta uma lista atualizada até 2020 com 31 substâncias que estavam autorizadas para o controle do besouro, incluindo agroquímicos, controle biológico (com *Beauveria bassiana*) e o mecânico (armadilha com etanol + metanol), sendo este último empregado para monitoramento populacional da broca. Os novos produtos são relativamente caros em comparação ao

endossulfan e ainda não há comprovação de que são eficientes em todas as áreas e regiões produtoras de café (COSTA, 2020a). Um estudo conduzido por Mاتيoli et al. (2012) no Laboratório de Biologia dos Insetos do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras logo após a proibição do endossulfan, utilizou os inseticidas etofenproxi (10 e 30%) e endossulfan, e água como testemunha, via pulverização de 2,5 mL da calda química em torre de Potter, seguida de incubação com o inseto. Avaliou-se a mortalidade da broca-do-café e constatou-se que apenas o inseticida endossulfan foi eficiente, causando 93,3% de mortalidade. Etofenproxi (10% e 30%) não foi eficiente, porém apresentou diferentes mortalidades, com médias de 20,0 a 46,6%, respectivamente. Outras pesquisas sobre o combate químico sinalizaram que, embora haja agroquímicos com bom efeito de controle, os estudos experimentais apontam eficácia de controle, no geral, entre 70% a 80% para a broca-do-café (ARAYA ROJAS, 2020; METELLUS et al, 2020). A eficácia que o endossulfan possuía ainda não parece ter sido alcançada pelos produtos atualmente disponíveis.

O levantamento de Costa (2020b) apresenta 6 produtos que empregam o fungo *B. bassiana* como meio de combate à broca-do-café. Muitos estudos empregando controle biológico vêm sendo desenvolvidos há tempos, conforme aponta a revisão elaborada por TRIGO et al (2022).

Neves e Hirose (2005) estudaram o potencial do emprego do fungo *B. bassiana* avaliando a virulência de 61 isolados originários de diversos hospedeiros e regiões geográficas e conseguiram isolar 7 cepas com potencial de uso comercial, pois apresentaram mortalidade confirmada do fungo sobre o besouro acima de 60%. Também identificaram 4 cepas de *B. bassiana* que geraram mortalidade de 73% a 87% quando aplicados na concentração de 1×10^8 conídios/mL em condições de laboratório. Um estudo mais amplo foi realizado por Pereira (2020) avaliando o efeito do fungo sobre a broca em 10 ensaios de laboratório e 3 em campo, empregando-se sachês disseminadores (avaliados em 1, 15 e 30 dias), 3 experimentos via pulverização (com calda à base de blastosporos) e polvilhamento (de conídios na planta e em solo). Constataram que mesmo após a terceira aplicação via pulverização e polvilhamento, os índices de frutos brocados mantiveram-se altos. O sachê disseminador mais eficiente foi o papel de filtro furado contendo conídios, cuja exposição em campo após 30 dias apresentou viabilidade acima de 89%, sugerindo ser um mecanismo promissor, segundo os autores.

O controle biológico vem sendo desenvolvido como uma alternativa menos perigosa ao ambiente e aos trabalhadores em comparação com os agroquímicos. Mesmo assim, identificou-se que os esporos de *B. bassiana* e outros fungos podem entrar no corpo humano por via aérea ou mucosa, dado que seu tamanho aproximado de 0,28 μm pode atingir os alvéolos pulmonares

e causar alergias respiratórias de pessoas imunocomprometidas, sendo necessário que os trabalhadores do campo usem equipamentos de proteção individual para se precaverem dessas doenças (CUERVO-MULET et al, 2018). As informações levantadas evidenciam que o manejo biológico com o fungo tem apresentado potencial promissor para controlar a broca-do-café, mas pode não ser totalmente inofensivo ao trabalhador.

O emprego de armadilhas de captura vem sendo estudado há tempos. Fernandes et al (2014), por exemplo, constataram eficácia de 57% de captura do besouro na safra 2008/2009 comparado com a safra anterior, sendo considerado insuficiente para manter as densidades da broca abaixo do nível de dano ao cafezal. E Leite (2015) constatou que na área (1ha) onde se instalaram armadilhas de captura o índice de infestação foi de 0,5%, ante 2,5% na área controle. As vantagens atribuídas à armadilha nesse estudo foram o baixo custo, a segurança e a proteção ecológica, pois é menos tóxica que os produtos encontrados no mercado (LEITE, 2015).

Embora o mecanismo de captura apresente vantagens, ele requer materiais para a montagem da armadilha, insumos de reposição constante, época certa para instalação e mão de obra para inspeção e manutenção contínua para que se obtenha a eficácia apontada, sendo isso bastante desafiador para propriedades familiares e, ou com poucos funcionários. Se as condições adequadas não forem mantidas, é provável que a eficácia de 80% de controle de broca identificada por Leite (2015) não seja atingida.

Nota-se que o controle mecânico da broca-do-café empregando armadilhas de captura não é eficaz como forma de redução de infestação do besouro, pois diversas armadilhas foram testadas e a eficácia de captura não é alta, e há desafios operacionais para instalação e manutenção das armadilhas, embora elas sejam úteis para monitoramento do nível de infestação (FERNANDES, 2014; LEITE, 2015; BENVENGA e GITZ, 2018).

Tratamentos alternativos com extratos vegetais, como óleos essenciais e outros, vêm sendo testados para a conservação de café durante o armazenamento e têm apresentado resultados promissores no controle de pragas e fungos (PEDROSA et al, 2023).

O manejo adequado da lavoura, com eliminação dos grãos remanescentes nas plantas e no solo após a colheita, e as boas práticas aplicadas no pós-colheita, armazenagem e beneficiamento são imprescindíveis para o controle da broca, incluindo o monitoramento da infestação para que as ações de combate sejam realizadas em tempo hábil, considerando as técnicas disponíveis (BENVENGA e GITZ, 2018; COSTA, 2020a; OLIVEIRA, 2018; SILVA et al, 2022; TRIGO et al, 2022). Portanto, as ações prioritárias de controle da broca devem estar concentradas no campo.

Além dos poucos dados sobre a infestação da broca em café especial, praticamente não há estudos que investigaram o impacto do grão brocado na qualidade sensorial da bebida. Uma pesquisa realizada em Ruanda por Bigirimana et al (2019) buscou avaliar se a infestação da broca-do-café estava associada ao defeito de sabor de batata crua (PTD) que afeta a produção da região dos Grandes Lagos da África, sendo notado no grão em pergaminho, cru e torrado, e na bebida. Os autores constataram a ocorrência de PTD em 5% das amostras significativamente correlacionada com a densidade e danos causados por outro inseto, o antestia (*Antestiopsis thunbergii*), mas não com a infestação por broca (*Hypothenemus hampei*).

Reforça-se que o manejo integrado é o meio mais eficaz para controlar a infestação de *H. hampei* no café a partir do campo (PARRAS e REIS, 2013; PEREIRA et al, 2021). E após a colheita, as etapas de beneficiamento e rebeneficiamento são cruciais para a eliminação de grãos brocados antes da expedição do café para ser industrializado. O benefício visa melhorar o tipo e as características sensoriais do café, especialmente empregando a seleção eletrônica para a eliminação dos grãos defeituosos pela diferença de cor, sendo removidos principalmente os pretos, verdes e ardidos. A mesa densimétrica é empregada para a separação de grãos defeituosos, quebrados ou malformados (BORÉM, 2023). Não há uma etapa específica para a eliminação dos grãos brocados e muitos podem ser eliminados do café de acordo com o dano que apresentam. Por exemplo, quando estão rendados ou quebrados podem ser excluídos na mesa densimétrica; quando estão com a cor alterada pela presença de fungos (sujos), podem ser captados e eliminados pela seletora automática. Porém, podem permanecer na carga de café caso o dano provocado pela broca não seja suficiente para que os grãos sejam eliminados no beneficiamento.

O grão rebeneficiado, denominado ‘preparado’, pode atingir a categoria de café especial dependendo de seus atributos físicos e sensoriais, porém, o rebeneficiamento não tem sido capaz de eliminar completamente os grãos com baixo dano do ataque da broca-do-café, havendo o risco de reduzir sua qualidade e o valor econômico. Enquanto a saca de 60kg de café bica corrida, tipo 6, bebida dura para melhor (*commodity*) está sendo negociada um pouco acima de R\$1.200,00 (~US\$236) no início de safra 2024/2025 (CNC, 2024), os 30 lotes vencedores do *Cup of Excellence Brazil 2023* atingiram valores médios de R\$13.000,00 por saca (APEXBRASIL, 2023). Então, manter a sanidade do grão desde a lavoura até a xícara contribui para a sua qualidade sensorial, para a inocuidade quanto à ausência de micotoxinas e insetos, e para a valoração econômica do produto, contribuindo positivamente para o desenvolvimento da cadeia produtiva do café.

2.3 Matérias estranhas no café armazenado e processado

A resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa – RDC nº 623/2022 (BRASIL, 2022a) determina limite de tolerância de 60 fragmentos de insetos indicativos de falhas das boas práticas em 25 de café torrado e moído, abrangendo: a) artrópodes considerados próprios da cultura e do armazenamento, em qualquer fase de desenvolvimento, vivos ou mortos, inteiros ou em partes, exúvias, teias e excrementos, exceto os previstos como indicativos de risco, conforme inciso VII da referida legislação.

O grupo dos artrópodes engloba insetos (barata, mosquito, mosca, abelha, formiga, besouro e outros). A incidência de broca-do-café (besouro) tem aumentado e eleva o risco de presença de insetos e seus fragmentos no café torrado e torrado e moído, além de outras pragas associadas à cadeia produtiva, incluindo aquelas relacionadas às falhas de boas práticas de fabricação e riscos à saúde, e que podem ser detectadas no café disponibilizado ao consumidor. Silva, Fulco e Barbosa (2015) afirmaram que a presença de artrópodes em alimentos são um fator de risco à saúde da população, visto que os insetos se adaptam a diversos ambientes, tendo contato com animais, vegetais, fungos e bactérias, podendo facilmente disseminar microrganismos por meio da veiculação mecânica. Exemplos de transmissão de doenças aos humanos veiculadas por alimentos contaminados com artrópodes são apresentados e os autores esclarecem que os dados da vigilância epidemiológica nacionais e internacionais são levantados e analisados pela Anvisa para definir os limites de tolerância estabelecidos na legislação.

Uma pesquisa recente sobre a avaliação microscópica de marcas comerciais de café identificou um inseto e duas antenas de mosquito em uma das amostras, além de outras sujidades; apontando que, embora as amostras atendessem à legislação, não atendiam às normas de qualidade da ABIC; e que os adulterantes encontrados podem influenciar na qualidade do produto (ASSIS, MARQUES, SILVA, 2020). Destaca-se que o mosquito é classificado como indicador de risco à saúde pela legislação e isso não está determinado como limite para o café torrado e moído.

Reforçando o controle da Anvisa, a Portaria nº. 570/2022 (BRASIL, 2022c) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) determina parâmetros para a qualidade do café torrado e torrado e moído brasileiro, estabelecendo como contaminantes:

- elementos estranhos: as matérias estranhas ou impurezas indicativas de fraude, tais como grãos ou sementes de outros gêneros, corantes, açúcar, caramelo e borra de café solúvel ou de infusão;

- impurezas: os elementos extrínsecos tais como cascas, paus e outros detritos provenientes do próprio cafeeiro;
- matérias estranhas: os corpos ou detritos de qualquer natureza, estranhos ao produto, tais como grãos ou sementes de outras espécies vegetais, areia, pedras, torrões e demais sujidades;
- matérias estranhas indicativas de riscos à saúde humana e matérias estranhas indicativas de falhas das boas práticas: aquelas detectadas macroscopicamente ou microscopicamente, conforme legislação específica.

Nessa portaria está determinado que o somatório de matérias estranhas e impurezas máximo tolerado é de 1%, com ausência de elementos estranhos. O café torrado ou torrado e moído que ultrapassar esses limites é desclassificado e a empresa fabricante fica sujeita às sanções legais. O Programa Nacional de Prevenção e Combate à Fraude e Clandestinidade em Produtos de Origem Vegetal (PNFRAUDE) do Ministério da Agricultura e Pecuária tem divulgado listas recentes de marcas de café desclassificadas por apresentarem contaminações acima dos limites tolerados (MAP, 2024).

O rebeneficiamento aplicado ao café para enquadrá-lo na categoria especial da SCA visa eliminar esses contaminantes. Porém, caso haja permanência de *H. hampei* dentro dos grãos, poderá haver risco do café torrado e torrado e moído destinado ao consumo estar fora dos limites legais para matérias estranhas indicativas de falhas de boas práticas.

O controle da broca deve acontecer prioritariamente no campo, visto que após a infestação não é mais possível remover ovos e insetos que morrem no interior do grão. Cada talhão deve ser monitorado para se investigar evidências do ataque e o combate pode ser feito com a aplicação de produtos fitossanitários, controle biológico de pragas, uso de armadilhas de captura de insetos e realizando o manejo correto da lavoura (CARVALHO e SOUZA, 2016).

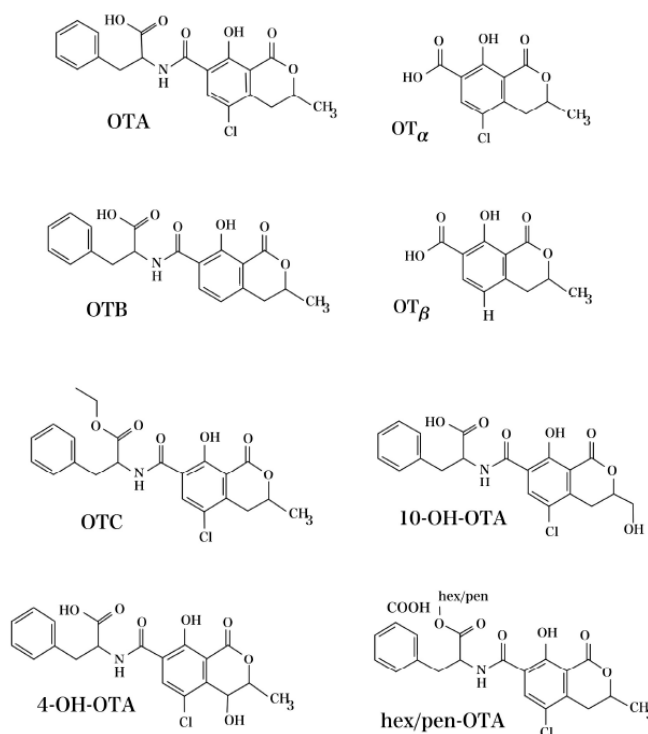
2.4 Ocratoxina A associada ao café

A ocratoxina é uma toxina produzida por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, principalmente *A. ochraceus*, *A. carbonarius*, *A. niger* e *P. verrucosum*. A estrutura química dos tipos da ocratoxina e os principais metabólitos estão na Figura 4.

Miri et al (2024) relataram características completas da toxina, quais sejam, ela é um composto das diidrocoumarinas, com fórmula molecular $C_{20}H_{18}ClNO_6$, descrita como L-fenilalanina, N-[[[(3R)-5-cloro-3,4-dihidro-8-hidroxi-3-metil-1-oxo-1H-2-benzopiran-7-il]carbonil]-. Apresenta as seguintes características químicas e físicas:

- massa molar de 403,8 g/mol;
- sólido branco, com ponto de fusão de 90°C quando cristalizada a partir de benzeno e de 169°C se for cristalizada a partir de xileno;
- pKa de 7,1 (ácido fraco);
- solubilidade em solventes orgânicos polares sob condições neutras e ácidas; baixa solubilidade em soluções aquosas; solúvel em soluções aquosas alcalinas/bicarbonato de sódio;
- exibe fluorescência à radiação ultravioleta (UV), sendo verde em ambiente ácido e azul em ambiente alcalino. Esta característica é empregada nas técnicas de detecção e análise de ocratoxina (BAZIN et al, 2010; MIRI et al, 2024);
- resistente à radiação e temperatura;
- Ocratoxina: “A” é a mais estudada e mais tóxica, e a “B” é menos relatada na literatura e menos tóxica em comparação com a ocratoxina A (OTA).

Figura 4. _Estrutura química das ocratoxinas e seus metabólitos.



Compostos intermediários: ocratoxina B (OTB), alfa (OT α) e beta (OT β). Fonte: MIRI et al (2024).

A dose letal para extermínio de 50% de uma população (LD50) da ocratoxina A para humanos não é bem estabelecida, pois os estudos são realizados em animais. Para ratas, a LD50 está em torno de 5 a 20 mg/kg, dependendo da via de administração e da condição do organismo.

A toxicidade em humanos geralmente está associada à exposição crônica e pode levar a problemas de saúde a longo prazo, como doenças renais e câncer (MIRI et al, 2024).

A ocratoxina A é a mais frequentemente encontrada em café. A contaminação ocorre sobretudo no campo e na pós-colheita devido à secagem lenta e, ou incompleta, e quando os grãos são armazenados em condições inadequadas que favorecem a ação dos bolores quanto à produção da micotoxinas (BORÉM, 2008; SILVA et al, 2021).

O café, seja processado por via seca ou úmida, possui microbiota diversificada, incluindo as benéficas que favorecem fermentações positivas para a melhoria do aroma e sabor, e as indesejáveis que podem prejudicar a qualidade (MELO PEREIRA et al., 2019; PIMENTA e VILELA, 2003). Além dessa microbiota natural, o ataque de *H. hampei* pode favorecer a presença de outros micro-organismos, aumentando o risco de deterioração, perdas sensoriais e contaminação por micotoxinas, o que afeta a segurança do produto para o consumo humano (SILVA et al, 2021; BORÉM, 2023; MIRI et al, 2024).

A base de publicações internacionais *Web of Science* aponta que desde 2010 houve aumento de publicações investigando a contaminação do café com ocratoxina A (OTA) relacionada à presença de insetos. Esses artrópodes perfuram os frutos e ou os grãos em várias fases da produção do café, do campo à indústria, favorecendo o ataque dos fungos produtores da OTA. Silva et al (2020) identificaram a presença de OTA em café especial relacionada à presença de grãos brocados. Durand et al (2013), em estudo de revisão, investigaram OTA nos tratamentos pós-colheita e industrialização do café e constataram que a presença da toxina ocorre do campo ao produto, estando prioritariamente associada às falhas de boas práticas agrícolas.

Sendo a OTA a micotoxina mais relevante na contaminação do café, produzida principalmente por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, então, todos os fatores que afetam a proliferação e sobrevivência dos bolores estão relacionados à formação de OTA. *Aspergillus ochraceus*, por exemplo, produz pouca OTA em café cru/verde quando a Atividade de Água (Aw) é 0,80, mas o teor sobe para 7,2 mg/kg de OTA com valor de Aw em 0,95. A faixa de temperatura favorável situa-se entre 10°C e 30°C dependendo da espécie de fungo e as condições climáticas também afetam a produção da toxina, sendo que a proliferação dos bolores e a produção da toxina se intensificam quando a umidade dos grãos é superior a 16%, sobretudo na faixa de temperatura de 10 a 28°C. Várias espécies cresceram e produziram OTA na faixa de 5,35 a 6,5 de pH (MIRI et al, 2024). Tais características apontam que as condições climáticas do Brasil são favoráveis à proliferação dos bolores e, portanto, aumentam o risco de contaminação do café com OTA.

Fusarium e *Aspergillus* foram os gêneros de fungos mais abundantes nas amostras de café analisadas por SILVA et al (2021), e são potencialmente toxigênicos. Ocratoxina A pode ser produzida por *Aspergillus sp.* e foi detectada em algumas amostras. Apresenta efeitos nefrotóxicos, imunossupressores, carcinogênicos e teratogênicos, sendo altamente tóxica (ARRUDA e BERETTA, 2019). A Resolução de Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) RDC nº. 487/2021, complementada pela Instrução Normativa IN nº. 160/2022, estabelece um Limite Máximo Tolerado (LMT) de OTA para café torrado (moído ou em grão) e café solúvel de 10mcg/kg (ou µg/kg).

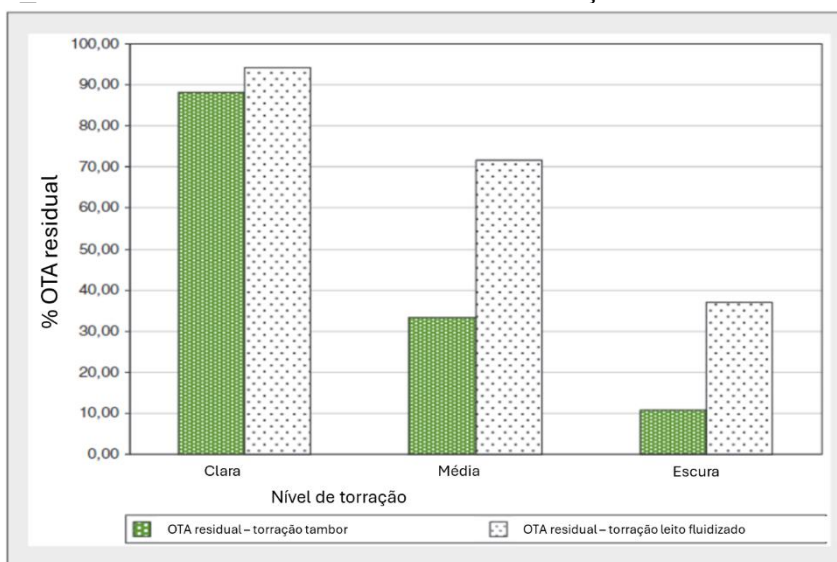
O aumento da produção de café, sobretudo de cafés especiais; o interesse do consumidor por cafés de melhor qualidade e mais saudáveis, aliado à necessidade de checagem do LMT para OTA, requerem que mecanismos rápidos e eficazes de monitoramento e controle sejam disponibilizados para que as empresas do setor cafeeiro possam ofertar produtos seguros ao consumo.

Miri et al (2024) levantaram as características químicas e físico-químicas da ocratoxina e uma delas é a luminescência. OTA exibe forte fluorescência quando exposta à radiação ultravioleta gerando cor verde em ambiente ácido e uma cor azul em ambiente alcalino, permitindo que técnicas de detecção e análise sejam desenvolvidas aproveitando esta peculiaridade. A literatura indica que métodos mais modernos de análises vêm sendo desenvolvidos, tais como os sensores para identificação de micotoxinas a partir do uso de nanoestruturas de carbono e zinco que apresentaram uma ótima sensibilidade e especificidade para detecção de OTA em café torrado e moído (COSTA, 2018). Outro exemplo de inovação analítica para o setor cafeeiro é de Barreto (2019), que desenvolveu um método acessível, relativamente rápido e reprodutível para determinação de compostos fenólicos e da atividade antioxidante em café arábica empregando imagens digitais, validando-o por comparação com o método tradicional de espectrofotometria no UV-Vis com 95% de confiança. As técnicas analíticas mais modernas buscam redução de custos, rapidez de execução e resposta, facilidade de uso, sustentabilidade e outras vantagens, mas requerem validação para garantir que os resultados obtidos apresentem precisão, exatidão e reprodutibilidade satisfatórias.

Embora ocorra degradação térmica da OTA na torração, níveis da micotoxina permanecem no café torrado e na bebida, indicando que o tratamento térmico não é eficaz para garantir a ausência desse contaminante (DURAND et al, 2013; MIRI, 2024), conforme se observa na Figura 5, demonstrando que o aumento da intensidade de torração reduz, mas não elimina a OTA do café. Os brasileiros ainda têm preferência pela torra escura, mas o consumo de cafés de melhor qualidade, com torração mais branda, tem crescido substancialmente (ABIC,

2023). Os consumidores têm se tornado mais exigentes, sendo valioso que a indústria controle o risco de presença de insetos e de OTA no café torrado e moído, e que presumivelmente poderão estar presentes na bebida, visto que isso expõe o consumidor aos danos potenciais causados pela toxina.

Figura 5. _ Influência da intensidade da torra na redução da OTA do café verde/cru.



Torra clara, média e escura. Fonte: Castellanos-Onorio et al. (2011); apud. Durand et al (2013).

É necessário destacar que a broca-do-café consome o interior do grão e, portanto, além da possibilidade de haver o inseto dentro do café, este grão atacado terá sua qualidade sensorial prejudicada. E além dos danos causados pela broca-do-café e potencial risco devido a possibilidade de contaminação com OTA, os grãos sofrem transformações diversas que alteram suas características sensoriais, especialmente na composição lipídica.

2.5 Métodos analíticos

A evolução que ocorre na ciência inclui a área de análise de alimentos também. Buscam-se modificações que tornem os métodos mais precisos, mais exatos e, sobretudo, mais viáveis sob os aspectos ambientais, econômicos e menos insalubres, considerando a atuação do analista. As melhorias caminham no sentido de empregar técnicas não destrutivas das amostras, reduzir e, ou substituir reagentes, desenvolver adaptações para as versões micro analíticas, que implicam em realizar um protocolo conhecido, porém, empregando proporcionalmente quantidades muito menores de amostras e reagentes.

2.5.1 Análise de classificação física e sensorial do café

O método de inspeção física dos grãos de café e critérios estabelecidos na Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, MAPA, (BRASIL, 2003) são o padrão normativo para avaliar o enquadramento do Tipo do café conforme o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru quanto ao nível de defeitos encontrados numa amostra representativa. Esta é a Classificação Oficial Brasileira – COB. Uma amostra homogênea de 300g de grão cru é vertida sobre uma cartolina preta e visualmente é inspecionada, grão a grão, para a catação dos defeitos intrínsecos e extrínsecos. Esses defeitos são contados e a quantidade encontrada é convertida em número de defeitos conforme a tabela de equivalência estabelecida no próprio regulamento técnico. O número total de defeitos definirá o Tipo do café de acordo com a tabela da Instrução Normativa.

Há protocolos específicos da *Specialty Coffee Association (SCA)* para avaliar se o café atende aos requisitos físicos e sensoriais para ser classificado como especial. A avaliação física compreende determinar a granulometria dos grãos, que precisam ser do tamanho da peneira 16 e acima, e avaliar o nível de defeitos em 350g de grão verde/cru, sendo que não são admitidos defeitos da Categoria 1 e, no máximo, 5 defeitos da Categoria 2, cujos parâmetros estão demonstrados na Figura 6. Na Categoria 1, um conjunto de 5 grãos brocados com ataque severo equivalem a 1 defeito e isso não pode estar presente em café especial. Na categoria 2, um conjunto de 10 grãos brocados com ataque leve equivalem a 1 defeito, sendo tolerados 5 defeitos no café especial (SCAA, 2009). Portanto, na amostra de 350g, a tolerância quanto aos defeitos das categorias 1 e 2 são 4 grãos brocados com ataque severo e 50 grãos brocados com ataque leve, respectivamente, para manter o café no enquadramento de especial no quesito ‘grão brocado’.

A SCA estabelece critérios para a avaliação sensorial da bebida seguindo os critérios para a Prova de Xícara (*cupping*) do mesmo protocolo, sendo realizada por provadores especialistas (SCAA, 2015). O mecanismo para a avaliação sensorial é descrito no documento, mas destacam-se alguns pontos, como:

- as amostras devem ser torradas no prazo de 24h antes da degustação, com descanso mínimo de 8h e em tom médio-claro (Discos de Agtron # 65 e #55);
- a amostra deve ser moída no máximo 15 minutos antes da infusão com água. A concentração ótima é 5,5% m/v. Usualmente se empregam 8,25g de café moído em 150ml de água. E cinco xícaras são preparadas para cada amostra.

- os provadores realizam a degustação com a amostra quente, morna e fria e lançam as notas e os descritores sensoriais em um formulário padrão que fornece possibilidade de avaliação de 11 importantes atributos para o café, sendo: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos (Xícara Limpa), doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e avaliação global.

Figura 6. _ Categorias - Tipos e equivalências de defeitos estabelecidos como limite de tolerância para enquadramento do café como especial.

TABELA DE EQUIVALÊNCIA DE DEFEITOS SCAA – CATEGORIA “1”

TIPO DE DEFEITO	EQUIVALÊNCIA (PARA 1 DEFEITO)
Preto (Totalmente)	1
Ardido (Totalmente)	1
Coco (Marinheiro)	1
Atacado por Fungos	1
Paus, Pedras e Outras Impurezas	1
Grão Brocado (Ataque Severo)	5

TABELA DE EQUIVALÊNCIA DE DEFEITOS SCAA – CATEGORIA “2”

TIPO DE DEFEITO	EQUIVALÊNCIA (PARA 1 DEFEITO)
Preto (Parcialmente)	3
Ardido (Parcialmente)	3
Pergaminho	5
Mofado	5
Imaturo	5
Malformado	5
Concha	5
Quebrado, Cortado	5
Casca	5
Grão Brocado (Ataque Leve)	10

Fonte: SCAA (2009).

Cada atributo é pontuado entre zero e 10 pontos, exceto a avaliação global, que é baseada na memória sensorial do degustador tomando por referência cafés de mesma origem e natureza (SCAA, 2015), ou empregando os descritores do *Lexo Sensorial*, também conhecido como Roda de Sabores do Café (LINGE, 2011; BORÉM et al, 2023). O café será considerado especial quando atingir no mínimo 80 pontos no somatório das notas atribuídas aos requisitos.

2.5.2 Análise de matérias estranhas

A Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 623, de 9 de março de 2022 – Anvisa, Ministério da Saúde (BRASIL, 2022), dispõe sobre os limites de tolerância para matérias estranhas em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. O Art. 6º determina que:

§ 1º Para pesquisa de matérias estranhas macroscópicas, devem ser utilizadas as metodologias analíticas estabelecidas no Macroanalytical Procedures Manual – U.S. Food and Drug Administration (US FDA), ou equivalente.

§ 2º Para pesquisa de matérias estranhas microscópicas, devem ser utilizadas as metodologias analíticas estabelecidas pela AOAC International, ou equivalente.

O limite de tolerância para matérias estranhas inevitáveis, exceto ácaro, é estabelecido para café torrado e moído, sendo de 60 fragmentos de insetos indicativos de falhas das boas práticas em 25g de produto.

A metodologia analítica estabelecida para a análise dos fragmentos de insetos é o método AOAC no 988.16 adaptado, com substituição do isopropanol por álcool etílico. Essa mudança mantém a confiabilidade do método e emprega um reagente com menor toxicidade sem comprometer o resultado analítico.

Segundo Ribeiro (2023) *as análises microscópicas são realizadas para detectar a presença de matérias estranhas, sujidades, fraudes e identificar elementos histológicos nos alimentos, possibilitando discutir a necessidade de implementação de ações de controle de qualidade (ipsis litteris).*

2.5.3 Análise de ocratoxina

Um total de 21 (vinte e um) métodos para análise de ocratoxinas foi levantado e analisado, sendo 5 relacionados à análise geral de alimentos e 4 estudos analisaram OTA em café. Todas as técnicas buscaram ser precisas e sensíveis devido à importância de avaliar quantitativamente a OTA devido ao seu potencial para impactar negativamente a saúde humana e animal (MIRI et al, 2024). As técnicas citadas para análise de café dependem de equipamentos caros, sofisticados e específicos (2D-HPLC, UHPLC-MS/MS, qPCR, FRET-LFI) que desfavorecem a medição de OTA com finalidade de controle de qualidade de lotes de café pelas empresas. Porém, os métodos empregando sensores de aptâmeros eletroquímicos e imunossensorias de fotoluminescência citados por Miri et al (2020) foram empregados como possibilidade de aplicação para análises de alimentos em geral. Isso ocorre porque a OTA exibe fluorescência extraordinária quando exposta à radiação ultravioleta (UV), sendo fluorescência verde em ambiente ácido e azul em ambiente alcalino, permitindo que técnicas de detecção sejam construídas aproveitando esta peculiaridade.

A luminescência foi empregada por Oliveira et al (2023) para desenvolver um imunossensor impedimétrico para detectar OTA. O biossensor foi construído sobre um eletrodo de ouro de película fina evaporado em substratos de vidro, modificados com monocamada de cisteamina automontada e anticorpos anti-OTA e sua eficácia foi referendada por microscopia de força atômica e microespectroscopia RAMAN (eletrodos), e o desempenho do biossensor foi avaliado por espectroscopia de impedância eletroquímica. O produto é seletivo para OTA e não sofre interferência matricial quando empregado para analisar amostras de café. Além disso, emprega vidrarias e equipamentos comuns em laboratórios, precisa de pequenos volumes de amostras, é rápido, e o descarte pode ser feito sem necessidades especiais de neutralização ou descontaminação, sendo seguro, também, para o manuseio pelo analista. A faixa de detecção deste teste rápido é de 0,5 a 100ng/mL, com limite de detecção de 0,15ng/mL, atendendo à quantificação para o nível máximo tolerado pela legislação brasileira. Então, considerando esses requisitos, o teste se mostrou promissor para analisar o teor de OTA nos grãos brocados.

2.5.4 Análise de lipídios totais

O método dos pesquisadores Blygh e Dyer (BD) foi publicado em 1959 e é considerado padrão ouro para a extração de lipídios totais. A extração de lipídios dos alimentos é uma análise que vem sofrendo alterações ao longo do tempo que visam tanto extrair-los de forma eficiente, preservando a sua composição e integralidade, quanto empregando solventes menos tóxicos e ambientalmente seguros, buscando-se a extração mais rápida, em uma única etapa.

Saini et al (2021) levantaram os avanços sobre os métodos de extração de lipídios e, acerca da técnica de Bligh-Dyer, constataram que é um método rápido, com maior polaridade do meio devido à adição de água que melhora a separação de fases e o rendimento lipídico extraído (especialmente quando comparado com Soxhlet), e a combinação clorofórmio/metanol favorecem a difusão dessas substâncias através da parede celular com a liberação direta de lipídios em massa.

O estudo conduzido por Silva et al (2020) traçou um perfil de lipídios de grãos de café verde/cru em diferentes estádios de maturação. Empregaram as técnicas de Bligh-Dyer (BD), Folch (FO) e Matyash (MA) para extrair os lipídios e o perfil foi determinado por espectrometria de massa ‘tandem’ de alta resolução por cromatografia líquida (LC-HRMS/MS). Os resultados indicaram que o método BD alcançou resultados totalmente satisfatórios. O método MA emprega éter metílico em substituição ao clorofórmio e isso pode ser uma vantagem em relação à toxicidade do solvente, embora não desqualifique a técnica de BD. De Jesus e Maciel Filho (2020) analisaram os avanços na extração de lipídios empregando solventes ‘verdes’, ou seja, aqueles com vantagens para a proteção ambiental, tal como o éter metílico e fluidos supercríticos. Constataram que há métodos promissores, mas nenhuma metodologia até o momento foi capaz de obter um rendimento igual ou superior ao método de Bligh e Dyer considerando a reprodutibilidade e a economicidade. Portanto, o método DB pode ser aplicado na extração de lipídios totais visando investigar o impacto dos danos da broca-do-café nos grãos de café cru e torrado. A micro-técnica BD posposta por Silva et al (2020) é bastante apropriada porque utiliza quantidades mínimas de amostra e de reagentes, mas mantém o princípio do método original de Bligh e Dyer.

A ressonância magnética nuclear (RMN) é uma análise não destrutiva e requer pouca ou nenhuma preparação da amostra. A técnica espectroscópica se baseia na interação da matéria com a radiação eletromagnética na região das radiofrequências em torno de 4 e 900MHz que perpassa o núcleo dos átomos gerando alterações/deslocamentos nos campos magnéticos que são captados como sinais que possibilitam a identificação de grupos funcionais e arranjos de ligações nas moléculas, favorecendo o estudo, a identificação e quantificação de compostos (MATÉRIAS, 2020). Tem sido empregada para analisar lipídios em café e se mostra promissora especialmente para investigar marcadores da qualidade do café, conforme relatado a seguir. Porém, o alto custo do equipamento é um fator limitante no seu uso como método para o controle de qualidade, por exemplo. Nesse aspecto, o método de Bligh-Dyer supera RMN, pois utiliza reagentes e equipamentos comuns e acessíveis para os laboratórios analíticos.

Mesmo assim, tornou-se importante comparar os resultados entre BD e RMN porque isso reforça a investigação sobre a possibilidade de uso desses métodos para a análise da qualidade do café e confere mais consistência na análise do efeito dos danos provocados pela broca-do-café nos grãos do café especial.

Segundo Williamson e Hatzakis (2019), a ressonância magnética permite estudar as mudanças estruturais do café em relação à exsudação de óleo e migração de lipídios provocada pela torração e foi empregada com o objetivo de investigar características específicas de cafés de várias regiões. A RMN direcionada foi comparada com um método de padrão interno (IS) e com outra baseada em comprimento de pulso (que dispensa IS); e a RMN-não direcionada foi acoplada à análise estatística multivariada (MVSA). A análise por RMN foi capaz de detectar alterações morfológicas na estrutura do grão e migração lipídica do endosperma para a superfície do café. A diferença foi notada entre o café cru e torrado, mas não foi significativamente diferente entre as 11 amostras de regiões geográficas diferentes. Constataram, em suma, que os produtos derivados da hidrólise dos lipídios sofreram influência da torra, sendo as cadeias de ácidos graxos insaturados os marcadores mais significativos gerados pela oxidação dos lipídios, e isso pode ser relacionado com os aromas presentes no café torrado.

Nota-se que o emprego de RMN é versátil para analisar mais de um parâmetro, mas segundo a literatura específica, o método BD é viável, adequado e confiável para a determinação de lipídios totais.

2.6 Catuaí amarelo – características sensoriais e composição química

A qualidade do café depende de vários fatores e entre eles está a seleção da variedade, que influencia na composição química do grão do café. Na região da Mantiqueira de Minas, no Sul de Minas, por exemplo, predomina o café arábica (*Coffea arabica*) das cultivares Bourbon (amarelo e vermelho); Mundo Novo (Acaiá e outros); Catuaí Amarelo-47 e outros; Catucaí Amarelo e Icatu amarelo (FAVARÃO, 2011). Segundo descrito pelo Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais - CCCMG (CCCMGb, 2019) esses cafés têm como características gerais, que os diferenciam de outros mundo afora, o aroma com notas de laranja-lima; corpo cremoso e denso; com sabor variando levemente de caramelo ao sabor de laranja; acidez viva, crítica, intensa e cristalina; e apresenta finalização doce, com leve toque de mel. É possível reconhecer essa qualidade pela quantidade e qualidade de premiações que os

produtores da Mantiqueira de Minas vêm recebendo pelos seus grãos (COCARIVE, 2019). Todos os cafés premiados eram categorizados como especiais.

A Associação de Cafés Especiais, que no setor cafeeiro no Brasil é tratada pela sigla em inglês - *Specialty Coffee Association* (SCA) estabelece que os cafés especiais são os que possuem atributos sensoriais diferenciados, tolerando-se muito baixo nível de defeitos. A *Brazilian Specialty Coffee Association* - BSCA é signatária da SCA e atua promovendo, incentivando e divulgando os cafés especiais brasileiros no mercado interno e internacional. Segundo a entidade, além da qualidade intrínseca, os cafés especiais devem ter rastreabilidade certificada e respeitar critérios de sustentabilidade ambiental, econômica e social em todas as etapas de produção (BSCA, 2024), reforçando a importância de controlar a infestação de *H. hampei*. O protocolo SCA é a técnica sensorial usual empregada pelas empresas do setor para a avaliação da qualidade da bebida do café especial, e os resultados encontrados servem de referência para as tomadas de decisões sobre o destino dos grãos, estando atrelados à valoração do produto. A escala de pontos dos atributos sensoriais desse protocolo é acompanhada da descrição das impressões sensoriais baseadas no *Lexo Sensorial* desenvolvido pela *World Coffee Research* (LINGE, 2011; BORÉM et al, 2023), conhecida como Roda de Sabores do Café. A pontuação alcançada e a descrição de sabores são empregadas para atribuir valor ao café nas transações comerciais e vêm sendo estampadas nas embalagens de alguns cafés torrados para permitir que o consumidor conheça e aprecie a bebida de acordo com os seus atributos sensoriais.

A produção da safra 2023 no Brasil rendeu mais de 55 milhões de sacas de café beneficiado. Não há dados disponíveis que informam a produção de cada cultivar, mas desse total, 38,9 milhões de sacas foram de café arábica, representando 70,7% do volume total produzido no país (CONAB, 2023). Milhares de cruzamentos são realizados pelos melhoristas anualmente, sendo selecionados centenas de materiais, dos quais são selecionadas dezenas de variedades comerciais e, por fim, das variedades são selecionadas 1, 2 ou 3 cultivares que são catalogadas no Registro Nacional de Cultivares (FERNANDES, 2018). Segundo a Embrapa, “o Brasil dispõe, até junho de 2021, de 176 cultivares de café cadastradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, das quais 135 são de *Coffea arabica* e 42 de *Coffea canephora*” (CARVALHO et al, 2022).

Entre as cultivares, a catuaí vem sendo bastante plantada devido às suas características agrônômicas, como alta produtividade, alto vigor vegetativo, porte baixo e grão médio; também pelos bons atributos sensoriais, gerando bebida diferenciada (CARVALHO et al, 2022). O fruto no estágio de maturação cereja pode ter coloração vermelha ou amarela. A cultivar Catuaí

Amarelo IAC62 possui as características apresentadas na Figura 7. Tem origem no cruzamento entre ‘Caturra Amarelo IAC476-11’ e ‘Mundo Novo IAC374-19’, realizado pelo Instituto Agrônômico (IAC).

Observa-se que a planta tem porte baixo, diâmetro de copa médio e cor verde nas folhas jovens/brotos; a cor do fruto maduro é amarela e os grãos têm tamanho médio; a maturação é de média a tardia e a cultivar é suscetível à ferrugem e aos nematóides. As vantagens da cultivar são o alto vigor vegetativo, alta produtividade e a qualidade diferenciada da bebida (CARVALHO, 2022).

Figura 7. _ Características da cultivar Catuaí Amarelo IAC62.

Porte Baixo Alto	Diâmetro da copa Pequeno Médio Grande	Cor das folhas jovens (brotos) Verde
Cor do fruto maduro Amarela	Tamanho do grão Pequ. Médio Grande Muito grande	Época de maturação () Precoce () Entre precoce e média () Média (X) Entre média e tardia () Tardia
Resistência à ferrugem (X) Suscetível () Parcialmente resistente () Resistente	Resistência a nematoide Suscetível	Resistência a outras doenças Não há.
Vigor Vegetativo Baixo Médio Alto	Qualidade da bebida Regular Diferenciada	Produtividade Baixa Média Alta Muito alta
Considerações e recomendações	É a cultivar do grupo Catuaí Amarelo mais difundida no Brasil e a que produz a melhor qualidade da bebida. Apresenta ampla adaptabilidade, sendo cultivada em diversas regiões cafeeiras.	
Ano de registro no Registro Nacional de Cultivares	1999. Outras cultivares do grupo Catuaí Amarelo registradas e não citadas anteriormente são: IAC 17, IAC 39, IAC 47, IAC 74, IAC 86 e IAC 100.	

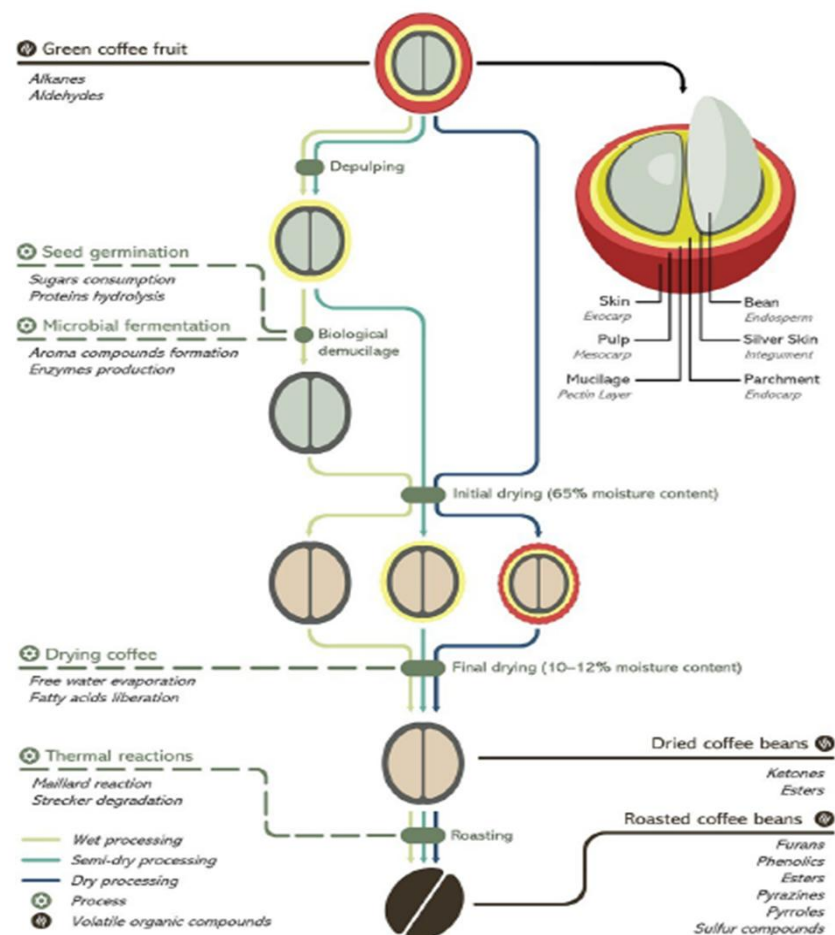
Fonte: CARVALHO et al (2022).

O catuaí amarelo proveniente da região da Mantiqueira de Minas, por exemplo, possui características sensoriais distintas quando cultivado acima de 1040 metros de altitude, e sua

pontuação usualmente é superior a 85 na escala da SCA. As características sensoriais presentes na bebida para o café natural, processado por via seca, são descritas como sabor e aroma predominante cítrico, floral e frutado; corpo cremoso e denso; acidez cítrica com intensidade médio-alta; doçura alta e finalização longa (APROCAM, 2011).

A cultivar do café indica sua qualidade potencial na bebida, mas muitos fatores podem interferir nos aspectos sensoriais. Pimenta e Vilela (2003) apontaram que a microbiota que naturalmente está presente e, ou infecta os grãos (leveduras, bolores e bactérias) possuem suas enzimas que agem sobre os componentes do café, principalmente os açúcares, fermentando-os e produzindo álcool; e este pode ser metabolizado em ácido acético, láctico, butírico e outros ácidos carboxílicos superiores. Os ácidos butírico e propiônico estão associados com prejuízos na qualidade do café. Ressaltaram, ainda, que quando há fermentação prolongada, a infecção por micro-organismos torna-se acentuada, e começa a produção de compostos responsáveis pelos sabores indesejáveis. A Figura 8 demonstra transformações químicas no café.

Figura 8. _Métodos de processamento pós-colheita e as principais alterações bioquímicas que impactam na formação dos compostos voláteis presentes no café torrado.



Fonte: Melo Pereira et al. (2019).

É interessante inferir que as alterações que ocorrem por micro-organismos podem afetar a composição química do grão, acentuando a perda de qualidade. Também é oportuno relatar que o ataque da broca-do-café fura a casca do fruto e abre galerias que expõem as sementes do café ao maior risco de contaminação microbiana, e isso pode favorecer a perda de qualidade sensorial da bebida.

Arelada à composição e à qualidade intrínseca do grão está a torrefação, ou torração do café, podendo realçar seus atributos ou provocar defeitos que prejudicam a qualidade da bebida, pois o aroma e sabor do café são formados principalmente nesta etapa; e quanto maior é o rigor da torra, maior é a perda de compostos desejáveis do café (ALVES, 2012). A formação do *flavor* do café torrado parte de moléculas simples presentes no grão que vão se transformando a partir do pós-colheita, culminando nas intensas reações que ocorrem durante a torração, conforme pode ser visto no esquema de alterações bioquímicas e formação de compostos criado por Melo Pereira et al (2019) (Figura 8).

O grão cru tem gosto desagradável, mas possui carboidratos, proteínas, lipídios e outros compostos (tióis, fenóis) que se modificam devido às vias metabólicas que ocorrem no fruto e pela microbiota (numa fermentação positiva), gerando os compostos que formarão aroma. Na torração, essas substâncias participam de Reação de Maillard, Degradação de Strecker e pirólise, que formam aroma, sabor e cor desejáveis. Essas substâncias presentes nos grãos podem gerar agradáveis notas aromáticas de especiarias e florais, por exemplo, mas também podem se desdobrar em compostos de sabor e odor desagradável, sobretudo quando há ataque de insetos nos grãos (MELO PEREIRA et al, 2019; PIMENTA e VILELA, 2003).

Portanto, grãos sadios podem gerar cafés torrados agradáveis à bebida, mas grãos atacados por insetos podem ter perdas dos compostos que se transformariam em boas notas aromáticas e de sabor, pois as larvas e o próprio inseto se alimentam do grão; além disso, os insetos liberam produtos do seu metabolismo que contribuem para que a bebida obtida de grãos danificados seja ruim.

REFERÊNCIAS

ABIC. Indicadores da Indústria de Café: 2023. Estatísticas. Associação Brasileira da Indústria de Café. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/>. Acesso: 26 mai 2024

ALVES, B. H. P. Análise química do aroma e da bebida de cafés de Minas Gerais e Espírito Santo em diferentes graus de torra. 2012. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra)

- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17507>. Acesso: 28 fev. 2019.

ALVES, G. R. Conheça os prejuízos causados e os fatores que favorecem a broca-do-café. Tecnologias. **Revista Cafeicultura**. Postado em: 01 nov. 2017. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/?mat=65354>. Acesso em: 16 abr. 2022.

APEXBRASIL. Leilão do Cup of Excellence Brazil 2023 tem maior preço médio da história. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (ApexBrasil). Publicado: 07 dez 2023. Disponível em: <https://apexbrasil.com.br/br/pt/conteudo/noticias/leilao-do-cup-of-excellence-brazil-2023-tem-maior-preco-medio-da-historia.html#:~:text=O%20leil%C3%A3o%20dos%20lotes%20vencedores,por%20saca%20de%2060%20kg>. Acesso: 20 jan. 2024

APROCAM. Protocolo de identidade, qualidade e rastreabilidade para embasamento da indicação geográfica dos cafés da Mantiqueira de Minas. Relatório integrante da documentação apresentada ao INPI - Regulamento de uso: Denominação de origem Mantiqueira de Minas. Cadernos de Especificações Técnicas Mantiqueira de Minas. 2011, 12p. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/cadernos-de-especificacoes-tecnicas/MantiqueiradeMinas.pdf>. Acesso: 26 mai 2024

APROCAM. Associação dos Produtores de Café da Mantiqueira de Minas, 2019. Disponível em: <http://www.mantiqueirademinas.com.br/organization>. Acesso: 28 fev. 2019.

ARAYA ROJAS, L. A. Proteção de frutos de café contra *Hypothenemus hampei* por inseticidas: quanto mais velho, melhor? 2020. 40 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/28123>. Acesso em: 10 set 2023.

ARISTIZÁBAL, L. F; JOHNSON, M. A; SHRINER, S; WALL, M. Frequent and efficient harvesting as an economically viable strategy to regulate coffee berry borer on commercial farms in Hawaii. **Journal of Economic Entomology**, 116(2), Apr. 2023, 513–519, <https://doi.org/10.1093/jee/toad041>.

ARRUDA, A. C, et al. Justificativas e motivações do consumo e não consumo de café. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, v. 29, n. 4, p. 754-763, out.-dez. 2009. ISSN 0101-2061. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/CLL9jnFjWXWTBKsxrBkGnpc/?format=pdf>. Acesso: 25 mai 2024.

ASSIS, N. M; MARQUES, C. A; SILVA, M. C. Avaliação microscópica de amostras comerciais de café. **Segur. Aliment. Nutr.**, Campinas, v. 27, p. 1-13, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/san.v27i0.8658921>

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

BARRETO, M. S. Método analítico inovador para determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante do café. Orientador: Marcelo Henrique dos Santos. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) - Universidade Federal de Viçosa,

Viçosa, 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/d10f0ecc-b541-4a79-af60-19fd608e2bd3/content>. Acesso em: 27 jun. 2024.

BAZIN, I; NABAIS, E; LOPEZ-FERBER, M. Rapid Visual Tests: fast and reliable detection of ochratoxin a. **Toxins**. 2010; v. 2, n. 9, p: 2230-2241. <https://doi.org/10.3390/toxins2092230>

BENVENGA, S. R.; GITZ, G. Monitoramento da broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) com armadilha bio broca (caimônio sintético) e correlação com a infestação de frutos. In: 44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. CBPC (44.:2018: França, SP) - Anais [421]. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11791>. Acesso: 08 set 2023.

BIGIRIMANA, J. et al. Occurrence of potato taste defect in coffee and its relations with management practices in Rwanda. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 269, n. 1, p. 82-87, Jan 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez368.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0167880918304031?via%3Di> hub. Acesso: 26 mai 2024

BOAVENTURA, P. S. M. et al. Value co-creation in the specialty coffee value chain: the third-wave coffee movement. Fórum. **RAE**. São Paulo, v. 58, n 3, May-June 2018. p. 254-266. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020180306>

BORÉM, F. M. (ed). **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008.

BORÉM, F. M. (coord). **Tecnologia, pós-colheita e qualidade de cafés especiais**. Lavras: Ed. UFLA, 2023. cap. 8, p. 330-407, il; 27cm. CDD – 633.73

BORÉM, F. M. et al. Volatile compounds indicating latent damage to sensory attributes in coffee stored in permeable and hermetic packaging. **J Food Sci Technol**. v. 56, n 9, p. 4101–4109, set. 2019. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100705

BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://abic.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Instrucao-Normativa-08-03.pdf>. Acesso: 18 mai 2024

_____. a. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 623, de 9 de março de 2022. Dispõe sobre os limites de tolerância para matérias estranhas em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Brasília, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407691/RDC_623_2022_.pdf/507f6523-fb36-4d45-a6f8-52c840f8f393. Acesso em: 30 jul 2024

_____. b. Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Brasília, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_160_2022_.pdf/03a02bb0-7856-4da4-a6f8-6a1e99d487d9. Acesso em: 30 jul 2024

_____. c. Portaria SDA nº 570, de 9 de maio de 2022. Estabelece o padrão oficial de classificação do café torrado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-570-de-9-de-maio-de-2022-398971389>. Acesso em: 30 jul 2024

BSCA. Regiões. BSCA Cafés Especiais do Brasil. Associação Brasileira de Cafés Especiais. Atualizado: 11 jul 2024. Disponível em: <https://www.bsca.com.br/page/regioes>. Acesso: 26 mai 2024

CARVALHO, C. H. S., et al. **Catálogo de cultivares de café arábica**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022. 115 p.: il. color.; 22cm x 16cm. – (Documentos / Embrapa Café, ISSN 1678-1694; 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1145722/1/v18-09-09-22-Embrapa-Cafe-Docmentos-16.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CARVALHO, J. P. F.; SOUZA, J. C. **Manual de prevenção e combate a broca-do-café**. Região do Cerrado Mineiro e Epamig, 2016 [Epamig. Circular Técnica, 234]. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/manual-combate-a-broca.pdf. Acesso: 19 nov. 2021

CARVALHO, G. A. Pragas do armazenamento do café. BORÉM, F. M. (ed). **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. cap. 14, p. 472-543, il.

CAVATON, T. F. Faturamento das lavouras dos Cafés do Brasil alcança R\$ 56 bilhões em 2022. News. *Socioeconomic and environmental studies*. Embrapa Café. Publicado: 23 jan 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/77921739/faturamento-das-lavouras-dos-cafes-do-brasil-alcanca-r-56-bilhoes-em-2022>. Acesso: 29 jul 2024

CCCMG - Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais. Programa da BSCA destaca nanolotes de cafés especiais de regiões brasileiras. 2019a. Disponível em: <http://cccmg.com.br/programa-da-bsca-destaca-nanolotes-de-cafes-especiais-de-regioes-brasileiras/>. Acesso: 26 fev. 2019.

CCCMG - Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais. 3ª Onda do Café diminui lacuna entre produtor, torrador e vendedor. 2019b. Disponível em: <http://cccmg.com.br/3-onda-do-cafe-diminui-lacuna-entre-produtor-torrador-e-vendedor/>. Acesso: 26 fev. 2019.

CNC. Conselho Nacional do Café. Cafés no Brasil. Estatísticas. [2024] Disponível em: <https://cncafe.com.br/>. Acesso: 27 mai 2024

COCARIVE – Cooperativa Regional dos Cafeicultores do Vale do Rio Verde. Disponível em: <http://www.cocarive.com.br/premiacao.php#centro>. Acesso em: 01 mar. 2019.

CONAB. Produção de café cresce 8,2% em 2023 e chega a 55,1 milhões de sacas. Companhia Nacional de Abastecimento, Conab. Últimas Notícias. Publicado: 14 dez 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5323-producao-de-cafe-cresce-8-2-em-2023-e-chega-a-55-1-milhoes-de-sacas>. Acesso: 01 jul 2024

COSTA, J. N. M. Artigo: alternativas para o controle da broca-do-café. Agricultura familiar. 2020a. **Manejo Integrado de Pragas**. Publicado em 07 mai 2020. EMBRAPA. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52115273/artigo---alternativas-para-o-controle-da-broca-do-café>. Acesso: 16 ago 2023.

COSTA, J. N. M. *Beauveria bassiana*, fungo para combater a broca-do-café. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2020b. [folder]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123528>. Acesso: 16 ago 2023.

CUERVO-MULET, R. A. et al. Riesgos en salud laboral asociados al uso de un bioinsecticida con esporas de *Beauveria bassiana* y *Trichoderma lignorum*. **Entramado**, Cali, v. 14, n. 2, p. 244-255, Dez. 2018. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4762>. Acesso em 11 Set. 2023.

DE JESUS, S. S.; MACIEL FILHO, R. Recent advances in lipid extraction using green solvents. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, 110289, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110289.

DOMINGUES, R. et al. Evolução dos hábitos e preferências dos consumidores de café no Brasil, entre 2019 e 2023. **Instituto Axxus**. out. 2023. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2023/11/2023_10_15_Pesquisa_Caf%C3%A9_H%C3%A1bitos_Preferencias_do_Consumidor2023.pdf. Acesso: 25 mai 2024

DURAND, N. et al. Effets des traitements post-récolte et de la torréfaction sur la teneur en ochratoxine A du café: une revue. **Cahiers Agricultures** v. 22, n. 3, p:195-201. June 2013. DOI:10.1684/agr.2013.0621

EUROMONITOR Consulting. Tendências do Mercado de café em 2017. In: 25º Encafé Encontro Nacional das Indústrias de Café – Mata de São João/BA, 2017. Disponível em: http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/consumo/tendencias_do_mercado_cafe_2017.pdf. Acesso: 25 fev. 2019.

FAVARÃO, C. B. A indicação de procedência dos cafés produzidos na face sulmineira da serra da Mantiqueira: um estudo de caso sobre APROCAM. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Alfenas. Alfenas, MG. 2011. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/geografia/sites/default/files/a%20indica%C3%A7%C3%A3o%20de%20proced%C3%Aancia%20dos%20caf%C3%A9s%20produzidos%20na%20face%20sulm.pdf>. Acesso: 01 mar. 2018

FERNANDES, F. L. et al. Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 49, n. 8, Ago 2014. DOI:10.1590/S0100-204X2014000800002. Acesso: 08 set 2023.

FERREIRA; A. J., et al. Bioecologia da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae), no agroecossistema cafeeiro do cerrado de Minas Gerais. Estatística e Experimentação Agropecuária. **Ciênc. Agrotec.** v. 27, n. 2. Abr. 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000200024>

FERREIRA, L. T.; SANTOS, J. Consumo mundial de café deverá atingir 167 milhões de sacas de 60kg. Notícias. Embrapa. Postado em: 10 set. 2021. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64841382/consumo-mundial-de-cafe-devera-atingir-167-milhoes-de-sacas-de-60kg>. Acesso em: 16 abr. 2022.

GREEN, P. W. C., et al. Can Coffee Chemical Compounds and Insecticidal Plants be harnessed for Control of Major Coffee Pests? **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 63, n. 43, p: 9427-34, 2015. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b03914

GUIMARÃES, E. R. et al. A terceira onda do café em Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 214-227, 2016. Disponível em: <http://200.131.250.22/revistadae/index.php/ora/article/view/1108>. Acesso: 08 mar. 2019.

IAMANAKA, B.T., et al. The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. **Food Research International**. v 62, p. 353-358, Aug 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914003287>. Acesso: 28 mai 2024

JOHNSON, M.A., et al. Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*), a Global Pest of Coffee: Perspectives from Historical and Recent Invasions, and Future Priorities. **Insects** 2020, 11, 882. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>

LEITE, T. Armadilha para combater a broca do café é alternativa ao uso de agrotóxico. Assessoria de Comunicação. Emater, MG. Publicado em 08 jul 2015. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/armadilha-para-combater-a-broca-do-cafe-e-alternativa-ao-uso-de-agrotoxico/?flagweb=novosite_pagina_interna&id=15999. Acesso: 08 set 2023.

LINGLE TR. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4 ed. Californian: Long Beach; 2011. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/587af1d4db29d69a1a226b95/t/60cbcc1052eac94fe8487a39/1623968786983/CUPPERS+HANDBOOK+01-12-2015.pdf>. Acesso: 20 mai 2024

MAPA divulga lista de marcas e lotes de café torrado impróprios para consumo. Alerta de risco. Portal de notícias, Ministério da Agricultura e Pecuária. Publicado em 28/06/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-divulga-lista-de-marcas-e-lotes-de-cafe-torrado-improprios-para-consumo>. Acesso: 02 jul 2024.

MARZOCHI, Roger. Turismo impulsiona café especial na Serra da Mantiqueira em Minas Gerais. Cultura. **Globo Rural**. Postado em: 24 jun. 2019. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Cultura/noticia/2019/06/turismo-impulsiona-cafe-especial-na-serra-da-mantiqueira-em-minas-gerais.html>. Acesso em: 28 jun. 2019.

MATÉRIAS. Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear: RMN. Desenvolvimento Analítico, caracterização, Instrumental. CSA Educacional. Publicado em: 29 jan 2020. Disponível em: <https://csaeducacional.com.br/materias/espectroscopia-de-ressonancia-magnetica-nuclear-rmn>. Acesso: 19 ago 2024

MATIOLI, T. F. et al. Eficácia de inseticidas no controle da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae). In: XXV Congresso de Iniciação Científica da UFLA, 2012. Agronomia - Entomologia - Resumo. Disponível em: <https://prp.ufla.br/ciufilasig/generateResumoPDF.php?id=2273>. Acesso em: 11 set 2023.

MELO MARIANO, A., ÁVILA PALDÊS, R., TEREZA MOULAZ, M. Fatores de decisão na frequência do consumo de café gourmet: um estudo por meio das equações estruturais. **Cadernos De Ciências Sociais Aplicadas**, v. 12, n. 19, 2016. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/ccsa/article/view/2075>. Acesso em: 11 set 2023.

METELLUS, D. et al. Activity of insecticides on coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 36, n. 4, p. 1099-1115, July/Aug. 2020. DOI: 10.14393/BJ-v36n4a2020-46735

MIRI, Y. B. et al. Comprehensive Insights into Ochratoxin A: Occurrence, Analysis, and Control Strategies. **Foods**, Basel, v. 13, n. 8, p. 1184, 2024. DOI:10.3390/foods13081184.

NAKAYAMA, C. C.; et al. Sucessão de microrganismos em diferentes estádios de secagem do café e sua influência na bebida/ Microorganism succession at different coffee drying stages and its influence on the beverage. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 2402–2418, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-177. Acesso: 01 jun 2024

NEVES, P. M.O.J.; HIROSE, E. Seleção de isolados de *Beauveria bassiana* para o controle biológico da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Controle Biológico. **Neotrop. entomol.** v. 34, n. 1, fev 2005. DOI: 10.1590/S1519-566X2005000100011. Acesso em: 09 set 2023.

OLIVEIRA, C.M. et al. Coffee berry borer in conilon coffee in the Brazilian Cerrado: an ancient pest in a new environment. **Bulletin of Entomological Research**, v. 108, n. 1, feb 2018, pp. 101 - 107. DOI:10.1017/S0007485317000530. Acesso em: 11 set 2023.

PARRAS, J.R.P.; REIS, P.R. manejo integrado para as principais pragas da cafeicultura, no Brasil. Controle. **Visão Agrícola**. n. 12, jan./jul., 2013, p. 47-50. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va12-fitossanidade01.pdf>. Acesso: 20 nov 2024.

PEDROSA, A. W.; et al. Tratamentos fitossanitários químicos, biológicos e alternativos para armazenamento de sementes de café arábica. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 16, n. 10, p. 23202–23223, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.10-267. Acesso em: 18 ago. 2024.

PEREIRA, A. E. et al. Emergence and infestation level of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) on coffee berries on the plant or on the ground during the post-harvest period in Brazil. **Journal of Insect Science**, v. 21, n. 2, apr. 2021. DOI: 10.1093/jisesa/ieab022. Acesso em 11 set 2023.

MELO PEREIRA, G. V. de , et at. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. **Food Chemistry**, v. 272, n. 2019, p: 441-452, 2019. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.08.061. Acesso: 19 nov 2021

PEREIRA, R. M. C. Tecnologia de aplicação de *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) no controle de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). 2020. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Programa de Pós-Graduação, Instituto Biológico, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://repositoriobiologico.com.br/jspui/handle/123456789/786>. Acesso em 10 set 2023.

PIMENTA, J. C.; VILELA E. R. Composição microbiana e ocratoxina no café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes tempos de espera de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1315-1320, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000600016>

REGIÃO do Cerrado Mineiro. Dados da região. Disponível em: <https://www.cafedocerrado.org/index.php?pg=regiao#group3>. Acesso: 19 abr. 2022.

RIBEIRO, D. B. Avaliação da presença de substâncias estranhas em alimentos analisados entre 2019 e 2021. **Europub Journal of Multidisciplinary Research**, v. 4, n. 1, 2023, p. 50–63. DOI: 10.55033/ejmr4n1-004. Acesso em: 11 set 2023.

SAINI, R.K. et al. Advances in Lipid Extraction Methods—A Review. **Int. J. Mol. Sci.** 2021, v. 22, 13643. DOI: 10.3390/ijms222413643. Acesso: 13 fev 2023

SCAA. Protocolo para análise sensorial de café. Metodologia SCAA. TSC-SCAA. Doc V – Portuguese. Rev. December – 2009.

SILVA, T. R.; FULCO, T. O.; BARBOSA, J. V. Investigação de artrópodes em alimentos na transmissão de doenças. **Rev. Episteme Transversalis**. v. 9, n. 2, p. 74-94, 2015.

SILVA, A. C. R., et al. Comprehensive lipid analysis of green Arabica coffee beans by LC-HRMS/MS. **Food Research International**, v. 137, 109727, 2020a. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109727

SILVA, G. et al. População de broca em café arábica e conilon no sul de minas gerais. In: JOSIF 2022. ISSN: 2319-0124. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/515/91>. Acesso em: 11 set 2023.

SILVA, S.A. et al. Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. **Food Control**, 113, Jul 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>. Acesso: 06 jun 2023

SOUZA, J.C.; REIS, P. R. **Broca-do-café: histórico, reconhecimento, biologia, prejuízos, monitoramento e controle**. 2 ed. rev. aum. Belo Horizonte: EPAMIG, 1997. 40p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 50).

SOUZA, R. A. de. Métodos de manejo para broca-do-café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE). 2019. 77 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/11095>. Acesso em: 10 set 2023.

SPCH - São Paulo Coffee Hub. Perfil do consumidor de café que busca qualidade. Pesquisa. 2021. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2022/04/pesq_cafe_superior_abic_spch.pdf. Acesso: 25 mai 2024

TRIGO, S. K. F; et al. Observação comportamental da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). In: REDIN, Ezequiel (org). **Ciências**

Rurais em Foco. v.8. Cap. 8. p. 85-100. Belo Horizonte, MG: Ed. Poisson, 2022. DOI: 10.36299/978-65-5866-221-1.

VALOR Bruto da Produção Agropecuária (VBP). Política Agrícola. Ministério da Agricultura e Pecuária. Atualizado em 19/11/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>. Acesso: 20. nov. 2024.

WILLIAMSON, K; HATZAKIS, E. Evaluating the effect of roasting on coffee lipids using a hybrid targeted-untargeted NMR approach in combination with MRI. **Food Chemistry**, v. 299, n. 125039, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez368.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814619311410?via=ihub>. Acesso: 26 nov 2022

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

A formatação dos artigos segue os critérios dos periódicos a que serão submetidos.

ARTIGO 1

Influência de grãos de café especial atacados pela broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) na qualidade sensorial da bebida

Influence of specialty coffee beans attacked by the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) on the sensory quality of the beverage

Versão preliminar - será convertido para a língua inglesa e submetido ao periódico

Food Quality and Preference (A1)

Resumo: A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae: Scolytinae), praga recorrente nos grãos, pode prejudicar a qualidade e o valor econômico do café. O objetivo, portanto, foi avaliar a influência dos grãos brocados sobre a qualidade sensorial do café especial. Catuaí amarelo proveniente do Sul de Minas foi empregado para montar os tratamentos (controle - sem grãos brocados, defeitos brocados tolerados pela SCA, 7, 20 e 100% de grãos brocados). Especialistas provaram as bebidas. Constatou-se que o limite de defeitos de grãos brocados tolerados pela *Specialty Coffee Association* preserva a qualidade sensorial da bebida e as outras amostras perderam qualidade para os níveis crescentes de grãos brocados. Fungos presentes nos grãos brocados sujos e fezes do besouro estão associados aos atributos deletérios relatados para as amostras a partir de 7% de grãos brocados. Nuvens de palavras demonstram que os provadores foram capazes de perceber os atributos originais do café em todas as amostras (sabor doce, caramelo, bom corpo e frutado), mas relataram os termos sujo, áspero, pouco corpo, obscuro, descansado e envelhecido relacionados à bebida a partir de 7% de grãos brocados. Conclui-se que a qualidade sensorial é pouco afetada para café especial contendo grãos com danos provocados pela broca-do-café dentro do limite de tolerância estabelecido pela SCA.

Palavras-chave: Catuaí amarelo, protocolo SCA, nuvem de palavras, Sul de Minas.

Abstract: The coffee borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae: Scolytinae), a recurring pest in beans, can harm the quality and economic value of coffee. The objective, therefore, was to evaluate the impact of brocaded beans on the sensorial quality of specialty coffee. Yellow catuaí from Sul de Minas was used to set up the treatments (control - no brocaded grains, brocaded defects tolerated by SCA, 7, 20 and 100% of brocaded grains). Experts tasted the drinks. It was found that the limit of brocaded grain defects tolerated by the Specialty Coffee Association preserves the sensorial quality of the drink and the other samples lost quality due to the increasing levels of brocaded grains. Fungi present in dirty brocaded grains and beetle feces are associated with the deleterious attributes reported for samples from 7% of brocaded

grains. Word clouds demonstrate that tasters were able to perceive the original attributes of the coffee in all samples (sweet, caramel, good body and fruity flavor), but reported the terms dirty, rough, low body, dark, rested and aged related to drink from 7% brocaded grains. It is concluded that the sensorial quality is little affected for specialty coffee containing beans with damage caused by the coffee borer within the tolerance limit established by the SCA.

Keywords: Yellow catuaí, SCA protocol, word cloud, Sul de Minas

1 Introdução

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae: Scolytinae), é uma das principais pragas dessa cultura (GREEN et al, 2015; JOHNSON et al, 2020; PEREIRA et al, 2021) e gera perdas econômicas (ARISTIZÁBAL et al, 2023). Apesar disso, poucas pesquisas investigaram o impacto do grão brocado na qualidade da bebida. Um exemplo foi o estudo realizado por pesquisadores africanos que investigaram se os danos provocados pela broca-do-café era um fator que vinha provocando o sabor de batata crua (PTD) em grãos de café, mas detectaram que neste caso o defeito sensorial não foi causado por *H. hampei* como se supôs, mas pelo inseto *Antestiopsis thunbergii*, o antestia (Bigirimana et al, 2019). Fungos que atacam as sementes favorecidos pela broca também prejudicam a bebida e podem produzir micotoxinas. A ocratoxina A (OTA) é a mais comum e provoca danos à saúde (SILVA et al, 2021). E ainda, vários besouros permanecem dentro do grão e seus fragmentos são encontrados no café torrado e moído, podendo gerar infração sanitária (BRASIL, 2022).

O manejo de pragas e as boas práticas aplicados no campo, pós-colheita, armazenagem e beneficiamento são imprescindíveis para o controle da broca (BEVENGA e GITZ, 2018; BORÉM, 2023; COSTA, 2020; OLIVEIRA, 2018; PEREIRA et al, 2021; SILVA et al, 2022). O grão rebeneficiado, denominado ‘preparado’, pode atingir a categoria de café especial dependendo de seus atributos físicos e sensoriais (BORÉM, 2023), porém, este processo não tem sido capaz de eliminar completamente os grãos brocados, prejudicando o valor econômico do café. O que se contrapõe à crescente demanda por café de maior qualidade, pois a procura por melhores produtos tem aumentado. Os consumidores destacaram que o excelente aroma é o atributo sensorial mais desejado; e o aroma e sabor foram as sensações que as pessoas mais se lembraram sobre experimentar um excelente café (ABIC, 2023; BSCA, 2023; SPCH, 2021).

O protocolo da *Specialty Coffee Association* (SCA) estabelece três requisitos para um café atingir a categoria especial, dois físicos (granulometria da peneira 16 e acima; e baixo nível de defeitos com ausência de grãos imaturos) e um sensorial (pontuação maior que 80) (SCAA, 2015; SENAR, 2017), sendo a técnica usual das empresas para a avaliação da qualidade dos

cafés diferenciados. A escala de pontos é acompanhada da descrição das impressões sensoriais baseadas no *Lexo Sensorial* (BORÉM et al, 2023; LINGE, 2011). A pontuação alcançada e a descrição de sabores são empregadas para atribuir valor ao café nas transações comerciais. Então, manter a sanidade do grão contribui para a sua qualidade sensorial, para a inocuidade quanto à ausência de micotoxinas e insetos, e para a valoração econômica do produto, contribuindo positivamente para o desenvolvimento da cadeia produtiva do café.

O desejo do consumidor por tomar melhores cafés se contrapõe à perda de qualidade que pode ocorrer no grão devido ao ataque de *H. hampei*. Considerando os prejuízos econômicos, sanitários e de inocuidade que a broca-do-café pode causar e a carência de estudos que evidenciam o efeito do grão brocado na qualidade sensorial, o objetivo deste estudo foi avaliar se a qualidade da bebida de cafés especiais é afetada pelo brocamento dos frutos e seus possíveis efeitos na classificação do café.

2 Materiais e métodos

2.1 Preparo das amostras

O café arábica catuaí amarelo IAC62 proveniente de Carmo de Minas/MG, safra 2022/2023, cultivado a 1.200m de altitude, foi empregado na pesquisa. Uma saca de 60kg de café natural, rebeneficiado, tipo 2/3, peneira 16 e acima, com avaliação de 86 pontos na escala sensorial da SCA foi manualmente selecionada para a separação dos grãos brocados e outros defeitos intrínsecos. Após a catação, os grãos sadios foram congelados (-18°C) em porções de 1,2 kg e foram retirados para a temperatura ambiente 24h antes da torração. Os grãos brocados foram armazenados em sacos de polietileno para serem separados conforme a Classificação Oficial Brasileira (COB) da Instrução Normativa nº. 08/2003 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2003), e depois foram separados pela quantidade de orifícios e extensão do dano em brocado limpo, sujo ou rendado. Os grãos sadios e os brocados foram usados para montar os tratamentos do experimento.

Cinco grupos, denominados tratamentos, foram montados empregando as duas categorias de defeitos da SCA para avaliar o efeito dos grãos brocados na bebida:

- controle (CON): sem grãos brocados;
- SCA: contendo grãos brocados no limite de defeitos tolerado pela SCA;
- 7% brocado: contendo 7% de grãos brocados das duas categorias SCA;
- 20% brocado: contendo 20% de grãos brocados das duas categorias SCA;

- 100% brocado: contendo 100% de grãos brocados das duas categorias SCA.

As categorias de defeitos estabelecidas pela SCA para amostra de 350g de grão cru são:

- Categoria 1: nenhum defeito é tolerado e 1 (um) defeito equivale a 5 (cinco) grãos brocados com ataque severo (tolerância – 4 grãos ‘sujos’ em 350g de café cru);
- Categoria 2: toleram-se no máximo 5 defeitos e 10 (dez) grãos brocados com ataque leve formam 1 (um) defeito (tolerância – 50 grãos ‘leves’ ou ‘rendados’, limpos, em 350g de café cru).

Portanto, a amostra SCA deste experimento foi preparada contendo 4 grãos brocados no nível severo e 50 grãos brocados no nível leve. O grão brocado sujo foi considerado como ataque severo. As amostras contendo 7, 20 e 100% de grãos brocados contiveram os mesmos defeitos que a amostra SCA acrescidos de grãos brocados com danos variados e café sem grãos atacados pela broca até completar 350g. Empregou-se microscópio estereoscópico (escala até 45x) para investigar o ataque da broca em alguns grãos e para gerar as imagens para este experimento (Bel Photonics - SZ B Led). Os seguintes critérios da SCA para cafés especiais também foram considerados: grãos graúdos, da peneira 16 e acima; e exclusão de grãos imaturos (*quackers*) no café torrado.

2.2 Análise sensorial para café especial

A classificação sensorial para café especial da SCA é atribuída à pontuação mínima de 80 pontos que a bebida precisa alcançar na degustação. A escala de pontos dos atributos sensoriais desse protocolo é acompanhada da descrição das impressões sensoriais baseadas no *Lexo Sensorial* desenvolvido pela *World Coffee Research* (BORÉM et al, 2023; LINGE, 2011; SCAA, 2015; SENAR, 2017).

Cada amostra foi preparada para a prova de xícara (*cupping*) conforme o protocolo SCA (LINGLE, 2011; SCA, 2015) e os dados foram anotados em formulário próprio. Quatro provadores especialistas degustaram o café em duas rodadas: na Mesa 1 as amostras foram colocadas na sequência crescente, do controle ao 100% de grãos brocados; na Mesa 2 empregou-se uma sequência aleatória para checar a influência da posição da amostra na prova e a consistência dos provadores. Para controle dos dados, organizou-se a ordem das amostras da Mesa 1 como 1, 2, 3, 4, 5; e para a Mesa 2 a ordem foi 4, 1, 2, 5, 3. Os dados foram compilados. A pontuação da bebida e os descritores sensoriais foram comparados com o laudo original do café obtido do fornecedor. O teste sensorial foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Lavras (Plataforma Brasil - Processo CAAE: 68434423.1.0000.5148. Parecer nº: 6.084.400).

2.3 Classificação oficial brasileira do café

Um total de 20 (vinte) amostras de 300g do café cru foram retiradas aleatoriamente e homogeneamente da saca de 60kg para a classificação (COB). O propósito foi identificar a classificação física do café e, especificamente, o teor de grãos brocados e a extensão de danos provocados pela broca-do-café nessas amostras.

Cada amostra foi cuidadosamente catada manualmente, grão a grão, os defeitos foram anotados e convertidos para a identificação do Tipo conforme a COB. A granulometria foi realizada para cada amostra classificada empregando-se as peneiras 16 até 20.

2.4 Tratamento e análise dos dados obtidos

Aplicou-se um delineamento inteiramente casualizado englobando os 5 tratamentos para os níveis de grãos brocados (CON, SCA, 7%, 20% e 100%), os provadores especialistas e a ordem de apresentação dos tratamentos nas duas mesas de prova.

Os resultados da análise sensorial foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando a normalidade e homoscedasticidade dos dados; e ao teste de comparações múltiplas de Tukey (Teste T) a 5% de probabilidade (BARBIN, 2003; GOMES, 2000; STORCK et al, 2006). As análises foram realizadas com auxílio do software estatístico R Core Team (2022).

Os descritores sensoriais foram organizados empregando a Tecnologia Digital na Educação (TDE) “Nuvem de Palavras”, que é uma ferramenta de Tecnologia Digital de Informação e Comunicação (SILVA, 2020). A Nuvem de Palavras possui um impacto visual mais estimulante, interativo, motivador e inovador que a tabela contendo os descritores sensoriais, por isso, representa melhor as características percebidas pelos provadores, comunicando-as mais assertivamente para favorecer o entendimento do efeito da broca-do-café nos aspectos gustativos. Empregou-se o software Word Art© (2009) na construção das nuvens. A palavra mais citada pelos provadores foi o destaque da nuvem, aparecendo em tamanho maior no centro da imagem, seguidas pelas outras em ordem decrescente de tamanho de acordo com o número de vezes que foram citadas. Cores que favorecessem a associação da palavra com o seu significado foram empregadas, tal como amarelo vibrante para acidez (cítrica), vermelho para dulçor, azul claro para limpo, preto para sujo.

3 Resultados e discussão

A classificação física (COB) é o padrão normativo obrigatório no Brasil, por isso foi empregado nas 20 frações de 300g. Nenhum defeito extrínseco foi encontrado, como pau, pedra e casca. O Tipo 3 indica que o café possui 12 defeitos conforme a COB e corresponde ao informado no laudo original do café, inclusive para a granulometria, pois não foram detectados grãos abaixo da peneira 16. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da Classificação Oficial Brasileira para o café catuaí amarelo grão cru para enquadramento do Tipo.

Classificação física de café beneficiado grão cru				Média de 20 amostras	
Defeitos intrínsecos			Defeitos extrínsecos		
Descrição	Grão - n ^o	Defeitos - n ^o	Descrição	Grão - n ^o	Defeitos - n ^o
Preto	0	0	Coco	0	0
Ardido	13	7	Marinheiro	0	0
Concha	11	4	Esmagado	1,5	0
Mal granado	1	0	Casca grande	0	0
Verde	7	1	Casca média ou pequena	0	0
Quebrado	11	2	Pau, pedra, torrão grande	0	0
Brocado Sujo	1,5	0	Pau, pedra, torrão regular	0	0
Brocado rendado	0	0	Pau, pedra, torrão pequeno	0	0
Brocado limpo	54	11	Enquadramento no Tipo		3

A classificação corresponde aos tipos de defeitos da COB. Intrínsecos são os defeitos inerentes aos grãos. Extrínsecos são impurezas. Grão (n°) corresponde à quantidade numérica de grãos encontrados em 300g de amostra. Defeitos (n°) corresponde à conversão do número de grãos em número de defeitos conforme critérios da COB. Enquadramento no Tipo segue a tabela de classificação COB considerando a quantidade total de defeitos da amostra. Resultado médio da classificação de 20 amostras de 300g. Fonte: das autoras (2024).

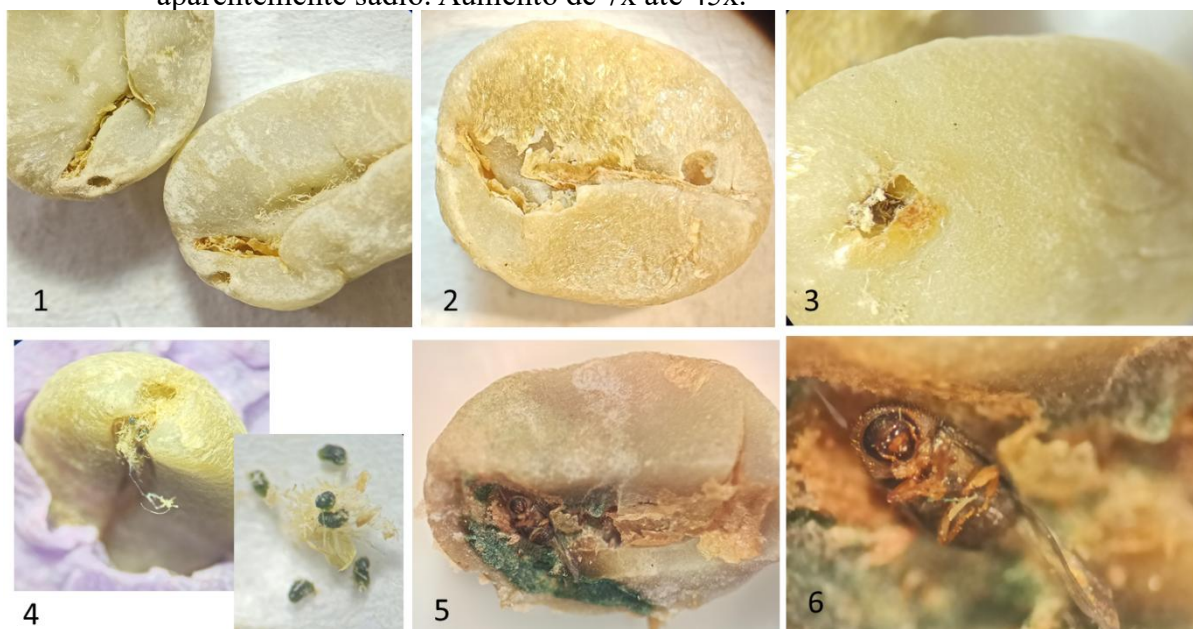
Os critérios da COB estabelecidos na Instrução normativa nº 08/2003 do MAPA, o regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru, definem que:

- Brocado sujo: é o grão ou pedaço de grão danificado pela broca do café que se apresenta com partes pretas ou azuladas;
- Brocado rendado: é o grão ou pedaço de grão danificado pela broca do café que se apresenta com três ou mais furos e sem partes pretas;
- Brocado limpo: grão ou pedaço de grão danificado pela broca do café que se apresenta com até três furos e sem partes pretas.

Nenhuma das 20 amostras apresentaram grãos rendados, três delas continham 2 dois grãos brocados sujos e uma amostra continha 1 grão brocado sujo, ou seja, foram 7 grãos sujos em 20 amostras de 300g.

No conjunto das 20 alíquotas, a média de grãos brocados leve foram cinquenta e quatro grãos. Além disso, o ataque leve da broca precisou ser confirmado em alguns grãos empregando-se o microscópio estereoscópico (até 45x), porque um classificador provavelmente separaria o grão como saudável numa observação visual. Havia grãos com ataque bem leve da broca-do-café, conforme se observa na Figura 2. A inspeção física do café evidenciou que: (a) grãos brocados permanecem no café rebeneficiado; (b) a ocorrência de grãos brocados severos no café ‘preparado’ é aleatória, pois apenas 4 amostras em 20 continham esses defeito, em nível muito baixo e dentro do limite tolerado pela SCA para café especial; (c) o rebeneficiamento é capaz de preparar o café para atingir a categoria especial, desde que atenda aos requisitos físicos e sensoriais da SCA.

Figura 2. _ Imagens 1 e 2 - Danos leves, orifícios pequenos e limpos. 3 - Mancha escura levantou a suspeita de inseto dentro do grão. 4 - Dano muito leve, mas estava preenchido com fezes da broca-do-café. 5 e 6 - inseto inteiro dentro de grão aparentemente sadio. Aumento de 7x até 45x.



Fonte: das autoras (2024).

O café catuaí amarelo pode apresentar características sensoriais distintas quando cultivado acima de 1040 metros de altitude e pontuação superior a 85 na escala da SCA. As características sensoriais predominantes para a região de procedência da saca de 60kg, para o

café natural, processado por via seca, foram descritas como sabor e aroma predominante cítrico, floral e frutado; corpo cremoso e denso; acidez cítrica com intensidade médio-alta; doçura alta e finalização longa (APROCAM, 2011). Esta é a referência sensorial que foi tomada como padrão para comparar com a descrição dos provadores especialistas após a prova de xícara que avaliou o efeito da broca-do-café sobre a bebida neste estudo.

O laudo sensorial original descreve que o café catuaí amarelo IAC62, safra 2022/2023, atingiu 86 pontos na escala sensorial da SCA e apresentava os descritores: bom corpo, cremoso; acidez cítrica, sabor frutado, leve pêssego; caramelo; retrogosto longo e doce. A qualidade da bebida é quantificada por uma escala de zero a cem pontos no protocolo SCA. Os cafés de 85 a 89 (excelentes) e 80 a 84 pontos (muito bons) são classificados como especiais. Os cafés entre 75 e 79 pontos são de boa qualidade (regulares), e os que pontuam entre 70 e 75 pontos são cafés médios (fracos) (LINGE, 2011).

A análise sensorial ocorreu em 2023 e a pontuação atribuída às amostras pelos avaliadores está apresentada na Tabela 2. Na análise estatística, os testes de hipóteses realizados para os resíduos confirmaram que os pressupostos de homoscedasticidade e normalidade foram atendidos, com os valores p de cada teste para cada comparação (provadores, amostras e ordem prova das amostras) sendo maiores que 5%.

Ao aplicar a ANOVA para a comparação entre provadores, amostras e a ordem de apresentação foram obtidos os valores de F e os valores p correspondentes. Os resultados indicaram que o valor-p foi menor que 5% tanto para os provadores quanto para as amostras (valor-p < 0,001 para os provadores e valor-p = 0,01 para as amostras). Esses resultados permitem rejeitar a hipótese nula (H_0) de que todas as médias dos grupos são iguais. Em contrapartida, para a ordem de apresentação, o valor-p foi igual a 0,95, sugerindo que não há diferença significativa entre as médias dos grupos. Assim, a disposição aleatória ou ordenada das amostras nas mesas de prova não apresentou diferença nas notas dos provadores. Quanto à ordem de apresentação das amostras, não foi necessário realizar o teste de Tukey, pois o valor-p da ANOVA foi maior que 5%.

Constatou-se que o aumento na quantidade de grãos brocados afetou as características sensoriais, com redução nas notas atribuídas pelos provadores. O limite rigoroso de defeitos brocados tolerados pela SCA mostrou-se adequado para manter a qualidade da bebida, pois o café não diferiu significativamente da amostra controle. Esta equivalência se manteve para as amostras com 7% e 20% de grãos brocados. Porém, as perdas sensoriais começaram a ser percebidas pelos provadores na bebida a partir da amostra com 7% de grãos brocados.

Tabela 2. Pontuação na escala sensorial da SCA para café catuaí amarelo especial, contendo diferentes proporções de grãos brocados.

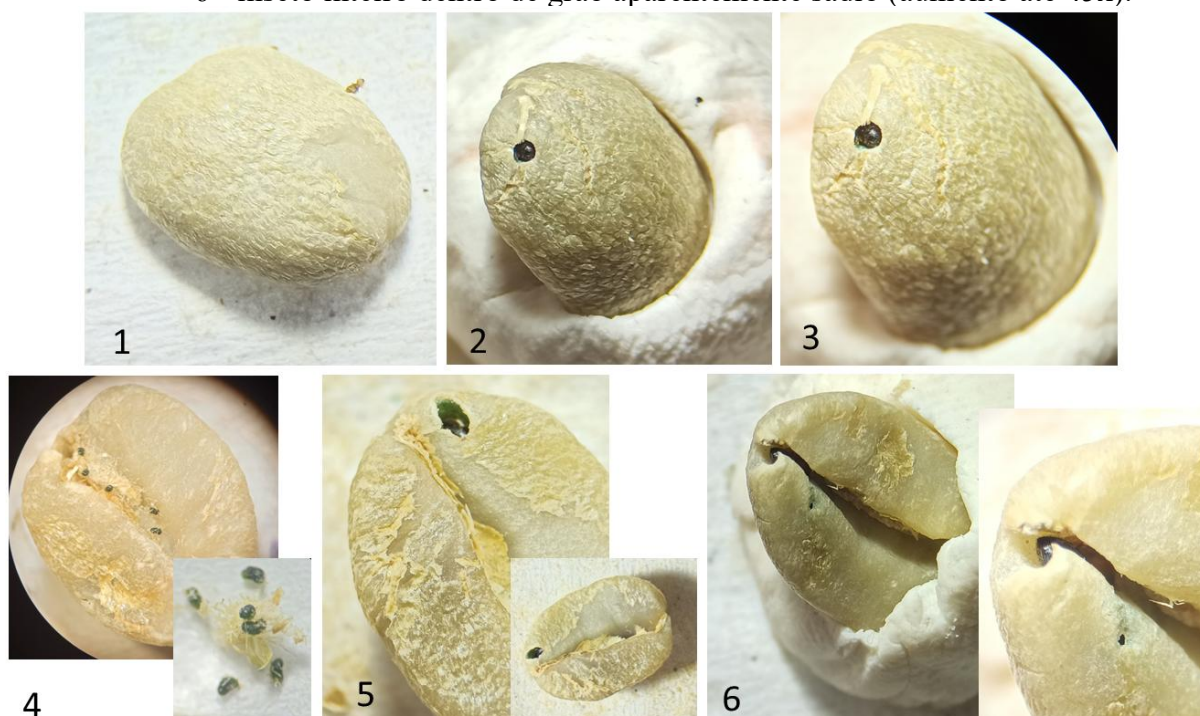
Amostra	Pontuação ¹	Teste Tukey ²
SCA	81,75	A
Controle	81,38	A
Brocado 7%	81,13	AB
Brocado 20%	80,50	AB
Brocado 100%	78,13	B

¹ Pontuação média atribuída pelos provadores. ² Notas das amostras seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: das autoras, 2024.

O catuaí amarelo apresentou pontuação média menor que do laudo inicial do café para todos os tratamentos do experimento. Alguns provadores usaram os termos ‘envelhecido’ e ‘velho’ na descrição sensorial das bebidas. Isso pode estar associado ao tempo de estocagem (Borém et al, 2019), mas não mascara a perda provocada pela broca-do-café, que piorou a bebida. As Figuras 4 a 6 apresentam as Nuvens de Palavras com essas informações.

A classificação COB e a checagem do total de grãos brocados obtidos da saca de 60kg confirmaram que predominavam grãos com ataque leve no café que originou os tratamentos deste experimento, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3. _ Imagens 1 a 3 - grão com aspecto normal numa face, mas contendo inseto. 4 - grão sem dano, mas estava preenchido com fezes da broca-do-café. 5 e 6 - inseto inteiro dentro de grão aparentemente sadio (aumento até 45x).



Fonte: das autoras (2024).

Considerando os resultados da ANOVA para a ordem de apresentação das bebidas aos provadores, o valor-p foi igual a 0,95 e sugere que não há diferença significativa entre as médias dos grupos. O teste *post-hoc* de Tukey foi realizado para identificar quais provadores diferiram entre si e quem atribuiu a maior nota média. Todos os provadores atribuíram notas estatisticamente diferentes entre si, com o provador 3 dando a maior nota e o provador 1 a menor. Porém, a disposição aleatória (Mesa 2) ou ordenada (Mesa 1) das amostras não apresentou diferença significativa nas notas dos provadores. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Pontuação na escala sensorial da SCA para café especial contendo diferentes proporções de grãos brocados.

Amostras	Posição na Mesa	Provador 1	Provador 2	Provador 3	Provador 4
Controle	1	80 ^{a X,Y}	80 ^{a X,Y}	84 ^{a Y,Z}	82 ^{a Y,Z}
	4	81 ^{a X,Y}	81 ^{a X,Y}	83 ^{a Y,Z}	80 ^{a Y,Z}
SCA	2	79 ^{a X,Y}	80 ^{a X,Y}	85 ^{a Y,Z}	81 ^{a Y,Z}
	1	80 ^{a X,Y}	81 ^{a X,Y}	84 ^{a Y,Z}	84 ^{a Y,Z}
7% brocado	3	78 ^{a,b X,Y}	81 ^{a,b X,Y}	84 ^{a,b Y,Z}	80 ^{a,b Y,Z}
	2	79 ^{a,b X,Y}	80 ^{a,b X,Y}	84 ^{a,b Y,Z}	83 ^{a,b Y,Z}
20% brocado	4	77 ^{a,b X,Y}	80 ^{a,b X,Y}	83 ^{a,b Y,Z}	80 ^{a,b Y,Z}
	5	77 ^{a,b X,Y}	80 ^{a,b X,Y}	81 ^{a,b Y,Z}	80 ^{a,b Y,Z}
100% brocado	5	76 ^{b X,Y}	79 ^{b X,Y}	79 ^{b Y,Z}	79 ^{b Y,Z}
	3	76 ^{b X,Y}	78 ^{b X,Y}	80 ^{b Y,Z}	78 ^{b Y,Z}

Notas das amostras seguidas pelas mesmas letras minúsculas (a, b) nas colunas e dos provadores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas (X, Y, Z) nas linhas não diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: da autora (2024).

O provador 1 teve sensibilidade suficiente para detectar sabores diferentes entre todas as amostras, atribuindo-lhes notas decrescentes. A média de pontos atribuída pelos provadores está na Tabela 4.

Tabela 4. Pontuação média atribuída pelos provadores na escala sensorial da SCA para café catuaí amarelo especial contendo diferentes proporções de grãos brocados.

Provador	Pontuação	Teste Tukey ¹
Provador 3	83	A
Provador 4	81	AB
Provador 2	80	BC
Provador 1	78	C

nenhum provador identificou a nuance de pêssego. O termo descansado foi citado para ambas as amostras e é associado ao envelhecimento do café.

A Nuvem de Palavras para a amostra contendo os defeitos tolerados pela SCA está na Figura 4 e contém 41 termos. Destaca-se a acidez cítrica e houve maior diversidade de sabores (doce de leite, chá preto, chocolate amargo e meio amargo). O termo limpo perdeu destaque e surgiu corpo pesado.

Embora sejam claramente reconhecidos cinco gostos básicos (doce, amargo, salgado, ácido e umami), para o café a sensação desses gostos se concentra no doce, ácido e salgado. O amargo serve para modificar ou ampliar a impressão dos outros três gostos. A modulação dos gostos, que é a percepção de um gosto básico alterado pela força relativa de um ou mais dos outros gostos, leva a seis outras sensações primárias para o café, sendo elas: acidez adocicada (ácido intensifica o doce); suavidade (salgado intensifica o doce); licorosa (doce reduz a acidez); neutra (doce reduz o salgado); picante (ácido intensifica o salgado) e acidez acre (sal reduz o azedume do ácido) (BORÉM et al, 2023). Isto posto, a relação entre doçura e acidez fica evidente; o retrogosto longo e doce da amostra controle pode ter favorecido aos provadores identificarem a acidez cítrica e notas sensoriais diversificadas na amostra SCA. Efeito danoso da broca-do-café não foi detectado, visto que não houve diferença significativa nos pontos SCA dessa bebida para o controle e o descritivo sensorial é compatível com a característica do café para ambas as amostras. Os termos suave e corpo sedoso citados pelos provadores reforçam a interação de gostos básicos descrita por Borém et al (2023), efeito que também se observa na amostra seguinte.

A amostra contendo 7% de grãos brocados foi descrita com 40 termos apresentados na Figura 5. Interessante notar que as características sensoriais padrão do café do laudo original do catuai amarelo IAC62 estão presentes na bebida de modo mais harmônico, havendo diversidade de sabores, como doce de leite, manga, frutas amarelas e mel. O termo descansado não aparece, nem o limpo. Inicia o surgimento de termos deletérios como sujo, seco e áspero.

Substâncias originadas do metabolismo da broca-do-café e da microbiota vinculada a ela presentes no fruto, na semente e, ou no grão de café podem estar associadas aos descritores sensoriais deletérios da qualidade relatados pelos provadores. Carrión e Bonet (2004) encontraram treze espécies de fungos dentro de *H. hampei* ou nas galerias feitas pelos besouros nas sementes de café; dez deles são sapróbios e servem como alimento para as brocas ou degradam as suas fezes. Bactérias e leveduras também são introduzidas no café através do contato do inseto com as paredes da galeria e com as suas excreções. Espécies de *Fusarium*,

por exemplo, produzem ergosterol e uma lipase, sendo compostos associados à dieta de *H. hampei* (CARRIÓN E BONET, 2004).

Figura 5. _ Nuvem de Palavras das percepções sensoriais do café catuaí amarelo atribuídas por provadores especialistas.



Amostra com 7% de grãos brocados (esquerda); e amostra com 20% de grãos brocados (direita).
Fonte: das autoras (2024).

A amostra contendo 7% de grãos brocados foi avaliada com 78,5 pontos pelo provador 1, mas foi avaliada com 80 a 84 pelos outros provadores. Não houve diferença significativa entre esta amostra, o controle e SCA. Pode-se inferir que o teor de até 7% de grãos com ataque leve de *H. hampei* não provocou efeitos sensoriais deletérios para a bebida, visto que os descritores foram os mais harmônicos entre todos os tratamentos comparando com a descrição original do laudo sensorial do café.

O café com 20% de grãos brocados apresentou a menor quantidade de descritores (35 termos) e manteve um perfil parecido com o da amostra 7% brocada, conforme se observa na Figura 5. A palavra limpo não aparece mais e surgiram os termos amargo, leve amargo, leve sujo, pouco corpo, corpo seco e retrogosto seco. O termo verde apareceu uma vez.

O provador 1 atribuiu nota 77 para a amostra com 20% de grãos brocados, os outros atribuíram 80 pontos ou mais. A análise de variância demonstra que essa amostra não difere do controle, mas também tem equivalência com os grãos 100% brocados. A perda gustativa torna-se evidente, embora as características sensoriais originais do café permaneçam, como a doçura, o sabor caramelo e o bom corpo. Provavelmente seja por isso que a amostra com 20% de grãos brocados não diferiu significativamente da amostra controle, pois os atributos originais do café catuaí amarelo estavam sendo percebidos pelos provadores.

Alteração da composição química do grão atacado pela broca-do-café havia sido constatada por Silva (2024). Grãos com muito dano (brocado sujo) estavam com menores

70% em cerca de 45% das amostras, predominando espécies de *Aspergillus nigri* e *Aspergillus westerdijikiae*. A avaliação sensorial das bebidas foi negativa, com atributos como mofado, sujo e fermentado. Os metabólitos 2-butenal, dimetilbisulfeto produzidos por *A. foetidus* são caracterizados pelo aroma desagradável de terra, mofo, estragado e pungente e impactaram na redução da qualidade sensorial (IAMANAKA et al, 2014; IANAMAKA, 2010). Bozza et al (2009) também constataram que a bebida do café IAPAR59 piorou de dura para rio e riada em função da proliferação de bolores que estavam no interior dos grãos. Aspectos negativos de sabor fermentado e metabólitos como o ácido acético e éster etil também foram relatados como atributos de bebida preparada com cafés (cereja descascado, cereja maduro e passa ou seco) que apresentaram contaminações fúngicas na etapa de secagem ao sol (NAKAYAMA et al, 2020). Os dados relacionam a perda sensorial com a presença de bolores, não com a broca-do-café, reforçando a constatação de que este inseto, por si, provavelmente não causa danos sensoriais diretos e expressivos no café. Os danos causados pelo inseto (perfuração da casca e abertura de galerias), bem como a microbiota carregada pelo besouro criam condições favoráveis para o surgimento dos compostos associados à perda da qualidade sensorial. A contaminação fúngica, por exemplo, é favorecida quando o *H. hampei* ataca o grão provocando danos físicos diretos e perda sensorial indireta que denigrem o valor e a inocuidade do café.

Os descritores apontaram que todos os provadores foram capazes de perceber as nuances das sensações primárias para o café citadas por Borém et al (2023), como acidez adocicada, suavidade e ardido. A descrição que eles empregaram para as amostras está coerente com as características do café catuaí amarelo especial. Portanto, independente do efeito da broca-do-café, os atributos globais característicos do catuaí amarelo IAC62 estavam presentes na bebida, que são o sabor e aroma predominante cítrico, floral e frutado; corpo cremoso e denso; acidez cítrica com intensidade médio-alta; doçura alta e finalização longa (APROCAM, 2011). Isso sugere que os grãos pouco brocados remanescentes do rebeneficiamento, dentro dos limites de defeitos de grãos brocados tolerados pela SCA, não são suficientes para prejudicar a qualidade sensorial da bebida e não desqualifica o café quanto ao enquadramento como especial. Porém, o aumento da infestação da broca-do-café provocou prejuízos sensoriais, conforme foi notado pelos provadores a partir da amostra com 7% de grãos brocados.

4 Conclusão

O ataque leve ou severo de *H. hampei*, a broca-do-café, nos grãos do catuaí amarelo IAC62 estava compatível com o nível de defeitos brocados tolerado pela *Specialty Coffee Association* (SCA) para café especial. A análise sensorial realizada por provadores especialistas demonstrou que a bebida apresentou as características agradáveis do café catuaí amarelo em todas as amostras, predominando a doçura, acidez cítrica, bom corpo e sabor caramelo e frutado. Porém, houve perda sensorial detectada a partir da amostra contendo 7% de grãos brocados. A perda sensorial acentuou para os níveis crescentes de quantidade de grãos brocados (20 e 100%) e parece estar relacionada à maior incidência da broca-do-café porque o besouro aumenta a contaminação por fungos, e consequentemente à presença de metabólitos vinculados às alterações indesejáveis na qualidade sensorial. A amostra contendo 100% de grãos brocados recebeu menos de 80 pontos dos provadores e perdeu o enquadramento de café especial. Conclui-se que a presença de grãos brocados até o limite de tolerância da SCA não afeta os atributos sensoriais e não desqualifica sua classificação física, mantendo o café na categoria especial.

5 Referências

Abic (2023). Indicadores da Indústria de Café: 2023. Estatísticas. Associação Brasileira da Indústria de Café. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/>. Acesso: 26 mai 2024

Apex Brasil (2023). Leilão do Cup of Excellence Brazil 2023 tem maior preço médio da história. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (ApexBrasil). Publicado: 07 dez 2023. Disponível em: <https://apexbrasil.com.br/br/pt/conteudo/noticias/leilao-do-cup-of-excellence-brazil-2023-tem-maior-preco-medio-da-historia.html#:~:text=O%20leil%C3%A3o%20dos%20lotes%20vencedores,por%20saca%20de%2060%20kg>. Acesso: 20 jan. 2024

Aprocam (2011). Protocolo de identidade, qualidade e rastreabilidade para embasamento da indicação geográfica dos cafés da Mantiqueira de Minas. Relatório integrante da documentação apresentada ao INPI - Regulamento de uso: Denominação de origem Mantiqueira de Minas. Cadernos de Especificações Técnicas Mantiqueira de Minas. 2011, 12p. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/cadernos-de-especificacoes-tecnicas/MantiqueiradeMinas.pdf>. Acesso: 26 mai 2024

Arruda, A. C., et al (2009). Justificativas e motivações do consumo e não consumo de café. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 29, n. 4, p. 754-763, out.-dez. 2009. ISSN 0101-2061. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/CLL9jnFjWXWTBKsxBkGnpc/?format=pdf>. Acesso: 25 mai 2024.

Aristizábal, L. F; Johnson, M. A.; Shriner, S; Marisa Wall (2023). Frequent and efficient harvesting as an economically viable strategy to regulate coffee berry borer on commercial farms in Hawaii. *Journal of Economic Entomology*, 116(2), Apr. 2023, 513–519, DOI: 10.1093/jee/toad041.

Barbin, D. Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

Benvença, S. R.; Gitz, G (2018). Monitoramento da broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) com armadilha bio broca (caimônio sintético) e correlação com a infestação de frutos. In: 44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. CBPC (44.:2018: Franca, SP) - Anais [421]. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11791>. Acesso: 08 set 2023.

Bigirimana, J., et al (2019). Occurrence of potato taste defect in coffee and its relations with management practices in Rwanda. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v. 269, n. 1, p. 82-87, Jan 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez368.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0167880918304031?via%3Di> hub. Acesso: 26 mai 2024

Borém, F. M. (ed). Pós-colheita do café. Lavras: Ed. UFLA, 2008.

Borém, F. M.; et al (2021). Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. *Food Packaging and Shelf Life*. v. 29, n. 100705, 2021. DOI: 10.1007/s13197-019-03879-3

Borém, F. M.; et al (2019). Volatile compounds indicating latent damage to sensory attributes in coffee stored in permeable and hermetic packaging. *J Food Sci Technol*. v. 56, n 9, p. 4101–4109, set. 2019. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100705

Borém, F. M. (coord). Tecnologia, pós-colheita e qualidade de cafés especiais. Lavras: Ed. UFLA, 2023. cap. 8, p. 330-407, il; 27cm.

Bozza, A., et al (2009). Isolamento de fungos associados a grãos de café cv. Iapar 59 de origem de solo e árvore em diferentes tempos de colheita. *Food Sci. Technol*. v 29, n. 3, Set 2009. DOI: 10.1590/S0101-20612009000300012. Acesso: 01 jun 2024

Brasil (2003). Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://abic.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Instrucao-Normativa-08-03.pdf>. Acesso: 18 mai 2024

_____. Resolução da Diretoria Colegiada. RDC Nº 623, de 9 de março de 2022. Dispõe sobre os limites de tolerância para matérias estranhas em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Brasília, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407691/RDC_623_2022_.pdf/507f6523-fb36-4d45-a6f8-52c840f8f393. Acesso: 23 jun 2024

BSCA (2024). Regiões. BSCA Cafés Especiais do Brasil. Associação Brasileira de Cafés Especiais. Disponível em: <https://brazilcoffeenation.com.br/region/list>. Acesso: 26 mai 2024

Carrión, G.; Bonet, A. (2004) Mycobiota Associated with the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Scolytidae) and Its Galleries in Fruit. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 97(3), May 2004, p. 492–499. DOI: 10.1603/0013-8746(2004)097[0492:MAWTCB]2.0.CO;2

Carvalho, C. H. S., et al (2022). Catálogo de cultivares de café arábica. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022. 115 p.: il. color.; 22cm x 16cm. – (Documentos / Embrapa Café, ISSN 1678-1694; 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1145722/1/v18-09-09-22-Embrapa-Cafe-Docmentos-16.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CNC. (2024) Conselho Nacional do Café. Cafés no Brasil. Estatísticas. [2024] Disponível em: <https://cncafe.com.br/>. Acesso: 27 mai 2024

Domingues, R. et al. (2023). Evolução dos hábitos e preferências dos consumidores de café no Brasil, entre 2019 e 2023. Instituto Axxus. out. 2023. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2023/11/2023_10_15_Pesquisa_Caf%C3%A9_H%C3%A1bitos_Preferencias_do_Consumidor2023.pdf. Acesso: 25 mai 2024

Gomes, F. P. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 478 p.

Green Paul, W. C., Davis, A. P., Cossé, A. A. & Vega, F. E. (2015). Can Coffee Chemical Compounds and Insecticidal Plants be harnessed for Control of Major Coffee Pests? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(43): 9427-34. Doi:10.19044/esj.2021.v17n34p12

Iamanaka, B. T. (2010) Avaliação da micobiota de grãos de café e dos metabolitos fúngicos na qualidade da bebida. 2010. 78 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1611219>. Acesso em: 1 jun. 2024.

Iamanaka, B.T., et al. (2014) The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food Research International*. v 62, p. 353-358, Aug 2014. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.05.023. Acesso: 28 mai 2024

Johnson, M.A.; Ruiz-Diaz, C.P.; Manoukis, N.C.; Verle Rodrigues, J.C. (2020). Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*), a Global Pest of Coffee: Perspectives from Historical and Recent Invasions, and Future Priorities. *Insects* 2020, 11, 882. DOI: 10.3390/insects11120882

Lingle TR. The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4 ed. Californian: Long Beach; 2011. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/587af1d4db29d69a1a226b95/t/60cbcc1052eac94fe8487a39/1623968786983/CUPPERS+HANDBOOK+01-12-2015.pdf>. Acesso: 20 mai 2024

Nakayama, C. C.; Teixeira, A. A.; Teixeira, R. R.; Reis, M.; Monteiro, A.; Bueno, J.; Taniwaki, M. H. (2020) Sucessão de microrganismos em diferentes estádios de secagem do café e sua influência na bebida/ Microorganism succession at different coffee drying stages and its

influence on the beverage. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 2402–2418, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-177. Acesso em: 1 jun. 2024. Acesso: 01 jun 2024

Oliveira, C.M. et al. (2018). Coffee berry borer in conilon coffee in the Brazilian Cerrado: an ancient pest in a new environment. *Bulletin of Entomological Research*, v. 108, n. 1, feb 2018, pp. 101 - 107. DOI: 10.1017/S0007485317000530. Acesso em: 11 set 2023.

Pereira, A. E., et al. (2021) Emergence and Infestation Level of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) on Coffee Berries on the Plant or on the Ground During the Post-harvest Period in Brazil, *Journal of Insect Science*, Volume 21, Issue 2, March 2021, 10, DOI: 10.1093/jisesa/ieab022

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SCAA. Protocols: cupping specialty coffe. Specialty Coffee Association of America. Rev. Dec, 2015. 10p.

SCAA. Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais guia rápido: green coffee. 2009, 7p. Disponível em: [SCAA/CuppingProtocols/QuickGuidebyEnseiNeto_Portuguese/RevMar09](#).

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Café: cafés especiais. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Coleção Senar, n. 193. Brasília: SENAR, 2017. 104 p. ISBN 978-85-7664-155-1

Silva, A. J. de C. (2020) Guia prático de metodologias ativas com uso de tecnologias digitais da informação e comunicação. Lavras: UFLA, 2020. 69p.: il. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/42956/1/Guia%20pr%C3%A1tico%20de%20metodologias%20ativas%20com%20uso%20de%20tecnologias%20digitais%20da%20informa%C3%A7%C3%A3o%20e%20comunica%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso: 10 mai 2024

Silva, S.A. et al. (2020) Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. *Food Control*, 113, Jul 2020. DOI:10.1016/j.foodcont.2020.107204. Acesso: 06 jun 2023

SPCH - São Paulo Coffee Hub. Perfil do consumidor de café que busca qualidade. Pesquisa. 2021. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2022/04/pesq_cafe_superior_abic_spch.pdf. Acesso: 25 mai 2024

Storck, L.; Garcia, D. C.; Lopes, S. J.; Estefanel, V. Experimentação vegetal. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.

Word Art© 2009. Disponível em: <https://wordart.com/nwl5dq0aletg/nuvem-de-palavras>.

Agradecimentos

Ao IFSULDEMINAS, à UFLA, à CAPES pelo fomento. Á Cocarive e à Unique Cafés pelo apoio na realização da análise sensorial.

Anexo I

Descritores sensoriais empregados pelos provadores na prova de xícara e número de vezes que as palavras foram citadas para as amostras de café especial contendo diferentes proporções de grãos brocados.

<i>Descritores</i>	<i>Con- trole</i>	<i>SCA</i>	<i>7%</i>	<i>20%</i>	<i>100%</i>	<i>Descritores</i>	<i>Con- trole</i>	<i>SCA</i>	<i>7%</i>	<i>20%</i>	<i>100%</i>
acidez alta		1		1	2	finalização caramelo		1			
acidez cítrica	1	6	2		3	finalização longa		1			
acidez cítrica média	1	2			2	fundo leve áspero			2		
acidez viva cítrica	1		1			frutado		1			
adstringente					1	frutas amarelas			1		
água de batata					1	leve amargo				1	
amargo				1		leve áspero			1		
ardido					1	leve frutado	2		1		
áspero					2	leve sujo			1	1	
bom corpo	2	2	2	3		leve velho			1		
caramelo	5	4	4	3	1	limpo	4	2			
chá preto		1				longo	1	1			
chocolate	1	1		2	1	manga			2		
chocolate amargo		1			1	mel	4	1	1	2	1
choc meio amargo		1				obscura					2
corpo leve	1					pouco corpo				1	2
corpo limpo	1	1	2			retrogosto adstringente					1
corpo médio	3	2	2	2	3	retrogosto caramelo			1	1	
corpo ótimo		1				retrogosto chá preto		1			
corpo pesado		1				retrogosto curto				1	3
corpo sedoso					1	retrogosto doce	7	1	2	3	
corpo sujo					2	retrogosto longo e doce			2		
cremoso	1	2	1	1		retrogosto seco				1	1
delicado	1					sabor doce	2	2	3	2	2
descansado	1	1	1	1	2	sabor leve envelhecido				1	
doce	4	1	3	3	2	seco			1	1	1
doce de leite		1	2	2		suave	1				
envelhecido					2	sujo			1		4
equilibrado		1				verde				1	

ARTIGO 2

Detecção rápida de ocratoxina A em café contendo grãos atacados pela broca-do-café (*Hypothenemus hampei*)

Rapid detection of ochratoxin A in coffee containing beans attacked by the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*)

Versão preliminar - será traduzido para a língua inglesa e submetido ao periódico

International Journal of Food Science and Technology (Online) (A2)

Resumo: A alta incidência de *Hypothenemus hampei* tem aumentado o risco de infração sanitária de café torrado e moído pela presença de matérias estranhas e ocratoxina A (OTA) acima da tolerância, pois o beneficiamento não elimina completamente os grãos brocados. O objetivo foi quantificar OTA por teste rápido e fragmentos de insetos por microscopia em amostras de café especial Catuaí amarelo com níveis crescentes de grãos brocados, sendo: controle (sem grãos brocados), SCA (quantidade de brocados tolerados pela *Specialty Coffee Association*), 7%, 20% e 100% de grãos brocados, predominando danos leves nos grãos. As contaminações encontradas estão dentro dos limites legais brasileiros. Os fragmentos de insetos aumentaram com o teor crescente de grãos brocados, mas não houve diferença para OTA, cujo teor foi equivalente em todos os tratamentos. Sensorialmente, quanto maior o número de fragmentos de inseto, pior foi a nota atribuída ao café, possivelmente devido a infestação de bolores associados ao ataque do besouro aos grãos. O teor de OTA não impactou sensorialmente a qualidade do café. Conclui-se que o beneficiamento foi capaz de gerar um café especial adequado para a industrialização, mas é importante monitorar aspectos sanitários para avaliar a qualidade do café. O teste rápido de quantificação de OTA por biossensor mostra-se viável para ser aplicado em controle da qualidade.

Palavras-chave: café especial torrado, biossensor, fragmentos de insetos, qualidade sanitária, legislação.

Abstract: The high incidence of *Hypothenemus hampei* has increased the risk of sanitary infractions in roasted and ground coffee due to the presence of foreign matter and ochratoxin A (OTA) exceeding acceptable levels, as processing does not completely eliminate infested beans. The objective was to quantify OTA using a rapid test and insect fragments via microscopy in samples of specialty Catuaí yellow coffee with increasing levels of infested beans: control (no infested beans), SCA (infestation level tolerated by the Specialty Coffee Association), 7%, 20%, and 100% infested beans, predominantly with mild damage. The contaminations found were within Brazilian legal limits. Insect fragments increased with the rising proportion of infested beans; however, there was no difference in OTA levels, which were equivalent across all treatments. Sensory evaluation revealed that the higher the number of insect fragments, the lower the score attributed to the coffee, possibly due to mold infestations associated with beetle attacks on the beans. OTA content did not sensorially impact the quality of the coffee. It is concluded that processing was capable of producing a specialty coffee suitable for industrialization, but it is important to monitor sanitary aspects to assess coffee quality. The rapid quantification test for OTA using a biosensor is viable for quality control applications.

Keywords: specialty roasted coffee, biosensor, insect fragments, sanitary quality, legislation.

1 Introdução

A elevada incidência de broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae: Scolytinae), nas lavouras tem aumentado o risco da presença do besouro e de seus fragmentos no café torrado. A legislação brasileira tolera 60 fragmentos de insetos indicativos de falhas das boas práticas em 25g de café torrado e moído, abrangendo artrópodes (Brasil, 2022a). Mesmo havendo o limite, frequentemente amostras comerciais de café apresentam contaminação (Assis, Marques e Silva, 2020), incluindo insetos. Silva, Fulco e Barbosa (2015) afirmaram que artrópodes são um fator de risco à saúde da população, pois eles têm contato com animais, vegetais, fungos e bactérias, podendo facilmente disseminar microrganismos nos alimentos. A broca perfura os frutos e, ou os grãos em várias fases da produção do café, do campo à indústria, favorecendo o ataque dos fungos produtores de micotoxinas (Borém, 2023; Durand et al, 2013; Silva et al, 2020). Segundo Silva (2014), nos frutos verdes ou cerejas as perfurações ocorrem geralmente na região da coroa, mas quando há elevada infestação, a broca perfura em qualquer ponto nos frutos secos, ou cocos. Temperaturas e umidade mais elevadas reduzem o tempo do ciclo de evolução da broca-do-café, favorecendo a proliferação. A umidade relativa do ar possui uma correlação positiva com o aumento populacional (Silva e Giunti, 2014). Frutos recolhidos secos das árvores ou do chão podem estar infestados e ser uma fonte de contaminação do café nos armazéns se não forem mantidas a temperatura e umidade adequadas para a conservação dos grãos.

A ocratoxina A (OTA) é a mais relevante no café (Borém, 2023; Silva et al, 2020). Apresenta efeitos imunossupressores, carcinogênicos, nefrotóxicos, neurotóxicos, hepatotóxicos, genotóxicos e teratogênicos, sendo altamente tóxica (Arruda e Beretta, 2019; Oliveira et al, 2023; Yamina et al, 2024). O Limite Máximo Tolerado (LMT) de OTA para café torrado no Brasil é de 10mcg/kg ($\mu\text{g/kg}$) – 10ppb (Brasil, 2022b) e métodos rápidos de análise vêm sendo desenvolvidos com sensibilidade e especificidade adequados para detecção da toxina (Oliveira et al, 2023; Yamina et al, 2024), oferecendo rapidez de execução e resposta, facilidade de uso, contribuindo para a sustentabilidade porque emprega menos reagentes e reduzindo custos analíticos. Portanto, a detecção rápida de OTA favorece a realização de análises para o controle da qualidade do café.

O setor cafeeiro tem elevada preocupação com a infestação causada pela broca-do-café por causa dos prejuízos que provoca a partir do campo (Aristizábal et al, 2023; Benvenga e Gitz, 2018) até o recolhimento de produtos no mercado (MAPA, 2024). Aplicação de agroquímicos e controles biológico e mecânico vêm sendo empregados para minimizar o

avanço dessa praga (Araya Rojas, 2020; Benvenga e Gitz, 2018; Costa, 2020; Fernandes et al, 2014; Leite, 2015; Neves e Hirose, 2005; Pereira; 2020; Souza, 2019), porém são insuficientes para evitar infestações e controlar os níveis de insetos e de brocamento de frutos no cafezal e em grãos armazenados. O beneficiamento é a principal etapa para remover os grãos brocados preparando o café para a industrialização após o rebeneficiamento (Borém, 2008; Borém, 2023), mas não tem sido eficaz para eliminá-los e isso pode gerar café torrado e moído com insetos e seus fragmentos acima dos limites legais estabelecidos, incluindo o risco de haver OTA no café acima da tolerância. Este problema se contrapõe ao interesse crescente dos consumidores por cafés de qualidade superior e que ofereçam experiências únicas (Arruda, 2009; Domingues, 2023; SPCH, 2021), conforme constataram Boaventura et al (2018) avaliando a cadeia de agregação de valor que se desenvolveu na Terceira Onda do Café. Então, torna-se cada vez mais importante monitorar a qualidade do café e testes rápidos vêm sendo desenvolvidos para a checagem de alguns parâmetros, como a detecção de OTA.

Portanto, considerando o risco de contaminação que a broca-do-café provoca e os prejuízos potenciais que podem acometer o setor cafeeiro, o objetivo deste estudo foi avaliar o café especial contendo diferentes quantidades de grãos brocados quanto à presença de matérias estranhas (insetos e seus fragmentos) e de contaminação por ocratoxina A empregando teste rápido de detecção, visando checar a viabilidade desses mecanismos como suporte para o controle da qualidade do café torrado.

2 Materiais e Métodos

2.1 Preparo das amostras

O café arábica catuaí amarelo IAC62 proveniente de Carmo de Minas/MG, safra 2022/2023, cultivado a 1.200m de altitude, foi empregado na pesquisa. Uma saca de 60kg de café natural, rebeneficiado, tipo 2/3, peneira 16 e acima, com avaliação de 86 pontos na escala sensorial da *Specialty Coffee Association* (SCA) foi manualmente selecionada para a separação dos grãos brocados e outros defeitos intrínsecos. Após a catação, os grãos sadios foram congelados (-18°C) em porções de 1,2 kg e foram retirados para a temperatura ambiente 24h antes da torração. Os grãos brocados foram armazenados em sacos de polietileno para serem separados conforme a Classificação Oficial Brasileira (COB) da Instrução Normativa nº. 08/2003 do Ministério da Agricultura (MAPA) (BRASIL, 2003), e depois foram separados pela

quantidade de furos e extensão do dano em brocado limpo, sujo ou rendado. Os grãos sadios e os brocados foram usados para montar os tratamentos do experimento.

Cinco grupos de amostras, os tratamentos, foram montados empregando as categorias de defeitos da SCA (SCAA, 2009):

- controle: sem grãos brocados;
- SCA: contendo grãos brocados no limite de defeitos tolerado pela SCA;
- 7% brocado: contendo 7% de grãos brocados das duas categorias SCA;
- 20% brocado: contendo 20% de grãos brocados das duas categorias SCA;
- 100% brocado: contendo 100% de grãos brocados das duas categorias SCA.

As categorias de defeitos estabelecidas pela SCA para amostra de 350g de grão cru são:

- Categoria 1: nenhum defeito é tolerado e 1 (um) defeito equivale a 5 (cinco) grãos brocados com ataque severo (tolerância – 4 grãos em 350g de café cru);
- Categoria 2: toleram-se no máximo 5 defeitos e 10 (dez) grãos brocados com ataque leve formam 1 (um) defeito (tolerância – 50 grãos em 350g de café cru).

Portanto, a amostra SCA deste experimento foi preparada contendo 4 grãos brocados no nível severo e 50 grãos brocados no nível leve. As amostras contendo 7, 20 e 100% de grãos brocados contiveram os mesmos defeitos que a amostra SCA acrescidos de grãos brocados com danos variados e café sem grãos atacados pela broca até completar 350g. Empregou-se microscópio estereoscópico (aumento até 45x) para investigar o ataque da broca em alguns grãos e para gerar as imagens para este experimento (Bel Photonics - SZ B Led). Os seguintes critérios da SCA para cafés especiais também foram considerados: grãos graúdos, da peneira 16 até 20; exclusão de grãos imaturos (*quackers*) no café torrado.

2.2 Torração do café e análises de matérias estranhas

As amostras foram preparadas no torrador We x Suji Mini Roaster 100 (Suji, Indonésia) empregando torra clara e granulometria média de moagem conforme especificação da Portaria SDA nº 570/2022 do MAPA (Brasil, 2022c). Pacotes com 250g de café moído foram enviados para laboratório externo para a realização da análise de matérias estranhas conforme critérios da resolução RDC nº 623/2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (Brasil, 2022a), sendo executada por laboratório especializado pelo método AOAC no 988.16 adaptado pela substituição do isopropanol por álcool etílico. Três repetições dos tratamentos (controle, SCA, 7%, 20% e 100% de grãos brocados) foram preparadas, exceto para o café cru.

2.3 Análise rápida de ocratoxina A

A detecção de OTA foi realizada por imunoenensaio colorimétrico baseado na tecnologia de fluxo lateral e as etapas seguiram o protocolo do fabricante (Nano Smart. Serra/ES, Brasil). Resumidamente, 5g da amostra de café foi triturada, colocada em contato com 10mL da solução de extração e posteriormente filtrada. Em seguida, 200µL da amostra foram adicionados a 200µL do tampão de reação. Após homogeneização, 200µL desta mistura foram adicionados ao imunoconjugado, onde permaneceu por 5 minutos sob controle de temperatura (35°C) até inserção da tira de teste, cujo tempo de corrida foi de 5 minutos. A fita com a corrida cromatográfica foi fotografada imediatamente. A quantificação foi realizada por meio do *software* Image J (NIH. Maryland, USA), versão livre – gratuita, com as imagens obtidas dos testes.

O método é simples e sensível para detectar OTA por um imunossensor impedimétrico construído sobre um eletrodo de ouro de película fina evaporado em substrato de vidro, modificado com monocamada de cisteamina automontada e anticorpos anti-OTA, tendo sido planejado para ser um dispositivo para análises de qualidade do café (Oliveira et al, 2023).

2.4 Tratamento e análise dos dados obtidos

Aplicou-se um delineamento inteiramente casualizado englobando os 5 tratamentos para os níveis de grãos brocados (controle, SCA, 7%, 20% e 100%), os resultados das análises de microscopia e de ocratoxina A. Para essas variáveis os dados foram normais (valor-p=0,31) e homoscedásticos (valor-p=0,07).

Os resultados foram submetidos à análise estatística após a checagem da normalidade e homoscedasticidade dos dados. Os resultados dos teores de microscopia e OTA foram submetidos à análise de correlação, de variância (ANOVA) e teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de probabilidade (Barbin, 2003; Gomes, 2000; Storck et al, 2006). As análises foram realizadas com auxílio do *software* estatístico R Core Team (2022).

3 Resultados e discussão

A legislação brasileira estabelece limites máximos toleráveis de contaminantes em café. Segundo a Portaria SDA/MAPA nº. 570/2022, há limites para elementos estranhos (matérias estranhas ou impurezas indicativas de fraude); impurezas (elementos extrínsecos tais como cascas, paus e outros detritos provenientes do próprio cafeeiro) e matérias estranhas (corpos ou detritos de qualquer natureza, estranhos ao produto) detalhadas em duas categorias, as

indicativas de riscos à saúde humana e as indicativas de falha de boas práticas, e nesta se enquadra a broca-do-café. Os parâmetros se aplicam ao café torrado e torrado e moído (Brasil, 2022a; Brasil, 2022c), pois o café cru deve ser rebeneficiado até atingir níveis satisfatórios antes de ser industrializado (Brasil, 2022c). Os resultados das análises expressos em números de fragmentos de insetos em 25g de café torrado estão na Tabela 1. Elementos estranhos e impurezas não foram detectados (ND). Matérias estranhas indicativas de risco à saúde humana também não foram detectadas. Apenas fragmentos de insetos, abaixo do limite tolerável, foram encontrados dentre as matérias estranhas indicativas de falhas das Boas Práticas. Este baixo índice de defeitos era esperado para o café especial devido ao rebeneficiamento, cujo propósito é eliminar as sujidades e os grãos defeituosos.

Tabela 1. Resultados da avaliação de matérias estranhas das amostras de café Catuaí amarelo especial cru e torrado contendo níveis variados de grãos brocados.

Especial cru e torrado contendo níveis variados de grãos brocados.					
<i>Café</i>	<i>Tratamento</i> ¹	<i>Matéria Estranha</i> ² (nº)	<i>Café</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Matéria Estranha</i> (nº)
Cru (média)	Controle	ND*	Torrado (média)	Controle	ND*
	SCA	2		SCA	5
	7%	20		7%	12
	20%	29		20%	14
	100%	31		100%	19
<i>Café torrado</i>			<i>Matéria Estranha</i> ³ (nº)		
<i>Tratamento</i> ²	<i>Controle</i>	<i>SCA</i>	<i>7%</i>	<i>20%</i>	<i>100%</i>
R1	ND*	9	19	27	35
R2	ND*	2	10	12	16
R3	ND*	5	7	3	6

¹ Tratamentos: controle (sem grãos brocados); SCA (contendo o limite de defeitos tolerados pela SCA), 7%, 20% e 100% contendo o índice de grãos brocados correspondente à tolerância SCA acrescidos de grãos sem ataque de broca. ² Duplicatas foram analisadas para as 3 repetições para cada tratamento do café torrado. ³ Indicativa de falhas de boas práticas. *ND: não detectado no teste laboratorial. Fonte: das autoras (2024).

Houve correlação de 96%, forte e positiva, do número de insetos e fragmentos entre o café cru e o café torrado. Isso era esperado, pois as amostras continham grãos brocados provenientes da mesma saca de café e o aumento na quantidade de grãos brocados aumenta o risco da presença de fragmentos de insetos no café torrado.

O café empregado no experimento estava rebeneficiado e foi enquadrado no Tipo 3, com baixo índice de defeitos, após aplicação da Classificação Oficial Brasileira (Brasil, 2003) em 20 amostras de 300g de grão cru. Não havia defeitos extrínsecos; isso seria detectado como impurezas na análise microscópica. A catação eliminou os poucos defeitos intrínsecos (grãos

ardidos, concha, verde, quebrado e esmagado) e somente os grãos brocados foram incorporados na montagem das amostras para evitar que outros fatores pudessem afetar os resultados da investigação do efeito de *H. hampei* no café torrado. A quantidade crescente do número de fragmentos de insetos detectada na análise microscópica está coerente com os tratamentos, pois era esperado que no café controle, sem grãos brocados, não fossem detectadas matérias estranhas, e na amostra contendo 100% de grãos brocados deveria haver maior contaminação. Nota-se que o preparo do café especial no rebeneficiamento foi bem executado, porque a maioria dos grãos brocados estavam com dano leve e isso não prejudicou o café especial torrado perante o risco de infração sanitária, pois nenhuma amostra atingiu o limite de 60 fragmentos de inseto em 25g de produto. Entretanto, não é raro encontrar uma situação distinta em cafés torrados comerciais. As Figuras 1, 2 e 3 demonstram grãos danificados pela broca-do-café e suas evidências.

Figura 1. _ Presença da broca-do-café no grão de café.



(A) Mancha escura levantou a suspeita de inseto dentro do grão (aumento 7X). (B e C) Inseto inteiro dentro de grão aparentemente sadio (aumento até 45x). Fonte: das autoras (2024).

A correlação e a ANOVA realizadas indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos no café torrado (valor- $p=0,16$). Porém, analisando os dados individualmente para as repetições R1, R2 e R3, nota-se variabilidade. A variação no número de fragmentos de insetos detectada no café torrado pode ser explicada pela análise dos grãos realizada no microscópio estereoscópico durante a fase de catação de grãos brocados. Havia grãos aparentemente intactos, mas contendo insetos inteiros em seu interior; grãos aparentemente sem danos ou com dano muito leve, mas com evidências da presença do inseto (fezes, ataque sem perfuração do grão e grão com coloração rósea); e grãos bastante danificados pela broca e sem nenhuma evidência de insetos (Figuras 1, 2 e 3). Então, quanto ao processo de industrialização é possível supor que café torrado e moído proveniente de um mesmo lote pode ter variabilidade na quantidade de fragmentos de insetos, o que remete à necessidade de rígido

controle de pragas no campo e no armazenamento para evitar a infestação por *H. hampei*, pois o rebeneficiamento não é capaz de eliminar completamente esses grãos brocados.

Figura 2. _ Broca-do-café em desenvolvimento no grão de café na fase de pupa.



Grão intacto, sem perfurações. Pupa instalada na ranhura do café (aumento até 45x). Fonte: da autora (2024).

Frequentemente cafés torrados disponíveis no mercado são analisados e contaminações são constatadas em cafés extra-forte, tradicionais e *gourmet*. Pesquisadores encontraram elementos estranhos, impurezas e matérias estranhas indicativas de risco à saúde em muitas amostras (antenas de mosquito, pelos humanos, hifas de fungos, pelos de roedor, fragmentos de tecido, grãos de areia e de cereais, partículas metálicas e outros). Matérias estranhas indicativas de falhas de boas práticas são comuns nessas amostras, sendo os insetos e seus fragmentos a contaminação predominante (Assis, Marques e Silva, 2020; Graciano et al, 1998; Silva et al, 2019; Teixeira et al, 2016). Condenações de lotes, recolhimento de produtos e outros prejuízos, como a depreciação da marca pela exposição na mídia, também acontecem devido às diversificadas contaminações presentes em café torrado e moído, tal como fragmentos de vidro (G1, 2023; Café..., 2024; MAPA, 2024; Paulo, 2024), além do risco de agravos à saúde e de danos emocionais que isso pode provocar nos consumidores.

A ausência de quaisquer outros contaminantes exceto os grãos brocados indicou que as amostras ficaram adequadamente preparadas para a investigação do efeito provocado pela broca-do-café e do risco de OTA no café torrado. Também indica que o rebeneficiamento, neste caso, foi suficiente tanto para manter o café dentro dos limites do regulamento sanitário (Brasil, 2022a; Brasil, 2022c), quanto para ser enquadrado na categoria especial pelos critérios de classificação física da SCA (SCAA, 2009). Portanto, a análise microscópica é importante para avaliar a qualidade física e sanitária do café quanto aos elementos estranhos, impurezas e

matérias estranhas, atuando como suporte para o controle da qualidade. A Figura 3 apresenta grãos brocados que estavam no café empregado neste estudo.

Figura 3. _ Grãos atacados pela broca-do-café.



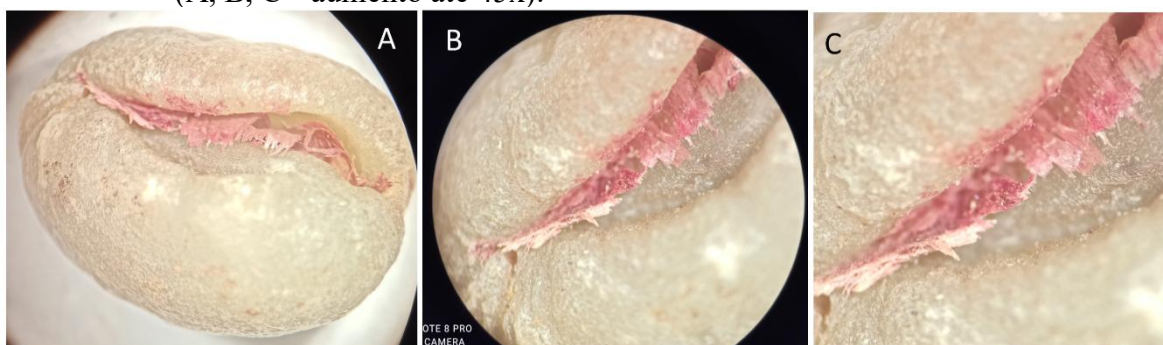
Da direita para a esquerda: conjunto de grãos com ataque leve, grão rendado com furos limpos, inseto inteiro na ranhura do grão, dano leve na ponta do grão, sem perfuração; mancha escura evidenciando a presença do inseto dentro do grão (aumento até 45x). Fonte: da autora (2024).

Quanto à qualidade da bebida, as amostras receberam pontuação variando entre 80,5 até 81,8 pontos da SCA na análise sensorial realizada por provadores especialistas seguindo o protocolo para cafés especiais (SCAA, 2015), exceto aquela contendo 100% de grãos brocados, cuja nota foi 78,1 pontos. Termos depreciativos surgiram na avaliação sensorial a partir de 7% de grãos brocados. Sujo foi o termo em destaque empregado pelos provadores para descrever o perfil sensorial para o tratamento contendo 100% dos grãos brocados. Possivelmente isso ocorreu porque bolores encontrados em grãos atacados pela broca causam perdas sensoriais (Iamanaka et al, 2014; Pimenta e Vilela, 2003). Iamanaka et al (2014) também constataram atributos negativos como mofado, sujo e fermentado na avaliação sensorial de café arábica, que apresentou alta contaminação por *Aspergillus sp.* e continha diversificada microbiota fúngica. As diversas espécies de fungos presentes dentro das galerias abertas pela broca-do-café e no besouro (no seu intestino) foram divididas por Carrión e Bonet (2004) em quatro grupos: sapróbicos que a broca utiliza como alimento (como *Fusarium sp.* e *Penicillium sp.*); sapróbicos que degradam as fezes da broca (como *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.*); parasitas do café (como *Fusarium sp.*); e o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*. *Aspergillus sp.*,

Fusarium sp. e *Penicillium sp.* parecem ser os principais responsáveis pelas alterações na qualidade e na produção de toxinas (Borém et al, 2023; Iamanaka et al, 2014).

A presença de espécies micotoxigênicas e a detecção de toxinas em café vêm sendo relatadas periodicamente (Bozza et al, 2009; Carrión e Bonet, 2004; Iamanaka, 2010; Iamanaka et al, 2014; Nakayama et al, 2020; Silva, et al, 2020). Durante a catação foram encontrados alguns grãos com coloração rosada e isso é um indício de contaminação por *Fusarium sp* (Borém, 2023), que pode produzir OTA. Popularmente o grão rosado é chamado ‘paquetá’. Tal evidência (Figura 4) reforça a presunção do risco de contaminação do café por ocratoxina A, e isso foi detectado. Os resultados do teor de OTA estão na Tabela 2.

Figura 4. _ Coloração rósea no grão sugere a infestação de *Fusarium sp.* (A, B, C - aumento até 45x).



Fonte: da autora (2024).

Os níveis de ocratoxina A detectados no café torrado estão dentro do limite legal tolerável para o país (Brasil, 2022b), mas extrapolam a tolerância para países estrangeiros. O nível máximo permitido na União Europeia é 3,0mcg/kg ($\mu\text{g/kg}$), e de 5,0mcg/kg ($\mu\text{g/kg}$) para a China, Turquia, Egito e Vietnã (Yamina et al, 2024). Estatisticamente os dados de ocratoxina para cada tratamento de grãos brocados foram normais (valor- $p=0,14$) e homoscedásticos (valor- $p=0,28$). ANOVA foi realizada para o café torrado e detectou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos (valor- $p=0,60$).

Nota-se que a quantidade de ocratoxina A independe da proporção de grãos brocados, ou seja, a contaminação da micotoxina se disseminou de modo equivalente nos grãos de café, mesmo naqueles que não foram atacados pelo *H. hampei* (amostra controle). Isso contradiz a hipótese de que a maior quantidade de grãos brocados aumenta a quantidade de micotoxina. E também contradiz a hipótese d que o café especial, por ter um teor muito baixo de grãos brocados, possui baixo risco de estar contaminado por micotoxinas.

E o café cru apresentou teor ligeiramente mais elevado que o torrado, o que era previsto.

Tabela 2. Teor de ocratoxina A (OTA) em café contendo níveis crescentes de grãos atacados pela broca-do-café.

Tratamentos	Teor de OTA ($\mu\text{g/kg}$) ¹				
	Controle	SCA	7%	20%	100%
Café torrado	4,8	5,1	5,2	4,6	5,2
Café cru	6,0	6,7	7,3	6,7	7,2
Grão róseo*	6,5				

¹ Não houve diferença significativa ($p=0,60$) entre os tratamentos de café torrado. *Grão róseo: poucos grãos foram obtidos da saca de 60kg (amostra global do experimento) e foram analisados como amostra única, sem repetição. Fonte: das autoras (2024).

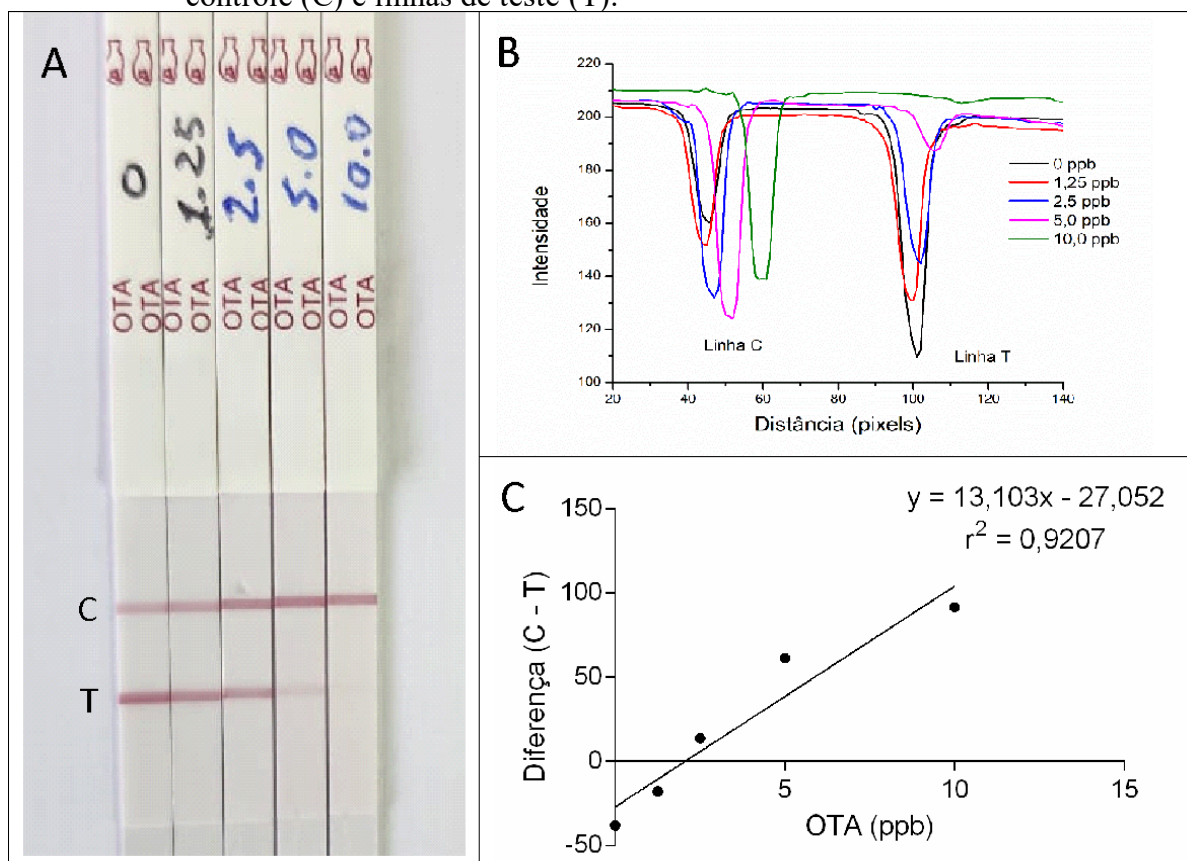
Em vários experimentos concentrados perto dos anos 2000 foram medidos os efeitos do tratamento térmico da torração sobre a ocratoxina A, incluindo cinética de degradação (Ferraz et al, 2010). Nos estudos, empregaram-se café arábica e canéfora, amostras naturalmente ou controladamente contaminadas, temperaturas de torra variando entre 180°C e 220°C, tempos de torra variando entre 5 até 20 minutos, níveis de torra claro, médio e escuro, com predominância de análise por cromatografia para a quantificação de OTA. Todos os testes constataram redução do teor de ocratoxina A em proporções variadas, por exemplo, de 16,6% até 98%, sendo evidente que a redução pode atingir valores maiores que 90% mesmo em amostras com alto teor de OTA (Durand et al, 2013; Ferraz et al, 2010; Gopinandhan e Kannan, 2009; Romani, Pinnavaia Dalla Rosa, 2003; Yamina, 2024), porém, esse tratamento térmico não é eficaz para garantir ausência da toxina no café torrado. A presença de OTA também foi medida na bebida preparada a partir de algumas dessas amostras contaminadas e os pesquisadores constataram que houve alguma redução (Gopinandhan e Kannan, 2009; Leoni, Soares e Oliveira, 2000), mas sem eliminação do contaminante.

A constatação da permanência de OTA no café e na bebida mesmo após a torração e o preparo deixaram evidente que seria preciso desenvolver técnicas eficazes para identificar este contaminante, o que levou à realização de pesquisas sobre métodos analíticos para a detecção e quantificação de OTA. Muitos deles empregam cromatografia, ELISA ou PCR, tal como o método de España Amórtégui et al (2024), que desenvolveram um teste analítico múltiplo para quantificação de contaminantes em café torrado por espectrometria de massa de alta resolução por cromatografia líquida (LC-HRMS) capaz de identificar 414 moléculas, incluindo OTA. Porém, essas análises demandam preparo de amostras, empregam equipamentos sofisticados e não se aplicam para análises no local. Yamina et al (2024) identificaram várias técnicas, suas vantagens e limitações, e relataram que os métodos baseados em biossensores são ferramentas

eficazes para monitoramento de OTA pois oferecem precisão e sensibilidade na detecção da micotoxina, são fáceis de usar, requerem um volume mínimo de amostra e são caracterizados por resposta rápida, projetados para serem portáteis e permitirem a detecção *in loco* de OTA.

O teste rápido para detecção de OTA por biossensor (Figura 5) utilizado neste estudo se mostrou bastante útil, pois sua execução foi prática e exigiu equipamentos e vidrarias comuns em laboratórios, sugerindo ser viável para o monitoramento da qualidade do café.

Figura 5. _ Imagem das tiras do teste imunocromatográfico mostrando a diferença na linha controle (C) e linhas de teste (T).

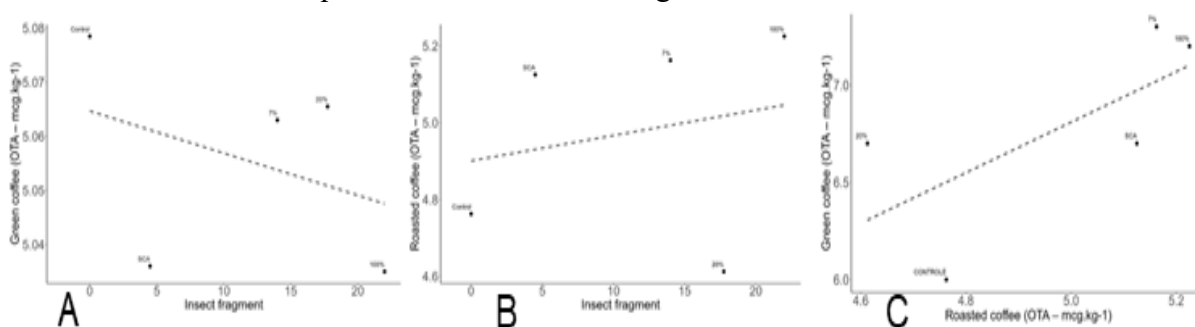


(A) Fitas de teste. (B) Tratamento realizado para extração das características no *software* Image J. (C) Curva padrão realizada em função da diferença C-T em relação a concentração de OTA em ug/Kg (ppb). Fonte: das autoras (2024).

A Figura 5 demonstra as tiras de medição da curva padrão realizada com teores de zero (controle); 1,25; 2,5; 5,0 e 10,0 $\mu\text{g/kg}$ de OTA, respectivamente, além do gráfico com os picos gerados pelo *software* Image J e da curva da equação empregada para a quantificação do teor de OTA nas amostras de café torrado e cru. Isso possibilita seu uso para o controle de qualidade, sendo atrativo para que os setores cafeeiros, do campo ao comércio, possam monitorar a qualidade de seus produtos.

Detectou-se uma correlação fraca entre o teor de fragmentos de inseto e de micotoxina tanto para café cru (-0,37%) quanto para o café torrado (0,22%), reforçando a impressão de que a broca-do-café favorece a contaminação dos frutos e dos grãos por bolores toxigênicos, mas que a produção de micotoxinas independe da presença do inseto, e que a torração não é um processo de eliminação deste contaminante. Porém, há uma correlação positiva mais alta (0,68%) indicando que quanto maior o valor de ocratoxina A no café cru, maior será o seu teor também no café torrado (Figura 6). Isso está de acordo com as pesquisas em que a torração não foi capaz de eliminar a OTA.

Figura 6. _ Correlação entre o teor de ocratoxina A e número de fragmentos de insetos nos café com quantidades crescentes de grãos brocados.



Correlação no café cru: -0,37% (A) e no café torrado: 0,22% (B) entre OTA e fragmentos de insetos; e correlação entre o café cru e o torrado: 0,68% para o teor de OTA (C). Fonte: da autora (2024).

A correlação (0,99%) entre o teor de OTA no café torrado e a pontuação sensorial atribuída por provadores especialistas não foi significativa para todos os tratamentos, sugerindo que outros fatores prejudicam o aroma e sabor do café, mas a toxina não tem influência sobre isso. Romani, Pinnavaia e Dalla Rosa (2003) também constataram que sabores estranhos não foram diretamente relacionados ao teor de ocratoxina A. Isso reforça a necessidade de aplicação de técnicas de monitoramento analíticas, visto que a oferta de café seguro para a ingestão quanto ao teor de OTA não pode ser balizada por análise sensorial. O emprego de um teste rápido, simples e economicamente viável contribui para este monitoramento. Tais requisitos foram atendidos pelo método com biossensor aplicado neste experimento.

4 Conclusão

O café catuaí amarelo classificado como café especial quanto ao nível de defeitos de grãos brocados tolerados pela SCA continha contaminação dentro dos limites legais toleráveis

para matérias estranhas indicativas de falhas de boas práticas (fragmentos de insetos) e de ocratoxina A, mesmo para níveis crescentes de quantidade de grãos atacados por *H. hampei*; portanto, não apresentou perigo para a ingestão da bebida na análise sensorial.

O rebeneficiamento foi capaz de preparar adequadamente os grãos para a industrialização evitando risco de infração sanitária para o café torrado, mas a torração não eliminou a ocratoxina A.

O teor de OTA detectado não teve relação estatística significativa com o índice de fragmentos de insetos e com a pontuação SCA atribuída às amostras, ou seja, a quantidade de grãos brocados e as impressões sensoriais não podem ser tomadas como parâmetros para inferir se há micotoxina no café, sendo necessário realizar análise laboratorial.

O método rápido de quantificação de ocratoxina A se mostrou viável e, junto com a análise de microscopia, são testes importantes para avaliar e favorecer o controle da qualidade sanitária do café.

5 Referências

Aristizábal, L. F; Johnson, M. A; Shriner, S.; Marisa Wall. (2023) Frequent and efficient harvesting as an economically viable strategy to regulate coffee berry borer on commercial farms in Hawaii. *Journal of Economic Entomology*, 116(2), Apr. 2023, 513–519, <https://doi.org/10.1093/jee/toad041>.

Araya Rojas, L. A. (2020) Proteção de frutos de café contra *Hypothenemus hampei* por inseticidas: quanto mais velho, melhor? 2020. 40 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28123>. Acesso em: 10 set 2023.

Arruda, A. C.; et al. (2009) Justificativas e motivações do consumo e não consumo de café. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 29, n. 4, p. 754-763, out.-dez. 2009. ISSN 0101-2061. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/CLL9jnFjWXWTBKsxBkGnpc/?format=pdf>. Acesso: 25 mai 2024.

Arruda, A. D.; Beretta, A. L. R. Z. (2019) Micotoxinas e seus efeitos à saúde humana: revisão de literatura. *RBAC*, Araras, v. 51, n. 4, p. 286-289, ago. 2019. Disponível em: <https://www.rbac.org.br/wp-content/uploads/2020/04/RBAC-vol-51-4-2019-ref779.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

Assis, N. M.; Marques, C. A.; Silva, M. C. da. (2020) Avaliação microscópica de amostras comerciais de café. *Segur. Aliment. Nutr.*, Campinas, v. 27, p. 1-13, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/san.v27i0.8658921>

Barbin, D. Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

Benvença, S. R.; Gitz, G. (2018) Monitoramento da broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) com armadilha bio broca (caimônio sintético) e correlação com a infestação de frutos. In: 44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. CBPC (44.:2018: França, SP) - Anais [421]. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11791>. Acesso: 08 set 2023.

Boaventura, P. S. M, et al. (2018) Value co-creation in the specialty coffee value chain: the third-wave coffee movement. *Fórum. RAE*. São Paulo, 58(3), May-June 2018. p. 254-266. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020180306>

Borém, F. M. (ed). Pós-colheita do café. Lavras: Ed. UFLA, 2008.

Borém, F. M. (coord). Tecnologia, pós-colheita e qualidade de cafés especiais. Lavras: Ed. UFLA, 2023. 407p., il; 27cm.

Bozza, A et al. Isolamento de fungos associados a grãos de café cv. Iapar 59 de origem de solo e árvore em diferentes tempos de colheita. *Food Sci. Technol.* v 29, n. 3, Set 2009. DOI: 10.1590/S0101-20612009000300012. Acesso: 01 jun 2024

Brasil. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://abic.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Instrucao-Normativa-08-03.pdf>. Acesso: 18 mai 2024

_____. a. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 623, de 9 de março de 2022. Dispõe sobre os limites de tolerância para matérias estranhas em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Brasília, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407691/RDC_623_2022_.pdf/507f6523-fb36-4d45-a6f8-52c840f8f393. Acesso em: 30 jul 2024

_____. b. Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Brasília, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_160_2022_.pdf/03a02bb0-7856-4da4-a6f8-6a1e99d487d9. Acesso em: 30 jul 2024

_____. c. Portaria SDA nº 570, de 9 de maio de 2022. Estabelece o padrão oficial de classificação do café torrado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-570-de-9-de-maio-de-2022-398971389>. Acesso em: 30 jul 2024

Café... Café, chocolate, atum: veja os 10 produtos que foram considerados impróprios para o consumo no Brasil recentemente. *Saúde. O Globo*. Portal O Globo. Publicado em: 30 jun 2024. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/saude/noticia/2024/06/30/cafes-com-materias-estranhas-confira-outros-produtos-ja-considerados-improprios-para-consumo.ghtml>. Acesso: 07 jul 2024

Carrión, G; Bonet, A. (2004) Mycobiota Associated with the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Scolytidae) and Its Galleries in Fruit. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 97(3), May 2004, p. 492–499. DOI: 10.1603/0013-8746(2004)097[0492:MAWTCB]2.0.CO;2

Costa, J. N. M. (2020) Artigo: alternativas para o controle da broca-do-café. *Agricultura familiar*. Publicado em 07 mai 2020. Manejo Integrado de Pragas. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52115273/artigo---alternativas-para-o-controle-da-broca-do-cafe>. Acesso: 16 ago 2023

Domingues, R. et al. (2023) Evolução dos hábitos e preferências dos consumidores de café no Brasil, entre 2019 e 2023. Instituto Axxus. out. 2023. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2023/11/2023_10_15_Pesquisa_Caf%C3%A9_H%C3%A1bitos_Preferencias_do_Consumidor2023.pdf. Acesso: 25 mai 2024

Durand, N. et al. (2013) Effets des traitements post-récolte et de la torréfaction sur la teneur en ochratoxine A du café: une revue. *Cahiers Agricultures* 22(3):195-201. June 2013. DOI:10.1684/agr.2013.0621

España Amórtégui, J.C., Ekroth, S., Pekar, H. et al. (2024) A green-footprint approach for parallel multiclass analysis of contaminants in roasted coffee via LC-HRMS. *Anal Bioanal Chem* 416, 1541–1560 (2024). DOI: 10.1007/s00216-024-05157-4

Fernandes, F. L. et al. (2014) Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* v. 49, n. 8, Ago 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000800002. Acesso: 08 set 2023.

Ferraz, M. B.M.; et al. (2010) Kinetics of ochratoxin A destruction during coffee roasting. *Food Control*. v. 21, n. 6, June 2010, p. 872-877. DOI: 10.1016/j.foodcont.2009.12.001

G1. Governo recolhe 8 lotes de café por fraude e impurezas; veja marcas. g1. Agro. Portal g1.globo.com. Publicado em: 05 set 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2023/09/25/governo-recolhe-oito-lotes-de-cafe-torrado-e-moido-por-fraude-e-impurezas-veja-marcas.ghtml>. Acesso: 07 jul 2024

Gomes, F. P. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 478 p.

Gopinandhan, TN; Kannan, GS. (2009) Effect of roasting and brewing on ochratoxin A in coffee. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 46 (5), p.459-462, Sep-oct 2009.

Graciano, R. A. S.; Ribeiro, A. K.; Gorayeb, T. C. C.; Correia, M. (1998) Avaliação, segundo determinações de impurezas, fraudes e matérias estranhas, do café torrado e moído produzido e/ou comercializado na Região de São José do Rio Preto - São Paulo. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*; 57(1): 49-55, 1998. ilus, graf. Article em Pt | LILACS, SES-SP | ID: lil-217905. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta/resource/pt/lil-217905>. Acesso em: 1 jun. 2024.

Iamanaka, B. T. (2010) Avaliação da micobiota de grãos de café e dos metabolitos fúngicos na qualidade da bebida. 2010. 78 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1611219>. Acesso em: 1 jun. 2024.

Iamanaka, B.T., et al. (2014) The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. Food Research International. v 62, p. 353-358, Aug 2014. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.05.023. Acesso: 28 mai 2024

IMAGE J. Image Processing and Analysis in Java. National Institutes of Health. Maryland, USA. Disponível em: <https://imagej.net/ij/>. Acesso: 06 jul 2024

Leite, T. (2015) Armadilha para combater a broca do café é alternativa ao uso de agrotóxico. Assessoria de Comunicação. Emater, MG. Publicado em 08 jul 2015. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/armadilha-para-combater-a-broca-do-cafe-e-alternativa-ao-uso-de-agrotoxico/?flagweb=novosite_pagina_interna&id=15999. Acesso: 08 set 2023.

Leoni, L.A.B.; Soares, L.M.V.; Oliveira, P.L.C. (2000) Ochratoxin A in Brazilian roasted and instant coffees. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment. 17 (10), p.867-870, Oct 2000. DOI: 10.1080/026520300420448

MAPA divulga lista de marcas e lotes de café torrado impróprios para consumo. Alerta de risco. Portal de notícias, Ministério da Agricultura e Pecuária. Publicado em 28/06/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-divulga-lista-de-marcas-e-lotes-de-cafe-torrado-improprios-para-consumo>. Acesso: 02 jul 2024.

Nakayama, C. C.; Teixeira, A. A.; Teixeira, R. R.; Reis, M.; Monteiro, A.; Bueno, J.; Taniwaki, M. H. (2020) Sucessão de microrganismos em diferentes estádios de secagem do café e sua influência na bebida/ Microorganism succession at different coffee drying stages and its influence on the beverage. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 2402–2418, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-177. Acesso: 01 jun 2024

NANO SMART (2024). Kit comercial de imunocromatografia para detecção de ocratoxina A (OTA). Nano Smart. Recuperado de www.nanosmart.com.br

Neves, P. M. O. J.; Hirose, E. (2005) Seleção de isolados de *Beauveria bassiana* para o controle biológico da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Controle Biológico. Neotrop. entomol. v. 34, n. 1, fev 2005. DOI: 10.1590/S1519-566X2005000100011. Acesso em: 09 set 2023

Oliveira, J. P. de; et al. (2023) Label-free electrochemical immunosensor for Ochratoxin a detection in coffee samples. Talanta 260 (2023) 124586. Aug. 2023. DOI: 10.1016/j.talanta.2023.124586

Paulo. Anvisa proíbe 9 marcas de café contaminados: brasileiros em choque! Economia, Notícias. Portal Terra. Publicado em: 07 jun 2024. Disponível em: <https://monitordomercado.com.br/noticias/100778-anvisa-proibe-9-marcas-de-cafe-contaminados-brasileiros-em-choque/>. Acesso em: 1 jun. 2024. Acesso: 07 jun 2024

Pereira, R. M. C. (2020) Tecnologia de aplicação de *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) no controle de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). 2020. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Programa de Pós-Graduação, Instituto Biológico, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://repositoriobiologico.com.br/jspui/handle/123456789/786>. Acesso em 10 set 2023

Pimenta, J. C.; Vilela E. R. (2003) Composição microbiana e ocratoxina no café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes tempos de espera de secagem. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 6, p. 1315-1320, 2003. DOI: 10.1590/S1413-70542003000600016

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

Romani, S.; Pinnavaia, G. G.; Dalla Rosa, M. (2003) Influence of Roasting Levels on Ochratoxin A Content in Coffee. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 17, 5168–5171. <https://doi-org.ez368.periodicos.capes.gov.br/10.1021/jf030116p>

SCAA. Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais guia rápido: green coffee. 2009, 7p. Disponível em: [SCAA/CuppingProtocols/QuickGuidebyEnseiNeto_Portuguese/RevMar09](#).

SCAA. Protocols: cupping specialty coffe. Specialty Coffee Association of America. Rev. Dec, 2015. 10p.

Silva, A. V.; Giunti, O. D. Cafeicultura: manejo de pragas, doenças e plantas invasoras do cafeeiro. 1. ed. Muzambinho, MG: IFSULDEMINAS, 2014. 191 p.: il. ISBN: 978-85-67952-04-8; eISBN: 978-85-67952-03-1

Silva, J. C., Silva, N. A. B., Silva, S. L. dos R., Silva, L. S., Junqueira, M. S., & Tronbete, F. M. (2019). Avaliação microscópica e físico-química de café torrado e moído comercializado em Sete Lagoas-MG. *Scientia Plena*, 15(6). Recuperado de <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/4885>. Acesso: 07 jul 2024

Silva, S.A. et al. (2020) Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. *Food Control*, 113, Jul 2020. DOI:10.1016/j.foodcont.2020.107204

Silva, S. A. et al. (2024). Physical and chemical attributes of beans damaged by the coffee berry borer at different levels of infestation. *Bragantia*, 83, e20230251. DOI: 10.1590/1678-4499.20230251

Silva, T. R.; Fulco, T. O.; Barbosa, J. V. (2015) Investigação de artrópodes em alimentos na transmissão de doenças. *Rev. Episteme Transversalis*. v. 9, n. 2, p. 74-94, 2015.

Souza, R. A. de. Métodos de manejo para broca-do-café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE). 2019. 77 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/11095>. Acesso em: 10 set 2023.

SPCH - São Paulo Coffee Hub. Perfil do consumidor de café que busca qualidade. Pesquisa. 2021. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/wp-content/uploads/2022/04/pesq_cafe_superior_abic_spch.pdf. Acesso: 25 mai 2024

Storck, L.; Garcia, D. C.; Lopes, S. J.; Estefanel, V. Experimentação vegetal. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.

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*. v.11, n.3, 2016 [15], p. 396-403. URI: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8036>. Acesso: 07 jul 2024

Yamina, B.M. et al. (2024) Comprehensive Insights into Ochratoxin A: Occurrence, Analysis, and Control Strategies. *Foods*, Basel, v. 13, n. 8, p. 1184, 2024. DOI:10.3390/foods13081184.

Agradecimentos

IFSULDEMINAS, UFLA, ABIC, CEM/ORACLE, CAPES, CNPq, FAPEMIG.

ARTIGO 3

**Determinação de lipídios totais em café com diferentes teores de grãos brocados por
*Hypothenemus hampei*****Determination of total lipids in coffee with different contents of beans brocaded by
*Hypothenemus hampei***

Versão preliminar - será convertido para a língua inglesa e submetido ao periódico

International Journal of Food Sciences and Nutrition (Online) (A2)

Resumo: Café arábica catuaí amarelo possui potencial para ser categorizado como especial, mas grãos atacados pela broca-do-café permanecem no café mesmo após o rebeneficiamento e provocam perdas econômicas, sensoriais e sanitárias. Alterações nos lipídios podem afetar o aroma e sabor do café e podem ser causadas por danos nas paredes celulares dos grãos devido ao ataque do besouro. O objetivo do experimento foi avaliar o efeito dos grãos brocados sobre o teor de lipídios totais empregando métodos mais econômicos e sustentáveis. Catuaí amarelo proveniente do Sul de Minas Gerais foi empregado para preparar os 5 tratamentos (controle - sem grãos brocados; defeitos brocados tolerados pela SCA; 7; 20 e 100% de grãos brocados). Lipídios totais foram dosados pelos métodos de Bligh-Dyer (BD) e ressonância magnética nuclear (RMN) obtendo-se 14,36% e 15,78% para café torrado e 14,60% e 14,15%, para café cru, respectivamente. Entre os tratamentos não houve diferença significativa, mas BD diferiu de RMN. Análise sensorial do café aponta perda de qualidade com o aumento da quantidade de grãos brocados, mas isso não parece estar relacionado ao teor de lipídios totais. Constatou-se que os métodos são eficazes para extrair os lipídios totais do café, mas BD é mais vantajoso.

Palavras-chave: café especial torrado, Bligh-Dyer, RMN, métodos rápidos, sustentabilidade

Abstract: Summary: Yellow Catuaí Arabica coffee has the potential to be categorized as a specialty coffee, but beans damaged by the coffee borer remain in the coffee even after reprocessing, leading to economic, sensory, and health losses. Changes in lipids can affect the aroma and flavor of coffee and may be caused by damage to the cell walls of the beans due to beetle infestation. The aim of the experiment was to evaluate the effect of borer-damaged beans on the total lipid content using more economical and sustainable methods. Yellow Catuaí from Southern Minas Gerais was used to prepare the 5 treatments (control - without borer-damaged beans; borer defects tolerated by SCA; 7%; 20% and 100% borer-damaged beans). Total lipids were measured using the Bligh-Dyer (BD) and nuclear magnetic resonance (NMR) methods, yielding 14.36% and 15.78% for roasted coffee and 14.60% and 14.15% for raw coffee, respectively. Among the treatments, there was no significant difference, but BD differed from NMR. Sensory analysis of the coffee indicates a loss of quality with the increase in the amount of borer-damaged beans, but this does not appear to be related to the total lipid content. It was found that the methods are effective in extracting the total lipids from coffee, but BD is more advantageous.

Keywords: specialty roasted coffee, Bligh-Dyer, NMR, rapid methods, sustainability.

1 Introdução

A safra colhida em 2023 no Brasil rendeu mais de 55 milhões de sacas de café beneficiado (Conab, 2023). Não há dados disponíveis que informam a produção de cada cultivar, mas desse total, 38.904,9 milhões de sacas são da espécie arábica, como o catuaí.

Os lipídios representam cerca de 17% do peso seco do grão e abrangem principalmente triacilgliceróis, uma pequena quantidade de fosfolipídios e outros compostos (Silva et al, 2020b). Eles são formados no café durante a fase de amadurecimento do fruto. O café sofre transformações contínuas, incluindo nos lipídios, e os produtos das reações, sejam naturais, de processos fermentativos (induzidos ou por contaminação indesejada) ou provocadas por agentes externos, impactarão na percepção sensorial que o café apresentará na bebida. Os danos que comprometem a estabilidade da membrana celular e a integridade das paredes celulares notados nos cafés de pior qualidade sinalizam que isso favorece alterações na fração lipídica. A broca-do-café destrói parcial ou totalmente o grão, provocando danos físicos nas células que podem ser leves ou muito severos; e ainda, facilita a incidência de fungos que infectam os grãos, que podem contribuir para danos nos ácidos graxos, aumentando as alterações sensoriais. Comumente os ácidos graxos insaturados são oxidados a hidroperóxidos e subsequentemente desdobram-se em vários compostos de baixo peso molecular e conferem ao produto um sabor desagradável (Bastian et al, 2021; Borém et al, 2019; Sanches et al, 2020; Williamson e Hatzakis, 2019).

E ainda, os compostos presentes nos grãos no momento da torra, incluindo os lipídicos, participam ativamente da formação de aroma e sabor, tendo impacto na qualidade (Alves, 2012; Pereira et al, 2019). Portanto, os lipídios geram sabores e aromas agradáveis ou não no café. A análise do teor de lipídios pode ser um meio de monitorar a qualidade, associada à análise sensorial. Técnicas de determinação de lipídios totais vêm sendo aperfeiçoadas para gerarem resultados adequados com maior praticidade, economicidade e menor agressão ao ambiente e ao analista.

A variedade catuaí vem sendo bastante cultivada devido às suas características agronômicas, como alta produtividade, alto vigor vegetativo, porte baixo e grão médio; também pelos bons atributos sensoriais, gerando bebida diferenciada. O fruto no estágio de maturação cereja pode ter coloração vermelha ou amarela. Entre as pesquisas que relatam a composição química do catuaí, algumas investigaram meramente a composição das cultivares, enquanto outras avaliaram o impacto de determinados fatores relacionando-os com a composição, tais como as condições climáticas ou o ataque de doenças. O teor de lipídios totais variou entre 8,92

até 16,95g/100g nos grãos de catuaí (Kitzberger et al, 2013; Mendonça et al, 2007; Scholz et al, 2000).

Considerando a relevância dos lipídios para a qualidade da bebida, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito provocado por *H. hampei*, a broca-do-café, sobre o teor total de lipídios em tratamentos contendo quantidades crescentes de grãos atacados pela broca, empregando métodos rápidos de detecção.

2 Materiais e métodos

2.1 Preparo das amostras

O café arábica catuaí amarelo IAC62 proveniente de Carmo de Minas/MG, safra 2022/2023, cultivado a 1.200m de altitude, foi empregado na pesquisa. Uma saca de 60kg de café natural, rebeneficiado, tipo 2/3, peneira 16 e acima, com avaliação de 86 pontos na escala sensorial da *Specialty Coffee Association* (SCA) foi manualmente selecionada para a separação dos grãos brocados e outros defeitos intrínsecos. Após a catação, os grãos sadios foram congelados (-18°C) em porções de 1,2 kg e foram retirados para a temperatura ambiente 24h antes da torração. Os grãos brocados foram armazenados em sacos de polietileno para serem separados conforme a Classificação Oficial Brasileira (COB) da Instrução Normativa nº. 08/2003 do Ministério da Agricultura (MAPA) (Brasil, 2003), e depois foram separados pela quantidade de furos e extensão do dano em brocado limpo, sujo ou rendado.

Cinco tratamentos empregando as categorias de defeitos da SCA (SCAA, 2009) foram montados:

- controle: sem grãos brocados;
- SCA: contendo grãos brocados no limite de defeitos tolerado pela SCA;
- 7% brocado: contendo 7% de grãos brocados das duas categorias SCA;
- 20% brocado: contendo 20% de grãos brocados das duas categorias SCA;
- 100% brocado: contendo 100% de grãos brocados das duas categorias SCA.

As categorias de defeitos estabelecidas pela SCA para amostra de 350g de grão cru são:

- Categoria 1: nenhum defeito é tolerado e 1 (um) defeito equivale a 5 (cinco) grãos brocados com ataque severo;
- Categoria 2: toleram-se no máximo 5 defeitos e 10 (dez) grãos brocados com ataque leve formam 1 (um) defeito.

Portanto, a amostra SCA deste experimento foi preparada contendo 4 grãos brocados no nível severo e 50 grãos brocados no nível leve. As amostras contendo 7, 20 e 100% de grãos brocados contiveram os mesmos defeitos que a amostra SCA acrescidos de grãos brocados com danos variados e café sem grãos atacados pela broca até completar 350g. Empregou-se microscópio estereoscópico para investigar o ataque da broca em alguns grãos e para gerar as imagens para este experimento (Bel Photonics - SZ B Led. Monza, Itália).

2.2 Torração do café e análise do teor de umidade

As amostras foram preparadas no torrador We x Suji Mini Roaster 100 (Suji, Indonésia) empregando torra clara e granulometria média de moagem conforme especificação da Portaria SDA nº 570/2022 do MAPA (Brasil, 2022). O teor de umidade foi determinado em estufa a 105°C até peso constante. As amostras foram estocadas sob temperatura de -18°C até a realização das análises do teor de lipídios totais. Parte das amostras foram acondicionadas em embalagem laminada metalizada de alta barreira, lacradas e identificadas adequadamente, e enviadas para análise na CEM Corporation. Três repetições dos tratamentos (controle, SCA, 7%, 20% e 100% de grãos brocados) foram preparadas, exceto para o café cru.

2.3 Análise de lipídios totais por Bligh e Dyer e RMN

A determinação de lipídios totais pelo método de Bligh e Dyer (BD) seguiu o protocolo de Silva et al (2020a). Os grãos de café moídos (150mg) foram misturados com 2,0mL de clorofórmio (CHCl_3), seguido da adição de 4,0mL de metanol (MeOH) e 1,6mL de água. A mistura foi agitada em vórtice por 5 min seguido pela adição de mais 2,0mL de clorofórmio e 2,0mL de água. A mistura foi novamente agitada em vórtice por 5 minutos e centrifugada. Em seguida, a fase orgânica inferior (CHCl_3) foi coletada e a fase superior ($\text{MeOH}/\text{H}_2\text{O}$) foi re-extraída com 2,0mL de clorofórmio e 2mL de uma solução aquosa de cloreto de sódio a 0,9%, agitada em vórtex por 5 min e centrifugada. As fases de CHCl_3 contendo os lipídios extraídos foram combinadas e secas em estufa a 40°C e armazenadas a -18°C até a análise. As análises foram realizadas em triplicata.

A determinação de lipídios totais por ressonância magnética nuclear (RMN) foi realizada na CEM Corporation, nos Estados Unidos da América, empregando o espectrômetro analisador rápido de gorduras Oracle® pelo protocolo específico do equipamento. As análises foram realizadas em duplicata.

2.4 Tratamento e análise dos dados obtidos

Os dados de lipídios totais foram submetidos à análise de correlação, de variância (ANOVA) e teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de significância (Barbin, 2003; Gomes, 2000; Storck et al, 2006). As análises foram realizadas com auxílio do software estatístico R Core Team (2022).

3 Resultados e discussão

O teor de lipídios totais de variedades de catuaí publicados por vários autores está demonstrado no Quadro 1, incluindo as técnicas analíticas empregadas para a extração. Nota-se que são métodos demorados e que empregam solventes pouco amigáveis quanto à proteção ambiental e de saúde.

Quadro 1. Teor de lipídios totais de cultivares de café catuaí.

<i>Café Catuaí</i> ¹	<i>Lipídios totais (%)</i>	<i>Método</i>	<i>Fonte</i>
Amarelo – r	16,95	Extrato etéreo: extração com éter etílico/5 h, em aparelho Soxhlet, segundo AOAC (1990). variedades resistentes (r) e suscetíveis (s) à ferrugem	Mendonça et al. (2007)
Vermelho – r	14,20		
Amarelo – s	14,76		
Vermelho – s	16,28		
Amarelo MG 86	8,92	éter de petróleo/16 h	SCHOLZ et al (2000)
Amarelo H 2077-2-5-62	9,23		
Vermelho IAC 81	12,6	--	KITZBERGER et al (2013)

¹ Códigos das amostras e critérios dos métodos foram mantidos conforme apresentado nas referências. Fonte: das autoras (2024).

Atualmente, considerar o impacto dos reagentes descartados no ambiente, como os solventes empregados nas análises de lipídios, é um critério altamente relevante, decisivo e crítico para a seleção da técnica analítica. Métodos que dispensam o uso de reagentes e empregam pequena quantidade de amostra vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, como a Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

O método de Bligh e Dyer também foi escolhido para este estudo porque atende aos requisitos destacados como importantes por Saini et al (2021), sendo eles a volatilidade dos solventes (para fácil separação após a extração), ausência de impurezas tóxicas, mutagênicas ou reativas (para evitar reação com os lipídios), capacidade de formar um sistema bifásico aquoso (para remover compostos não lipídicos), atender às preocupações com reagentes que minimizem problemas de saúde do analista e causem menor impacto no ambiente, e que tenham custo/preço mais favorável (Saini et al, 2021).

O teor de lipídios totais detectado nas amostras com quantidades crescentes de grãos atacados pela broca-do-café está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Teor de lipídios totais de café especial torrado com níveis crescentes de grãos atacados pela broca-do-café.

<i>Tratamento</i>	<i>Bligh-Dyer (%b.s.)¹</i>	<i>RMN (%b.s.)</i>
Controle	13,98	15,74
SCA	14,28	15,77
7% brocado	14,44	15,86
20% brocado	14,41	15,80
100% brocado	14,70	15,71
Média	14,36 ^A	15,78 ^B

¹ b.s. – base seca. A, B – letras diferentes indicam que os teores médios diferem entre os métodos (teste post-hoc de Tukey a 5% de probabilidade), mas não há diferença significativa entre os 5 tratamentos em cada método de análise do teor de lipídios totais. Fonte: das autoras (2024).

O nível de dano provocado pela broca-do-café nos grãos do catuaí amarelo não afetou o teor de lipídios totais, pois não houve diferença significativa na quantidade de lipídios detectada entre os cinco tratamentos. O método Bligh-Dyer extraiu uma quantidade média (14,36%) um pouco menor e significativamente diferente que RMN (15,78%). Mesmo assim, a quantidade de matéria graxa quantificada está compatível com os resultados encontrados para o catuaí em outras pesquisas (Quadro 1) para ambos os métodos.

Os cafês contendo níveis crescentes de grãos brocados foram provados por especialistas. Os descritores sensoriais característicos do café catuaí amarelo proveniente de Carmo de Minas foram detectados pelos especialistas em todas as amostras, a saber, os principais foram caramelo, acidez crítica, doçura, bom corpo e limpo. Porém, foram menos citados ou diferenciados à medida que aumentava a quantidade de grãos brocados, surgindo outros

descritores, tais como ásperos, descansado, corpo médio e sujo. Como os lipídios contribuem significativamente para a formação do aroma e sabor do café e a quantidade total não variou significativamente entre os tratamentos, a perda sensorial relatada pelos provadores provavelmente está atrelada ao dano provocado pela broca-do-café e, ou pela microbiota associada ao besouro.

Vale ressaltar que a maioria dos grãos continham danos leves da broca, o que implica em danos menores nas paredes celulares dos grãos, por isso provavelmente não houve alteração significativa no teor de lipídios totais.

No método de Bligh e Dyer, a mistura de clorofórmio, metanol e água cria um mecanismo que melhora a separação das fases e o rendimento de extração. Porém, a fase lipídica fica abaixo da fase aquosa e atravessar essa fase com a ponteira da pipeta para fazer a coleta da fração lipídica pode gerar algum erro experimental. Uma alteração proposta por Matyash inverte a fase lipídica para o sobrenadante, minimizando o risco de captura incompleta da fração gordurosa da amostra (Silva et al, 2020). Tal interferência pode ter ocorrido na condução deste experimento, visto que BD extraiu menos lipídios que RMN para as mesmas amostras de café. Mesmo assim, os resultados não foram discrepantes em comparação com o método RMN e estão comparáveis aos resultados de lipídios de outros estudos (Quadro 1).

O custo do equipamento de ressonância magnética nuclear é muito elevado e isso pode inviabilizar o emprego do método RMN para análises regulares de controle da qualidade do café. Por outro lado, a miniaturização da técnica de BD proposta por Silva et al (2020), empregando quantidades mínimas de amostras e reagentes, favorece o emprego deste método, que é padrão ouro para a quantificação de lipídios totais. Além disso, o teor de lipídios totais foi quantificado no café cru para fins de comparação, sendo encontrados os teores médios de 14,60% empregando BD e 14,15% empregando RMN. A umidade média do café cru/verde foi quantificada em 10% e isso não provoca interferência na análise por BD, mas pode afetar os resultados de RMN. Saini et al (2021) analisaram os avanços ocorridos nos métodos de extração de lipídios de tecidos biológicos, incluindo café.

A mistura de solventes polares (para romper os complexos proteína-lipídio) e apolares (para dissolver os lipídios neutros) é crítica para favorecer uma extração eficiente. Portanto, considerando o conjunto de fatores (como facilidade de operação, custo e acesso aos equipamentos e outros), o método BD miniaturizado por Silva et al (2020) mostrou-se mais vantajoso para a quantificação de lipídios totais em amostras de café cru e torrado.

Observando os resultados, constata-se que o baixo nível de defeitos tolerado pela *Specialty Coffee Association* (SCA) mostrou ser adequado para a preservar a integridade dos

grãos em relação à quantidade de lipídios totais, contribuindo para que um café atinja sensorialmente a categoria especial.

4 Conclusão

Constatou-se que o nível de dano provocado nos grãos do café especial catuaí amarelo por *H. hampei*, a broca-do-café, não afetou o teor de lipídios totais. A análise realizada por RMN detectou um teor de lipídios totais de 15,78%, ante 14,36% detectado pelo método de Bligh-Dyer no café torrado. No café cru o teor de lipídios totais foi de 14,60% empregando BD e 14,15% empregando RMN. Os resultados estão compatíveis com o teor de lipídios totais do café catuaí, portando, as técnicas empregadas nas análises são adequadas para o uso em controle de qualidade.

O método BD é padrão ouro para análise de lipídios totais. A técnica miniaturizada usa equipamentos e vidrarias comuns em laboratórios e pequena quantidade de amostras e reagentes, podendo ser realizada em laboratórios de controle de qualidade com rapidez, economicidade, sustentabilidade. Torna-se vantajosa comparando-a com a análise por RMN devido ao elevado custo deste equipamento.

5 Referências

- ALVES, B. H. P. Análise química do aroma e da bebida de cafés de Minas Gerais e Espírito Santo em diferentes graus de torra. 2012. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- BARBIN, D. Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.
- BASTIAN, F. From Plantation to cup: changes in bioactive compounds during coffee processing. **Foods** 2021, 10, 2827. DOI: 10.3390/foods10112827. Acesso: 20 nov 2022.
- BORÉM, F. M. et al. Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. **J Food Sci Technol.** v. 56, n. 9, p: 4101–4109, set. 2019. DOI: 10.1007/s13197-019-03879-3.
- BORÉM, F. M. (coord). Tecnologia, pós-colheita e qualidade de cafés especiais. Lavras: Ed. UFLA, 2023. 407p., il; 27cm.
- BRASIL. Portaria SDA nº 570, de 9 de maio de 2022. Estabelece o padrão oficial de classificação do café torrado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria

de Defesa Agropecuária, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-570-de-9-de-maio-de-2022-398971389>. Acesso em: 30 jul 2024

CONAB. Produção de café cresce 8,2% em 2023 e chega a 55,1 milhões de sacas. Companhia Nacional de Abastecimento, Conab. Últimas Notícias. Publicado: 14 dez 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5323-producao-de-cafe-cresce-8-2-em-2023-e-chega-a-55-1-milhoes-de-sacas>. Acesso: 01 jul 2024

DE JESUS, S. S.; MACIEL FILHO, R. Recent advances in lipid extraction using green solvents. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 133, 110289, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110289.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 478 p.
KITZBERGER, C. S. (coord); SCHOLZ, M. B. S.; PEREIRA, L. F. P.; BENASSI, M. T. B. Composição química de cafés árabe de cultivares tradicionais e modernas. Tecnologia de Alimentos. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 48, n. 11, Nov. 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013001100011. Acesso em: 12 jan. 2024.

MELO PEREIRA, G. V.; et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. **Food Chemistry**, n. 272, p: 441-452, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.08.061

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix*. **Berg et Br.** DOI: 10.1590/S1413-70542007000200022 Acesso: 04 ago. 2024.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SAINI, R.K. et al. Advances in Lipid Extraction Methods—A Review. **Int. J. Mol. Sci.** 2021, 22(24), 13643. DOI: 10.3390/ijms222413643. Acesso: 13 fev 2023

SANCHES, M. Z. Óleo de café torrado (*Coffea arabica*): Caracterização dos ácidos graxos, qualificação dos compostos aromáticos e quantificação do teor de cafeína. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e76291110618, 2020 (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10618. Acesso: 19 nov. 2022.

SCAA. Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais guia rápido: green coffee. 2009, 7p. Disponível em: [SCAA/CuppingProtocols/QuickGuidebyEnseiNeto_Portuguese/RevMar09](#).

SCHOLZ; M. B. S., et al. Composição química de variedades de café (*Coffea arabica*). In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil; p. 673-676, 2000. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio1/Indust15.pdf. Acesso: 09 jan 2024

SILVA, A. C. R., et al. Comprehensive lipid analysis of green Arabica coffee beans by LC-HRMS/MS. **Food Research International**, 137, 2020a, 109727. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109727

SILVA, S.A. et al. Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. **Food Control**, 113, Jul 2020b. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107204

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. Experimentação vegetal. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.

WILLIAMSON, K.; HATZAKIS, E. Evaluating the effect of roasting on coffee lipids using a hybrid targeted-untargeted NMR approach in combination with MRI. **Food Chemistry**, v. 299, n. 125039, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez368.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0308814619311410?via=ihub>. Acesso: 26 nov 2022

Agradecimentos

IFSULDEMINAS, UFLA, ABIC, CEM/ORACLE, CAPES, CNPq, FAPEMIG.

TERCEIRA PARTE

Na literatura científica há poucos estudos sobre os efeitos do ataque da broca-do-café nos grãos torrados e o impacto disso na bebida, bem como não foram encontrados trabalhos que investigaram se o beneficiamento e rebeneficiamento do café são efetivamente suficientes para eliminar totalmente os grãos brocados, especialmente os brocados limpos, visto que o grão é visualmente pouco afetado e dificilmente é eliminado pelos equipamentos eletrônicos de separação de defeitos. Fica evidente que a broca provoca danos indesejáveis e pode afetar a segurança do café para consumo humano. Portanto, foi relevante avaliar a qualidade do café torrado quanto aos danos provocados pela broca e a influência disso na bebida.

As informações geradas neste estudo servirão para apontar os efeitos do grão brocado sobre o café torrado de melhor qualidade; fornecer dados sobre a segurança do produto para o consumo considerando o risco da presença de ocratoxina A; reforçar a importância de ações de controle da broca-do-café no campo, beneficiamento e armazenagem; e gerar informação que contribua para aperfeiçoar regulamentos e protocolos de fiscalização.

CONCLUSÃO

O café especial catuaí amarelo empregado neste estudo continha grãos brocados, predominando danos leves do ataque de *Hypothenemus hampei*. Especialistas provadores de café identificaram que as características sensoriais não foram afetadas pela presença de grãos brocados até o limite de tolerância estabelecido pela *Specialty Coffee Association*. O incremento de grãos brocados nos níveis de 7%, 20% e 100% afetou negativamente a qualidade da bebida possivelmente por causa da contaminação por bolores. A presença dos fungos ocorre em função do ataque da broca-do-café, porque expõe o fruto aos fungos devido à abertura na casca do café e às galerias abertas pelo inseto nas sementes, além dos bolores presentes no aparelho digestório do inseto.

A quantidade de matérias estranhas (fragmentos de insetos) e ocratoxina A identificadas nas amostras estavam dentro dos limites legais tolerados, mas demonstraram que há risco de contaminação que pode afetar a saúde dos consumidores, e isso requer monitoramento regular e periódico pelas empresas do setor cafeeiro. O teor de OTA detectado não era esperado no café especial devido ao nível muito baixo de grãos brocados e outros defeitos. Portanto, ficou evidente que a contaminação por micotoxina está vinculada à infestação de bolores toxigênicos

que é favorecida pelo ataque a broca-do-café, mesmo que os grãos brocados sejam eliminados na etapa de rebeneficiamento dos grãos.

O levantamento teórico realizado, embora conciso, e as evidências de grãos brocados identificadas neste experimento, apontam que os meios de controle químico, biológico e mecânico disponíveis contra a broca-do-café ainda não têm sido eficazes para evitar infestações e controlar os níveis de insetos e de brocamento de frutos no cafezal, apesar das pesquisas apontarem avanços. Isso indica que grãos brocados chegarão ao beneficiamento e não serão completamente removidos, podendo gerar café especial torrado e moído com insetos e seus fragmentos e com ocratoxina A, dentro dos níveis de tolerância estabelecidos ou acima deles, como foi evidenciado em várias pesquisas, incluindo esta.

Cumprir os limites máximos estabelecidos para fragmentos de insetos e OTA em cafés torrados é um desafio significativo para a indústria, pois o problema está concentrado nas etapas iniciais da produção, no campo. A maioria das tecnologias de redução e controle de grãos atacados por *H. hampei* estão concentradas no rebeneficiamento, etapa do processo capaz de eliminar os grãos defeituosos, mas isso não tem sido eficiente para eliminar totalmente os grãos brocados, tampouco para evitar a produção de OTA no café. A torração não pode ser aplicada como uma etapa eficaz de redução de OTA até níveis aceitáveis. Além disso, a detecção de matérias estranhas e ocratoxina ocorre posteriormente, no café torrado. Isto gera um descompasso na cadeia de produção que dificulta controlar a contaminação do café torrado e torrado e moído, podendo levar ao mercado um café que não atende aos limites regulatórios, mesmo sendo um café especial.

Constata-se que é necessário haver uma alta integração e esforço dos diversos agentes da cadeia produtiva do café para controlar a *H. hampei* visando evitar que cafés especiais contaminados sejam disponibilizados para o consumo. Os métodos analíticos empregados neste estudo mostraram-se adequados para monitorar parâmetros de modo mais prático, econômico e sustentável e isso contribui sobremaneira para acompanhar a qualidade do café em diferentes etapas do processo com vistas a adotar ações que evitem a colocação no mercado de café especial torrado e torrado e moído com risco de estar contaminado com matérias estranhas e ocratoxina.