

A IMPORTÂNCIA DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DE CHOCOLATES ARTESANAIS PARA A PERCEPÇÃO SENSORIAL DO CONSUMIDOR

Ana Carolina do Carmo Mazzinghy

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Yuri Gomes Figueiredo

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Maria Eduarda Figueiredo Andrade

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Ana Luiza Coeli Cruz Ramos

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Bárbara Almeida Costa

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Bruna Vieira Nunes

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Lucas Silveira Garcia

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Viviane Dias Medeiros Silva

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Júlio Onésio Ferreira Melo

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – *Campus Sete Lagoas*

Raquel Linhares de Bello Araújo

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

RESUMO

Objetivo: Este trabalho teve como finalidade avaliar o perfil volátil de barras de chocolates artesanais 70%, empregando a técnica de microextração em fase sólida (SPME). **Métodos:** As amostras de chocolates utilizadas neste estudo, foram oriundas da empresa Miller And Fields Craft Chocolate, em Florianópolis- Santa Catarina. Os chocolates avaliados apresentavam 70% cacau em sua composição. Para a extração dos compostos foi utilizada a técnica de microextração em fase sólida no modo *hedspace* e para a separação e identificação dos compostos orgânicos voláteis foi utilizada a cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS). **Resultados:** A metodologia empregada mostrou-se eficiente, permitindo a separação e identificação de 29 compostos pertencentes às classes dos ácidos graxos, aldeídos, álcoois, cetonas e ésteres. **Conclusão:** Estas descobertas estão alinhadas com a literatura existente sobre o perfil químico dos chocolates, destacando a importância destas classes químicas no desenvolvimento de chocolates de alta qualidade. A microextração em fase sólida acoplada à espectrometria de massas mostrou-se eficiente, permitindo a separação e identificação destes compostos voláteis. Neste sentido, a investigação destes compostos é essencial para avaliar a qualidade e autenticidade dos chocolates.

Palavras-chave: *Theobroma Cacao*, Chocolates Artesanais, Compostos Voláteis, SPME.

INTRODUÇÃO

Um dos alimentos mais procurados de confeitaria pelos consumidores é o chocolate, isso, devido ao seu sabor e aroma inconfundível e que remonta ao tempo da civilização Maia e Azteca (MASSOT-CLADERA *et al.*, 2013; MARIONA *et al.*, 2018; MONTAGNA *et al.*, 2019; NETO, 2021; CEMIN, 2022). No entanto, este produto fascinante é obtido somente a partir da obtenção de amêndoas de cacau (ACIERNO *et al.*, 2019). Por sua vez, o Cacau, *Theobroma cacao* L., que em latim significa “alimento dos deuses” (TAN *et al.*, 2021) é fruto do cacaueiro, uma árvore de pequeno porte originária da Amazônia e América Central, mas que hoje é cultivada em diversos países do mundo de clima tropical (Figura 1) (NETO, 2021; MANEY *et al.*, 2022; JEAN-MARIE *et al.*, 2022; VILLANUEVA-GONZALEZ *et al.*, 2023).

Figura 1. Cacau (*Theobroma cacao* L.).



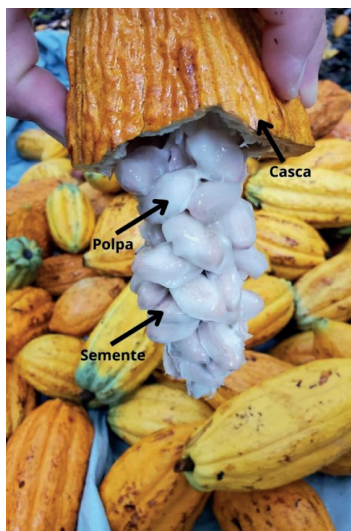
Fonte: Miller and Fields.

Poucas espécies representam o gênero *Theobroma*, entretanto, como sabemos, algumas espécies apresentam um grande destaque comercial, como o *T. cacao* (cacau), e o *T. grandiflorum* (cupuaçu). A espécie *T. grandiflorum* é um fruto exótico nativo da mata Amazônica, conhecido no mercado nacional e internacional, 65% deste fruto é resíduo (cascas e sementes) das indústrias de

polpas (MOITA, 2019). Outra espécie conhecida, ao menos no meio científico, pertencente a esse gênero é a *T. speciosum* Willd. ex Spreng. (cacaú) e apresenta semelhanças físicas e químicas, vasta utilização comercial na região amazônica e no Brasil (DARDENGO *et al.*, 2017; MOITA, 2019).

O fruto de cacau é composto por casca, polpa, e semente, e cada fruto pesa aproximadamente 300 a 600 gramas e pode conter até 40 sementes (Figura 2) (FERREIRA *et al.*, 2021). Os frutos do cacaueiro apresentam formato ovóide ou alongado, com coloração amarela ou avermelhada quando está maduro (VÁSQUEZ *et al.*, 2019; JEAN-MARIE *et al.*, 2022). A casca do cacau é espessa e seu fruto possui muitas sementes recobertas por uma polpa branca, mucilaginosa, de gosto doce e acidulado (DE ARAÚJO *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2022). Apesar das sementes estarem envoltas por essa polpa doce, o seu sabor é caracterizado por ser adstringente e amargo (BAHMANN *et al.*, 2021).

Figura 2. Representação das partes que compõe o cacau.



Fonte: Miller and Fields.

O cacau é reconhecido por ser um fruto rico em compostos químicos apresentados na sua constituição, variando de acordo com os genótipos, solo, e prática agrícola adotado entre outros (CEMIN *et al.* 2022), e que são interessantes à saúde humana, como os polifenóis (proantocianidinas, epicatequina, catequina e metilxantina), ácidos graxos (ácido palmítico, ácido esteárico, e ácido

oleico ácido) cujas propriedades são associadas a benefícios à saúde, bem como potente atividade anti-inflamatória, bactericida e antioxidante (OLIVEIRA *et al.*, 2020; CARNEIRO *et al.*, 2022). Além disso, os produtos derivados dos grãos de cacau também são alimentos muito nutritivos para todas as pessoas, pois são ricos em fibras, proteínas, vitaminas, minerais, carboidratos, gorduras boas e polifenóis com atividade antioxidante (MASSOT-CLADERA *et al.*, 2014; TEYE *et al.*, 2019; CARNEIRO *et al.*, 2021).

A semente desse fruto é fermentada e torrada (amêndoa), obtendo assim a matéria-prima principal para a produção e fabricação de chocolates e derivados. O sabor é condicionado não apenas à atributos genéticos do cacauero (variedades), como também a modificações que ocorrem durante seu processo de beneficiamento. A singularidade do chocolate em termos de aroma e sabor é devido a combinação de compostos não voláteis e voláteis, que por suas vezes, variam de acordo com o genótipo, solo, práticas agrícolas, além os fatores ambientais (BICKEL HAASE *et al.*, 2021; CEMIN, 2022).

Figura 3. Sementes (antes da fermentação) e amêndoas (após a fermentação).

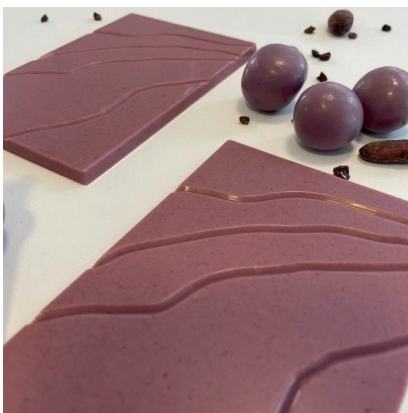


Fonte: Autores (2023).

Centenas de compostos voláteis já foram identificados em cacau e derivados, sendo estes, precursores de aromas oriundos do beneficiamento do fruto (fermentação e secagem). Muitos destes compostos surgem durante a torrefação das amêndoas de cacau (BICKEL HAASE *et al.*, 2021; CEMIN, 2022). As pirazinas, ésteres, aldeídos, cetonas, álcoois e fenóis são considerados as principais classes químicas responsáveis por atribuir características desejáveis (APROTOSOAIE *et al.*, 2016).

O mercado de chocolates artesanais está em ascensão, considerando que os consumidores buscam cada vez mais por produtos menos processados, que possuam ingredientes de elevada qualidade e feitos artesanalmente (MATOS *et al.*, 2022). Esses chocolates apresentam sabores mais complexos e singulares, podendo ser harmonizados com outros alimentos. Além disso, outro fator que potencializa esse método de produção é a valorização de pequenos produtores e o movimento em busca por produtos mais sustentáveis (Figura 4) (GOMES & DIAS, 2022).

Figura 4. Barras de chocolates produzidas artesanalmente.



Fonte: Miller And Fields.

Os chocolates artesanais possuem propriedades particulares que os diferenciam dos chocolates produzidos a nível industrial (ÁLVAREZ *et al.*, 2018). Pois são fabricados com matérias-primas de elevada qualidade, além de possuírem uma expressiva quantidade de cacau, quando comparado aos industriais. Esses são alguns dos fatores que tornam esse modelo de produção, desde a amêndoa à barra, uma opção que propicia maior qualidade, além de uma experiência diferenciada durante o consumo destes chocolates (MATOS *et al.*, 2022).

Entre os compostos não voláteis que influenciam no sabor do chocolate, estão as metilxantinas (teobromina e cafeína), e os polifenóis, que dão as notas relacionadas ao amargor e à adstringência. As proteínas e os açúcares estão diretamente ligados à formação de compostos voláteis que caracterizam o sabor do produto (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2020; CEMIN, 2022).

Segundo Alcântara e Freitas-Sá (2018), algumas técnicas são de extrema relevância dentro das ferramentas de análise sensorial, uma vez que detalham as propriedades sensoriais dos alimentos. Assim que avaliadas de forma conjunta com testes de consumidores, definem estratégias no posicionamento do mercado, sendo possível identificar aspectos que dirigem as preferências. A indústria de alimentos, diante da necessidade de inovar para no mercado, tem buscado de forma incessante a aprimoração dos métodos dos processos industriais e tem se preocupado em atender aos interesses dos consumidores.

Portanto, a análise sensorial tornou-se uma poderosa ferramenta em todas as etapas de desenvolvimento do produto, ou seja, desde sua concepção até a padronização e avaliação do nível de qualidade. A associação entre os compostos orgânicos voláteis e a análise sensorial é importante para compreensão e avaliação da qualidade, dos sabores e aromas dos produtos alimentícios, considerando que os compostos voláteis desempenham um papel fundamental para caracterizar sensorialmente esses produtos (PEREIRA *et al.*, 2018; AGNOLETT *et al.*, 2020).

Diante disso, a investigação de compostos voláteis em chocolate torna-se essencial para a compreensão de seu perfil aromático. Para isso, atualmente existem diversos métodos modernos que possuem capacidade de caracterizar matrizes complexas, como os alimentos.

Um desses métodos é a microextração em fase sólida no modo *headspace* (HS-SPME), que vem sendo constantemente empregada para realizar a análise de alimentos, com a finalidade de determinar os compostos voláteis presentes nos mesmos, dispensando o uso de solventes orgânicos e evitando a destruição dos analitos da amostra (MARIANO *et al.*, 2022). Essa técnica possibilita fazer ajustes e escolher os tipos de fibras de extração a serem utilizadas. A dessorção, separação e detecção podem ser executadas utilizando a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS) (GARCIA *et al.*, 2021; RAMOS *et al.*, 2022).

Sendo assim, a finalidade deste trabalho foi avaliar o perfil volátil de barras de chocolates artesanais 70% cacau.

MÉTODOS

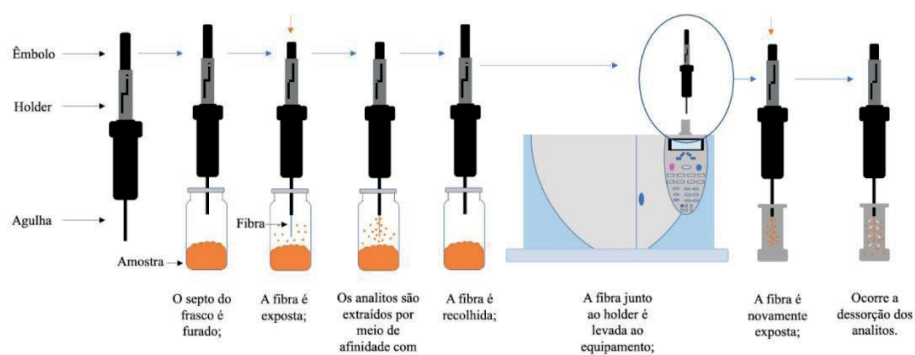
Obtenção das amostras de chocolates artesanais

As amostras de chocolate artesanais, utilizadas nesse estudo, foram provenientes de uma empresa localizada em Florianópolis- Santa Catarina e os cacaos utilizados para a fabricação desses chocolates foram procedentes do estado do Pará. As amostras de chocolates apresentavam 70% de cacau em sua composição. Para a fabricação desses chocolates, foram utilizadas as variedades de cacau Forastero, Trinitário (híbrido entre Criollo e Forastero) e alguns clones de cacau.

Extração e identificação dos compostos orgânicos voláteis

Para a extração dos compostos voláteis seguiu-se a metodologia descrita por Ramos *et al.* 2020, utilizando a Polidimetilsiloxano/Divinilbenzeno (PDMS/DVB) (65 µm). O procedimento adotado para realizar essa técnica é demonstrado abaixo, na Figura 3.

Figura 5. Procedimento da SPME na extração e dessorção de analitos no injetor de um cromatógrafo a gás.



Fonte: García *et al.* (2021).

Para execução desta análise, foram pesados 2,0 gramas de amostras de chocolates em frascos de *headspace* com capacidade de 20 mL e lacrados com lacre de alumínio. Posteriormente, os mesmos foram submetidos ao pré

aquecimento em chapa aquecedora, sem agitação, durante 5 minutos. Logo após, a fibra foi inserida no frasco e exposta às amostras de chocolate durante 10 minutos. Subsequentemente, foi realizada a remoção desta fibra do frasco e a mesma foi inserida manualmente no GC-MS, em que a temperatura no injetor foi de 250 °C, sob um tempo de dessorção de 5 minutos, a temperatura da fonte de íons foi correspondente a 200 °C e a interface de 275 °C. A identificação dos compostos orgânicos voláteis (COVs) foi realizada no Laboratório Multiusuário de Análises Cromatográficas do Departamento de Alimentos - Faculdade de Farmácia - UFMG, utilizando um cromatógrafo a gás (Agilent 7890 B) acoplado a um espectrômetro de Massas Agilent 5977A, com analisador do tipo quadrupolo, com injetor split/splitless, no modo splitless. Para tal, utilizou-se as seguintes condições: temperatura do injetor de 250 °C, temperatura da fonte de íons de 275 °C e temperatura da interface de 275 °C. O gás hélio ultrapuro foi usado como gás de arraste a um fluxo de 1 mL min⁻¹ e os COVs foram separados utilizando uma coluna capilar Varian Cp-Wax 52 CB (CP 8714), 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm (Agilent Technologies INC, Alemanha). O aquecimento inicial da coluna foi de 40 °C por 1 min, tendo aumentado 20 °C min⁻¹ até 70 °C e permanecendo por 1 min posteriormente, 8 °C min⁻¹ até 100 °C permanecendo por 3 min. Em seguida, houve o aumento de 10 °C min⁻¹ até 150 °C permanecendo por 1 minuto.

Por fim, a temperatura foi aumentada de 13 °C min⁻¹ até 250 °C permanecendo por 3 minutos. O tempo total de corrida foi de 27 minutos. A aquisição dos dados foi gerada no modo *Full Scan* com faixa de 35 a 350 *m/z*, obtidos por ionização por impacto de elétrons (EI), o qual usou uma energia de 70 eV. Os espectros dos COVs foram identificados de acordo com seu perfil de fragmentação, o qual foi comparado com os espectros de massas da Biblioteca National Institute of Standards and Technology (NIST), utilizando um nível de similaridade superior a 80%. Além disso, os dados foram confirmados por meio da comparação com os compostos descritos na literatura (RAMOS *et al.*, 2020; FIGUEIREDO *et al.*, 2021; MARIANO *et al.*, 2022).

RESULTADOS

Perfil de compostos orgânicos voláteis

Nas amostras de chocolate 70%, foram listados 29 compostos voláteis, usando a fibra PDMS/DVB. As classes químicas encontradas, foram; ácidos orgânicos, ácidos graxos, álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres. Os compostos identificados nessas amostras, são mostrados na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1. Compostos voláteis encontrados nas amostras de chocolate, utilizando fibra PDMS/DVB por meio da técnica de SPME/CG-MS.

Nº	Composto	Fórmula	CAS	Referência
Ácidos graxos				
1	Ácido octanóico	$C_8H_{16}O_2$	124-07-2	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
2	Ácido nonanóico	$C_9H_{18}O_2$	112-05-0	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
3	Ácido oleico	$C_{18}H_{34}O_2$	112-80-1	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
4	Ácido hexanóico	$C_6H_{12}O_2$	142-62-1	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
Ácidos orgânicos				
5	Ácido 4-hidroxi-butanóico	$C_4H_8O_3$	591-81-1	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
6	Ácido acético	$C_2H_4O_2$	64-19-7	(TUENTER <i>et al.</i> , 2020)
7	Ácido 3-metil-pentanóico	$C_6H_{12}O_2$	105-43-1	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
8	Álcool fenil etílico	$C_8H_{10}O$	60-12-8	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
9	Ácido 3-metil-butanóico	$C_5H_{10}O_2$	503-74-2	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
Álcool				
10	Acetoína	$C_4H_8O_2$	513-86-0	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
11	2,3-Butanodiol	$C_4H_{10}O_2$	513-85-9	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
12	Trans-2-metil-Ciclopentanol	$C_6H_{12}O$	24070-77-7	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
13	3-Metil-2-butanol	$C_5H_{12}O$	598-75-4	(TUENTER <i>et al.</i> , 2020)
14	2-Dodecanol	$C_{12}H_{26}O$	10203-28-8	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
15	2-Tridecanol	$C_{13}H_{28}O$	1653-31-2	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
Aldeídos				
16	Nonanal	$C_9H_{18}O$	124-19-6	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
17	Benzaldeído	C_7H_6O	100-52-7	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
18	(Z)-2-nonenal	$C_9H_{16}O$	60784-31-8	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
19	Benzeno acetaldeído	C_8H_8O	122-78-1	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
Cetonas				
20	1-(1H-pirrol-2-il)-Etanona	C_6H_7NO	1072-83-9	(CEMIN <i>et al.</i> , 2022)
21	Dihidro-5-isopropil-3(2H)-Furanona	$C_7H_{12}O_2$	34004-69-8	(FEBRIANTO & ZHU, 2020)

N°	Composto	Fórmula	CAS	Referência
Éster				
22	Éster octil ácido fórmico	$C_9H_{18}O_2$	112-32-3	(TUENTER <i>et al.</i> , 2020)
23	Butirolactona	$C_4H_6O_2$	96-48-0	(TUENTER <i>et al.</i> , 2020)
24	3-Butildihidro-2(3H)-Furanona	$C_8H_{14}O_2$	104-50-7	(TUENTER <i>et al.</i> , 2020)
25	Ácido 2-fenilester acético	$C_{10}H_{12}O_2$	103-45-7	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
26	Ácido pent-2-ilester benzóico	$C_{12}H_{16}O_2$	94-47-3	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
27	Ácido etiléster 3-hidroxi-butanóico	$C_6H_{12}O_3$	5405-41-4	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
28	(R)- 2-(benzoiloxi)-propanal	$C_{10}H_{10}O_3$	53346-05-7	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)
29	(E)-Ácido éster metílico 6-hidroxi-4-metil-4-hexenoico	$C_8H_{14}O_3$	38875-88-6	(MARSEGLIA <i>et al.</i> , 2020)

DISCUSSÃO

As classes químicas encontradas em maior destaque foram os ácidos, álcoois, aldeídos, ésteres e cetonas. Cada uma destas classes desempenha papéis importantes para o desenvolvimento de um aroma específico. De forma geral, esses compostos desencadeiam a percepção sensorial, pois interagem com as papilas gustativas e potencializam os sabores do chocolate (ROCHA *et al.*, 2014).

Os ácidos graxos são as classes que mais recebem destaque nas etapas de secagem das amêndoas do cacau, todavia, sua presença é esperada em produtos provenientes das amêndoas de cacau (ASCRIZZI *et al.*, 2017). Dentre os ácidos graxos listados na Tabela 1, o ácido acético se destaca por conferir notas ácidas à qualidade sensorial das amêndoas de cacau e, subsequentemente, ao chocolate (AFOAKWA *et al.*, 2008).

A presença desses ácidos confere sabor suave e agradável ao chocolate, no entanto, elevadas quantidades nas amêndoas de cacau, podem ser indesejáveis em termos de qualidade do produto final, tornando o produto suscetível a rancidez oxidativa, diminuindo a vida de prateleira do chocolate (CHAGAS JÚNIOR *et al.* 2022).

Os álcoois são de expressiva importância no perfil químico volátil de chocolates, considerando que apresentam potencial de conferir notas aromáticas ao chocolate, e para obter um produto final com características sensoriais singulares do chocolate (RODRIGUEZ-CAMPOS *et al.*, 2011; CALVA-ESTRADA *et al.* 2020). E sua maior presença no perfil químico, pode ser atribuída à fermentação

dos açúcares mucilaginosos da polpa do cacau durante o armazenamento pós-colheita dos frutos (KOUASSI *et al.*, 2020).

A presença do 2,3 butanodiol, listado na Tabela 1, é comumente descrita como um atributo desejável para o perfil aromático de chocolates, pois é responsável por notas florais atrativas (APROTOSOAIE *et al.*, 2016), porém, tanto o 2,3 butanodiol, como o 1,3-butanodiol, que também foram encontrados por Tuente e colaboradores, 2020, são álcoois aos quais se esperam que não interferem no sabor do chocolate. O 2-dodecanol é relatado por atribuir uma delicada nota floral quando diluído, entretanto, confere aroma desagradável ao chocolate, em quantidades significativas (BURDOK *et al.*, 2010).

Os aldeídos são resultantes de reações oxidativas e da degradação de ácidos graxos, do processo de fermentação das amêndoas de cacau (KOUASSI *et al.*, 2022). Notas frutadas e florais estão correlacionadas com a presença de aldeídos voláteis alifáticos, como o nonanal, que está associado a notas aromáticas cítricas (BURDOK *et al.*, 2010). O benzaldeído também foi descrito neste estudo, dentre os aldeídos é um dos mais detectados pela literatura, sendo responsável por conferir pungência e amargor (PIERACCI *et al.*, 2021).

Outra classe importante para o perfil sensorial dos chocolates são as cetonas, esses compostos são sintetizados a partir da degradação de ácidos graxos, durante o envelhecimento das amêndoas de cacau (CEMIN *et al.*, 2022). Sendo, portanto, caracterizadas por conferirem aromas tostados e caramelizados aos produtos derivados do cacau, oferecendo maior complexidade sensorial aos produtos (MESTANZA *et al.*, 2021).

A presença de compostos como os furanones encontrados no presente estudo, por exemplo, é formado a partir da caramelização do açúcar (TUENTE *et al.*, 2020). As cetonas também são facilmente percebidas pelo sentido retro-nasal e gustativo, tendo em vista a rápida volatilidade dessas substâncias após o derretimento na boca, favorecendo a percepção sensorial após o consumo de chocolates (SOUZA *et al.*, 2017).

Nos chocolates artesanais avaliados, foi possível detectar alguns ésteres. Esses compostos são formados durante a etapa de fermentação das amêndoas de cacau e exercem papel fundamental no desenvolvimento do aroma e do sabor característico do chocolate (VALLE-EPQUÍN *et al.*, 2020), como o Ácido 2-feniletilester acético, composto também encontrado por Tuenter e colaboradores

(2020) e é descrito por conferir odor ativo e de caráter melífluo, floral e frutado ao sabor de licores e chocolates (TUENTER *et al.*, 2020). Além disso, esses compostos podem contribuir para os aspectos de textura e consistência de chocolates, desempenhando propriedades emulsificantes (SANTOS *et al.*, 2014).

Portanto, as classes químicas dos compostos voláteis identificados no presente estudo corroboram com diversos resultados descritos na literatura, principalmente no que diz respeito a estudos envolvendo o perfil químico de chocolates, cuja composição era majoritariamente de cacau (KOUASSI *et al.*, 2020; TUENTER *et al.*, 2020; CEMIN *et al.*, 2022; ROJAS *et al.*, 2022).

CONCLUSÃO

As barras de chocolates artesanais apresentaram em sua composição ácidos graxos, ácidos orgânicos, aldeídos, álcoois, cetonas e ésteres. As características sensoriais atribuídas ao consumo de chocolates estão correlacionadas com a composição química volátil encontrada neste estudo, ressaltando a relevância de avaliar o perfil volátil de chocolates correlacionados aos atributos sensoriais intrínsecos do produto final.

Essas descobertas estão alinhadas com a literatura existente sobre o perfil químico de chocolates, destacando a importância dessas classes químicas na criação de produtos de cacau de alta qualidade. Portanto, a compreensão e o controle desses compostos voláteis são essenciais para a produção de chocolates que atendam às expectativas dos consumidores em termos de sabor, aroma e qualidade sensorial.

Logo, a microextração em fase sólida acoplada à espectrometria de massas mostrou-se eficiente, permitindo a separação e identificação de 29 compostos voláteis. Nesse sentido, a investigação desses compostos é fundamental para avaliar a qualidade e autenticidade dos chocolates.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Miller And Fields Craft Chocolates e ao Grupo de Ensino de Pesquisa e de Extensão em Química e Farmacognosia (GEPEQF) pelos equipamentos cedidos para a realização das análises e pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- ACIERNO, V. et al. Which cocoa bean traits persist when eating chocolate? Real-time nosespace analysis by PTR-QiToF-MS, *Talanta*, v. 195, p. 676-682, 2019.
- AFOAKWA, E. O. et al. Formação de sabor e caráter em cacau e chocolate: uma revisão crítica. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 48, p.840-857, 2008.
- AGNOLETTI, B. Z. et al. Discriminação de café arábica quanto à qualidade sensorial utilizando cromatografia gasosa e PLS-DA. *Revista Ifes Ciência*, v. 6, n. 3, p. 147-158, 2020.
- ALCANTARA, M. & FREITAS-SÁ, D. G. C. Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis- uma atualidade na ciência sensorial. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 21, p. e2016179, 2018.
- ÁLVAREZ, C. et al. Perfil de calidad comercial del cacao venezolano (*Theobroma cacao* L.). *Novum Scientiarum*, v. 3, n. 7, p. 21-32, 2018.
- APROTOSOAI, A. C. et al. Flavor chemistry of cocoa and cocoa products-an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 15, n.1, p. 73-91, 2016.
- BAHMANN, C. et al. The Influence of fermentation-like incubation on cacao seed testa and composition of testa associated mucilage. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2021.
- BICKEL HAASE, T. et al. Aroma Properties of Cocoa Fruit Pulp from Different Origins. *Molecules*, v. 26, p. 7618, 2021.
- BOSSACOMA, M. C. et al. Theobromine Is Responsible for the Effects of Cocoa on the Antibody Immune Status of Rats, *The Journal of Nutrition*, v. 148 (3), p. 464-471, 2018.
- BURDOCK, George A. (Ed.). *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*: v. 2. CRC press, 2019.
- CARNEIRO, J. P. et al. Multivariate analysis of chemical parameters of cocoa: a contribution to origin designation/Análise multivariada de parâmetros químicos do cacau: uma contribuição para a denominação de origem. *Brazilian Journal of Development*, v. 7(12), p. 110360-110380, 2021.
- CEMIN P, R. et al. Chocolates with Brazilian cocoa: Tracking volatile compounds according to consumers' preference. *Food Research International*, 2022.
- CHAGAS JUNIOR, G. C. A. et al. Profile of volatile compounds of on-farm fermented and dried cocoa beans inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* KY794742 and *Pichia kudriavzevii* KY794725. *Molecules*, v. 26, n. 2, p. 344, 2021.
- DARDENGO, J. de F. E., et al. Análise da influência luminosa nos aspectos anatômicos de folhas de *Theobroma speciosum* willd ex spreng. (Malvaceae). *Ciência Florestal*, v. 27(3), p. 843-851, 2017.

DE ARAUJO, M. K. d. C. et al. Propriedades físicas e morfo-fisiológicas das sementes nativas do cacau (Theobroma cacao L.) na Amazônia Oriental. *Energia na Agricultura*, v. 34, n. 01, p. 142-151, 2019.

ERNEST TEYE, E. A. et al. Cocoa bean and cocoa bean products quality evaluation by NIR spectroscopy and chemometrics: A review, *Infrared Physics & Technology*, v. 104, p. 103127, 2020.

FERREIRA, B. C. F. et al. Processamento de cacau e chocolate: influência sobre a qualidade do produto final. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 5, p. 300-334, 2021.

FIGUEIREDO, Y. G. et al. Profile of the volatile organic compounds of pink pepper and black pepper. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, p. 39-46, 2021.

GARCÍA, Y. M. et al. Extração e análise de compostos orgânicos voláteis por SPMEHS e CG-MS: Um breve referencial teórico. *Ciências Agrárias: O Avanço da Ciência no Brasil*. 1ed. Guarujá-SP: Editora Científica, v. 1, p. 68-83, 2021.

GOMES, K. B. P. & DIAS, C. A. O verdadeiro sabor doce do chocolate: bean-to-bar gerando valor na cadeia produtiva do cacau. *Revista Eixo*, v. 11(3), p. 63-73, 2022.

JEAN-MARIE, E.; JIANG, W.; BERAUD, D.; ROBINSON, J.-C. *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: Botany, Composition and Pharmacological Activities of Pods and Seeds. *Foods*, v. 11, p. 3966, 2022.

MANEY, C. et al. Modelling biodiversity responses to land use in areas of cocoa cultivation, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 324, p. 107712, 2022.

MARIANO, A.P.X. et al. Analysis of the chemical profile of cerrado pear fixed compounds by mass spectrometry with paper spray and volatile ionization by SPME-HS CG-MS. *Research, Society and Development*, v. 9, p. e949998219, 2020.

MARSEGLIA, A. et al. Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins. *Food Research International*, v. 132, p. 109101, 2020.

MASSOT-CLADERA, M. et al. Cocoa flavonoid-enriched diet modulates systemic and intestinal immunoglobulin synthesis in adult Lewis rats. *Nutrients*. n. 19, v. 5(8), p.3272-86, 2013.

MASSOT-CLADERA, M. et al. Impact of cocoa polyphenol extracts on the immune system and microbiota in two strains of young rats. *British Journal of Nutrition*. n. 28, v. 112(12), p.1944-54, 2014.

MESTANZA, D. M. et al. Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar. *Revista Científica Pakamuros*, v. 9, n. 4, 2021.

MOITA, I. da S. Caracterização química das cascas das sementes de espécies do gênero Theobroma. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MONTAGNA, M.T. et al. Chocolate, "Food of the Gods": History, Science, and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, p. 4960, 2019.

NETO, A. P. F. Influência da origem do cacau na caracterização do chocolate e aplicação da hiper pressão no aumento do tempo de prateleira de recheios. Doutorado em tecnologias agroindustriais. Universidade NOVA de Lisboa Dezembro, 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. H. et al. Perfil químico de amêndoas de cacau por espectrometria de massas com ionização por *paper spray*. *Avanços em ciência e tecnologia de alimentos*, v. 1, p. 338-353, 2020.

PEREIRA, L. L. et al. A complexidade de consenso entre análise sensorial, física e química na qualidade do café. *Revista Ifes Ciência*, v. 4, n. 2, p. 4-16, 2018.

PIERACCI, Y. et al. Comparison of the chemical and sensorial evaluation of dark chocolate bars. *Applied Sciences*, v. 11, n. 21, p. 9964, 2021.

RAMOS, A. L. C. et al. Chemical profile of *Eugenia brasiliensis* (Grumixama) Pulp by PS/MS paper spray and SPME-GC/MS solid-phase microextraction. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e318974008-e318974008, 2020.

ROCHA, I. S. et al. Prospecção tecnológica com o enfoque na produção e preparações de alimentos com aroma e sabor de café e cacau. *Revista GEINTEC*, São Cristóvão, v. 4, n. 4, p. 1.418-1.425, 2014.

ROJAS, E. O. et al. Avaliação do método de extração SPME-GC-MS para a análise de compostos orgânicos voláteis em licor de cacau do Nariño-Colômbia. *Rev. ION*, v. 35, p. 103-116, 2022.

SANTOS, A. C. Consumos e benefícios do cacau. *Revista Biodiversidade*, v.21, p. 89, 2022.

SANTOS, C. A. et al. Emulsificantes: atuação como modificadores do processo de cristalização de gorduras. *Ciência Rural*, v. 44, p. 567-574, 2014.

SOUZA, C. S. et al. Efeito da substituição parcial de manteiga de cacau por gordura CBE no perfil de compostos voláteis de chocolate meio amargo. 2017.

TAN, T.Y.C. et al. The Health Effects of Chocolate and Cocoa: A Systematic Review. *Nutrients*, v. 13, p. 2909, 2021.

TUENTER, E. et al. Non-volatile and volatile composition of West African bulk and Ecuadorian fine-flavor cocoa liquor and chocolate. *Food Research International*, v. 130, p. 108943, 2020.

VÁSQUEZ, Z. S. et al. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, v. 90, n. 01, p. 72-83, 2019.

VILLANUEVA-GONZALEZ, C. E. et al. Botanical diversity, structure and composition in cocoa agroforest systems in Alta Verapaz, Guatemala. *Scientia Agropecuaria*, Trujillo, v. 14, n. 2, p. 223-234, 2023.