

Caracterização química por GC-MS de *e-líquidos* e dispositivos eletrônicos para fumar apreendidos pela Polícia Científica de Joinville/SC e avaliação teórica dos riscos à saúde humana

G. Becker^{a,*}, G.C. Parabocz^b, T.L. Silva^b, J.L.P. Barneche^b, L.H. Pinto^a, P.R. Furtado^a

^a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)

^b Polícia Científica de Santa Catarina, Joinville (SC), Brasil

*Endereço de e-mail para correspondência: gabriela.beckerd@gmail.com. Tel.: +55-47-996945842.

Recebido em 12/01/2026; Revisado em 17/05/2026; Aceito em 20/06/2026

Resumo

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a composição química de Dispositivos Eletrônicos para Fumar (DEFs) e *e-líquidos* apreendidos pela Polícia Científica de Joinville/SC e avaliar teoricamente os riscos à saúde humana. Foram analisadas 170 amostras, sendo 71 DEFs e 99 *e-líquidos*, por meio de Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS). Ao todo, 166 compostos foram atribuídos, entre eles nicotina, glicerina, propilenoglicol, ácido benzóico, etil maltol, vanilina e diversos flavorizantes. A presença de substâncias como acetoina, álcool benzílico, benzaldeído, mentol e eugenol indica potencial risco toxicológico, especialmente devido à formação de produtos de degradação durante o aquecimento. Foram constatadas discrepâncias entre as informações declaradas nos rótulos e os resultados obtidos, com detecção de nicotina em produtos rotulados como “sem nicotina”. Além disso, a alta frequência de ácido benzóico sugere o uso disseminado de benzoato de nicotina, que pode aumentar a absorção e o potencial de dependência. Apesar de apresentarem menor concentração de compostos carcinogênicos que os cigarros convencionais, os DEFs não são isentos de riscos, podendo causar efeitos adversos respiratórios, neurológicos e cardiovasculares. Esses resultados reforçam a necessidade de regulamentação mais rigorosa, fiscalização efetiva e conscientização sobre os riscos do uso desses dispositivos.

Palavras-Chave: dispositivos eletrônicos para fumar; DEFs; cromatografia gasosa; toxicologia; nicotina; saúde pública.

Abstract

This study aimed to characterize the chemical composition of Electronic Nicotine Delivery Systems (ENDS) and e-liquids seized by the Forensic Police of Joinville/SC, theoretically assessing the potential health risks associated with their use. A total of 170 samples were analyzed, including 71 disposable devices and 99 e-liquids, using gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). In total, 166 compounds were assigned, including nicotine, glycerin, propylene glycol, benzoic acid, ethyl maltol, vanillin, and several flavoring agents. The presence of substances such as acetoin, benzyl alcohol, benzaldehyde, menthol, and eugenol indicates potential toxicological risk, especially due to the formation of degradation products during heating. Discrepancies were found between the information declared on the labels and the analytical results, with nicotine detected in products labeled as “nicotine-free.” Furthermore, the high frequency of benzoic acid suggests the possible use of nicotine benzoate, which increases absorption and dependence potential. Although these devices contain lower concentrations of carcinogenic compounds than conventional cigarettes, ENDS are not risk-free and may cause respiratory, neurological, and cardiovascular adverse effects. These findings reinforce the need for stricter regulation, effective surveillance and public awareness regarding the risks associated with the use of such devices.

Keywords: electronic nicotine delivery systems; ENDS; gas chromatography; toxicology; nicotine; public health.

1. INTRODUÇÃO

Cigarros eletrônicos, comumente conhecidos como “vapes” ou “pods” e tecnicamente denominados dispositivos eletrônicos para fumar (DEFs) pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são equipamentos alimentados por bateria que simulam os aspectos estruturais, comportamentais e, possivelmente, fisiológicos do tabagismo tradicional [1]. Cada aparelho contém uma bateria, um reservatório com líquido, comumente chamado de *e-líquido*, e uma câmara de vaporização equipada com uma resistência elétrica [2]. O *e-líquido* consiste em um solvente que geralmente contém nicotina dissolvida em propilenoglicol e/ou glicerina vegetal, além de uma ampla variedade de flavorizantes e outros aditivos químicos [2]. Ele pode estar presente diretamente nos reservatórios de DEFs ou disponível separadamente como refil, popularmente chamado de essência.

Quando aquecido, o DEF produz um aerossol de partículas finas, que é absorvido pelos pulmões, circula rapidamente pelo coração e libera nicotina no cérebro em questão de segundos [1]. Apesar de sua popularização recente, os DEFs possuem um histórico que remonta a algumas décadas. Os primeiros protótipos foram desenvolvidos na década de 1960, porém o modelo comercial só foi lançado em 2003 pelo farmacêutico chinês Hon Lik, sendo introduzido na América do Sul quatro anos depois [2, 3]. Em meados de 2010, novos modelos surgiram, como a marca americana *JUUL®*, que revolucionou o mercado ao introduzir dispositivos compactos, de design minimalista e cartuchos contendo sais de nicotina, capazes de proporcionar uma absorção mais rápida e intensa da substância [4]. Inicialmente, esses dispositivos foram divulgados como uma alternativa mais segura ao tabaco convencional e, inclusive, como ferramenta de auxílio à cessação do tabagismo [4]. Entretanto, ao contrário de sua proposta original, o consumo passou a se expandir, principalmente entre pessoas que nunca fumaram cigarros tradicionais, especialmente jovens e adolescentes [4].

Dados internacionais reforçam essa tendência. Uma pesquisa realizada em quatro escolas na Inglaterra, com alunos de 11 a 16 anos, revelou que mais da metade dos usuários de DEF (52,6%) nunca haviam experimentado cigarros convencionais [5]. Curiosidade, influência dos pares, atratividade do design dos dispositivos e a disponibilidade de sabores variados são fatores frequentemente apontados como determinantes para o início do uso [6]. Assim como ocorreu historicamente com a indústria do tabaco, que direcionava sua publicidade para o público jovem, estratégias semelhantes têm sido aplicadas na promoção dos DEFs, sobretudo por meio das redes sociais [4]. Um dos principais atrativos são os

sabores doces e frutados que, embora frequentemente associados à percepção de menor risco, podem representar perigo significativo de toxicidade quando inalados [7, 8]. No Brasil, a comercialização, importação e propaganda de todos os tipos de DEFs são proibidas desde 2009. Recentemente, o regulamento referente a esses dispositivos foi revisado, mantendo a proibição vigente após uma avaliação abrangente dos riscos e impactos à saúde pública. A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 855/2024 da ANVISA reforça a proibição da comercialização, importação, armazenamento, transporte e propaganda dos DEFs, além de vedar seu uso em recintos coletivos fechados, públicos ou privados [9]. Contudo, apesar da restrição legal, os DEFs continuam sendo facilmente encontrados em diversos pontos de venda no país, e seu consumo, sobretudo entre jovens, cresce de maneira significativa [3, 5]. No Brasil, aproximadamente 80% dos indivíduos com histórico de uso de DEFs pertencem à faixa etária de 18 a 34 anos [10].

Atualmente, há mais de 7.000 sabores únicos de DEFs e *e-líquidos* disponíveis no mercado, sendo grande parte opções doces e frutadas, especialmente atraentes para jovens, como torta de limão, algodão doce, baunilha e chiclete [7, 11]. Embora muitos desses flavorizantes sejam aprovados pela *Flavor and Extract Manufacturers Association* (FEMA) e pela ANVISA, e rotulados como “grau alimentício”, seus efeitos quando inalados ainda não foram amplamente investigados [11, 12]. Estudos demonstram a presença de diversos compostos químicos flavorizantes em DEFs comercializados, como identificado por Czoli *et al.* (2019) em produtos da província de Ontário, no Canadá, incluindo o álcool benzílico (19,9%), o benzaldeído (21,7%) e a vanilina (21,7%), todos com potencial tóxico quando inalados [13]. Além disso, as altas temperaturas, que podem atingir até 350 °C durante a vaporização, podem induzir reações químicas e alterações físicas nos compostos, resultando na formação de substâncias com potencial ação irritante ou tóxica, cujos efeitos a longo prazo ainda não são completamente conhecidos [3, 14].

Estudos têm cada vez mais destacado o potencial efeito tóxico dos DEFs [11, 15, 3]. Sintomas como tosse, dispneia, cefaleia, tontura, irritações na cavidade oral e infecções respiratórias têm sido amplamente relatados [3]. Outra complicação é a Lesão Pulmonar Associada ao Uso de Cigarro Eletrônico (EVALI), identificada nos Estados Unidos em 2019, com mais de 2.800 internações e 68 óbitos até 2020 [2].

Diante desse panorama, os DEFs configuram um desafio crescente para a saúde pública, especialmente devido à sua popularização entre os jovens e à comercialização ilegal que dificulta a fiscalização. A presença de substâncias potencialmente tóxicas ou ilícitas e a falta de estudos conclusivos sobre seus efeitos reforçam

a necessidade de pesquisas que esclareçam os riscos associados a esses dispositivos [8, 11]. Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a composição química de DEFs e *e-liquidos* apreendidos pela Polícia Científica de Santa Catarina, avaliar teoricamente os possíveis impactos dessas substâncias na saúde dos usuários e verificar a correspondência entre os componentes detectados e as informações presentes nos rótulos; além de comparar os produtos com o cigarro tradicional e investigar a eventual presença de substâncias ilícitas.

2. METODOLOGIA

2.1. Delineamento do estudo

As análises foram conduzidas nos Laboratórios de Química Forense da Polícia Científica de Joinville e a metodologia empregada é apresentada na Figura 1.

Inicialmente, os produtos apreendidos entre 2023 e 2024 foram catalogados de acordo com marca, concentração de nicotina, sabor, volume, origem, cor e modelo. Posteriormente, foi retirada uma alíquota de 2 mL de cada amostra de DEF ou *e-liquido* e armazenada sob refrigeração (4,3 °C) até o momento da análise. As amostras foram então submetidas a extração com metanol P.A (GREENTEC) e analisadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). A atribuição dos compostos químicos foi realizada com auxílio dos bancos de dados de espectros de massa utilizados pela Polícia Científica, como o NIST 11. Para complementar, os possíveis efeitos toxicológicos e riscos à saúde associados a cada substância foram investigados em bases de dados oficiais e científicas, como ANVISA, *Food and Drug Administration* (FDA), *European Food Safety Authority* (EFSA) e *National Institutes of Health* (NIH).

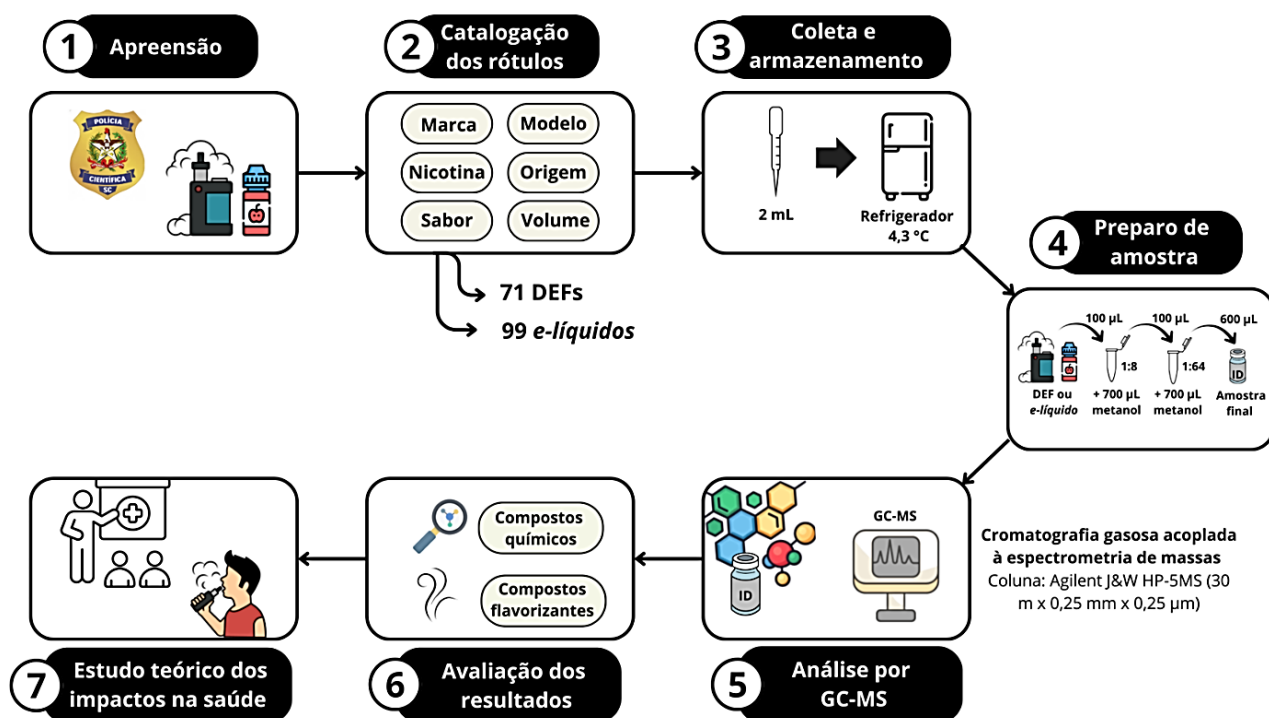


Figura 1. Roteiro Metodológico.

2.2. Procedimentos pré-analíticos

2.2.1. Seleção e caracterização das amostras

As amostras utilizadas no estudo são compostas por DEFs descartáveis e *e-liquidos* encaminhados para perícia ao Setor de Química Geral da Superintendência

Mesorregional da Polícia Científica de Santa Catarina, em Joinville, no período de 2023 a 2024. Foram analisadas, ao todo, 170 amostras, sendo 71 DEFs descartáveis e 99 *e-liquidos*. O estudo abrangeu, no total, oito marcas de dispositivos eletrônicos descartáveis e quinze marcas de *e-liquidos*.

Para a seleção das amostras, adotou-se como critério a inclusão de um exemplar de cada sabor disponível por marca de DEFs e *e-liquidos*. Nos casos em que um mesmo modelo apresentava variações na concentração de nicotina, foi incluída uma amostra para cada concentração disponível. Foram excluídos do estudo os dispositivos e *e-liquidos* que apresentaram lacres rompidos, prazo de validade expirado e/ou qualquer tipo de dano que inviabilizasse a análise das informações contidas nos rótulos.

Após a seleção, as amostras foram registradas, fotografadas e catalogadas. Os DEFs descartáveis e os *e-liquidos* foram organizados segundo marca, modelo, cor, sabor, volume interno, país de origem e concentração de nicotina.

Em relação à origem dos DEFs e *e-liquidos*, 43 produtos foram advindos da China, 3 da Malásia, 43 dos Estados Unidos da América, 5 do Paraguai e 76 produtos não possuíam informações acerca do país de origem.

2.2.2. Coleta, armazenamento e preparação das amostras

A abertura dos DEFs descartáveis foi realizada manualmente, com auxílio de ferramentas adequadas, a fim de preservar sua estrutura e integridade (Fig. 2). No caso das embalagens de *e-liquidos*, a abertura ocorreu sem o uso de instrumentos, uma vez que não apresentaram resistência. De cada amostra, foram retirados cerca de 2 mL utilizando pipeta Pasteur de plástico, com posterior transferência para tubos criogênicos de 2 mL. Em seguida, as amostras foram armazenadas em refrigerador (INDREL SCIENTIFIC) a 4,3 °C até o momento da análise, visando minimizar o risco de degradação dos compostos.



Figura 2. Estrutura externa de um DEF (à esquerda) e estrutura interna (à direita), evidenciando o reservatório de *e-liquido* e a bateria após abertura manual. Fonte: os autores.

O preparo de amostra foi adaptado da metodologia descrita por Hashim *et al.* (2022) [6], onde foi realizada uma extração com metanol P.A, seguida de diluição seriada. Assim, 100 μ L da amostra foram diluídos em 700

μ L de metanol P.A e homogeneizados em agitador vortex (LOCCUS) por aproximadamente 30 segundos. Em seguida, 100 μ L dessa solução foram novamente diluídos em 700 μ L de metanol P.A. Após o processo de diluição, as amostras foram homogeneizadas e submetidas à análise por cromatografia gasosa.

2.3. Procedimentos analíticos

Todos os procedimentos analíticos, incluindo a configuração do forno e a injeção das amostras, foram adaptados da metodologia de Hashim *et al.* (2022) [6]. As amostras (1 μ L) foram introduzidas em split na razão 20:1 em um cromatógrafo gasoso Agilent Technologies 7890A acoplado a um detector seletivo de massa Agilent 5975C. A coluna utilizada foi uma coluna capilar Agilent J&W HP-5MS (30m x 0,25 mm x 0,25 μ m) com hélio como gás de arraste em uma taxa de fluxo constante de 1,0 mL/min. O programa de temperatura do forno (Tab. 1) consistiu em uma injeção a 60 °C (2 min), seguido de rampa de 10 °C/min até 250 °C (15 min) e, posteriormente, rampa de 50 °C/min até 300 °C (1 min), totalizando 38 min de corrida. A *transfer line* e a fonte de íons foram mantidas a 280 °C, e os espectros de massas foram obtidos pela ionização por elétrons a 70 eV. A varredura completa examinou íons na faixa de m/z 30 - 550, e *vials* de metanol P.A foram injetados entre as amostras para verificar contaminação e/ou transferência.

Tabela 1. Programação de temperatura do forno.

Etapa	Taxa de aquecimento (°C/min)	Temperatura final (°C)	Tempo de manutenção (min)
1	-	60	2
2	10	250	15
3	50	300	1

2.4. Análise de dados

Para cada amostra analisada, foram gerados relatórios individuais contendo o respectivo cromatograma, as razões massa-carga, os tempos de retenção, os resultados de similaridade com as bibliotecas de espectros, bem como informações complementares. Sobre os critérios de similaridade espectral empregados nas análises foram consideradas apenas atribuições com similaridade espectral maior ou igual a 70% em comparação às bibliotecas de referência (por exemplo, NIST). Os dados obtidos foram posteriormente compilados em uma planilha do *Microsoft Excel*, a partir da qual foram gerados gráficos e tabelas para melhor visualização e interpretação dos resultados.

A fim de investigar os potenciais efeitos à saúde associados aos compostos atribuídos, foram consultadas bases de dados e órgãos oficiais, incluindo a ANVISA, FDA, EFSA, NIH e o sistema de informações da *The Good Scents Company*. Os dados obtidos foram também confrontados com publicações científicas relacionadas à detecção de substâncias químicas potencialmente tóxicas em DEFs e *e-líquidos*.

Para avaliar teoricamente os potenciais riscos à saúde humana decorrentes da exposição a esses compostos, foi conduzida uma busca estruturada com base em estratégias booleanas, formuladas a partir das substâncias atribuídas nas análises, utilizando palavras-chave que permitissem estabelecer correlações entre esses compostos e seus possíveis efeitos adversos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo qualitativo, foram detectados 166 compostos diferentes nas amostras analisadas.

Devido ao grande volume de dados obtidos, foram priorizadas para discussão as 50 substâncias com maior frequência de detecção e/ou relevância toxicológica, enquanto a lista completa de compostos atribuídos pode ser consultada no Apêndice A. Além disso, para a análise da rotulagem, foram considerados os dados de todas as amostras (n = 170).

A **Tabela 2** apresenta o nome das substâncias selecionadas, a classificação segundo o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS – *The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*), o número de vezes que cada substância foi detectada em amostras de DEFs e *e-líquidos* em ordem decrescente e o seu tempo de retenção.

Tabela 2. Compostos de maior relevância clínica atribuídos neste estudo e previamente reportados na literatura (n = 50). TR = tempo de retenção.

#	Substância	Declaração de perigo GHS	Declaração de atenção GHS	n (DEF)	n (<i>e-líquido</i>)	Total	TR (min)
1	Glicerina	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		71	99	170	8,15
2	Propilenoglicol	H370: Provoca danos nos órgãos H372: Provoca danos nos órgãos por exposição prolongada ou repetida	H336: Pode provocar sonolência ou vertigens.	70	98	168	3,04
3	Nicotina	H300: Fatal se ingerido H301: Tóxico se ingerido H310: Fatal em contato com a pele H318: Provoca lesões oculares graves H330: Fatal se inalado	H315: Provoca irritação cutânea	70	86	156	12,4
4	Ácido benzóico	H318: Provoca lesões oculares graves H372: Provoca danos nos órgãos por exposição prolongada ou repetida	H302: Nocivo se ingerido H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	69	9	78	9,8
5	3-hexen-1-ol	-	H226: Líquido e vapor inflamáveis	34	35	69	4,6

			H319: Provoca irritação ocular grave				
6	Etil maltol	-	H302: Nocivo se ingerido	41	25	66	10,2
7	Butirato de Etila	-	H226: Líquido e vapor inflamáveis H319: Provoca irritação ocular grave	21	33	54	3,8
8	Vanilina	-	H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	37	15	52	13,1
9	Acetato de isoamila	-	H226: Líquido e vapor inflamáveis	19	26	45	4,9
10	p-mentano-1-ol	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		5	40	45	9,9
11	Cinamato de metila	-	H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	24	12	36	12,8
12	Triacetina	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		23	11	34	12,2
13	Mentol	-	H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	8	20	28	9,9
14	L-mentona	-	H226: Líquido e vapor inflamáveis H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	3	21	24	9,6
15	1,2-propanodiol 2-acetato	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		18	6	24	5,2
16	Etil vanilina	-	H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	11	9	20	13,8
17	Maltol	-	H302: Nocivo se ingerido	7	13	20	8,9
18	Antranilato de metila	-	H319: Provoca irritação ocular grave	6	11	17	12,3
19	Citrato de Trietila	-	H332: Nocivo se inalado	11	6	17	16,2
20	Linalol	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	10	6	16	8,6
21	D-carvona	-	H302: Nocivo se ingerido H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	6	9	15	10,9
22	Ácido 2-metilbutanoico	H314: Provoca queimaduras graves na pele e lesões oculares graves	H290: Pode ser corrosivo para metais H302: Nocivo se ingerido	3	7	10	4,4

		H318: Provoca lesões oculares graves	H312: Nocivo em contato com a pele				
23	Álcool Benílico	-	H302: Nocivo se ingerido H319: Provoca irritação ocular grave H332: Nocivo se inalado	-	10	10	7,6
24	Etilenoglicol	-	H302: Nocivo se ingerido H373: Pode causar danos aos órgãos por exposição prolongada ou repetida.	-	10	10	2,6
25	Isomentona	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	1	7	8	9,6
26	Isopulegol	-	H302: Nocivo se ingerido H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	1	6	7	9,4
27	γ -Octalactona	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		-	7	7	11,1
28	Diacetina	Este produto químico não atende aos critérios de periculosidade do GHS.		-	5	5	12,2
29	Ácido butanóico	H314: Provoca queimaduras graves na pele e lesões oculares graves. H318: Provoca lesões oculares graves	H302: Nocivo se ingerido	2	3	5	3,4
30	Acetoína	H228: Sólido inflamável H318: Provoca lesões oculares graves	H226: Líquido e vapor inflamáveis H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	-	5	5	2,7
31	L-carvona	-	H302: Nocivo se ingerido H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	2	2	4	10,9
32	Eugenol	-	H302: Nocivo se ingerido H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	2	2	4	12,5
33	α -ionona	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	2	2	4	13,4

34	Terpinoleno	H304: Pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias.	H226: Líquido e vapor inflamáveis H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	3	1	4	8,6
35	Ácido propanóico	H314: Provoca queimaduras graves na pele e lesões oculares graves. H318: Provoca lesões oculares graves	H226: Líquido e vapor inflamáveis H335: Pode provocar irritação respiratória.	3	1	4	2,4
36	Acetato de benzila	H370: Provoca danos nos órgãos H372: Provoca danos nos órgãos por exposição prolongada ou repetida	H336: Pode provocar sonolência ou vertigens. H319: Provoca irritação ocular grave H315: Provoca irritação cutânea	-	3	3	9,7
37	α -terpineol	-	H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	-	3	3	10,1
38	p-anisaldeído	-	H302: Nocivo se ingerido	1	2	3	11,1
39	Benzaldeído	-	H302: Nocivo se ingerido H319: Provoca irritação ocular grave H332: Nocivo se inalado H336: Pode provocar sonolência ou vertigens	1	1	2	6,4
40	Cinamaldeído	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave H312: Nocivo em contato com a pele H335: Pode provocar irritação respiratória	-	2	2	11,3
41	Dietilenoglicol	-	H302: Nocivo se ingerido	-	2	2	5,2
42	Hexanoato de etila	-	H226: Líquido e vapor inflamáveis	-	1	1	6,9
43	Hexanoato de alila	H301: Tóxico se ingerido H311: Tóxico em contato com a pele H331: Tóxico se inalado	H315: Provoca irritação cutânea H319: Provoca irritação ocular grave	-	1	1	8,3
44	Salicilato de Metila	-	H302: Nocivo se ingerido H319: Provoca irritação ocular grave	-	1	1	10,2

45	Hexanoato de metila	H318: Provoca lesões oculares graves	H226: Líquido e vapor inflamáveis	-	1	1	10,9
46	Geraniol	H318: Provoca lesões oculares graves	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele	-	1	1	11,1
47	Geranial	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	1	-	1	11,2
48	Acetato de linalila	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	1	-	1	11,02
49	Éter difenílico	-	H319: Provoca irritação ocular grave	-	1	1	13,1
50	Z-citral	-	H315: Provoca irritação cutânea H317: Pode provocar reações alérgicas na pele H319: Provoca irritação ocular grave	1	-	1	10,8

Nota¹: n = número total de amostras; H = código de perigo e/ou atenção (*hazard statement*) conforme o Sistema Globalmente Harmonizado (GHS).

Nota²: A sequência (#) refere-se exclusivamente à numeração dos itens na tabela, sem relação com concentração ou qualquer outro parâmetro

3.1. Perfil químico das amostras analisadas

A **Figura 3** apresenta a distribuição das principais classes químicas atribuídas às amostras analisadas por GC-MS, referente às 50 substâncias presentes na **Tab. 2**. A predominância de ésteres, álcoois e aldeídos, seguidos por cetonas, ácidos carboxílicos, fenóis, éteres, alcaloides e terpenos foi observada. Essa composição reflete o uso extensivo de flavorizantes e solventes voláteis, empregados para conferir aroma, sabor e estabilidade aos *e-líquidos* e DEFs [3, 10]. Os ésteres estão associados às notas frutadas e doces comumente encontradas nesses produtos, enquanto os álcoois e aldeídos desempenham papel importante na formação de aromas secundários, podendo, entretanto, originar compostos irritantes e tóxicos quando submetidos à degradação térmica [16-17]. A diversidade e complexidade química observadas indicam que os DEFs e *e-líquidos* possuem formulações altamente heterogêneas, o que pode contribuir para variações significativas em seu perfil toxicológico e nos riscos associados à inalação desses compostos [16-17].

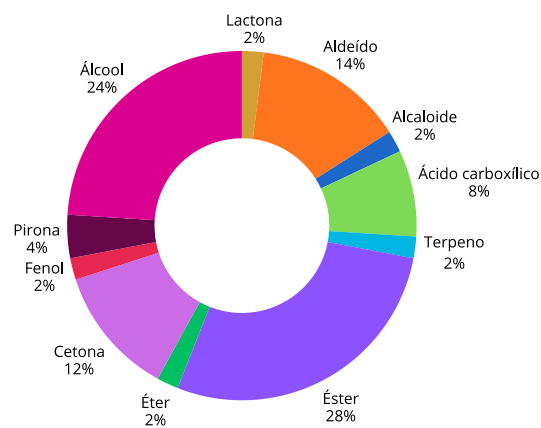


Figura 3. Distribuição percentual das principais classes químicas atribuídas.

Na **Tabela 2**, as substâncias detectadas foram divididas de acordo com os códigos GHS de perigo e atenção. Dessas 50, 44 (88%) foram registradas com código de atenção e 12 (24%) com códigos de perigo e atenção. Seis substâncias (12%) (glicerina, γ -Octalactona, p-mentano-1-ol, diacetina, triacetina, 1,2-propanodiol 2-acetato) não foram associadas a um código GHS de perigo ou atenção. Os códigos GHS de Perigo incluíam advertências de inflamabilidade, toxicidade para órgãos por exposição

única ou repetida, toxicidade aguda oral/dérmica/inalação, perigo de aspiração e queimaduras graves na pele e lesões oculares graves. A maioria dos compostos continha vários códigos de advertência do GHS, incluindo, entre outros, irritação e sensibilização da pele, irritação respiratória e irritação ocular grave.

A partir da análise comparativa dos resultados entre os DEFs e os *e-líquidos*, foi possível observar que determinadas substâncias foram exclusivas de cada grupo. Entre os compostos detectados apenas nos *e-líquidos*, os mais frequentes foram a acetoina (n = 5, sendo 4 de uma mesma marca), o álcool benzílico (n = 10, com 7 da mesma marca), o etilenoglicol (n = 10, sendo 6 da mesma marca) e outros compostos em menor frequência, como hexanoato de etila, hexanoato de alila, dietilenoglicol, acetato de benzila, α -terpineol, salicilato de metila, hexanoato de metila, γ -Octalactona, geraniol, cinamaldeído e éter difenílico. Já entre as substâncias detectadas exclusivamente em amostras de DEFs, foram encontrados o z-citral, o geranial e o acetato de linalila. Além disso, algumas substâncias apresentaram maior frequência nos DEFs em relação aos *e-líquidos*, como o ácido benzóico (88% vs 12%), o etil maltol (62% vs 38%), a vanilina (71% vs 29%), o cinamato de metila (67% vs 33%), a triacetina (68% vs 32%) e o 1,2-propanodiol 2-acetato (75% vs 25%). Por outro lado, o mentol (71% vs 29%) e o p-mentano-1-ol (89% vs 11%) foram mais frequentemente encontrados nos *e-líquidos*. As demais substâncias apresentaram proporções semelhantes entre os grupos. Como esperado, a glicerina foi detectada em todas as amostras do estudo, enquanto o propilenoglicol esteve presente em 99% das amostras tanto de DEFs quanto de *e-líquidos*.

3.2. Substâncias potencialmente tóxicas e impactos à saúde

A acetoina (3-hidróxi-2-butanona), detectada em cinco amostras, é um composto orgânico utilizado como aromatizante em alimentos, conferindo notas amanteigadas e cremosas. É reconhecida como substância geralmente segura pelo FDA (GRAS - *Generally Recognized as Safe*), apenas para uso alimentar. Contudo, sua presença em DEFs levanta preocupações toxicológicas, uma vez que estudos demonstram que a acetoina pode atuar como precursora do diacetil (2,3-butanodiona), um composto altamente reativo associado ao desenvolvimento de doenças respiratórias ocupacionais, como a bronquiolite obliterante, conhecida como “doença do pulmão de pipoca”. Esta doença foi observada pela primeira vez em trabalhadores empregados em fábricas de pipoca, onde o diacetil era usado como ingrediente aromatizante [18].

Nos líquidos de vaporizadores, a acetoina pode sofrer oxidação espontânea ou térmica durante o aquecimento, resultando na formação de diacetil em níveis

potencialmente tóxicos. A inalação crônica desses compostos tem sido associada a lesões epiteliais e inflamatórias nas vias aéreas, além de comprometimento da função pulmonar. Embora a acetoina isoladamente apresente toxicidade moderada, sua capacidade de gerar produtos secundários mais tóxicos, como o diacetil e o acetil propionil, caracteriza seu uso em formulações inaláveis como um fator de risco elevado à saúde respiratória [18].

O aquecimento da bobina dos DEFs provoca processos de degradação térmica, oxidação e pirólise de diversos compostos, até mesmo daqueles inicialmente considerados seguros, como o propilenoglicol (PG) e a glicerina vegetal (GV) [6]. Esses processos podem resultar na formação de subprodutos potencialmente tóxicos, provenientes da reação entre aldeídos aromatizantes, PG e GV, os quais estão associados a danos respiratórios e a potenciais efeitos carcinogênicos [19]. Entre os produtos de degradação térmica do PG e da GV, estão o formaldeído, o acetaldeído e a acroleína, substâncias classificadas como carcinogênicas. A acroleína, em específico, está associada a efeitos irritantes nas vias aéreas, podendo contribuir para alterações respiratórias e irritação ocular [17].

Outra preocupação é a contaminação de PG e GV com glicóis, como etilenoglicol e dietilenoglicol, detectados em 5,8% e 1,2% das amostras, respectivamente. Esses compostos formam metabólitos tóxicos, que interferem na replicação do DNA e na respiração celular, potencialmente causando danos a órgãos e até mesmo fatalidades em casos extremos [17]. Além disso, em um estudo realizado por Hutzler *et al.* (2014), foi identificadas concentrações elevadas de etilenoglicol (> 70%) em DEFs, indicando que os diluentes comumente utilizados em DEFs e *e-líquidos* (PG e GV) estão sendo substituídos por etilenoglicol em alguns produtos.

Estudos anteriores também demonstraram que substâncias como etil maltol e etil vanilina contribuem para a formação de radicais livres durante o aquecimento dos líquidos, podendo aumentar o potencial de dano celular e genotóxico [15]. Tierney *et al.* (2016) também já havia documentado em 2016, a presença de miligramas de substâncias como vanilina, maltol, benzaldeído e acetato de etila em 30 *e-líquidos*. A atribuição dessas substâncias em DEFs levanta preocupações entre as entidades reguladoras, uma vez que muitos desses compostos são aldeídos conhecidos por irritar o trato respiratório [7].

O ácido benzóico (detectado em 45,9% das amostras), o álcool benzílico (5,9%) e o benzaldeído (1,2%) são compostos aromáticos frequentemente identificados em DEFs, principalmente em função de suas notas sensoriais adocicadas, como as associadas a aromas de cereja. O benzaldeído pode ser oxidado termicamente a ácido benzóico, o qual, sob elevadas temperaturas atingidas na resistência dos dispositivos, pode sofrer descarboxilação, originando benzeno, um reconhecido carcinógeno humano.

Além disso, o benzaldeído pode sofrer um processo de desproporcionamento redox em condições térmicas não convencionais, formando simultaneamente álcool benzílico e ácido benzóico. Esse processo é análogo à reação de Cannizzaro e pode ser favorecido pelo microambiente dos DEFs, caracterizado por altas temperaturas e pela presença de bases orgânicas, como a nicotina, o que justifica a detecção concomitante desses compostos nas amostras de DEFs e *e-líquidos* analisadas neste estudo [22].

Outros autores, como Tierney *et al.* (2016) e Goniewicz *et al.* (2015) também identificaram benzaldeído e ácido benzóico em *e-líquidos* comerciais, reforçando a preocupação com a geração de subprodutos tóxicos e irritantes durante a vaporização. Em termos toxicológicos, o benzaldeído provoca irritação das vias respiratórias e inflamação pulmonar, o álcool benzílico pode gerar efeitos neurotóxicos em exposições repetidas, e o ácido benzóico, além de irritante, atua como precursor direto do benzeno. Assim, ainda que os níveis de benzeno produzidos pelos cigarros eletrônicos sejam inferiores aos dos cigarros convencionais, a exposição crônica a essas substâncias e seus derivados pode representar risco relevante à saúde dos usuários [22].

O eugenol, detectado em 2,3% das amostras, é o principal composto fenólico presente no óleo essencial de cravo-da-índia, amplamente utilizado como flavorizante em produtos de tabaco, incluindo cigarros convencionais e DEFs. De acordo com Picanço *et al.* (2022), o eugenol apresenta propriedades anestésicas, anti-inflamatórias e antissépticas, características que contribuem para mascarar a irritação da fumaça e facilitar a inalação. Apesar de seus efeitos farmacológicos conhecidos em baixas concentrações, o eugenol pode causar irritação das vias aéreas, citotoxicidade e efeitos neurotóxicos em exposições prolongadas ou em altas temperaturas, como as geradas durante o aquecimento de DEFs [24].

O mentol, atribuído a 16,5% das amostras, é uma substância naturalmente presente em diversas plantas do gênero *Mentha* L., como a hortelã, sendo amplamente utilizado pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e de higiene pessoal [6]. Além disso, o mentol é frequentemente empregado como aromatizante em DEFs e *e-líquidos*, devido às suas notas refrescantes e à sensação de resfriamento que proporciona.

No entanto, evidências científicas recentes indicam que o mentol contribui significativamente para a toxicidade pulmonar associada ao uso desses dispositivos [25]. Esses autores demonstraram que aerossóis de DEF contendo mentol, com ou sem nicotina, induzem disfunção pulmonar, citotoxicidade e estresse oxidativo em modelos experimentais com camundongos. A exposição a concentrações superiores a 300 µM resultou em redução da

contratilidade das vias aéreas, diminuição da frequência do batimento ciliar e lesões epiteliais caracterizadas por vacuolização e esfoliação celular. Além disso, foram observados dano mitocondrial, depleção de glutatona e redução da fosforilação oxidativa e da glicólise, indicando comprometimento das funções metabólicas essenciais do tecido pulmonar.

Estudos anteriores também detectaram mentol e outros compostos aromáticos em *e-líquidos* e aerossóis comerciais [26-28], associando-os a estresse oxidativo, disfunção mitocondrial e inflamação pulmonar. Essas descobertas reforçam as preocupações sobre a segurança dos flavorizantes utilizados em DEFs e destacam a necessidade de testes abrangentes de toxicidade.

Entre os flavorizantes atribuídos às amostras, os mais frequentes foram o etil maltol (38,8%), vanilina (30,6%), etil vanilina (11,8%), e cinamaldeído (1,2%), os quais são utilizados com frequência para conferir aromas doces e agradáveis, semelhantes aos de baunilha, caramelo e canela. Embora esses compostos sejam considerados seguros para uso alimentar, sua inalação representa um risco potencial à saúde respiratória. Segundo Kerber *et al.* (2022), flavorizantes como vanilina, benzaldeído e cinamaldeído estão entre os mais comuns em *e-líquidos* comerciais e podem aumentar a formação de compostos carbonílicos tóxicos, como formaldeído, acroleína e acetaldeído, durante o processo de vaporização. Esses produtos de degradação estão associados a estresse oxidativo, inflamação pulmonar e citotoxicidade em células epiteliais respiratórias [16]. A atribuição desses compostos, juntamente com substâncias como propilenoglicol, glicerina vegetal, ácido benzóico e nicotina, pode ser observada no cromatograma representativo apresentado na Fig. 4, que ilustra a complexidade química típica dos DEFs analisados.

Adicionalmente, foi identificado na Figura 4 um pico cromatográfico em 11,6 min com intensidade relativamente elevada em comparação aos demais sinais. Apesar de sua recorrência (detectado em 97 amostras), não foi possível realizar sua atribuição confiável com base nas bibliotecas espectrais utilizadas, uma vez que os valores de correspondência com a biblioteca espectral foram baixos (entre 20 e 30% de similaridade). Por esse motivo, o composto não foi incluído entre as substâncias atribuídas. No entanto, devido à sua frequência e relevância analítica, o pico foi incluído no cromatograma representativo. A análise espectral indicou correspondência sugestiva com N-metil-3-(1-hidroxietil)azetidin-2-ona, e a figura apresenta uma estrutura química proposta para fins ilustrativos. A confirmação estrutural depende de análises complementares, como Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

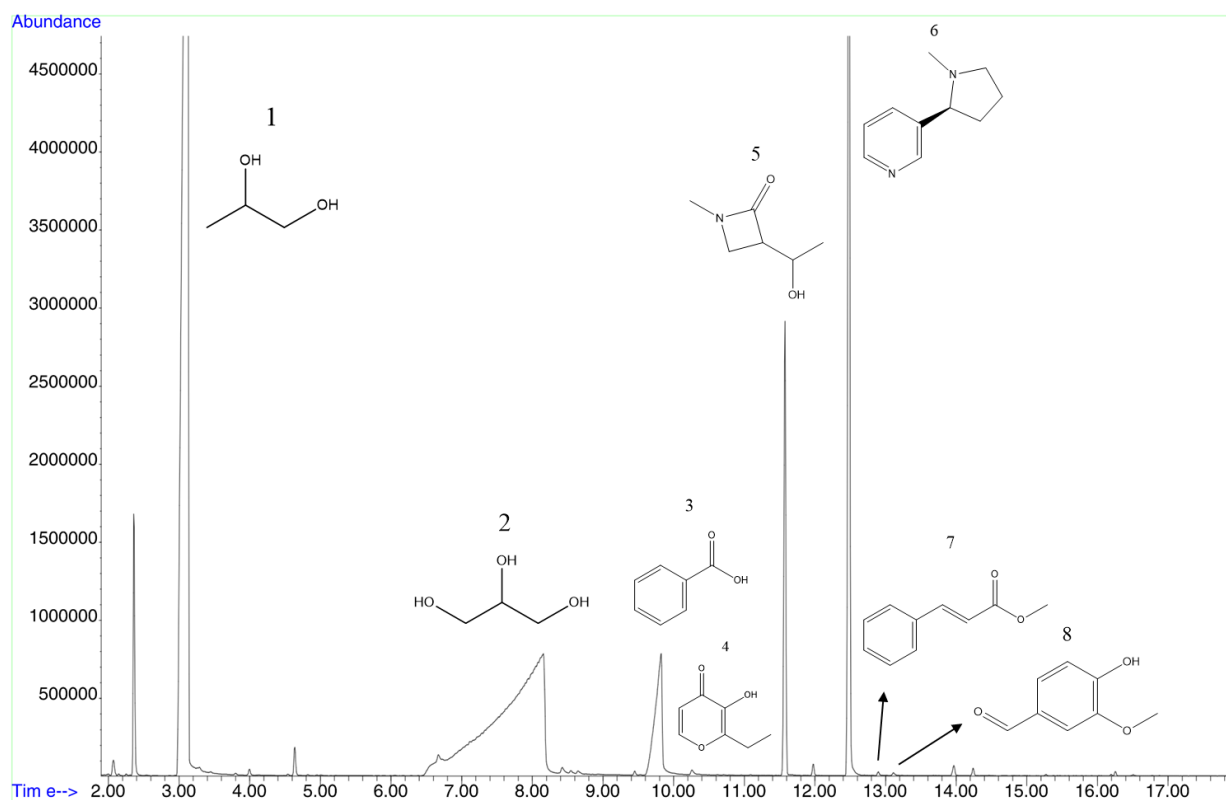


Figura 4. Cromatograma obtido por GC-MS representativo de uma amostra de DEF contendo (1) PG, (2) GV, (3) ácido benzóico, (4) etil maltol, (5) N-metil-3-(1-hidroxietil)azetidin-2-ona nicotina, (6) nicotina, (7) cinamato de metila e (8) vanilina.

3.3. Avaliação da rotulagem e conformidade das amostras analisadas

A rotulagem dos DEFs e *e-liquidos* é fundamental para garantir o uso seguro e consciente dos produtos, permitindo que o consumidor tenha acesso às informações sobre composição, teor de nicotina e procedência. No entanto, foram encontradas inconsistências entre as informações declaradas e a composição real desses produtos, o que vai ao encontro de outros estudos que também relataram divergências nos produtos [2, 23].

Uma parcela significativa das amostras avaliadas não apresentava informações referentes ao país de origem nos rótulos, o que evidencia falhas recorrentes na rotulagem e compromete a rastreabilidade desses produtos. A ausência dessa informação básica dificulta a identificação da procedência dos DEFs e *e-liquidos*, limita a avaliação de conformidade sanitária e a responsabilização dos fabricantes, além de reforçar o caráter irregular desses produtos e a fragilidade dos mecanismos de controle associados à sua produção e comercialização.

A partir das análises dos rótulos dos 170 produtos apreendidos, os resultados evidenciaram que as informações sobre a composição química dos produtos são frequentemente insuficientes em suas embalagens. A maior parte dos rótulos de DEFs e *e-liquidos* especificaram apenas a proporção em volume ou massa dos compostos básicos, que incluem diluentes orgânicos, como

propilenoglicol, glicerina vegetal, a presença de nicotina e, ocasionalmente, citam a utilização de flavorizantes naturais e sintéticos, sem especificar quais.

No Brasil, a comercialização, importação e propaganda de todos os tipos de DEF estão proibidas pela Resolução RDC nº 855/2024 da ANVISA, o que implica que os produtos apreendidos são de origem ilegal e não seguem padrões de rotulagem [9]. Essa ausência de regulamentação e controle de qualidade é evidente na variação entre produtos que deveriam ser iguais, como ilustrado na Fig. 5, que expõe dois *e-liquidos* de mesma marca, lote, volume (15 mL) e concentração de nicotina (35 mg/mL), mas com coloração do conteúdo líquido visivelmente distinta (observada através do frasco). Já em outros países, como os Estados Unidos, embora a comercialização seja permitida, a rotulagem ainda é limitada: fabricantes não são obrigados a divulgar integralmente as substâncias químicas ou suas concentrações, e os regulamentos da FDA não estabelecem diretrizes específicas sobre a composição detalhada dos ingredientes de DEFs *e-liquidos* [29].



Figura 5. Dois *e-liquidos* de mesma marca, lote, volume (15 mL) e concentração de nicotina (35 mg/mL), porém com coloração do conteúdo líquido distinta, evidenciando a ausência de controle de qualidade e padronização entre os produtos. Fonte: os autores.

Entre os 170 rótulos analisados, incluindo DEFs e *e-liquidos*, os dados indicaram predominância de sabores de frutas ($n = 113$), seguidos por mentol/hortelã ($n = 28$), sobremesas ou doces ($n = 26$) e, por último, sabores de tabaco e mentol ($n = 3$). Esses resultados estão em consonância com estudos anteriores, que apontam a ampla variedade de sabores como um dos principais fatores de atratividade dos cigarros eletrônicos entre adolescentes, sendo os sabores frutados e adocicados os mais populares nesse público [19].

Essa diversidade de aromas atua como um importante mecanismo de marketing, conferindo aos produtos uma aparência inofensiva e uma percepção de menor risco toxicológico quando comparados aos cigarros convencionais. Assim, o odor agradável e familiar dos DEFs, aliado à ideia de maior aceitação social do uso, contribui para impulsionar o consumo e dificultar a percepção dos riscos reais à saúde [30].

A nicotina foi detectada em 156 amostras no total (92%), sendo 44,9% provenientes de DEFs e 55,1% de *e-liquidos*. Entre as informações mais relevantes observadas nos rótulos está o teor de nicotina declarado, o qual variou de 0 a 50 mg/mL conforme indicado na Fig. 6. O gráfico apresenta a distribuição dos teores de nicotina declarados, evidenciando predomínio de produtos contendo 5% (50 mg/mL), seguidos por 0,3% (3 mg/mL) e 3,5% (35 mg/mL).

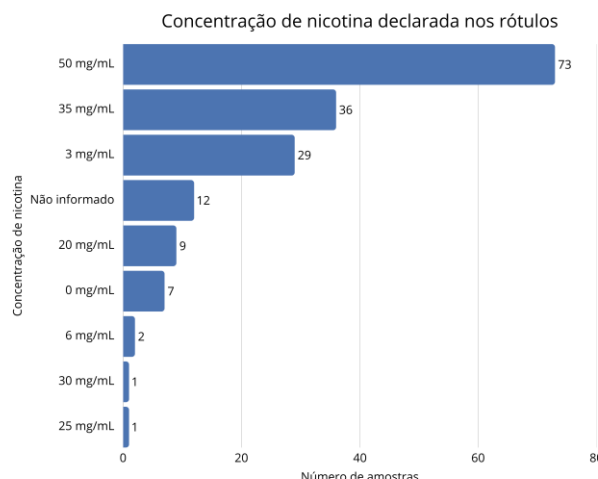


Figura 6. Distribuição das concentrações de nicotina declaradas nos rótulos dos DEFs e *e-liquidos* apreendidos.

Entre os sete *e-liquidos* que declararam não conter nicotina no rótulo, quatro apresentaram a substância no cromatograma, sendo três pertencentes à mesma marca. A presença de nicotina foi confirmada mediante o uso de amostras brancas entre as corridas cromatográficas, a fim de evitar contaminações de análises anteriores. Por outro lado, um DEF e dez *e-liquidos* (sendo sete da mesma marca) que indicavam conter nicotina no rótulo não apresentaram a substância no cromatograma. Esses achados corroboram o que diversos estudos já haviam identificado quanto às discrepâncias entre as concentrações de nicotina declaradas e as efetivamente medidas em DEFs e *e-liquidos* [23, 31-34].

Tais discrepâncias podem estar associadas à degradação química ou instabilidade da nicotina durante o processo de fabricação e armazenamento. O manuseio ou acondicionamento inadequado pode levar à oxidação da nicotina, enquanto fatores como interação com materiais de embalagem e formulações instáveis, especialmente aquelas com alto teor de aromatizantes, podem acelerar sua degradação [6].

3.4. Nicotina e sais de nicotina

A nicotina é o principal componente psicoativo e responsável pelo potencial de dependência do tabaco. Ela atua nos receptores nicotínicos de acetilcolina presentes no cérebro e no sistema nervoso periférico, promovendo a liberação de neurotransmissores associados à sensação de prazer e recompensa [19]. Com o uso contínuo, ocorrem alterações nos circuitos neuronais que modificam a sensibilidade desses receptores, exigindo doses progressivamente maiores de nicotina para produzir os mesmos efeitos recompensadores [19]. Estudos indicam que adolescentes apresentam maior vulnerabilidade aos efeitos aditivos da substância, uma vez que seus sistemas

neurológicos de recompensa ainda não estão completamente desenvolvidos [19]. Além disso, a presença de nicotina em DEFs está associada ao aumento da frequência cardíaca, elevação da pressão arterial e intensificação do estresse oxidativo [35].

A nicotina presente nos líquidos para DEFs pode ocorrer em duas formas químicas: a base livre (não protonada) e a forma protonada, conhecida como benzoato de nicotina [17]. Este sal é formado pela interação entre nicotina e ácidos orgânicos, como o ácido benzóico, o que reduz o pH do *e-líquido* e gera um vapor mais suave, facilitando a absorção pulmonar por períodos prolongados [36]. A reação de formação pode ser observada esquematicamente na Fig. 7, que ilustra a interação entre a nicotina e o ácido benzóico, formando benzoato de nicotina.

A nova geração de dispositivos, conhecida como *pods*, utiliza predominantemente formulações contendo benzoato de nicotina, permitindo a inalação de concentrações mais elevadas da substância [36]. Essa forma apresenta maior estabilidade química e absorção mais eficiente pelo epitélio respiratório, o que torna a

inalação mais suave, mas também pode favorecer maior dependência e exposição contínua a produtos de degradação térmica [22, 36-37].

Além disso, o benzoato de nicotina pode acelerar a chegada do alcaloide ao cérebro, intensificando sua ação sobre os receptores nicotínicos e promovendo a liberação rápida de dopamina, responsável pelas sensações de prazer e bem-estar. No entanto, a exposição prolongada ao ácido benzóico pode causar efeitos adversos, como tosse, irritação na garganta, dor abdominal, náuseas e vômitos [38].

Nos dispositivos analisados neste estudo, a presença frequente de ácido benzóico (em 46% das amostras), associada à detecção de nicotina, sugere a possível formação de benzoato de nicotina. No entanto, não foram realizadas análises complementares capazes de confirmar a identidade química dessas espécies, como LC-MS, RMN ou avaliação do equilíbrio ácido-base em função do pH e da estequiometria do sistema. Dessa forma, a ocorrência de benzoato de nicotina deve ser interpretada como uma hipótese baseada na composição observada, e não como uma identificação confirmada.

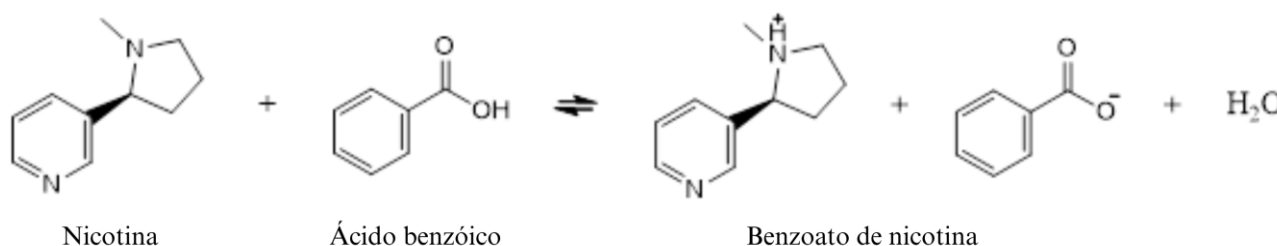


Figura 7. Representação esquemática da reação de formação do benzoato de nicotina, resultante da interação entre nicotina e ácido benzóico.

3.5. DEF versus cigarros convencionais

Os DEFs e os cigarros convencionais diferem significativamente em sua composição química e no modo como os compostos tóxicos são gerados e inalados. Ambos contêm nicotina, substância responsável pela dependência química, mas também compartilham outros compostos nocivos, como aminas aromáticas derivadas do benzeno, formaldeído e acetaldeído, formados principalmente por processos de aquecimento e oxidação térmica [14].

No entanto, uma das principais distinções entre os dois produtos está na presença de flavorizantes nos DEFs, aditivos de sabor proibidos em cigarros convencionais segundo a RDC nº 14/2012 da ANVISA, que veta o uso de substâncias como mentol, baunilha, chocolate, frutas e especiarias, por mascararem o sabor amargo do tabaco e favorecerem a iniciação ao fumo entre jovens [39].

Apesar de o número total e o nível de toxicidade dos compostos presentes nos DEFs serem, em geral, inferiores aos encontrados na fumaça do tabaco, esses dispositivos não são isentos de riscos à saúde [10]. Pesquisas recentes

indicam que o vapor liberado pelos DEFs contém nanopartículas metálicas de níquel, cádmio, cromo, chumbo e estanho, provenientes principalmente da bobina de aquecimento [11]. E, embora a exposição a metais como cromo e chumbo seja semelhante à observada nos cigarros convencionais, a exposição ao níquel pode ser até 100 vezes maior, podendo contribuir para efeitos cardiovasculares e inflamatórios, conforme descrito na literatura [11]. Assim, enquanto os efeitos nocivos do cigarro convencional já são bem esclarecidos e documentados na literatura científica, os impactos a longo prazo do uso de DEFs ainda estão sendo investigados, o que representa um desafio crescente para a saúde pública e para os sistemas de vigilância sanitária [11, 40].

De acordo com a legislação brasileira (RDC nº 14/2012), o teor máximo permitido de nicotina em cigarros de tabaco é de 1 mg por unidade [39]. Considerando que um maço de cigarros contém 20 unidades, o total de nicotina em um maço equivale a 20 mg. Para efeito de comparação, em uma das amostras de DEFs apreendidas neste estudo, o rótulo indica uma concentração de 5% de

nicotina (50 mg/mL) em um volume interno total de 13,5 mL. Assim, por meio de cálculo teórico, o frasco conteria aproximadamente 675 mg de nicotina. Considerando a recomendação do próprio fabricante, que orienta o consumo do produto em até 15 dias após aberto, a estimativa indica que o usuário inalaria, em média, 45 mg de nicotina por dia, o que corresponderia a cerca de 45 cigarros convencionais por dia, ou seja, mais de dois maços diários. Essa comparação teórica evidencia o potencial de exposição significativamente maior à nicotina em usuários de DEFs, especialmente em produtos com altas concentrações e volumes maiores, o que pode favorecer maior dependência, risco de intoxicação e efeitos adversos cardiovasculares e neurológicos associados à substância [11, 17].

3.6. Pesquisa de substâncias ilícitas

Há diversos relatos na literatura sobre o uso de DEFs como via de administração de substâncias ilícitas e medicamentosas, incluindo anfetaminas, codeína, oxicodona, metilfenidato, LSD, relaxantes musculares, esteroides e até medicamentos de venda livre, geralmente diluídos em glicerina [6, 41]. Além disso, no Brasil, em abril de 2024, a Polícia Federal desarticulou uma quadrilha que comercializava DEF contendo óleo de maconha contrabandeado dos Estados Unidos [42]. Esses achados reforçam que o uso de DEF como possível meio de administração de substâncias ilícitas representa um risco à saúde dos usuários e um desafio crescente para a vigilância sanitária [2].

4. CONCLUSÃO

A caracterização de 170 amostras de DEFs e *e-liquidos* por GC-MS permitiu detectar 166 substâncias, evidenciando a presença de compostos com potencial relevância toxicológica e a possibilidade de formação de subprodutos durante a vaporização. O estudo também identificou inconsistências entre rotulagem e composição, incluindo discordâncias na presença de nicotina, indicando falta de padronização e controle de qualidade. A detecção frequente de ácido benzóico, associada à presença de nicotina, sugere a possível formação de benzoato de nicotina, embora essa hipótese não tenha sido confirmada por técnicas complementares.

Considerando o caráter qualitativo deste estudo, os resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que não permitem quantificar exposição, biodisponibilidade ou risco direto à saúde. Dessa forma, as implicações toxicológicas discutidas baseiam-se em evidências da literatura e indicam potenciais efeitos associados aos compostos detectados, sem estabelecer relações causais diretas.

Esses achados reforçam a necessidade de estudos adicionais, incluindo análises quantitativas e avaliações toxicológicas experimentais, bem como a importância de regulamentação e fiscalização desses produtos.

5. AGRADECIMENTOS

O(s) autor(es) agradece(m) ao Setor de Química Geral da Superintendência Mesorregional da Polícia Científica de Santa Catarina, em Joinville, pela disponibilização da infraestrutura e dos recursos necessários à realização das análises.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Seiler-Ramadas, I. Sandner, S. Haider, I. Grabovac e T. E. Dorner, “Health effects of electronic cigarette (e-cigarette) use on organ systems and its implications for public health,” *Wiener Klinische Wochenschrift*, vol. 133, pp. 1020–1027, 2021.
- [2] A. Frinculescu, G. Coombes, T. Shine, J. Ramsey, A. Johnston e L. Couchman, “Analysis of illicit drugs in purchased and seized electronic cigarette liquids from the United Kingdom 2014–2021,” *Drug Testing and Analysis*, vol. 15, pp. 1058–1066, 2023.
- [3] A. A. da Rocha, F. Teixeira de Souza, M. Dantas Freire, T. Bezerra Lima, V. Silveira Abril e I. C. L. S. Lordelo, “Estudo da toxicidade causada pelo uso indiscriminado do cigarro eletrônico: uma revisão sistemática,” *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, vol. 5, pp. 5–21, 2023.
- [4] M. C. Fadus, T. T. Smith e L. M. Squeglia, “The rise of e-cigarettes, pod mod devices, and JUUL among youth: Factors influencing use, health implications, and downstream effects,” *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 201, pp. 85–93, 2019.
- [5] E. Fulton, K. Gokal, S. Griffiths e S. Wild, “More than half of adolescent E-cigarette users had never smoked a cigarette: Findings from a study of school children in the UK,” *Public Health*, vol. 161, pp. 33–35, 2018.
- [6] S. A. Hashim, K. Shameli, F. N. M. Akhir, M. M. Salleh, N. Ismail, N. Hassan, H. Hara, E. N. Mohamad e S. E. Mohamad, “Identification of flavour chemicals and potentially harmful compounds in refill e-liquids sold in Malaysia,” *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 26, pp. 15–22, 2022.
- [7] Y. Zhou, H. Irshad, W. W. Dye, G. Wu, C. S. Tellez e S. A. Belinsky, “Voltage and e-liquid composition affect nicotine deposition within the oral cavity and carbonyl formation,” *Tobacco Control*, vol. 30, pp. 485–491, 2021.
- [8] S. Zare, M. Nemati e Y. Zheng, “A systematic review of consumer preference for e-cigarette attributes: Flavor, nicotine strength, and type,” *PLoS ONE*, vol. 13, 2018.
- [9] Brasil, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, “Resolução RDC nº 855: Proíbe a fabricação, importação,

- comercialização, distribuição, armazenamento, transporte e propaganda de dispositivos eletrônicos para fumar,” *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 abr. 2024.
- [10] N. Bertoni, T. M. Cavalcante, M. C. de Souza e A. S. Szklo, “Prevalence of electronic nicotine delivery systems and waterpipe use in Brazil: Where are we going?,” *Revista Brasileira de Epidemiologia*, vol. 24, 2021.
- [11] E. Critselis e D. Panagiotakos, “Impact of electronic cigarette use on cardiovascular health: Current evidence, causal pathways, and public health implications,” *Angiology*, vol. 75, pp. 417–424, 2024.
- [12] C. D. Czoli, G. T. Fong, M. L. Goniewicz e D. Hammond, “Biomarkers of exposure among ‘dual users’ of tobacco cigarettes and electronic cigarettes in Canada,” *Nicotine & Tobacco Research*, vol. 21, pp. 1259–1266, 2019.
- [13] A. Larcombe, S. Allard, P. Pringle, R. Mead-Hunter, N. Anderson e B. Mullins, “Chemical analysis of fresh and aged Australian e-cigarette liquids,” *Medical Journal of Australia*, vol. 216, pp. 27–32, 2022.
- [14] C. Berenguer, J. A. M. Pereira e J. S. Câmara, “Fingerprinting the volatile profile of traditional tobacco and e-cigarettes: A comparative study,” *Microchemical Journal*, vol. 166, 2021.
- [15] Z. T. Bitzer, R. Goel, S. M. Reilly, R. J. Elias, A. Silakov, J. Foulds *et al.*, “Effect of flavoring chemicals on free radical formation in electronic cigarette aerosols,” *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 120, pp. 72–79, 2018.
- [16] P. J. Kerber, A. K. Duell, M. Powers, R. M. Strongin e D. H. Peyton, “Effects of common e-liquid flavorants and added nicotine on toxicant formation during vaping analyzed by 1H NMR spectroscopy,” *Chemical Research in Toxicology*, vol. 35, pp. 1267–1276, 2022.
- [17] M. Rantaša, D. Majer e M. Finšgar, “The analysis of e-liquids: A study on chemical diversity and metal content using gas chromatography-mass spectrometry and inductively coupled plasma-mass spectrometry,” *Journal of Separation Science*, vol. 47, 2024.
- [18] C. A. Vas, A. Porter e K. McAdam, “Acetoin is a precursor to diacetyl in e-cigarette liquids,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 133, 2019.
- [19] E. Auschwitz, J. Almeda e C. D. Andl, “Mechanisms of E-cigarette vape-induced epithelial cell damage,” *Cells*, vol. 12, 2023.
- [20] C. Hutzler, M. Paschke, S. Kruschinski, F. Henkler, J. Hahn e A. Luch, “Chemical hazards present in liquids and vapors of electronic cigarettes,” *Archives of Toxicology*, vol. 88, pp. 1295–1308, 2014.
- [21] P. A. Tierney, C. D. Karpinski, J. E. Brown, W. Luo e J. F. Pankow, “Flavour chemicals in electronic cigarette fluids,” *Tobacco Control*, vol. 25, pp. e10–e15, 2016.
- [22] J. F. Pankow, K. Kim, K. J. McWhirter, W. Luo, J. O. Escobedo, R. M. Strongin *et al.*, “Benzene formation in electronic cigarettes,” *PLoS ONE*, vol. 12, 2017.
- [23] M. L. Goniewicz, R. Gupta, Y. H. Lee, S. Reinhardt, S. Kim, B. Kim, L. Kosmider e A. Sobczak, “Nicotine levels in electronic cigarette refill solutions: A comparative analysis of products from the US, Korea, and Poland,” *International Journal of Drug Policy*, vol. 26, pp. 583–588, 2015.
- [24] J. M. A. Picanço, R. P. Limberger e M. A. Apel, “Where should I start? A scoping review about the publications on clove cigarettes,” *Critical Reviews in Toxicology*, vol. 52, pp. 259–293, 2022.
- [25] J. Herbert, S. K. Jacklyn, J. D. Jeffrey, L. L. Debra e J. G. Andrew, “Menthol flavoring in e-cigarette condensate causes pulmonary dysfunction and cytotoxicity in precision cut lung slices,” *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, vol. 324, pp. L345–L357, 2023.
- [26] N. J. Leigh, R. I. Lawton, P. A. Hershberger e M. L. Goniewicz, “Flavourings significantly affect inhalation toxicity of aerosol generated from electronic nicotine delivery systems (ENDS),” *Tobacco Control*, vol. 25, pp. ii81–ii87, 2016.
- [27] V. Nair, M. Tran, R. Z. Behar, S. Zhai, X. Cui, R. Phandthong, Y. Wang, S. Pan, W. Luo, J. F. Pankow, D. C. Volz e P. Talbot, “Menthol in electronic cigarettes: A contributor to respiratory disease?,” *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 407, 2020.
- [28] M. P. Ween, A. Moshensky, L. Thredgold, N. A. Bastian, R. Hamon, A. Badiei, P. T. Nguyen, K. Herewane, H. Jersmann, C. M. Bojanowski, J. Shin, P. N. Reynolds, L. Alexander e S. J. Hodge, “E-cigarettes and health risks: More to the flavor than just the name,” *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, vol. 320, pp. L600–L614, 2021.
- [29] I. Dagla, E. Gikas e A. Tsarbopoulos, “Two fast GC-MS methods for the measurement of nicotine, propylene glycol, vegetable glycol, ethylmaltol, diacetyl, and acetylpropionyl in refill liquids for e-cigarettes,” *Molecules*, vol. 28, 2023.
- [30] B. Cromwell, L. C. Mota e M. Levine, “Detection of potentially toxic additives in electronic cigarettes and cigarette flavourings,” *Analytical Letters*, vol. 53, pp. 1407–1415, 2020.
- [31] J. M. Cameron, D. N. Howell, J. R. White, D. M. Andrenyak, M. E. Layton e J. M. Roll, “Variable and potentially fatal amounts of nicotine in e-cigarette nicotine solutions,” *Tobacco Control*, vol. 23, pp. 77–78, 2014.
- [32] N. P. Cheah, N. W. L. Chong, J. Tan, F. A. Morsed e S. K. Yee, “Electronic nicotine delivery systems: Regulatory and safety challenges: Singapore perspective,” *Tobacco Control*, vol. 23, pp. 119–125, 2014.
- [33] B. H. Raymond, K. Collette-Merrill, R. G. Harrison, S. Jarvis e R. J. Rasmussen, “The nicotine content of a sample of E-cigarette liquid manufactured in the United States,” *Journal of Addiction Medicine*, vol. 12, pp. 127–131, 2018.

- [34] National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (US), Office on Smoking and Health, *E-Cigarette Use Among Youth and Young Adults: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention, 2016.
- [35] J. R. Scholz, D. C. Malta, A. A. de Paiva Fagundes Júnior, R. Pavanello, G. L. Bredt Júnior e M. de Seixas Rocha, “Brazilian Society of Cardiology position statement on the use of electronic nicotine delivery systems – 2024,” *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, vol. 121, 2024.
- [36] F. Alam e P. Silveyra, “Sex differences in E-cigarette use and related health effects,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, 2023.
- [37] K. Allbright, J. Villandre, L. E. Crotty Alexander, M. Zhang, K. H. Benam, J. Evankovich, M. Königshoff, D. Chandra, “The paradox of the safer cigarette: Understanding the pulmonary effects of electronic cigarettes,” *European Respiratory Journal*, vol. 63, 2024.
- [38] D. C. Chong-Silva, M. de F. B. P. Sant’Anna, C. A. Riedi, C. C. Sant’Anna, J. D. Ribeiro, L. M. N. Vieira, L. A. Pinto, R. Terse-Ramos, M. A. P. Morgan, R. N. Godinho, R. C. di Francesco, C. A. M. da Silva, M. Urrutia-Pereira, J. P. B. Lotufo, L. R. Silva e D. Solé, “Electronic cigarettes: ‘Wolves in sheep’s clothing’,” *Jornal de Pediatria (Rio J)*, vol. 101, pp. 122–132, 2025.
- [39] Brasil, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, “Resolução RDC nº 14: Dispõe sobre os limites máximos de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono nos cigarros e a restrição do uso de aditivos nos produtos fumígenos derivados do tabaco,” *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 15 mar. 2012.
- [40] J. Yayan, K. J. Franke, C. Biancosino e K. Rasche, “Comparative systematic review on the safety of e-cigarettes and conventional cigarettes,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 185, 2024.
- [41] R. L. Harries, C. Norman, R. Reid, N. Nic Daéid e L. A. Nisbet, “Detection of anabolic-androgenic steroids in e-cigarettes seized from prisons: A case study,” *Forensic Science International*, vol. 356, 2024.
- [42] J. Monteiro e L. Leitão, “Operação em 3 estados mira comércio de óleo de maconha para cigarros eletrônicos; 7 são presos,” *GI*, 2024. Disponível em: [G1 — reportagem](#). Acesso em: 6 nov. 2025.

APÊNDICE A – TABELA COMPLETA DE TODAS AS SUBSTÂNCIAS DETECTADAS NO ESTUDO

#	Substância	n (DEF)	n (e-líquido)	Total
1	Glicerina	71	99	170
2	Propilenoglicol	70	98	168
3	Nicotina	70	86	156
4	Ácido benzóico	69	9	78
5	3-hexen-1-ol	34	35	69
6	Etil maltol	41	25	66
7	Glicerol-1-acetato	40	15	55
8	Butirato de etila	21	33	54
9	Vanilina	37	15	52
10	Acetato de isoamila	19	26	45
11	p-mentano-1-ol	5	40	45
12	y-decalactona	23	22	45
13	Paraldeído	24	20	44
14	Cinamato de metila	24	12	36
15	Triacetina	23	11	34
16	y-undecalactona	13	21	34
17	1-acetoxi-2-propanol	23	8	31

18	2,2-Dimetoxibutano	2	28	30
19	Mentol	8	20	28
20	Etil 2-metilbutanoato	9	16	25
21	L-mentona	3	21	24
22	1,2-propanodiol 2-acetato	18	6	24
23	1-hexanol	12	12	24
24	Maltol	7	13	20
25	Etil vanilina	11	9	20
26	Metaldeído	11	7	18
27	3-etoxi-1,2-propanodio	12	6	18
28	Antranilato de metila	6	11	17
29	Citrato de trietila	11	6	17
30	Linalol	10	6	16
31	D-carvona	6	9	15
32	1,2-Diacetin	5	9	14
33	Solactol	8	5	13
34	γ -Octalactona	2	11	13
35	Lactato de metila	10	2	12
36	Acetato de estiralila	1	10	11
37	Ácido 2-metilbutanoico	3	7	10
38	Acetato de 2-metilbutila	3	7	10
39	Álcool benzílico	-	10	10
40	Etilenoglicol	-	10	10
41	Lactato de etila	5	5	10
42	3-metoxi-1,2-propanodiol	10	-	10
43	Acetato de mentila	8	1	9
44	Isomentona	1	7	8
45	Sulfurol	1	7	8
46	Hexen-1-ol	7	1	8
47	1-etoxi-2-propanol	3	5	8
48	Isopulegol	1	6	7
49	Cinamato de etila	3	4	7
50	δ -dodelactona	3	4	7
51	Isovanilina	2	4	6
52	Piperitona	-	6	6
53	Di-hidrojasmonato de metila	6	-	6
54	Acetato de N-butila	2	4	6
55	Diacetina	-	5	5
56	Acetoína		5	5
57	Ácido butanóico	2	3	5
58	Terpinen-4-ol	1	4	5
59	Cetona de framboesa	5	-	5
60	Ácido láctico	-	5	5
61	Ácido butanóico	2	3	5
62	L-carvona	2	2	4
63	Eugenol	2	2	4
64	α -ionona	2	2	4
65	Terpinoleno	3	1	4
66	Ácido propanóico	3	1	4
67	Frambiona	4	-	4
68	Acetato de amila	-	4	4
69	2-butoxietanol	4	-	4

70	Ácido 3-hidroxibutírico	3	1	4
71	Ácido propanóico	3	1	4
72	Acetato de benzila	-	3	3
73	α -terpineol	-	3	3
74	β -ionona	3	-	3
75	p-anisaldeído	1	2	3
76	Neoisomentol	-	3	3
77	Fenilacetato de etila	1	2	3
78	Nerol	1	2	3
79	Propionato de benzila	-	3	3
80	Antranilato de metila	2	1	3
81	Acetato de vanilina	3	-	3
82	Isovalerato de etila	1	2	3
83	2,3-Butanediol	-	3	3
84	4-hexen-1-ol	3	-	3
85	Acetato de 2-pentilo	2	1	3
86	Benzoato de benzilo	2	1	3
87	Acetato de Isobutilo	-	2	2
88	Benzaldeído	1	1	2
89	Cinamaldeído	-	2	2
90	1,3-Dioxano, 2-heptil	-	2	2
91	Etil-diisopropilacetamida	-	2	2
92	Antranilato de etila	2	-	2
93	γ -ionona	2	-	2
94	Etil isovanilina	2	-	2
95	Etil 3-hidroxibutirato	2	-	2
96	2-hexanal	1	1	2
97	Propionato de etila	1	1	2
98	Acetato de propilo	2	-	2
99	Acetato de 2-hidroxietila	-	2	2
100	Álcool fufurílico	-	2	2
101	Propil lactato	2	-	2
102	Éter etilpropílico	1	1	2
103	Dietilenoglicol	-	2	2
104	2-nitroetanol	1	1	2
105	(S)-cânfora	-	2	2
106	Hexanoato de etila	-	1	1
107	Hexanoato de alila	-	1	1
108	Isomentol	-	1	1
109	Salicilato de Metila	-	1	1
110	Z-citral	1	-	1
111	Hexanoato de metila	-	1	1
112	Geraniol	-	1	1
113	Geranial	1	-	1
114	Acetato de linalila	1	-	1
115	Éter difenílico	-	1	1
116	Aldeído lilás	-	1	1
117	dihidrocarveol	-	1	1
118	Propionato de linalila	-	1	1
119	Diidro- α -ionona	-	1	1
120	Carveol	-	1	1
121	Acetato de fentila	1	-	1

122	1-Monobutirina	-	1	1
123	4-Metil-2-fenil-1,3-dioxolano	-	1	1
124	2,4-dimetil-1,3-dioxolano-2-acetato de etila	-	1	1
125	Butirato de propila	-	1	1
126	Acetal de benzaldeído propilenoglicol	-	1	1
127	4-metil-2-fenil-1,3-dioxolano	1	-	1
128	Acetato de isomentila	1	-	1
129	Isobutirato de benzila	-	1	1
130	Acetato de diidrocarveol	-	1	1
131	Hexanoato de Hexila	-	1	1
132	etil metil fenil glicidato	1	-	1
133	γ -Nonalactona	-	1	1
134	Acetato de cinamila	1	-	1
135	Cinamato de isopropilo	1	-	1
136	Benzaldeído gliceril acetal	-	1	1
137	Amil cinamalaldeído	-	1	1
138	(R,S)-Anatabina	1	-	1
139	Guaiacol	-	1	1
140	Acetoacetato de pentila	-	1	1
141	Diglicerol	1	-	1
142	3-Etil-2,5-dimetilpirazina	1	-	1
143	5-hexan-2-ol	1	-	1
144	Acetoacetato de etila	1	-	1
145	Dinitrato de isossorbida	-	1	1
146	Tetraetilenoglicol	-	1	1
147	2-nonanol	1	-	1
148	3-metil-1-pentanol	1	-	1
149	Carbamato de fenila	-	1	1
150	Oxalato de dietila	1	-	1
151	Lactamida	-	1	1
152	Isopropanol	-	1	1
153	Funereol	-	1	1
154	Malonato de dietilo	1	-	1
155	2-Etoxipropanol	1	-	1
156	Nicotinato de metila	-	1	1
157	2H-cromeno	-	1	1
158	1-etil-3-hidroxipiperidina	-	1	1
159	Ácido 3-formilbenzóico	-	1	1
160	1-Deoxi-D-arabitol	-	1	1
161	Ácido m-toluico	-	1	1
162	Glicil-DL-alanina	1	-	1
163	5-metilheicosano	-	1	1
164	4-metilideno-1,3-dioxolano	-	1	1
165	Homovanílico de etila	1	-	1
166	Ácido palmítico	-	1	1