

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE NUTRIÇÃO
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS

Heitor de Pontes Saraiva

**Metodologias de Análise para Controle de Qualidade
de Cigarros Eletrônicos**

Ouro Preto
Julho de 2026

Heitor de Pontes Saraiva

**Metodologias de Análise para Controle de Qualidade de Cigarros
Eletrônicos**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciência e Tecnologia de Alimentos da
Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Ciência e
Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Dr. Camila Cristina Almeida de Paula

Ouro Preto
2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Heitor de Pontes Saraiva

Metodologias de Análise para Controle de Qualidade de Cigarros Eletrônicos

Monografia apresentada ao Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Aprovada em 29 de julho de 2026

Membros da banca

Prof.^a Dra. Camila Cristina Almeida de Paula - Universidade Federal de Ouro Preto - Orientadora - DEQUI
Prof.^a Dra. Liliane Catone Soares - Universidade Federal de Ouro Preto - Titular - DEQUI
Prof.^a Dra. Mirian dos Santos - Universidade Federal de Ouro Preto - Titular - DEAI
MSc. Daiana Rocha do Espírito Santo - PROAMB/UFOP - Suplente

Prof.^a Dra. Camila Cristina de Almeida Paula, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04 de agosto de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Camila Cristina Almeida de Paula, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2026, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mirian dos Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2026, às 21:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Liliane Catone Soares, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/08/2026, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1152549** e o código CRC **05046A29**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Ana Glória de Pontes Saraiva e Maurício Martins Saraiva, por todo o amor, apoio e incentivo que sempre me ofereceram ao longo da minha vida.

Aos meus avós, Francisco Eduardo de Pontes e Antônia Maximino de Pontes, que, vindos do interior nordestino, correram sob o sol para que eu pudesse caminhar na sombra. A vocês devo não apenas as oportunidades que tive, mas também a família que tanto admiro e que sempre esteve ao meu lado: minha prima e irmã de coração, Sofia Oliveira de Pontes, minha madrinha, Maria Lúcia de Pontes, e todos os meus tios e primos. Nossos karaokês são, sem dúvida, os melhores. Todos vocês são meu maior exemplo de amor e dedicação. Sem vocês, nada disso seria possível.

Agradeço também aos amigos que fizeram parte da minha caminhada antes e durante minha vida em Ouro Preto. Essa cidade, tão complexa quanto profunda, proporcionou-me crescimento, aprendizados e amizades que levarei para sempre e minha orientadora, Dra. Camila Cristina Almeida de Paula, quem me deu uma oportunidade, abriu portas e me ajudou a trilhar um caminho pelo qual tenho grande admiração.

Por fim, agradeço à universidade pública, gratuita e de qualidade, que tornou possível minha formação acadêmica e pessoal, reafirmando a importância da educação como instrumento de transformação da sociedade.

*"Em algum lugar, alguma coisa incrível
está esperando para ser descoberta."*

- Carl Sagan

RESUMO

O consumo de cigarros eletrônicos (e-cigarettes ou vapes) apresenta uma expansão global acelerada, embora persista a ausência de padronização internacional e incertezas sobre a segurança química das formulações. Os e-liquids são matrizes complexas que utilizam solventes como propilenoglicol (PG) e glicerina vegetal (VG) para transportar nicotina e aromatizantes (*flavours*) como vanilina, cinamaldeído, benzaldeído e etil maltol. A preocupação central reside na segurança dessas substâncias via inalatória, uma vez que o aquecimento resistivo (frequentemente acima de 300°C) desencadeia a pirólise e oxidação térmica, gerando compostos carbonílicos tóxicos como formaldeído, acetaldeído e acroleína, além da liberação de metais das resistências, incluindo níquel Ni, Cr, Sn e Pb. Diante desse cenário, este trabalho realizou uma análise bibliométrica abrangente utilizando a linguagem R e as bases *Scopus* e *Web of Science*, selecionando 152 artigos originais e de revisão publicados entre 2020 e 2026. Os indicadores revelaram um campo em franca expansão, com uma taxa de crescimento anual de 16,5% e uma média de 7,57 citações por documento. A produção científica apresenta uma forte concentração institucional na *University of North Carolina* (20 publicações), *University of London* e *University of Auckland*. Pelo total de citações que cada país tem com suas respectivas produções científicas temos que os EUA lideram com 473 citações, seguidos pelo Reino Unido (157) e Itália (124). A análise das metodologias evidenciou que a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) é a técnica predominante para identificar voláteis e aromatizantes em *e-liquids*. A Cromatografia Líquida (LC-MS/MS) foi utilizado para a quantificação precisa de nicotina, alcaloides do tabaco, cafeína e contaminantes como PFAS. Para o monitoramento de metais como Al, Cu, Ni, Pb e Zn, a técnica de ICP-OES foi a utilizada. Identificou-se ainda a ascensão de métodos de alta resolução (HRMS) para a descoberta de substâncias emergentes, como novos análogos de THC, e a aplicação de SERS (Raman) para dosagem rápida de nicotina. Como conclusão, o estudo evidencia uma heterogeneidade metodológica para o controle de qualidade destes produtos. Os resultados destacam que a aprovação de aromatizantes para uso alimentício não garante segurança inalatória, reforçando a necessidade de regulamentações mais estritas.

Palavras-chave: vaporizadores; aerossóis; nicotina; aromatizantes; GC-MS; toxicologia.

ABSTRACT

The consumption of electronic cigarettes (e-cigarettes or vapes) has experienced rapid global expansion, although the lack of international standardization and uncertainties regarding the chemical safety of formulations persist. E-liquids are complex matrices that use solvents such as propylene glycol (PG) and vegetable glycerin (VG) to carry nicotine and flavoring agents (flavours), such as vanillin, cinnamaldehyde, benzaldehyde, and ethyl maltol. The main concern lies in the inhalation safety of these substances, since resistive heating (frequently above 300 °C) triggers pyrolysis and thermal oxidation, generating toxic carbonyl compounds such as formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein, in addition to the release of metals from heating coils, including Ni, Cr, Sn, and Pb. Against this background, this study conducted a comprehensive bibliometric analysis using the R programming language and the Scopus and Web of Science databases, selecting 152 original and review articles published between 2020 and 2026. The indicators revealed a rapidly expanding research field, with an annual growth rate of 16.5% and an average of 7.57 citations per document. Scientific production showed a strong institutional concentration at the University of North Carolina (20 publications), followed by the University of London and the University of Auckland. Regarding the total number of citations by country in relation to their respective scientific output, the United States led with 473 citations, followed by the United Kingdom (157) and Italy (124). The analysis of analytical methodologies showed that Gas Chromatography coupled with Mass Spectrometry (GC-MS) is the predominant technique for identifying volatile compounds and flavoring agents. Liquid Chromatography coupled with tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS) was used for the precise quantification of nicotine, tobacco alkaloids, caffeine, and contaminants such as PFAS. For the monitoring of metals such as Al, Cu, Ni, Pb, and Zn, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) was the technique employed. The increasing use of high-resolution mass spectrometry (HRMS) methods for the discovery of emerging substances, such as new THC analogues, was also identified, along with the application of Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) for the rapid determination of nicotine. In conclusion, this study highlights methodological heterogeneity for quality control of these products. The findings emphasize that the approval of flavoring agents for food use does not guarantee their safety for inhalation, reinforcing the need for stricter regulations.

Keywords: vaporizers; aerosols; nicotine; flavorings; GC-MS; toxicology.

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS.....	9
	2.1. Geral	9
	2.2. Específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
	3.1. Cigarros eletrônicos: evolução, definições e panorama regulatório	10
	3.2. Composição química dos <i>e-liquids</i> : solventes, nicotina e aromatizantes (<i>flavours</i>) ..	12
	3.2.1. Aromatizantes (<i>flavours</i>)	13
	3.2.2 Nicotina	15
	3.3. Processos de vaporização e formação de aerossóis.....	16
	3.4. Métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade	18
	3.5. Importância da bibliometria para organização do campo científico	25
4	METODOLOGIA	26
	4.1 Organização e Gerenciamento dos dados selecionados	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
	5.1. Principais metodologias analíticas encontradas	37
	5.2. Lacunas e perspectivas futuras	39
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O consumo de cigarros eletrônicos (*e-cigarettes*, vapes) expandiu-se de forma acelerada na última década, sobretudo entre jovens e adultos que buscaram alternativas aos cigarros convencionais (Eshraghian; Al-delaimy, 2021). Apesar dessa popularização, houve grande variabilidade na fabricação, composição química e qualidade desses dispositivos, especialmente em função da ausência de padronização internacional e de regulamentações específicas em muitos países, o que resultou em incertezas relacionadas à segurança, ao controle de qualidade e à exposição química dos usuários (Rantaša et al., 2025; Oliveira et al., 2024).

Esse cenário despertou crescente interesse científico, particularmente nas áreas de química analítica, toxicologia, saúde pública e ciência e tecnologia de alimentos (Sleiman et al., 2016; Khlystov; Samet, 2018; Rantaša et al., 2025).

Os cigarros eletrônicos (CEs) operaram por meio do aquecimento de soluções líquidas, os *e-liquids*, geralmente compostas por solventes higroscópicos, como propilenoglicol e glicerina vegetal, nicotina (quando presente) e uma ampla variedade de compostos aromatizantes (*flavours*) (Eshraghian; Al-delaimy, 2021).

Embora muitos desses aromatizantes possuem histórico de uso seguro na indústria de alimentos, sua utilização por via inalatória representa uma rota de exposição distinta, para a qual há menor respaldo toxicológico, além de maior potencial para a formação de produtos reativos decorrentes de processos de oxidação, pirólise e degradação térmica durante a vaporização (Sleiman et al., 2016; Khlystov; Samet, 2018; Rantaša et al., 2025).

Durante o processo de vaporização, os constituintes dos *e-liquids* podem originar aerossóis contendo não apenas os compostos originais, mas também uma série de produtos secundários e terciários (Rantaša et al., 2025). Estudos relataram a presença de compostos carbonílicos potencialmente tóxicos, como formaldeído, acetaldeído e acroleína, além de metais provenientes das resistências e ligas metálicas dos dispositivos, bem como substâncias emergentes ainda não completamente caracterizadas (Sleiman et al., 2016; Reilly et al., 2024; Dagla; Gikas; Tsarbopoulos, 2023). Assim, a elevada complexidade química desses sistemas, associada às múltiplas reações térmicas e interações entre solventes e aromatizantes, reforça a necessidade de investigações analíticas aprofundadas.

Nesse contexto, torna-se indispensável o emprego de métodos analíticos

robustos, sensíveis e adequadamente validados para a caracterização físico-química dos e-liquids e dos aerossóis gerados. Técnicas como cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), ou *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS), amplamente utilizada para a identificação e quantificação de compostos voláteis e semivoláteis, incluindo aldeídos, cetonas, ésteres, hidrocarbonetos aromáticos e diversos compostos responsáveis pelos aromas e sabores; a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC ou LC-MS), empregada principalmente na determinação de compostos menos voláteis, geralmente associados a temperaturas de ebulição superiores a aproximadamente 300 °C, ou termicamente instáveis, ou seja, compostos que se degradam quando submetido a temperaturas elevadas, como nicotina, sais de nicotina, alcaloides, adoçantes, solventes polares e produtos de degradação; espectrometria de massas de alta resolução (HRMS) que possibilita a identificação de compostos desconhecidos, produtos de transformação e contaminantes presentes em baixas concentrações, que podem variar da faixa de µg/mL (mg/L) a ng/mL (µg/L), bem como técnicas espectroscópicas, como FTIR e Raman, utilizadas na caracterização estrutural de solventes, polímeros, grupos funcionais e outros constituintes das formulações, foram amplamente empregadas em estudos internacionais para a identificação e quantificação de compostos presentes nesses produtos (Dagla; Gikas; Tsiropoulos, 2023; Rantaša et al., 2025).

Entretanto, observou-se significativa heterogeneidade metodológica entre os estudos, decorrente de diferenças nos dispositivos avaliados, nas condições experimentais e, sobretudo, da ausência de protocolos de controle de qualidade para este tipo de produtos e substâncias presentes nos *e-liquids* (Dagla; Gikas; Tsiropoulos, 2023; Rantaša et al., 2025; Sleiman et al., 2016; Khlystov; Samet, 2018).

Diante dessa fragmentação metodológica, tornou-se necessário compreender de forma sistemática como a comunidade científica abordou o estudo dos cigarros eletrônicos e responder à pergunta: Quais métodos analíticos são comumente utilizados para o controle de qualidade de cigarros eletrônicos e quais lacunas críticas ainda persistem, diante da rápida expansão do consumo desses produtos e da ausência de padronização metodológica?

Assim, este trabalho propõe uma análise bibliométrica, fundamentada no uso da linguagem R, com o objetivo de mapear, de maneira quantitativa, a produção científica global relacionada aos métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade de

cigarros eletrônicos. Para tanto, foram selecionados artigos científicos provenientes das bases *Scopus* e *Web of Science*, entre os anos de 2020 a 2025, visando compor um corpus representativo e atualizado do estado da arte sobre o tema. Foram selecionados estudos relacionados a cigarros eletrônicos, e-liquids, aerossóis, métodos analíticos, caracterização físico-química, flavours/aromatizantes e controle de qualidade.

Foram excluídos documentos não revisados por pares, como resumos de congressos, editoriais, cartas ao editor e notas técnicas, bem como estudos duplicados entre as bases. Ferramentas de inteligência artificial generativa, especificamente o NotebookLM, atualmente Gemini Notebook e o *ChatGPT* no modelo GPT-5.5-mini foram utilizadas exclusivamente como apoio à revisão gramatical durante a redação deste trabalho. Todo o conteúdo científico, a seleção das referências, a interpretação da literatura e as conclusões são de responsabilidade do autor.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Realizar uma análise bibliométrica abrangente e sistematizada da produção científica internacional sobre métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade de cigarros eletrônicos, identificando as abordagens metodológicas predominantes, lacunas de conhecimento e a evolução das pesquisas envolvendo composição química, *flavours* e segurança dos *e-liquids* e aerossóis.

2.2. Específicos

- I. Identificar os principais métodos cromatográficos, espectrométricos e físico-químicos utilizados na análise de *e-liquids* e aerossóis.
- II. Determinar padrões, tendências e lacunas geográficas na pesquisa por meio de indicadores bibliométricos.
- III. Comparar a presença de temas relacionados à segurança, avaliação toxicológica e composição aromática nas bases *Scopus* e *Web of Science*.
- IV. Identificar países, autores e instituições mais influentes na área.

- V. Sistematizar os achados para orientar pesquisas futuras e aplicações relacionadas à Ciência e Tecnologia de Alimentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Cigarros eletrônicos: evolução, definições e panorama regulatório

Os cigarros eletrônicos, também denominados *Electronic Nicotine Delivery Systems* (ENDS), são dispositivos capazes de gerar aerossóis a partir do aquecimento de soluções líquidas (*e-liquids*) compostas por solventes orgânicos, nicotina e múltiplos compostos aromatizantes” (Chong-Silva et al., 2024). Desde sua introdução comercial no início dos anos 2000, comercializados como alternativas mais seguras aos cigarros convencionais, os e-cigarros exigem uma avaliação cuidadosa dos seus riscos para a saúde, tanto a curto como a longo prazo (Omcikus et al., 2026).

O uso de cigarros eletrônicos (e-cigarros) para o consumo de nicotina aumentou consideravelmente nos últimos anos, suscitando preocupações quanto à sua segurança a longo prazo e ao seu potencial para perpetuar a dependência de nicotina, particularmente entre adolescentes e jovens adultos (Omcikus et al., 2026).

Os *Electronic Nicotine Delivery Systems* (ENDS) expandiram-se globalmente, influenciados por *marketing* digital, percepção de menor risco e variedade sensorial dos produtos (Grana; Benowitz; Glantz, 2014; Omcikus et al., 2026). Em diversos mercados, sua popularização ocorre mais rapidamente entre jovens, impulsionada pela ampla oferta de *flavours* doces e frutados, frequentemente inspirados em matrizes alimentícias (Zhang et al., 2023; Omcikus et al., 2026).

Do ponto de vista regulatório, observa-se grande heterogeneidade entre países, enquanto alguns adotam políticas de controle e padronização (Oliveira et al., 2024), no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) mantém vedada a fabricação, importação, comercialização e propaganda desde 2009, reforçada em normativas recentes (WHO, 2021; Oliveira et al., 2024; Omcikus et al., 2026).

A ausência de regulamentação específica internacional dificulta a aplicação de protocolos de controle de qualidade, o que intensifica as incertezas científicas e toxicológicas associadas a esses dispositivos (WHO, 2021; Oliveira et al., 2024; Omcikus

et al., 2026).

A evolução tecnológica dos cigarros eletrônicos, é segmentada em quatro gerações principais (Imagem 1) que refletem o aumento da complexidade e da capacidade de entrega de nicotina (Omcikus *et al.*, 2026).

A primeira geração é constituída pelos modelos descartáveis (*disposable e-cigarettes*), que possuem design simplificado e aparência similar aos cigarros de tabaco convencionais (Omcikus *et al.*, 2026).

A segunda geração introduziu dispositivos equipados com cartuchos, os quais podem ser pré-preenchidos pelo fabricante ou recarregáveis pelo usuário, oferecendo maior autonomia de uso (Omcikus *et al.*, 2026).

A terceira geração marcou uma evolução significativa com o surgimento dos sistemas conhecidos como *Tanks* ou *Mods*, que são dispositivos recarregáveis dotados de maior potência e baterias de longa duração (Omcikus *et al.*, 2026). Estes modelos permitem o ajuste manual de configurações térmicas, influenciando diretamente a densidade do vapor produzido (Omcikus *et al.*, 2026).

A quarta geração, a mais recente, compreende os chamados *Pod Mods*, que operam tanto com cartuchos pré-preenchidos quanto recarregáveis (Omcikus *et al.*, 2026). Estes dispositivos modernos são frequentemente associados ao uso de sais de nicotina e incorporam sistemas de aquecimento avançados para otimizar a inalação de altas concentrações da substância (Omcikus *et al.*, 2026).

É relevante destacar que essa classificação cronológica e técnica das gerações de cigarros eletrônicos é a padronização adotada pelo *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) (Omcikus *et al.*, 2026).

Imagem 1 - Diferentes modelos e formatos de cigarros eletrônicos.

	1^a GERAÇÃO	Cigarros eletrônicos descartáveis
	2^a GERAÇÃO	Cigarros eletrônicos com cartucho pré-carregado ou recarregável
	3^a GERAÇÃO	Tanques ou Mods (recarregáveis)
	4^a GERAÇÃO	Pod Mods (pré-carregados ou recarregáveis)

Fonte: Adaptado de Omcikus *et al.* (2026, p. 87).

3.2. Composição química dos *e-liquids*: solventes, nicotina e aromatizantes (*flavours*)

Os *e-liquids* são usualmente formulados a partir de propilenoglicol (PG) e glicerina vegetal (VG), solventes higroscópicos responsáveis pelo transporte de nicotina e compostos aromáticos, tendo essas substâncias como base de suas formulações (Kosmider et al., 2018). A proporção entre PG e VG influencia diretamente as propriedades físico-químicas do líquido e as características do aerossol gerado (Kosmider et al., 2018). Formulações com maior teor de PG, como 70/30 (PG/VG), apresentam menor viscosidade, maior intensidade na percepção dos sabores e da sensação de garganta (*throat hit*), além de favorecerem a vaporização em temperaturas relativamente mais baixas (Kosmider et al., 2018). Em contrapartida, formulações com maior teor de VG, como 30/70 (PG/VG) ou 20/80 (PG/VG), possuem maior viscosidade e produzem

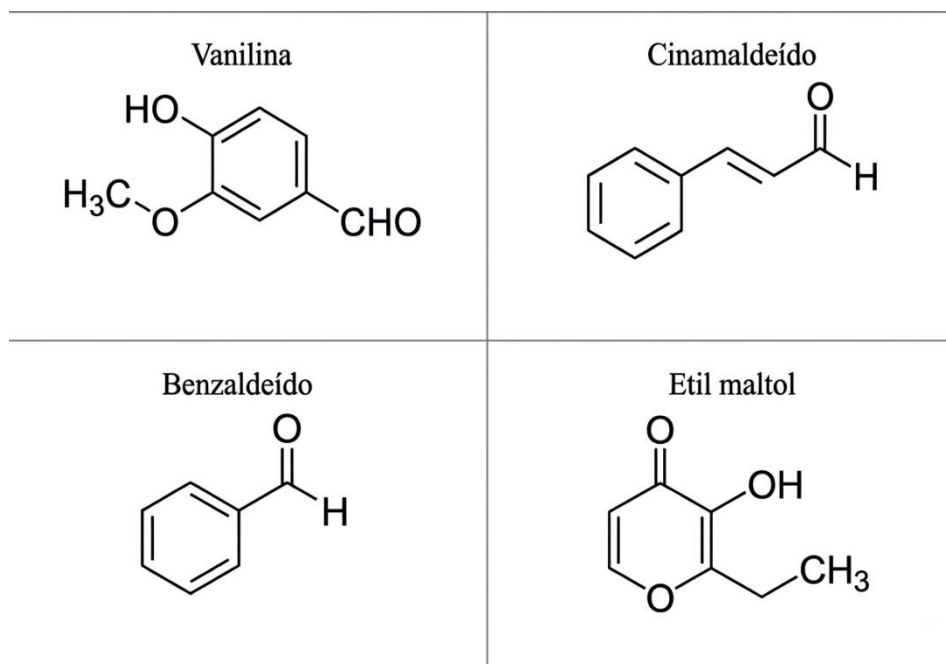
aerossóis mais densos e volumosos, embora geralmente demandem maior fornecimento de energia e temperaturas mais elevadas para uma vaporização eficiente (Kosmider et al., 2018).

3.2.1. Aromatizantes (flavours)

Os *flavours*, naturais ou sintéticos, são um dos elementos mais críticos da composição. Muitos deles possuem histórico de uso seguro em alimentos; contudo, o uso inalatório não se rege pelos mesmos princípios de avaliação toxicológica (Farsalinos; Gillman, 2018).

Entre eles destacam-se a vanilina (Imagem 2), responsável pelo aroma de baunilha e utilizada em chocolates, biscoitos, bolos e sorvetes;

Imagem 2 - Estruturas químicas



Fonte: Autor

O cinamaldeído (Imagem 2), que confere sabor de canela e é empregado em produtos de panificação, balas e chicletes; O benzaldeído (Imagem 2), associado ao aroma de amêndoas e cerejas, utilizado em confeitaria e bebidas; O etil maltol (Imagem 2), intensificador de sabor com notas de caramelo, amplamente utilizado em doces e refrigerantes (Farsalinos; Gillman, 2018; Omaiye et al., 2019).

Entretanto, a segurança dessas substâncias para ingestão não implica segurança para exposição por inalação, uma vez que a rota de exposição, a dose absorvida e os processos de degradação térmica diferem significativamente daqueles observados em alimentos (Farsalinos; Gillman, 2018; Omaiye et al., 2019).

Compostos como aldeídos, cetonas, lactonas e ésteres, comuns na indústria alimentícia, podem sofrer degradação térmica, gerar carbonílicos reativos ou interagir com PG/VG, formando novas substâncias ainda não completamente caracterizadas (Omaiye et al., 2019).

Esse fenômeno desperta atenção especial de áreas como Ciência e Tecnologia de Alimentos, que lidam rotineiramente com estabilidade, reações térmicas e segurança de aromatizantes, mas agora sob uma matriz e rota de exposição distinta (Omaiye et al., 2019).

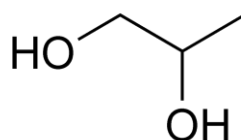
3.2.2. Propilenoglicol e glicerina vegetal

Os líquidos utilizados nos cigarros eletrônicos, comumente denominados *e-liquids*, possuem uma matriz química composta majoritariamente por solventes que atuam como veículos para a entrega de nicotina e aromatizantes (Franco et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026). As substâncias fundamentais empregadas para essa finalidade são o propilenoglicol (PG) (Imagem 6) e a glicerina vegetal (VG), também conhecida como glicerol (Duarte Pinheiro & Santos, 2026). A função primordial desses componentes é permitir a criação de um aerossol inalável por meio do aquecimento, simulando visualmente a fumaça do cigarro de combustão (Omaiye et al., 2019; Franco et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026).

O funcionamento desses dispositivos baseia-se no aquecimento da solução líquida através de uma resistência atomizadora alimentada por bateria (Franco et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026). Durante esse processo, o dispositivo pode atingir temperaturas elevadas, chegando a aproximadamente 350°C por inalação, o que promove a vaporização imediata do propilenoglicol e do glicerol (Duarte Pinheiro & Santos, 2026). Embora esses solventes sejam amplamente utilizados na indústria alimentícia e farmacêutica e considerados seguros para ingestão oral, os efeitos de sua inalação crônica pelo sistema respiratório ainda são alvo de intensas discussões na comunidade científica (Marim et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026).

A pirólise e a oxidação do propilenoglicol (imagem 3) e da glicerina resultam na formação de subprodutos carbonílicos tóxicos e potencialmente carcinogênicos, destacando-se o formaldeído, o acetaldeído e a acroleína (Franco et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026). Além dos riscos químicos diretos, a inalação continuada desses vapores tem sido associada ao desenvolvimento de processos inflamatórios, estresse oxidativo celular e comprometimento da função pulmonar, podendo levar a condições graves como a lesão pulmonar associada ao uso de produtos de vaporização, conhecida como EVALI (Franco et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026). A presença desses compostos no aerossol reforça a necessidade de métodos analíticos precisos para monitorar a pureza das misturas e a segurança dos produtos gerados durante o ato de vaporizar (Marim et al., 2026; Duarte Pinheiro & Santos, 2026).

Imagem 3 - Estrutura química do propilenoglicol



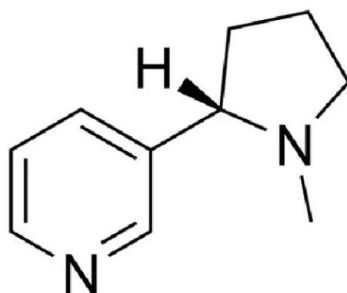
Fonte: Kosmider (2018).

3.2.2 Nicotina

A nicotina (Imagem 4) é a principal substância psicoativa presente no tabaco e o componente central da maioria dos líquidos utilizados em cigarros eletrônicos (Peace et al., 2018).

Estudos detectam nicotina em concentrações divergentes das declaradas pelos fabricantes, além de variações significativas entre lotes, indicando falhas no controle de qualidade (Peace et al., 2018). Quimicamente, trata-se de um alcaloide que atua como um potente estimulante do Sistema Nervoso Central (SNC), sua farmacodinâmica nos Dispositivos Eletrônicos de Fumar (DEF) envolve a vaporização de uma solução contendo a substância, geralmente diluída em propilenoglicol ou glicerol, que é inalada pelo usuário e atinge o sistema de recompensa cerebral em aproximadamente 15 segundos após a tragada (Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016).

Imagem 4 - Estrutura química da nicotina



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Sua ação farmacodinâmica envolve a liberação de dopamina, promovendo sensações momentâneas de prazer e relaxamento, o que desencadeia o ciclo de dependência química (Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016).

Apesar de muitos estudantes utilizarem os dispositivos eletrônicos sob a percepção de redução do estresse, evidências indicam que a substância pode, na verdade, agravar quadros de ansiedade e depressão a longo prazo (Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016; Peace et al., 2018).

Fisiologicamente, a nicotina exerce efeitos sistêmicos nocivos, atuando como vasoconstritora e provocando o aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial, além de causar estresse oxidativo e disfunção endotelial (Peace et al., 2018).

No contexto do controle de qualidade, o desafio analítico é crítico devido à disparidade entre o conteúdo rotulado e o real: enquanto fabricantes declaram teores entre 6 e 24 mg, análises já detectaram doses superiores a 100 mg por cartucho (Peace et al., 2018). Essa falta de padronização e a ausência de regulamentação estrita reforçam a necessidade urgente de metodologias de análise precisas para monitorar a pureza e a exatidão das doses entregues aos usuários (Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016).

3.3. Processos de vaporização e formação de aerossóis

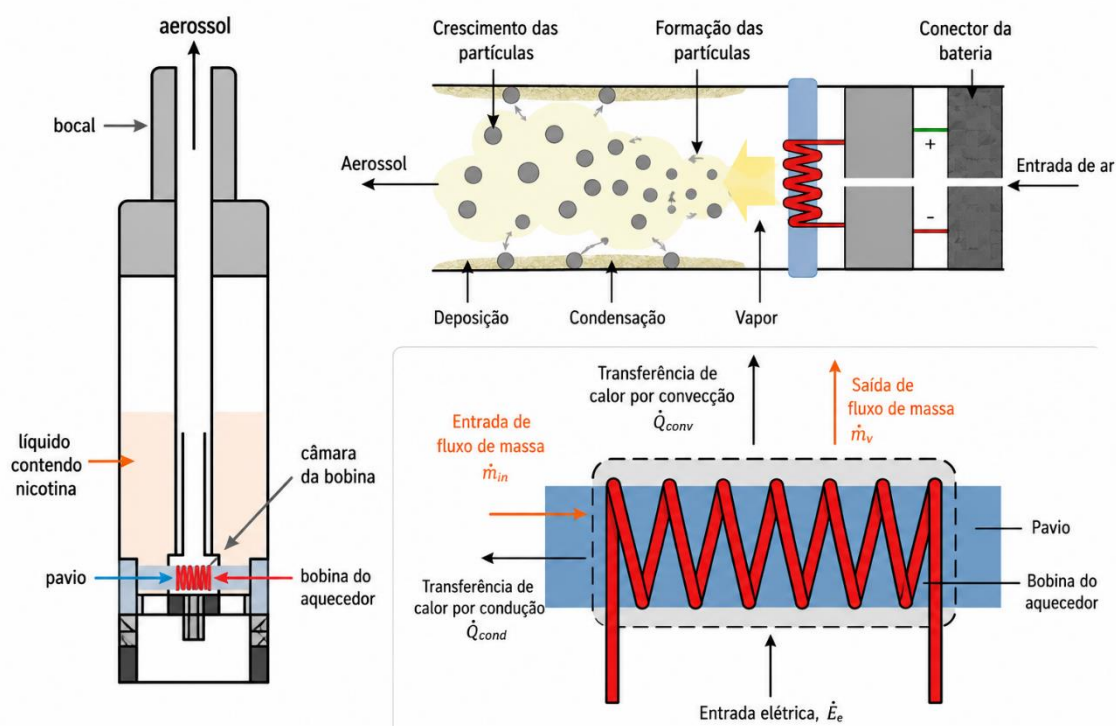
A geração do aerossol (Imagem 8) resulta de aquecimento resistivo que pode atingir temperaturas superiores a 300 °C, promovendo a evaporação dos solventes e a decomposição parcial de seus componentes, embora os cigarros eletrônicos variem muito em design, a característica essencial que define essa categoria de produto é o uso de uma bobina de aquecimento elétrica (Imagem 5) para vaporizar um líquido contendo nicotina

(Talih et al., 2017). Durante esse processo, podem ser formados compostos tóxicos, como formaldeído, acroleína, acetaldeído e outros carbonílicos derivados de oxidação térmica do PG e do VG (Sleiman et al., 2016).

Outro ponto crítico refere-se à liberação de metais provenientes de bobinas e resistências, como níquel, cromo, estanho e chumbo, que migram para o aerossol sob determinadas condições de operação (Williams; Villarreal; Bozhilov, 2013). Tais contaminantes reforçam a necessidade de metodologias analíticas sensíveis e reprodutíveis que permitam seu monitoramento (Williams; Villarreal; Bozhilov, 2013).

A complexidade químico-física do aerossol, que inclui gotículas condensadas, compostos voláteis, semivoláteis e nanopartículas, torna o sistema desafiador para caracterização, exigindo abordagens multidisciplinares envolvendo físico-química, análise instrumental, modelagem e toxicologia (Sleiman et al., 2016; Williams; Villarreal; Bozhilov, 2013).

Imagem 5 - Esquema do funcionamento de um cigarro eletrônico e dos processos de formação do aerossol e transferência de calor e massa



Fonte: Adaptado de Talih et al. (2017).

3.4. Métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade

A literatura científica demonstra amplo emprego de técnicas instrumentais para o estudo de cigarros eletrônicos. Entre as metodologias mais utilizadas estão:

- a) Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas, do inglês *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Utilizada para identificação e quantificação de carbonílicos, aromatizantes voláteis e produtos de degradação térmica (Skoog et al., 2023).

A caracterização química e a quantificação de nicotina em líquidos de cigarros eletrônicos (e-liquids) exigem metodologias de alta sensibilidade e seletividade (Simões et al., 2026). A técnica de Microextração em Fase Sólida por Imersão Direta acoplada à Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas (DI-SPME-GC-MS) destaca-se como uma ferramenta robusta para este fim (Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016; Simões et al., 2026).

Para o Preparo no estudo conduzido em Salvador, Bahia, foram analisadas 20 amostras de líquidos de recarga, adquiridas de canais de comercialização físicos e *online* (Simões et al., 2026). As amostras foram categorizadas em quatro grupos (N0, N3, N6 e N35) de acordo com o teor de nicotina declarado no rótulo, variando de 0,0 a 35,0 mg L⁻¹ (Simões et al., 2026). Para a análise, as alíquotas foram diluídas em água ultrapura até um volume final de 10 mL (Simões et al., 2026).

A extração foi realizada utilizando uma fibra de DVB/PDMS/Carbon WR de 80 µm, considerada a mais eficiente para a detecção da nicotina devido às suas características físico-químicas e ao alto ponto de ebulição do analito, de cerca de 247 °C (Simões et al., 2026). O sistema analítico empregado consistiu em um cromatógrafo a gás Agilent 8890 acoplado a um espectrômetro de massas Agilent 5977, operando com uma coluna capilar HP-5MS (Simões et al., 2026). As condições otimizadas de extração incluíram temperatura de 30 °C, taxa de agitação de 250 rpm e tempo de exposição da fibra de 8 minutos (Simões et al., 2026).

A análise foi dividida em duas abordagens: a análise não-alvo (untargeted), operada no modo Full-Scan (m/z 35–550) para triagem de compostos, e a análise alvo (targeted), operada no modo SIM para quantificação da nicotina (Simões et al., 2026). Na análise alvo, foram monitorados os íons m/z 84 (quantificação) e m/z 162 e 133 (confirmação)

(Simões et al., 2026).

A utilização da Microextração em Fase Sólida por Imersão Direta (DI-SPME) apresenta como principal vantagem a integração da amostragem, extração e pré-concentração em uma etapa única e livre de solventes orgânicos (Simões et al., 2026). O método demonstrou excelente desempenho analítico, com linearidade de $R^2 = 0,9986$, recuperação entre 86% e 101% e um Limite de Quantificação (LOQ) de 0,053 mg/L (Simões et al., 2026).

Entretanto, a técnica apresenta limitações relacionadas à vida útil da fibra e à necessidade de otimização multivariada rigorosa, uma vez que fatores como agitação excessiva podem gerar bolhas de ar que reduzem a eficiência da extração (Simões et al., 2026). Além disso, embora a técnica seja eficaz para voláteis e semivoláteis, ela não se aplica à detecção de compostos não-voláteis ou elementos potencialmente tóxicos, que requerem técnicas complementares como LC-MS ou ICP-MS (Simões et al., 2026).

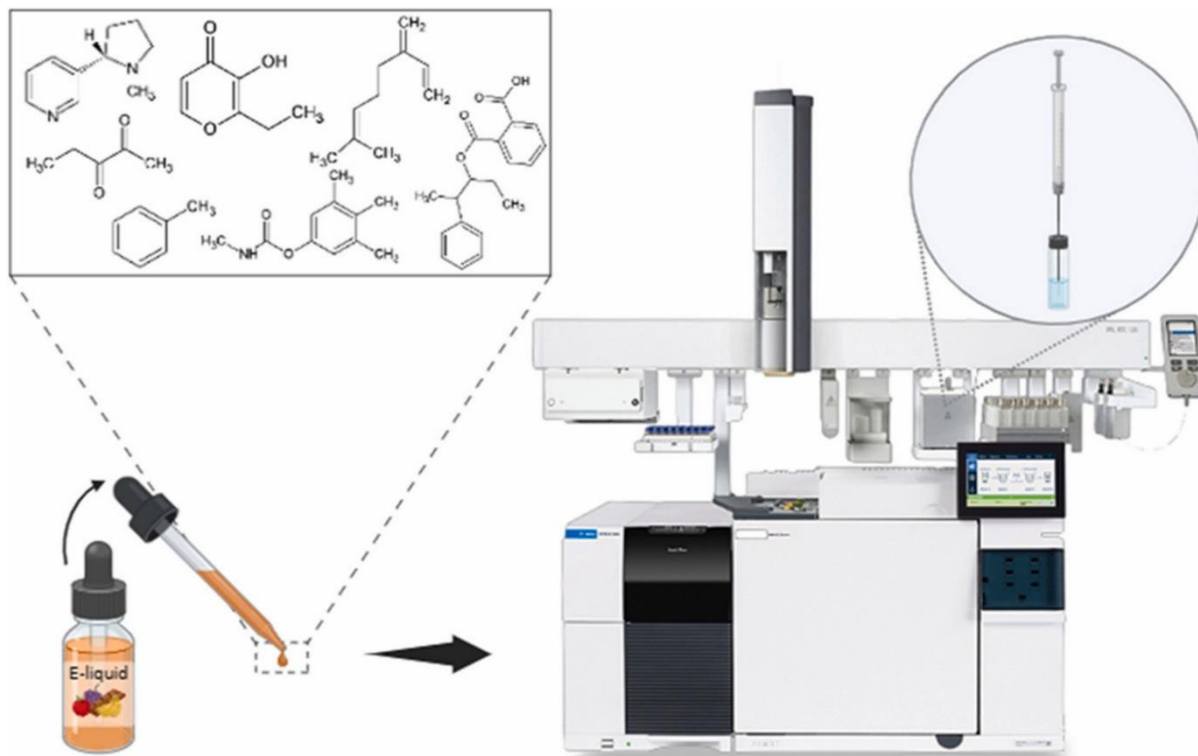
A aplicação da GC-MS permitiu a identificação de aproximadamente 673 compostos nas amostras brasileiras, incluindo substâncias tóxicas como benzaldeído, etil maltol e acroleína (Simões et al., 2026). Resultados demonstraram que todas as amostras do grupo N0 (rotuladas como livres de nicotina) continham teores detectáveis da substância, variando de 0,005 a 0,168 mg/mL (Simões et al., 2026). Adicionalmente, foram identificados contaminantes emergentes perigosos, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), ftalatos e o inseticida 3,4,5-trimetilfenil metilcarbamato, evidenciando falhas críticas no controle de qualidade e na segurança desses produtos (Simões et al., 2026).

- b) Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas, do inglês *High-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry* (HPLC-MS ou LC-MS). Essencial para análise de nicotina, compostos orgânicos não voláteis e produtos de oxidação de maior massa molecular (Santos, 2020.,Ye, S. et al., 2024).

A análise por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (HPLC-MS) baseia-se na introdução de uma amostra líquida no sistema cromatográfico, onde seus componentes são separados de acordo com suas propriedades físico-químicas e posteriormente detectados pelo espectrômetro de massas, permitindo a identificação e

quantificação de diferentes compostos presentes nos e-liquids (Figura 11) (Santos, 2020.,Ye, S. et al., 2024).

imagem 6 - análise de e-liquids por HPLC-MS



Fonte: Simões *et al.* (2026).

A mensuração precisa das concentrações de fármacos antitabagismo e de metabólitos da nicotina em matrizes biológicas exige o emprego de técnicas com elevada sensibilidade e seletividade (Santos, 2020). Neste estudo, utilizou-se a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência seguida por Espectrometria de Massas em Tandem (HPLC-MS/MS) operando em modo multidimensional (*column switching*) (imagem 9) (Santos, 2020., Simões *et al.*, 2026).

Segundo Santos (2026), as amostras analisadas consistiram em soro humano proveniente de 105 pacientes fumantes em tratamento com vareniclina ($n = 74$) ou bupropiona ($n = 31$). Para o preparo, as amostras de soro foram diluídas em água ultrapura (1:1) para reduzir o efeito de matriz e aumentar a vida útil do sistema (Santos, 2020). A preparação automatizada foi realizada por meio de uma coluna extratora de material de acesso restrito (RAM), composta por nanotubos híbridos de carbono e sílica modificados com grupos hidrofílicos, permitindo a injeção direta da amostra no equipamento (Santos,

2020).

O sistema foi operado na configuração de *backflush*, otimizando os tempos de exclusão de proteínas e de eluição dos analitos para a coluna analítica (Santos, 2020). A metodologia permitiu a análise conjunta de seis compostos: bupropiona, hidroxibupropiona, vareniclina, nicotina, cotinina e hidroxicotinina (Santos, 2020). Para a identificação e quantificação, utilizou-se o modo de monitoramento de múltiplas reações (MRM) com ionização por *electrospray* positivo (ESI+), garantindo a detecção de íons precursores e seus respectivos fragmentos específicos (Santos, 2020).

A principal vantagem da utilização da coluna RAM desenvolvida é a eliminação de etapas manuais complexas de extração, como a extração líquido-líquido, o que minimiza erros experimentais e o uso de solventes tóxicos (Santos, 2020). O método demonstrou alta robustez, com a coluna extratora suportando aproximadamente 400 ciclos de análise sem degradação do desempenho (Santos, 2020). Como limitação e ponto negativo, destaca-se a dificuldade técnica em otimizar parâmetros para analitos com concentrações plasmáticas extremamente baixas, como a vareniclina, que apresentou uma taxa de recuperação ligeiramente menor (88,3%) em comparação aos demais analitos (Santos, 2020).

O método foi rigorosamente validado conforme as diretrizes do *Food and Drug Administration* (FDA), apresentando excelente linearidade e limites de quantificação (LOQ) de 5,0 µg L⁻¹ para nicotina e vareniclina, e 1,0 µg L⁻¹ para bupropiona (Santos, 2020). Um ponto positivo fundamental da técnica foi a capacidade de detectar metabólitos da nicotina (cotinina e hidroxicotinina), permitindo monitorar a exposição real ao fumo durante o tratamento (Santos, 2020). Entretanto, embora a técnica tenha sido eficaz na mensuração, a falta de associação estatística entre as concentrações e o desfecho clínico foi apontada como uma lacuna decorrente do número amostral modesto para análises de correlação (Santos, 2020).

- c) Espectrometria de Massas de Alta Resolução acoplada à Cromatografia Gasosa ou Líquida, do inglês *High-Resolution Mass Spectrometry* (GC-HRMS e LC-HRMS). Importante para identificar substâncias emergentes e produtos de reação não previamente catalogados (Kovach et al. 2022; Heide; Engelhard, 2023).

A metodologia empregada no estudo de Kovach et al. (2022) concentrou-se na

identificação de degradantes térmicos resultantes da vaporização do acetato de vitamina E (VEA), subprodutos derivados associados à lesão pulmonar induzida pelo uso de cigarro eletrônico ou vapping (EVALI). Para a caracterização química dos componentes, a principal técnica utilizada foi a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas de Alta Resolução (GC-HRMS) (Kovach et al. 2022).

A amostra analisada consistiu em padrões de acetato de vitamina E com 97,0% de pureza, vaporizados através de dois sistemas distintos de tanques: atomizadores V8 X-Baby M2 (bobinas duplas de 0,25 ohm) e cartuchos de óleo cerâmico Exxus EX6 de 1,6 ohm, ambos operados por uma unidade de vaporizador eletrônico SVS250. Kovach et al. (2022) utilizaram uma máquina de fumar LX5.1 Borgwaldt para gerar o vapor seguindo o Método de Pesquisa CORESTA 81, que consiste em tragadas de 55 mL durante três segundos a cada trinta segundos (Kovach et al. 2022).

O material particulado total foi coletado em filtros de Cambridge (CFPs) de 44 mm. Segundo Kovach et al. (2022), a extração dos compostos retidos nos filtros foi realizada utilizando 50 mL de acetonitrila em frascos de vidro, submetidos à agitação por duas horas a 180 rpm e posterior centrifugação para consolidar fibras de filtro antes da análise instrumental (Kovach et al. 2022)

A técnica de GC-HRMS foi fundamental para a identificação qualitativa dos degradantes. O sistema consistiu em um cromatógrafo a gás Thermo Scientific Trace 1310 acoplado a um espectrômetro de massas Thermo Scientific Q-Exactive, utilizando ionização por impacto eletrônico (EI). A separação cromatográfica ocorreu em uma coluna DB-5MS, com uma rampa de temperatura de 40 °C a 325 °C (Kovach et al. 2022).

Embora o estudo foque primordialmente no GC-HRMS devido à natureza volátil e semivolátil dos degradantes térmicos do VEA, é importante notar que a Cromatografia Líquida de Alta Resolução (LC) foi citada no trabalho apenas como grau de pureza dos solventes (acetonitrila e etanol de grau HPLC) utilizados no preparo das amostras, e não como a técnica principal de separação de degradantes no vapor. Kovach et al. (2022) utilizaram a alta resolução do espectrômetro de massas para comparar as massas experimentais com massas teóricas e padrões de fragmentação previstos por softwares de modelagem molecular como ChemSketch e MS Fragmenter (Kovach et al. 2022).

O trabalho de Kovach et al (2022) apresenta sucessos significativos na identificação de subprodutos tóxicos. De acordo com Kovach et al. (2022), um dos principais acertos foi a confirmação inequívoca de dois grandes degradantes: a 2,3,5,6-tetrametil-1,4-

benzoquinona (duroquinona ou DQ) e o 2,6,10,14-tetrametil-1-pentadeceno (TMPD), cujas identidades foram validadas através da comparação direta com padrões analíticos adquiridos comercialmente (Kovach et al. 2022). Além disso, a metodologia permitiu identificar que potências mais altas nos dispositivos (como os 40W no atomizador Baby M2) resultam em uma maior degradação térmica do VEA em comparação a potências menores de 40W (Kovach et al. 2022)

Entretanto, o estudo aponta limitações e pontos negativos inerentes à instabilidade química das amostras. Kovach et al. (2022) observaram que o processo de coleta e extração pode resultar em conversões químicas indesejadas; por exemplo, o padrão analítico de durohidroquinona (DHQ) converteu-se em duroquinona (DQ) quando diluído em acetonitrila, sugerindo que alguns compostos detectados podem ser subprodutos da manipulação laboratorial e não necessariamente da vaporização direta (Kovach et al. 2022).

Segundo Kovach et al. (2022), outro ponto negativo foi a incapacidade de confirmar a identidade de um terceiro degradante importante, suspeito de ser etil-duroquinona. Kovach et al. (2022) relatam que, apesar dos esforços de síntese em laboratório, a instabilidade de certos intermediários (como o DHQMA) e a impossibilidade de adquirir padrões puros impediram a confirmação definitiva dessa substância, permanecendo apenas como uma hipótese baseada em modelagem espectral. Por fim, é possível ressaltar que, embora a metodologia identifique as substâncias, ainda há uma lacuna de dados toxicológicos que vinculem diretamente esses degradantes específicos aos danos pulmonares observados na EVALI (Kovach et al. 2022).

- d) Técnicas espectroscópicas, como Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier, do inglês *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR); Espectroscopia no Ultravioleta-Visível, do inglês *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis); e Espectroscopia Raman, do inglês *Raman Spectroscopy*. Empregadas para caracterização estrutural, análise de solventes e monitoramento de degradação (Santos, 2020; Hayeck et al. 2021; Hamzah et al., 2025).

No trabalho de Hayeck et al. (2021) a amostra consistiu no fosfolípido 1,2-dipalmitoyl-sn-glycero-3-phosphocholine (DPPC), de grau analítico, utilizado como modelo *in vitro* para mimetizar o componente lipídico majoritário (cerca de 40%) do

surfactante pulmonar humano (Hayeck et al. 2021). Além do DPPC, foram analisados os efeitos dos solventes transportadores glicerina vegetal (VG) e propilenoglicol (PG), componentes primários dos líquidos de cigarros eletrônicos (Hayeck et al. 2021). De acordo com Hayeck et al. (2021), o DPPC foi preparado em uma solução de clorofórmio (1 mg/mL) para ser depositado na célula de análise.

Para a análise, 200 μ L da solução de DPPC foram espalhados sobre uma superfície de seleneto de zinco (ZnSe) em uma célula ATR de reflexão múltipla (Hayeck et al. 2021). Após a evaporação total do clorofórmio, a camada de DPPC foi exposta a aerossóis de VG ou PG puros, gerados por um atomizador SMOK operado a 70W. Hayeck et al. (2021) realizaram sessões de 10 a 70 tragadas (puffs) consecutivas, coletando espectros de FTIR (256 varreduras cada) entre 400 e 4000 cm^{-1} com resolução de 1 cm^{-1} (Hayeck et al. 2021). Os dados foram corrigidos pelo espectro de fundo (*background*) para isolar as interações entre os solventes e o fosfolipídio (Hayeck et al. 2021).

O estudo apresenta acertos significativos na validação dos resultados. Conforme Hayeck et al. (2021), os pesquisadores testaram três cenários para explicar a redução na intensidade dos picos de DPPC (1737, 2849 e 2917 cm^{-1}): enfraquecimento da penetração da luz, consumo por reação química ou mudança na orientação molecular. Através de testes adicionais, descartaram os dois primeiros cenários, confirmando que a glicerina vegetal (VG) altera fisicamente o alinhamento molecular do DPPC na interface ar-água (Hayeck et al., 2021).

Como ponto positivo, a metodologia ATR-FTIR permitiu demonstrar que o VG interage com as bicamadas de DPPC substituindo moléculas de água, o que aumenta a rigidez da monocamada e compromete a estabilidade mecânica do surfactante, essencial para o processo de respiração (Hayeck et al. 2021). Por outro lado, um ponto negativo apontado pelos próprios autores é a natureza *in vitro* do modelo, que pode não capturar toda a complexidade biológica do pulmão (Hayeck et al. 2021).

Ademais, Hayeck et al. (2021) observaram discrepâncias em relação a outros estudos da literatura, como o de Przybyla et al., que não encontraram alterações tensiométricas sob diferentes condições de dosagem, o que sugere que a sensibilidade dos resultados depende fortemente dos métodos de exposição e concentrações utilizadas. Como limitação final, os autores ressaltam a necessidade de estudos futuros que utilizem a balança de Langmuir para garantir a formação de monocamadas perfeitas e análises *in situ* para determinar o limiar exato em que a atividade do surfactante é permanentemente

alterada (Hayeck et al. 2021).

Enquanto o uso de UV-Vis, foi utilizada primordialmente para a caracterização do novo material de acesso restrito (RAM) desenvolvido, com foco em testar sua capacidade de exclusão de macromoléculas (Santos, 2020).

No desenvolvimento de colunas extratoras (como o novo RAM), o detector UV é ajustado em comprimentos de onda específicos, como 255 nm, para medir a absorbância de proteínas e interferentes (Santos, 2020). A eficácia do método é determinada pela comparação entre o sinal detectado na ausência e na presença do material analítico (Santos, 2020).

O ponto positivo é o baixo custo operacional e a alta sensibilidade para detecção de macromoléculas interferentes (Santos, 2020). O ponto negativo reside na sua baixa seletividade quando aplicada a misturas complexas de aromatizantes que absorvem no mesmo espectro, exigindo o uso de técnicas hifenadas como HPLC-UV (Santos, 2020).

O uso de UV-Vis para validar a exclusão de 98% das proteínas em matrizes biológicas através de novos materiais de acesso restrito se mostrou eficaz (Santos, 2020). Uma limitação ocorre quando flutuações de pH na fase móvel alteram a ionização dos analitos, deslocando o pico de absorbância máximo e gerando falhas na quantificação (Santos, 2020).

3.5. Importância da bibliometria para organização do campo científico

A bibliometria se consolidou como ferramenta estratégica para análise de grandes volumes de informação científica, permitindo identificar tendências temáticas, redes de colaboração, autores de destaque e evolução tecnológica de uma área (Aria; Cuccurullo, 2017). Aplicada ao estudo dos cigarros eletrônicos, a bibliometria permite organizar um campo marcado por rápida expansão, elevada diversidade metodológica e produção científica dispersa em múltiplas áreas, química analítica, toxicologia, saúde pública, engenharia, e, mais recentemente, Ciência e Tecnologia de Alimentos área (Aria; Cuccurullo, 2017).

Ao integrar dados provenientes de bases consolidadas, como *Scopus* e *Web of Science*, com ferramentas da linguagem R, torna-se possível estabelecer um panorama robusto e atualizado sobre quais métodos analíticos têm sido priorizados, como evoluiu o interesse pelos *flavours*, e quais lacunas científicas precisam ser preenchidas.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho é um estudo bibliográfico, com abordagem bibliométrica, com o objetivo de analisar quantitativamente a produção científica relacionada aos métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade de cigarros eletrônicos.

As buscas foram realizadas nas bases de dados *Scopus e Web of Science*, selecionadas em função de sua ampla cobertura e relevância internacional. Foram utilizados descritores controlados e termos livres (“or” e “and”), combinados por operadores booleanos, incluindo *electronic cigarettes, e-cigarettes, vapes, e-liquids, flavor additives, flavours, analytical methods, chemical characterization e quality control*.

O período de publicação considerado foi de 2020 a 2026, visando à obtenção de um conjunto atualizado e representativo da literatura científica. Foi adotada uma amostragem mínima de 250 artigos científicos, selecionados a partir da aplicação sistemática de critérios de inclusão e exclusão.

Foram incluídos artigos originais e de revisão publicados em periódicos revisados por pares que abordaram a caracterização físico-química de cigarros eletrônicos, e-liquids ou aerossóis, com enfoque em métodos analíticos e controle de qualidade. Foram excluídos documentos como resumos de congressos, editoriais, cartas ao editor e notas técnicas, bem como estudos duplicados entre as bases de dados, os que apareciam tanto em *Scopus e Web of Science*. Também foram excluídos trabalhos com abordagem exclusivamente clínica, epidemiológica ou comportamental, sem nenhuma aplicação de técnicas analíticas ou físico-químicas.

A extração e análise dos dados bibliográficos foram realizadas por meio do pacote Bibliometrix, utilizando a linguagem R, versão 2026.04.0+526. Copyright (C) 2026 Posit Software, PBC, no ambiente *RStudio*, com apoio das funções *convert2df*, *biblioAnalysis* e *biblioshiny*. As análises contemplaram indicadores de produção científica, evolução temporal das publicações, redes de coautoria, análise de palavras-chave, periódicos mais relevantes e distribuição geográfica da produção científica.

O *Microsoft Excel* foi utilizado de forma complementar para a organização dos dados, elaboração de tabelas e apoio à visualização gráfica dos resultados.

Foram utilizados descritores relacionados aos dispositivos eletrônicos para fumo

e às metodologias analíticas empregadas em sua avaliação, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. A pesquisa foi delimitada ao período entre os anos de 2020 e 2026, sendo considerando publicações disponíveis até o dia 24 de maio de 2026.

Na base *Scopus* a estratégia resultou em 56 artigos. Foi utilizada a seguinte equação de busca:

```
( TITLE-ABS-KEY ( Vapes ) OR TITLE-ABS-KEY ( "e-cigarettes" )  
OR TITLE-ABS-KEY ( "Eletronic cigarettes" )  
OR TITLE-ABS-KEY ( "e-liquid" )  
OR TITLE-ABS-KEY ( "e-flavors" )  
AND TITLE-ABS-KEY ( "analytic* method" ) )  
AND PUBYEAR > 2020  
AND PUBYEAR < 2026
```

Na base *Web of Science* a estratégia resultou em 97 artigos. Foi utilizada a seguinte equação de busca:

```
( Topic ( Vapes ) AND Topic ( "e-cigarettes" )  
OR Topic ( "Eletronic cigarettes" )  
AND Topic ( "e-liquid" )  
AND Topic ( "e-flavors" )  
AND Topic ( "analytic* method" ) )  
AND PUBYEAR > 2020  
AND PUBYEAR < 2026
```

4.1 Organização e Gerenciamento dos dados selecionados

Após a seleção dos artigos, os dados bibliográficos foram exportados das bases de dados em formato CSV e organizados para análise. Foram extraídas informações referentes aos autores, ano de publicação, periódicos, palavras-chave, instituições, países de origem e metodologias analíticas empregadas nos estudos selecionados.

Posteriormente, os dados foram submetidos à padronização e revisão manual,

visando à remoção de duplicidades e correção de inconsistências nos termos indexados.

O tratamento e a análise dos dados bibliométricos foram realizados por meio do pacote Bibliometrix, utilizando o software RStudio. O Bibliometrix foi empregado na conversão, organização e processamento dos dados bibliográficos exportados das bases de dados, permitindo análises quantitativas relacionadas à produção científica, autores, periódicos, palavras-chave e redes de colaboração.

A interface gráfica *Biblioshiny* foi utilizada para elaboração de mapas bibliométricos, gráficos de concorrência de palavras-chave, análises de três campos e visualizações de redes de colaboração científica, contribuindo para a interpretação visual dos resultados obtidos.

O Microsoft Excel foi utilizado como ferramenta complementar para organização dos dados, remoção manual de inconsistências, filtragem de categorias temáticas e elaboração de tabelas auxiliares para análise e interpretação dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra bibliográfica analisada foi composta por 152 documentos publicados entre os anos de 2020 e 2025, distribuídos em 101 fontes de publicação, incluindo periódicos científicos especializados em química analítica, toxicologia, saúde pública e áreas correlatas. Os resultados evidenciam a natureza multidisciplinar das pesquisas relacionadas aos cigarros eletrônicos e às metodologias analíticas empregadas em seu controle de qualidade.

Observou-se uma taxa de crescimento anual de 16,5% nas publicações, indicando expansão contínua do interesse científico pelo tema. Esse crescimento pode ser atribuído à popularização dos cigarros eletrônicos em diferentes mercados, às preocupações relacionadas à segurança química dos e-liquids e aerossóis gerados e à necessidade de desenvolvimento e aprimoramento de métodos analíticos capazes de identificar e quantificar compostos potencialmente tóxicos presentes nesses produtos.

A idade média dos documentos foi de 2,28 anos, demonstrando que a literatura selecionada é predominantemente recente. Esse resultado pode ser esperado considerando esta uma área de pesquisa emergente, caracterizada por rápidas mudanças tecnológicas, constante lançamento de novos dispositivos e formulações, além da

evolução das regulamentações e das preocupações relacionadas à saúde pública.

Os artigos analisados apresentaram média de 7,57 citações por documento e média anual de 1,99 citações por documento, valores que indicam impacto científico moderado e crescente visibilidade das pesquisas desenvolvidas na área. Embora parte dos trabalhos ainda apresente baixo acúmulo de citações devido à sua publicação recente, observa-se progressiva consolidação do campo científico voltado à caracterização química, avaliação toxicológica e controle de qualidade de cigarros eletrônicos.

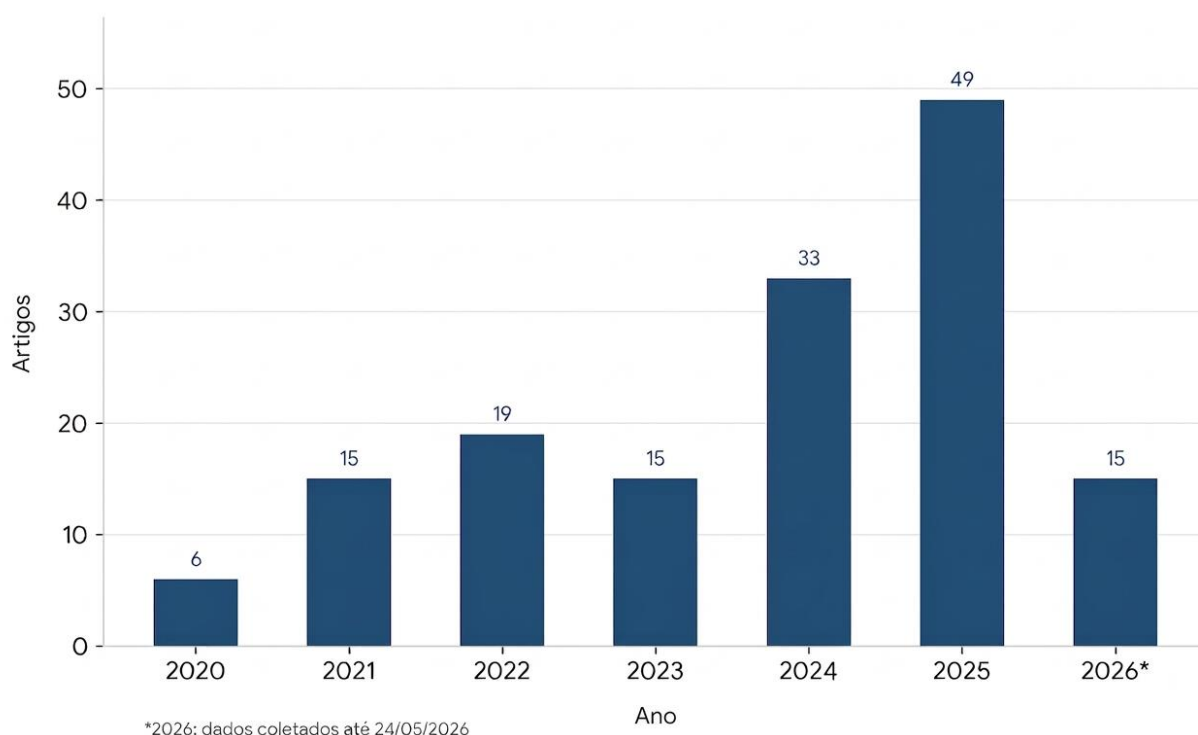
Além da análise quantitativa da produção científica, os indicadores de impacto dos documentos analisados também foram avaliados. Observou-se uma média de 7,57 citações por documento, indicando que, em média, cada publicação apresentou um nível significativo de reconhecimento pela comunidade científica. Esse resultado sugere que os trabalhos incluídos na análise possuem relevância acadêmica e têm contribuído para o desenvolvimento do conhecimento na área investigada. Há um aumento na quantidade de artigos publicados ao longo dos anos (Tabela 2).

Quando considerada a relação entre citações e o período de publicação, foi obtida uma média de 1,99 citações por ano por documento. Esse indicador demonstra a frequência média anual com que os artigos foram referenciados na literatura científica, permitindo avaliar a influência contínua das publicações ao longo do tempo, as palavras-chave mais empregadas nos artigos selecionados (Imagem 7) tem como destaque “*e-cigarettes*”. Dessa forma, os resultados evidenciam que, embora a área ainda apresente desafios e lacunas de investigação, os estudos publicados possuem impacto crescente e vêm sendo utilizados como base para novas pesquisas.

Embora o trabalho tenha alcançado os objetivos propostos, algumas limitações devem ser reconhecidas. O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu durante o período de greve dos servidores técnico-administrativos da Universidade Federal de Ouro Preto, somado a um calendário acadêmico já reduzido em decorrência da pandemia de COVID-19 e de uma greve anterior, o que resultou em um cronograma mais curto e restritivo para a execução das atividades previstas.

Esse contexto limitou o tempo disponível para o aprofundamento do referencial teórico, especialmente no que se refere à discussão das técnicas analíticas e da composição química dos *e-liquids*, além de restringir uma exploração mais abrangente dos recursos gráficos disponibilizados pelo software Bibliometrix/Biblioshiny. Como

Imagem 8 – Número de publicações de cada ano



Fonte: Autor

A análise das fontes de publicação (tabela 2) revelou que os estudos sobre métodos analíticos aplicados ao controle de qualidade de cigarros eletrônicos encontram-se distribuídos em 101 periódicos científicos distintos, evidenciando o caráter multidisciplinar da temática.

A presença simultânea de periódicos das áreas de saúde pública, toxicologia, química analítica e políticas de saúde demonstra que a investigação dos cigarros eletrônicos ultrapassa aspectos exclusivamente químicos, abrangendo também questões relacionadas à exposição humana, regulamentação, comportamento do consumidor e impactos à saúde coletiva.

Tabela 2 - Principais periódicos científicos

Periódico	Número de artigos
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	7
<i>BMC Public Health</i>	7
<i>Frontiers in Chemistry</i>	7
<i>International Journal of Drug Policy</i>	6
<i>Nicotine & Tobacco Research</i>	5
<i>Chemical Research in Toxicology</i>	4
<i>Drug Testing and Analysis</i>	4
<i>Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis</i>	4
<i>Journal of Chromatography A</i>	3
<i>Frontiers in Public Health</i>	3

Fonte: Autor

Entre os periódicos especializados em química e análise instrumental destacam-se *Frontiers in Chemistry*, *Chemical Research in Toxicology*, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *Drug Testing and Analysis* e *Journal of Chromatography A*. A relevância dessas revistas evidencia a crescente necessidade de métodos analíticos robustos para a identificação e quantificação de compostos presentes em *e-liquids* e aerossóis, incluindo nicotina, aromatizantes, contaminantes metálicos e produtos de degradação térmica.

A diversidade de periódicos observada sugere que o campo científico relacionado aos cigarros eletrônicos ainda se encontra em expansão e consolidação, com contribuições provenientes de diferentes áreas do conhecimento. Tal característica favorece abordagens interdisciplinares e amplia a compreensão dos riscos, da composição química e dos desafios regulatórios associados a esses dispositivos.

A análise da produtividade dos autores revelou a existência de pesquisadores que vêm contribuindo de forma recorrente para o avanço do conhecimento sobre cigarros eletrônicos.

Tabela 3 - Autores mais produtivos

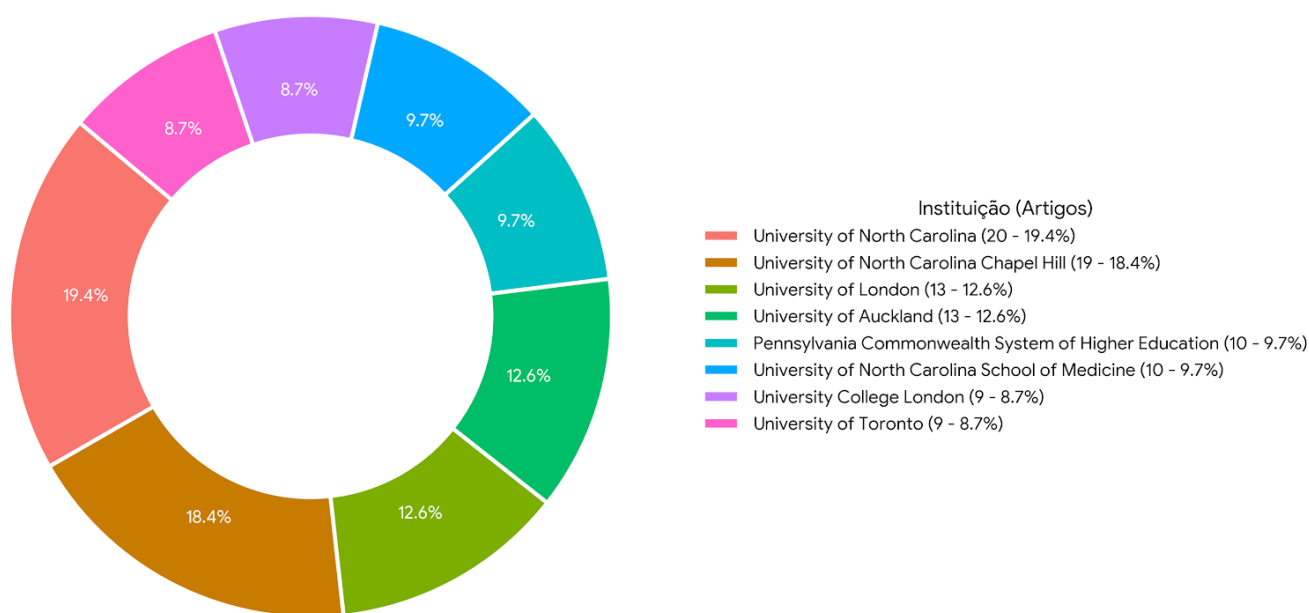
Autor	Número de artigos
Brown J	6
Jackson S	5
Shahab L	5
Bullen C	5
Jongenelis M	4
Cox S	3
Scott J	3
Bode S	3
Sheeran P	3
Watts C	3
Dessaix A	3
Freeman B	3
Hoek J	3
Wynn L	3
Barron C	3

Fonte: Autor

A recorrência desses pesquisadores demonstra a formação de grupos consolidados de investigação, responsáveis por estudos relacionados à composição química de e-liquids, avaliação de exposição, métodos analíticos, toxicologia e impactos do uso de cigarros eletrônicos na saúde pública.

Em relação às instituições, observou-se predominância de universidades localizadas em países com forte tradição em pesquisa científica e com internacionalização em seus projetos, como mostra a imagem 9.

Imagem 9 - As instituições mais produtivas



Fonte: Autor

A concentração da produção científica nessas instituições evidencia a liderança de centros de pesquisa localizados principalmente nos Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Austrália e Nova Zelândia, sendo importante ressaltar uma heterogenidade em quantidade de citações (Tabela 5) apesar de uma liderança limitada em países desenvolvidos bem como suas colaborações de produções científicas entre os países (Imagem 10) e os países com maior numero de produção científica (Imagem 11).

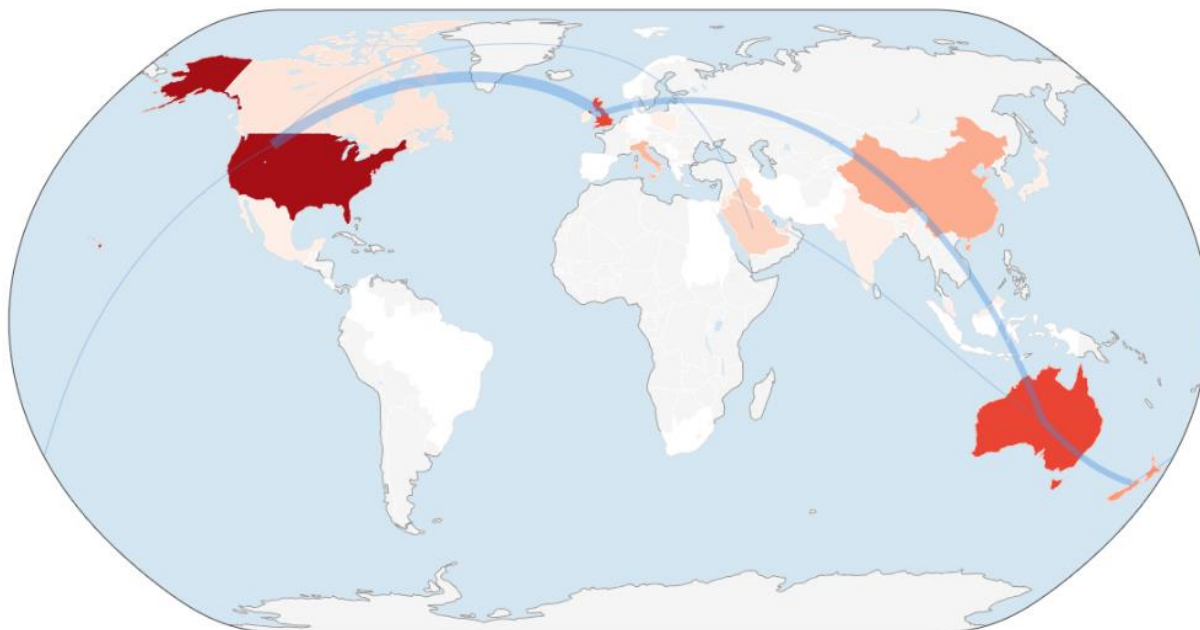
Esses resultados reforçam a existência de redes internacionais de colaboração científica voltadas à investigação dos cigarros eletrônicos, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias analíticas cada vez mais sensíveis, precisas e adequadas para o monitoramento da qualidade e segurança desses produtos.

Tabela 5 – Número de citações por países

País	Total de citações	Média de citações por artigo
USA	473	8,92
Reino Unido	157	8,26
Itália	124	17,71
Austrália	98	4,90
Paquistão	73	73,00
China	44	5,50
Nova Zelândia	38	5,43
Jordânia	29	7,25
Coreia	24	12,00
Suíça	15	15,00
Alemanha	10	3,33
Polônia	8	4,00
Índia	7	7,00
Eslovênia	7	7,00
Bélgica	6	3,00
Iráqui	5	5,00
Japão	5	2,25
Espanha	5	5,00
Canadá	3	1,00
Croácia	2	2,00

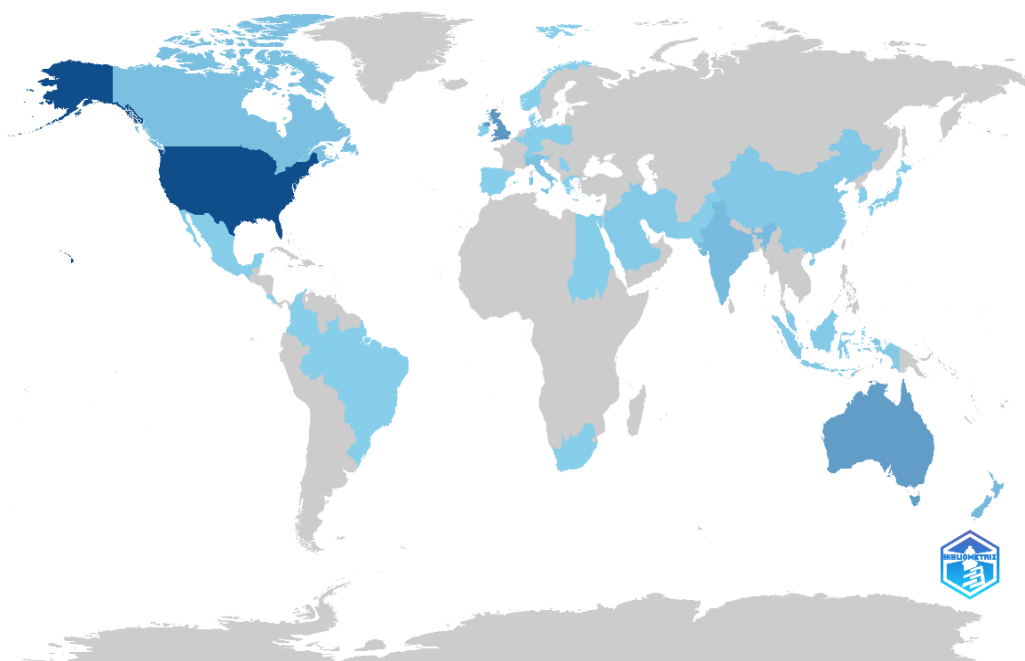
Fonte: Autor

Imagem 10 – Mapa de colaboração internacional, países com cor vermelha indicando maior número de citações e linha azul sinaliza trabalhos com colaboração de autoria.



Fonte: Autor.

Imagem 11 – Mapa de produção internacional, sinalizados de azul os com maior número de publicações.



Fonte: Autor

5.1. Principais metodologias analíticas encontradas

GC-MS é a técnica que foi predominante utilizada para identificar e quantificar compostos voláteis e semivoláteis, como aromatizantes, agentes refrescantes e produtos de degradação térmica (aldeídos e cetonas) (Dagla; Gikas; Tsarbopoulos, 2023; Rantaša; Majer; Finšgar, 2025; Simões et al., 2026).

LC-MS/MS foi utilizada para substâncias menos voláteis ou termicamente instáveis. É essencial para a quantificação precisa da nicotina, alcaloides do tabaco, adoçantes e contaminantes como PFAS e cafeína (Santos, 2020; Dagla; Gikas; Tsarbopoulos, 2023; Heide; Engelhard, 2023).

Espectrometria de massas avançada como a HRMS / identificação estrutural é uma ferramenta crucial para a identificação de compostos desconhecidos e substâncias emergentes (como novos canabinoides), permitindo a determinação da fórmula molecular exata sem a necessidade de padrões prévios (Kovach et al., 2022).

A Espectroscopia, Raman / SERS são técnicas utilizadas para a caracterização estrutural de solventes e polímeros. A técnica SERS (*Surface-Enhanced Raman Spectroscopy*) é citada como uma alternativa emergente para a dosagem rápida de nicotina (Santos, 2020).

Cromatografia líquida (HPLC) pode ser utilizada para substâncias menos voláteis ou termicamente instáveis, é essencial para a quantificação precisa da nicotina, alcaloides do tabaco, adoçantes e contaminantes como PFAS e cafeína (Santos, 2020., Ye, S. et al., 2024., Rantaša; Majer; Finšgar, 2025).

Para análise elementar / metais, o ICP-OES é o método padrão para a monitorização de metais (Al, Cu, Ni, Pb, Zn) tanto nos líquidos quanto no aerossol após a vaporização (Dill et al., 2025; Rantaša; Majer; Finšgar, 2025).

Enquanto técnicas complementares, a NMR é empregada para a confirmação estrutural definitiva de compostos complexos e análogos de drogas (Hamzah et al., 2025; Dagla; Gikas; Tsarbopoulos, 2023).

A caracterização química dos cigarros eletrônicos requer a aplicação de diferentes técnicas analíticas (Tabela 6), uma vez que os *e-liquids* e os aerossóis apresentam composição complexa, contendo compostos com distintas propriedades físico-químicas (Simões et al., 2026). Dessa forma, a escolha do método analítico depende da natureza da matriz, dos analitos de interesse e da finalidade da análise, como

identificação estrutural, quantificação ou confirmação de compostos específicos (Simões et al., 2026). Nesse contexto, diferentes técnicas cromatográficas, espectrométricas e espectroscópicas têm sido empregadas para a determinação de nicotina, aromatizantes, metais, contaminantes e canabinoides (Simões et al., 2026).

Tabela 6 – Aplicações das principais técnicas analíticas utilizadas na caracterização de cigarros eletrônicos.

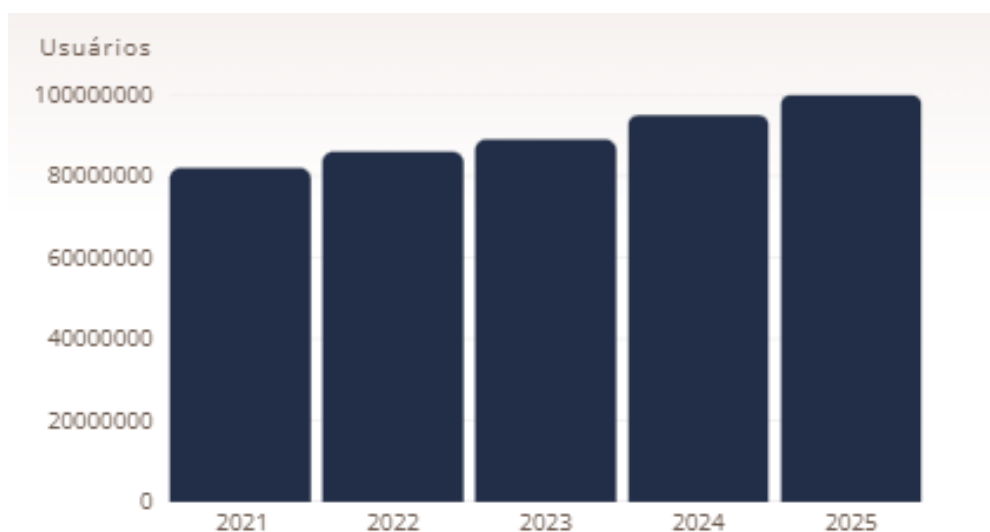
Técnica	Matriz analisada	Compostos determinados	Finalidade
GC-MS	<i>E-liquids</i> e aerossóis	Aromatizantes, agentes refrescantes, aldeídos	Qualitativa e quantitativa
LC-MS/MS	<i>E-liquids</i> , aerossóis	Nicotina, PFAS, TSNA's, cafeína, alcaloides	Qualitativa e quantitativa
Triplo quadrupolo MS/MS	<i>E-liquids</i>	Etomidato e análogos	Principalmente quantitativa e confirmatória
HRMS	<i>E-liquids</i>	Novos análogos de THC e compostos desconhecidos	Qualitativa (identificação estrutural)
Raman/SERS	<i>E-liquids</i>	Nicotina	Quantitativa
HPLC	<i>E-liquids</i>	Nicotina	Quantitativa
ICP-OES	<i>E-liquids</i> e aerossóis	Al, Cu, Ni, Pb, Zn e outros metais	Quantitativa
NMR	<i>E-liquids</i>	Confirmação estrutural de canabinoides	Qualitativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.2. Lacunas e perspectivas futuras

A análise bibliométrica realizada demonstrou que as pesquisas relacionadas aos cigarros eletrônicos apresentam crescimento expressivo nos últimos anos, 152 documentos, refletindo a expansão do consumo desses dispositivos (imagem 12) e o aumento das preocupações relacionadas à sua composição química e aos potenciais impactos sobre a saúde humana (Chong-Silva et al., 2025; Oliveira et al., 2024).

Imagem 12 – crescimento do uso de usuarios de cigarros eletrônicos ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de Global State of Tobacco Harm Reduction (GSTHR) e World Health Organization (WHO).

Entretanto, apesar do avanço observado, permanecem importantes lacunas científicas e metodológicas que dificultam a consolidação do conhecimento na área.

Uma das principais limitações identificadas refere-se à ausência de protocolos analíticos padronizados para a caracterização de e-liquids e aerossóis. Segundo Dill et al. (2025), mesmo para análises elementares, ainda existem diferenças significativas nos procedimentos de amostragem e preparo das amostras.

Outra lacuna importante está associada à constante evolução tecnológica dos cigarros eletrônicos. O surgimento frequente de novos dispositivos, formulações contendo sais de nicotina, agentes de resfriamento, compostos aromatizantes e substâncias psicoativas dificulta o acompanhamento científico e regulatório desses produtos (Eshraghian; Al-Delaimy, 2021; Reilly et al., 2024). Além disso, muitos

compostos presentes nos e-liquids possuem histórico de uso seguro em alimentos, porém carecem de avaliações toxicológicas adequadas para exposição por via inalatória (Omaiye et al., 2019).

Os resultados mostram que a maior parte das pesquisas concentram-se na determinação de nicotina, aromatizantes e compostos carbonílicos, enquanto contaminantes metálicos, produtos de degradação térmica e substâncias emergentes, como novos análogos de tetraidrocanabinol (THC), substâncias perfluoroalquiladas e polifluoroalquiladas (PFAS), agentes de resfriamento sintéticos (por exemplo, WS-3 e WS-23), alcaloides sintéticos, drogas ilícitas adicionadas aos *e-liquids* e produtos de degradação térmica ainda pouco caracterizados, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da composição química e dos potenciais impactos toxicológicos dos cigarros eletrônicos, ainda permanecem relativamente pouco explorados (Sleiman et al., 2016; Williams et al., 2013; Geiss; Bianchi; Barrero-Moreno, 2016). A formação de compostos tóxicos durante a vaporização depende de fatores como potência aplicada, temperatura da resistência e composição do e-liquid, tornando necessária a ampliação dos estudos voltados para essas variáveis (Farsalinos; Gillman, 2018; Khlystov, Samburova, 2018).

Estudos recentes demonstram a utilização de técnicas complementares, como espectroscopia Raman, NMR e métodos cromatográficos avançados para a caracterização detalhada de e-liquids e aerossóis (Hamzah et al., 2025; Ye et al., 2024).

Uma tendência, ou característica identificada consiste na integração entre técnicas analíticas e ferramentas computacionais para tratamento de grandes volumes de dados químicos. O uso de abordagens bibliométricas, quimiométricas e de mineração de dados tem contribuído para identificar padrões, tendências e lacunas de conhecimento, auxiliando no direcionamento de futuras pesquisas (Aria; Cuccurullo, 2017).

Por fim, observa-se a necessidade de fortalecimento das colaborações internacionais e do desenvolvimento de materiais de referência e protocolos harmonizados que permitam aumentar a comparabilidade dos resultados obtidos em diferentes laboratórios, uma vez que as colaborações se mostram limitadas ao norte global, em países desenvolvidos (World Health Organization, 2021; Oliveira et al., 2024). Tais avanços são fundamentais para subsidiar órgãos reguladores e contribuir para a elaboração de políticas públicas voltadas ao controle de qualidade e à avaliação

dos riscos associados aos cigarros eletrônicos (World Health Organization, 2021; Oliveira et al., 2024).

Dessa forma, as perspectivas futuras da área apontam para a ampliação do emprego de técnicas analíticas avançadas, a padronização metodológica e a investigação de substâncias emergentes, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da composição química e dos potenciais impactos toxicológicos dos cigarros eletrônicos.

6 CONCLUSÃO

A identificação das metodologias analíticas demonstrou diversas técnicas como cromatográficas acopladas à espectrometria de massas, GC-MS e LC-MS/MS, utilizadas principalmente para determinação de aromatizantes, nicotina, compostos carbonílicos, alcaloides e contaminantes emergentes. Paralelamente, técnicas como ICP-OES consolidaram-se como referência para determinação de metais provenientes das resistências dos dispositivos, enquanto HRMS e MS/MS vêm assumindo papel crescente na identificação de substâncias desconhecidas, novos análogos de THC, PFAS e produtos de degradação térmica, evidenciando uma mudança da pesquisa para métodos de alta resolução capazes de acompanhar a rápida evolução química dos e-liquids.

A análise dos aromatizantes também confirmou um dos principais problemas discutidos atualmente na literatura. Compostos amplamente utilizados pela indústria de alimentos, como vanilina, cinamaldeído, benzaldeído e etil maltol, continuam sendo considerados seguros apenas para ingestão, inexistindo evidências suficientes que garantam sua segurança após exposição por via inalatória. Além disso, verificou-se que esses compostos podem sofrer degradação térmica durante o aquecimento dos dispositivos, originando aldeídos, cetonas e outras moléculas potencialmente tóxicas, tornando evidente que a simples aprovação de uso alimentício não pode ser utilizada como parâmetro para avaliação da segurança em cigarros eletrônicos.

Os indicadores bibliométricos revelaram um campo científico em expansão. A taxa de crescimento anual de 16,5% das publicações demonstra que a comunidade científica tem direcionado esforços crescentes para compreender a composição química e os riscos associados aos cigarros eletrônicos. Entretanto, esse crescimento quantitativo não foi acompanhado por uma padronização metodológica equivalente aplicado em controle de qualidade. Observou-se elevada heterogeneidade entre os estudos, tanto na

seleção das matrizes analisadas quanto nos protocolos de coleta de aerossóis, preparo de amostras, condições experimentais, temperaturas empregadas, potência dos dispositivos e critérios de validação analítica. Essa ausência de uniformidade limita significativamente a comparação entre resultados obtidos por diferentes grupos de pesquisa.

Outro aspecto relevante identificado foi a concentração da produção científica em poucos países e instituições. Estados Unidos, Reino Unido, Itália e Austrália lideram tanto o número de publicações quanto o impacto científico das pesquisas, enquanto países latino-americanos, incluindo o Brasil, apresentam participação ainda bastante discreta. Essa concentração evidencia uma dependência da literatura produzida em países desenvolvidos, cujas condições regulatórias, disponibilidade tecnológica e características de mercado diferem significativamente da realidade brasileira. Consequentemente, permanece uma lacuna importante quanto ao desenvolvimento de protocolos adaptados ao contexto nacional e à caracterização dos produtos efetivamente comercializados no mercado brasileiro, inclusive aqueles obtidos por vias informais.

Conclui-se que os resultados obtidos evidenciam a utilização de aditivos alimentares em cigarros eletrônicos, como vanilina, etil maltol e cinamaldeído, bem como a diversidade de metodologias analíticas empregadas em sua caracterização. Assim, o avanço do conhecimento nessa área não depende apenas do aumento do número de publicações, mas, principalmente, do desenvolvimento de protocolos analíticos, materiais de referência certificados e estudos que integrem a Química Analítica, a Toxicologia, a Ciência e Tecnologia de Alimentos e a regulamentação sanitária. Nesse contexto, espera-se que este trabalho contribua para orientar futuras pesquisas, fortalecer o desenvolvimento de metodologias analíticas mais robustas e subsidiar discussões científicas e regulatórias voltadas à garantia da qualidade e da segurança dos cigarros eletrônicos.

REFERÊNCIAS

Aria, M.; Cuccurullo, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

Chong-Silva, D. C.; Pombo Sant’Anna, M. F. B.; *et al.* Electronic cigarettes: “wolves in sheep’s clothing”. *Journal of Pediatrics*, v. 101, n. 2, p. 122–132, 2025. DOI: 10.1016/j.jpeds.2024.06.015.

Dagla, K.; Gikas, E.; Tsarbopoulos, A. Analytical methodologies for the chemical characterization of electronic cigarettes and their aerosols. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*, v. 164, p. 117126, 2023. DOI: 10.1016/j.trac.2023.117126.

Dill, M.; Barhdadi, S.; Vanhee, C.; Deconinck, E. Sample preparation methods for elemental analysis in electronic cigarette aerosols: a critical review. *Analytical Methods*, v. 17, p. 1997–2014, 2025. DOI: 10.1039/D4AY02127D.

Dill, M.; Deconinck, E.; Barhdadi, S. Method development and validation of an aerosol sampling technique for the analysis of nicotine in electronic cigarette aerosols. *Molecules*, v. 29, n. 15, art. 3487, 2024. DOI: 10.3390/molecules29153487.

Eshraghian, E. A.; Al-Delaimy, W. K. A review of constituents identified in e-cigarette liquids and aerosols. *Tobacco Control*, v. 30, n. 5, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18332/tpc/131111>.

Farsalinos, K.; Gillman, G. Carbonyl emissions in e-cigarette aerosol: a systematic review and methodological considerations. *Frontiers in Physiology*, v. 8, art. 1119, 2018. DOI: 10.3389/fphys.2017.01119.

Global State of Tobacco Harm Reduction. 82 million vapers worldwide in 2021: the GSTHR estimate. London: Knowledge Action Change, 2021. Disponível em: <https://gsthr.org>. Acesso em: 07 fev. 2026.

Grana, R.; Benowitz, N.; Glantz, S. E-cigarettes: a scientific review. *Circulation*, v. 129, n. 19, p. 1972–1986, 2014. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.007667.

Geiss, O.; Bianchi, I.; Barrero-Moreno, J. Correlation of volatile carbonyl yields emitted by e-cigarettes with the temperature of the heating coil and the perceived sensorial quality of the generated vapours. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 219, n. 3, p. 268–277, 2016. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.01.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463916000158>.

Harris, T. Physical and chemical characterization of aerosols produced from experimentally designed nicotine salt-based e-liquids. *Chemical Research in Toxicology*, v. 37, n. 8, p. 1315–1328, 2024. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.4c00073.

Hamzah, N. H.; Aris, F. N. M.; Mukhni, N. H.; Balayssac, S.; Danoun, S.; Gilard, V.;

Manap, M. R. A. Dataset of NIR, MIR, FIR and NMR spectroscopy and GC-MS of real samples of e-liquids from Malaysia. *Data in Brief*, v. 60, art. 111591, 2025. DOI: 10.1016/j.dib.2025.111591.

Heide, M.; Engelhard, C. Chemical analysis of electronic cigarette liquids (e-liquids) and direct nicotine quantitation using surface-assisted flowing atmospheric-pressure afterglow desorption/ionization mass spectrometry (SA-FAPA-MS). *RSC Advances*, v. 13, p. 24150–24161, 2023. DOI: 10.1039/D3RA03931E.

Oliveira, J. M.; Gomes, L. O.; Falcão, M. M. L.; Cerqueira, J. D. M.; Duarte, P. C. T. The repercussions of vaping use on health: integrative literature review. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 11, p. e18131147228, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i11.47228.

Omaiye, E. E.; Mcwhirter, K. J.; Luo, W.; Tierney, P. A.; Pankow, J. F.; Talbot, P. High concentrations of flavor chemicals are present in electronic cigarette refill fluids. *Scientific Reports*, v. 9, art. 2468, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-39550-2.

Omcikus, Maja; Tashkin, Donald P.; Dimic-Janjic, Sanja; Barjaktarevic, Igor. *Impact of e-cigarettes and flavoured vapes on respiratory health: where are we now?* *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, v. 32, n. 2, p. 83-92, mar. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000001241>. Acesso em: 18 jul. 2026.

Reilly, S. M.; Cheng, T.; Feng, C.; Walters, M. J. Harmful and potentially harmful constituents in e-liquids and aerosols from electronic nicotine delivery systems (ENDS). *Chemical Research in Toxicology*, v. 37, n. 7, p. 1155–1170, 2024. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.4c00093.

Mercier, C.; Pourchez, J.; Leclerc, L.; Forest, V. In vitro toxicological evaluation of aerosols generated by a 4th generation vaping device using nicotine salts in an air–liquid interface system. *Respiratory Research*, v. 25, art. 75, 2024. DOI: 10.1186/s12931-024-02697-2.

Peace, M. R.; Mulder, H. A.; Baird, T. R.; Butler, K. E.; Friedrich, A. K.; Stone, J. W.; McGee Turner, J. B.; Poklis, A.; Poklis, J. L. Evaluation of nicotine and the components of e-liquids generated from e-cigarette aerosols. *Journal of Analytical Toxicology*, v. 42, n. 8, p. 537–543, 2018. DOI: 10.1093/jat/bky056.

Rantaša, M.; Majer, D.; Finšgar, M. A review of analytical techniques for the determination of e-liquid and electronic cigarette aerosol composition. *Journal of Chromatography A*, v. 1748, art. 465859, 2025. DOI: 10.1016/j.chroma.2025.465859.

Santos, Juliana da Rocha dos. Análise da associação dos perfis de expressão gênica e das concentrações de metabólitos com a resposta ao tratamento antitabagismo. 2020. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências) -Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Silva, Rodrigo Antônio Lopes da; Teixeira, Róbson Ricardo; Gazolla, Poliana Aparecida Rodrigues; Oliveira, Fabrício Marques de. Determinação de parâmetros físico-químicos de derivados triazólicos da vanilina com potencial atividade

farmacológica. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFMG, 2019. Ouro Branco: IFMG, 2019. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-antiores/resumos-2019/determinacao-de-parametros-fisico-quimicos-de-derivados-triazolicos-da-vanilina-com-potencial-atividade-farmacologica.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2026.

Sleiman, M.; Logue, J. M.; Montesinos, V. N.; Russell, M. L.; Litter, M. I.; Gundel, L. A.; Destailats, H. Emissions from electronic cigarettes: key parameters affecting the release of harmful chemicals. *Environmental Science & Technology*, v. 50, n. 17, p. 9644–9651, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.6b01741.

Simões, Ivana Ferreira; Valenzuela, Eduard F.; Souza E Souza, Laura Beatriz; Brandão, João Pedro Cezário; Santos Júnior, Aníbal de Freitas. Chemical characterization and quantification of nicotine in e-liquids consumed in Brazil using DI-SPME–GC–MS. *Talanta*, v. 301, 129317, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.129317>. Acesso em: 19 jul. 2026.

Sosnowski, T. R.; Jabłczyńska, K.; Odziomek, M.; Schlage, W. K.; Kuczaj, A. K. Physicochemical studies of direct interactions between lung surfactant and components of electronic cigarette liquid mixtures. *Inhalation Toxicology*, 2018, vol. 30, nº 4-5, p. 159-168. DOI: 10.1080/08958378.2018.1478916

Kim, J. J.; Sabatelli, N.; Tutak, W.; Giuseppetti, A.; Frukhtbeyn, S.; Shaffer, I.; Wilhide, J.; Routkevitch, D.; Ondov, J. M. Universal electronic-cigarette test: physiochemical characterization of reference e-liquid. *Tobacco Induced Diseases*, v. 15, art. 14, 2017. DOI: 10.1186/s12971-017-0119-x.

Khlystov, Andrey; Samburova, Vera. Comment on “Do flavouring compounds contribute to aldehyde emissions in e-cigarettes?”. *Food and Chemical Toxicology*, v. 120, p. 724–725, 2018. DOI: 10.1016/j.fct.2018.08.009.

Kosmider, Leon; Kimber, Catherine F.; Kurek, Jolanta; Corcoran, Olivia; Dawkins, Lynne E. Harmful and potentially harmful constituents in e-liquids and aerosols from electronic nicotine delivery systems (ENDS). *Nicotine & Tobacco Research*, v. 20, n. 8, p. 998–1003, 2018. DOI: 10.1093/ntr/nty099.

Williams, M.; Villarreal, A.; Bozhilov, K.; Lin, S.; Talbot, P. Metal and silicate particles including nanoparticles are present in electronic cigarette cartomizer fluid and aerosol. *PLoS ONE*, v. 8, n. 3, e57987, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0057987.

World Health Organization (WHO). Report on the scientific basis of tobacco product regulation: eighth report of a WHO Study Group. Geneva: World Health Organization; 2021. WHO Technical Report Series, no. 1029. ISBN: 9789240022720. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/339848>.

World Health Organization (WHO). Global report on tobacco use and e-cigarettes: trends and projections. Geneva: World Health Organization, 2025. Disponível em: <https://www.who.int>.

Ye, S.; Wen, Z.; Xie, K.; Gu, X.; Wang, J.; Tang, X.; Zhang, W. Online quantification of nicotine in e-cigarette aerosols by vacuum ultraviolet photoionization mass spectrometry. *Analytical Methods*, v. 16, p. 2732–2739, 2024. DOI: 10.1039/D4AY00279B.

Talih, Soha; Balhasa, Zainab; Salman, Rola; El-Hage, Rachel; Karaoghlanian, Nareg; El-Hellani, Ahmad; Baassiri, Mohamad; Jaroudi, Ezzat; Eissenberg, Thomas; Saliba, Najat; Shihadeh, Alan. *Transport phenomena governing nicotine emissions from electronic cigarettes: model formulation and experimental investigation*. *Aerosol Science and Technology*, v. 51, n. 1, p. 1–11, 2017. DOI: 10.1080/02786826.2016.1257853.

Zhang, Qian; Jeon, Jennifer; Goldsmith, Travis; Black, Marilyn; Greenwald, Roby. Characterization of an electronic nicotine delivery system (ENDS) aerosol generation platform to determine exposure risks. *Toxics*, v. 11, n. 2, p. 99, 2023. DOI: 10.3390/toxics11020099.