

FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA DE MOSSORÓ
CURSO DE BACHAREL EM BIOMEDICINA

ÁDILA JOHANNA DE ARAÚJO DANTAS

AVANÇOS NOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE DROGAS DE ABUSO NA
TOXICOLOGIA FORENSE – UMA REVISÃO INTEGRATIVA.

MOSSORÓ
2025

ÁDILA JOHANNA DE ARAÚJO DANTAS

**AVANÇOS NOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE DROGAS DE ABUSO NA
TOXICOLOGIA FORENSE – UMA REVISÃO INTEGRATIVA.**

Artigo Científico apresentado a Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como requisito obrigatório, para obtenção do título de Bacharel em Biomedicina.

Orientador(a): Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró/RN – FACENE/RN.
Catalogação da Publicação na Fonte. FACENE/RN – Biblioteca Sant’Ana.

D192a Dantas, Ádila Johanna de Araújo.

Avanços nos métodos de detecção de drogas de
abuso na toxicologia forense: uma revisão integrativa /
Ádila Johanna de Araújo Dantas. – Mossoró, 2025.

20 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva. Artigo científico
(Graduação em Biomedicina) –
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró.

1. Toxicologia forense. 2. Métodos analíticos. 3. Drogas
de abuso. I. Silva, Antônio Alex de Lima. II. Título.

CDU 615.9

ÁDILA JOHANNA DE ARAÚJO DANTAS

**AVANÇOS NOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE DROGAS DE ABUSO NA
TOXICOLOGIA FORENSE – UMA REVISÃO INTEGRATIVA.**

Artigo Científico apresentado a Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como requisito obrigatório, para obtenção do título de Bacharel em Biomedicina.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva – Orientador
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Prof. Esp. Jader Viana De Souza Júnior – Avaliador(a)
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Prof. Esp. José Nyedson Moura de Góis – Avaliador(a)
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

AVANÇOS NOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE DROGAS DE ABUSO NA TOXICOLOGIA FORENSE – UMA REVISÃO INTEGRATIVA.

ADVANCES IN METHODS FOR DETECTING DRUGS OF ABUSE IN FORENSIC TOXICOLOGY – AN INTEGRATIVE REVIEW.

ÁDILA JOHANNA DE ARAÚJO DANTAS

RESUMO

A toxicologia forense é fundamental na identificação e quantificação de drogas de abuso em contextos legais. O aumento do consumo dessas substâncias e o surgimento de novas drogas psicoativas têm dificultado a detecção laboratorial, exigindo métodos mais sensíveis e precisos. Técnicas tradicionais, como cromatografia e espectrometria de massas, vêm sendo aprimoradas, enquanto novas tecnologias buscam maior rapidez e sustentabilidade. Assim, este trabalho tem como objetivo descrever, por meio de revisão integrativa, os avanços nos métodos de detecção utilizados na toxicologia forense. A pesquisa foi realizada nas bases de dados PubMed e MEDLINE, utilizando os descritores “Forensic Toxicology”, “Drugs of Abuse”, “Drugs Detection” e “Analytical Methods”, combinados com o uso do conectivo booleano AND com artigos no período de 2020 a 2025, no idioma português ou inglês. Foram incluídos 8 artigos, cujo os resultados evidenciam um grande avanço dos métodos de detecção de drogas de abusos com diferentes abordagens com a finalidade de alta sensibilidade, seletividade, especificidade, baixo custo e fácil execução. Além disso, alguns métodos focam na redução de uso de solventes agressivos, que propõe uma metodologia mais sustentável. Por fim ressalta a relevância da validação para garantir resultados confiáveis no contexto toxicológico com novas abordagens, que incorporam nanotecnologias, técnicas sustentáveis e métodos de alta sensibilidade. Essas inovações contribuem para um processo pericial mais eficiente, seguro e alinhado às demandas contemporâneas da justiça e da saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicologia forense; Métodos analíticos; Drogas de abuso.

ABSTRACT

Forensic toxicology is fundamental in the identification and quantification of drugs of abuse in legal contexts. The increased consumption of these substances and the emergence of new psychoactive drugs have made laboratory detection more difficult, requiring more sensitive and precise methods. Traditional techniques, such as chromatography and mass spectrometry, are being improved, while new technologies seek greater speed and sustainability. Thus, this work aims to describe, through an integrative review, the advances in detection methods used in forensic toxicology. The research was conducted in the PubMed and MEDLINE databases, using the descriptors "Forensic Toxicology", "Drugs of Abuse", "Drugs Detection" and "Analytical Methods", combined with the use of the Boolean operator AND, with articles published between 2020 and 2025, in Portuguese or English. Eight articles were included, whose results show a great advance in drug of abuse detection methods with different approaches aimed at high sensitivity, selectivity, specificity, low cost and ease of execution. Furthermore, some methods focus on reducing the use of aggressive solvents, proposing a more sustainable methodology. Finally, it highlights the relevance of validation to ensure reliable results in the toxicological context with new approaches that incorporate nanotechnologies, sustainable techniques, and highly sensitive methods. These innovations contribute to a more efficient, safe, and aligned expert process that meets the contemporary demands of justice and public health.

KEYWORDS: Forensic toxicology; Analytical methods; Drugs of abuse.

1 INTRODUÇÃO

A toxicologia é uma ciência que estuda os efeitos nocivos causados por agentes externos químicos ou físicos em contato com o organismo e que possui uma ampla aplicação em diferentes áreas. No contexto forense, seus princípios são utilizados para detectar, qualificar e quantificar xenobióticos, sendo essencial na elucidação de crimes, na responsabilização legal de indivíduos e na garantia da justiça, fornecendo evidências científicas precisas para embasar decisões judiciais.^{1,2,3}

Nos últimos anos o consumo de drogas de abuso tem crescido significativamente, estima-se que cerca de 292 milhões de pessoas já fizeram algum uso de substâncias na vida, um aumento de 20% em dez anos.⁴ Tal consumo está fortemente ligado a fatores socioeconômicos que desencadeiam a dependência química, ocasionando uma série de problemas de saúde, inclusive o aumento do risco de contrair doenças infecciosas como HIV e hepatite C.^{5,6}

Nas últimas décadas o uso de novas substâncias sintéticas e a popularização de novas drogas psicoativas tem se intensificado.⁴ Essas substâncias são desenvolvidas para evitar controles legais, com composição química variável e efeitos imprevisíveis, o que agrava riscos à saúde pública.^{6,7,8} O surgimento dessas novas drogas e tecnologias de ponta, apresentam um desafio para toxicologia forense, exigindo novos métodos e aperfeiçoamento para acompanhar esse desenvolvimento acelerado.^{9,7}

Mediante a isso, indaga-se: quais os avanços na toxicologia forense relacionados aos métodos de detecção de drogas de abuso?

Métodos tradicionais, como cromatografia e espectrometria de massas, vêm sendo continuamente atualizados para garantir maior precisão na identificação e quantificação de drogas e seus metabólitos e novas técnicas analíticas na detecção de drogas de abuso e seus derivados têm sido desenvolvidas.¹⁰ A busca por novas abordagens analíticas que proporcionam maior sensibilidade, seletividade e confiabilidade aos resultados periciais possuem uma grande relevância científica, pois otimizam a identificação de substâncias psicoativas em diferentes matrizes biológicas, além de facilitar o andamento das investigações policiais em âmbito civil e federal.^{11,6}

A toxicologia forense desempenha um papel crucial na produção de provas técnicas que podem impactar diretamente decisões no âmbito jurídico. Nesse cenário, a utilização de métodos analíticos confiáveis é imprescindível, especialmente devido aos riscos associados a resultados falso-positivos ou falso-negativos. Adotar modelos interpretativos bem estruturados e transparentes na análise toxicológica post-mortem, a fim de minimizar erros e garantir maior rigor e justiça na elaboração de laudos periciais é essencial.¹²

Dessa forma, este trabalho justifica-se pela necessidade de reunir, por meio de uma

revisão integrativa, os principais avanços nos métodos analíticos aplicados à detecção de drogas de abuso. Ao compilar e analisar os dados mais recentes da literatura científica, a pesquisa busca contribuir para o aprimoramento das práticas toxicológicas, enfatizando a importância de técnicas mais precisas e seguras, que assegurem a confiabilidade dos laudos e a efetivação da justiça.

Neste sentido o objetivo dessa pesquisa foi descrever por meio de uma revisão integrativa os avanços dos métodos de detecção de drogas de abuso, no âmbito da toxicologia forense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho se trata de uma revisão integrativa descritiva, cujo objetivo é expor e analisar um corpo de conhecimento existente em busca de resposta científica. Além disso, essa abordagem permite uma categorização temática, com informações em dados visuais e verbais de forma empírica.¹³ Este método permite a análise e a síntese dos principais estudos disponíveis na literatura sobre os métodos de detecção de drogas de abuso, a qual permite responder a seguinte questão problema: quais os avanços na toxicologia forense relacionados aos métodos de detecção de drogas de abuso?

A revisão integrativa proporciona uma compreensão abrangente do tema, por meio de uma busca bibliográfica sistemática. Essa abordagem contribui não apenas para a formação de um panorama atual do tema, mas também para a identificação de possíveis lacunas a serem exploradas em futuras pesquisas.

A pesquisa pelos estudos desta revisão integrativa foi realizada usando bases de dados científicas, incluindo MedLine e PubMed. Para garantir maior abrangência na busca, foram utilizados Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) em inglês para uma busca mais abrangente: *Forensic Toxicology*, *Drugs of Abuse*, *Drugs Detection* e *Analytical Methods*, combinados com o uso do conectivo booleano AND para ampliar os resultados, conforme o objetivo de pesquisa. Os resultados das buscas foram filtrados com base nos critérios de inclusão e exclusão. Como critérios de inclusão foram considerados: artigos publicados nas bases de dados escolhidas, no período de 2020 a 2025, no idioma português ou inglês e com a presença dos descritores definidos, e que abordem avanços nos métodos de detecção de drogas na toxicologia forense. Como critérios de exclusão foram: artigos de revisão, trabalhos incompletos, trabalhos com títulos e resumos não relacionados ao tema.

Após a coleta de dados obtidos nos estudos selecionados, foi estabelecida uma coleta padronizada, com o objetivo de sistematizar as informações relevantes de cada artigo. A triagem inicial foi feita pela leitura dos títulos dos artigos, e os que apresentaram aderência ao tema foram submetidos à leitura do resumo, buscando integridade ao assunto relacionado, e os artigos de revisão foram excluídos aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Os artigos foram lidos na íntegra, e os que não se encaixaram na temática, foram excluídos, e em seguida analisado o cruzamento de informações, e realizada a extração e análise sistemática dos dados, por meio de um quadro-síntese, no qual foram registradas as principais informações de cada estudo, que permitiu a análise do cruzamento entre os descritores.

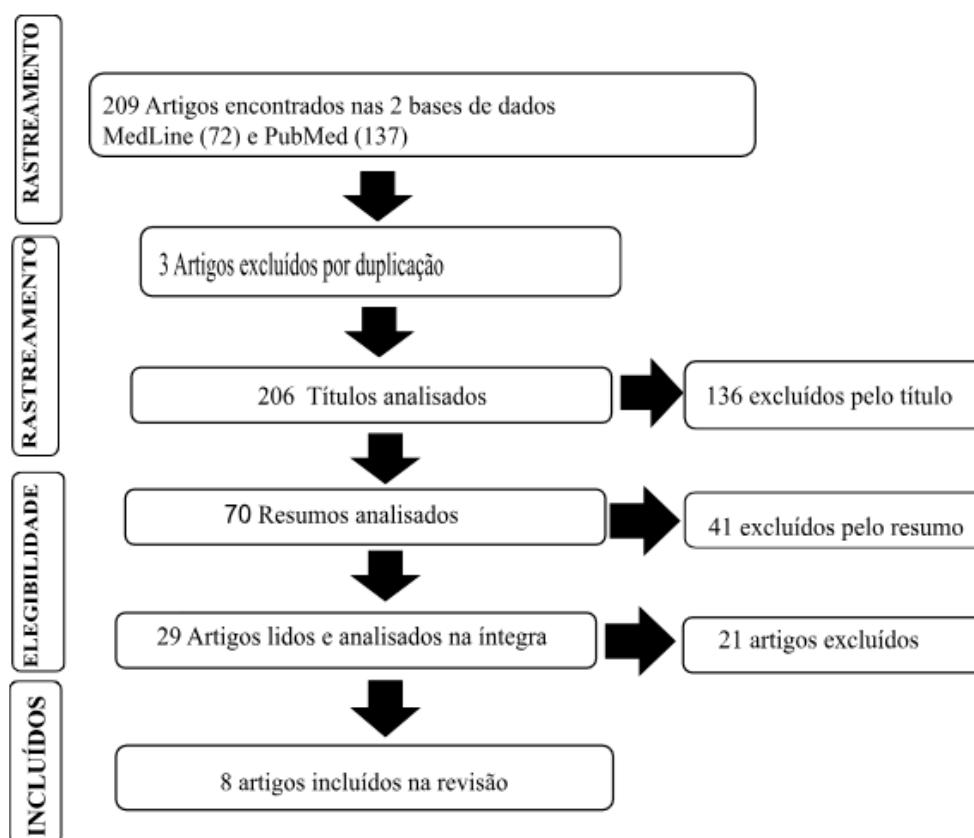
Para esta revisão integrativa, foi adotado um procedimento sistemático de coleta de dados com o objetivo de organizar e analisar, de forma padronizada, as informações extraídas dos estudos selecionados conforme os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. A coleta foi realizada em duas etapas principais, por meio da construção de dois quadros distintos, o primeiro reuniu informações descritivas dos artigos selecionados, incluindo título do artigo, autores, base de dados, periódico e ano de publicação. No segundo reuniu os dados essenciais relacionados ao conteúdo de cada estudo, como o objetivo da pesquisa, metodologia e resultados.

Os dados coletados foram submetidos a uma análise descritiva e interpretativa para apresentação dos resultados, o qual foi obtido através da leitura e compreensão. A análise dos resultados foi feita por meio de leitura e agrupamento de informações, buscando compreender a evolução dos métodos analíticos aplicados à identificação de drogas de abuso no contexto da toxicologia forense. Os dados extraídos foram sistematizados permitindo identificar tendências, abordagens recorrentes e possíveis lacunas na literatura sobre o tema. Foi realizada uma relação entre os estudos analisados e o referencial teórico, a fim de estabelecer conexões entre os dados empíricos e a base conceitual da área.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxograma apresentado na Figura 1 descreve o processo de busca e seleção dos artigos para a revisão sistemática. Inicialmente, foram encontrados 209 artigos em duas bases de dados: MEDLINE (72) e PubMed (137). Após a exclusão 139 artigos por título e após a leitura do resumo e do artigo completo onde foram excluídos mais 62 artigos, restando assim 8 títulos, os quais foram analisados.

Figura 1: Fluxograma da busca de artigos e critérios de seleção



Conforme o que foi apresentado no Quadro 01, os artigos selecionados foram publicados no período de 2020 a 2025, com predominância no ano 2023 (3 artigos). Esses dados evidenciam a busca pela temática discutida de forma progressiva na literatura científica. Esse crescimento de estudos relacionados a métodos analíticos na detecção de drogas pode estar relacionado ao surgimento de novas drogas, avanço da tecnologia, expansão do consumo e a necessidade de rapidez, sensibilidade, precisão e sustentabilidade para auxiliar investigações forenses.⁷

Quadro 01: Identificação dos estudos utilizados na construção dos resultados e discussões quanto aos nomes, autorias, bases de dados, periódicos

| Nº | IDENTIFICAÇÃO DO ESTUDO | AUTORES | BASE DE DADOS | PERIÓDICO | ANO |
|----|---|--|---------------|--|------|
| 1 | Simple Method for the Determination of THC and THC-COOH in Human Postmortem Blood Samples by Gas Chromatography—Mass Spectrometry | Ivan Álvarez-Freire, Anxa Valeiras-Fernández, Pamela Cabarcos-Fernández, Ana María Bermejo-Barrera and María Jesús Tabernero-Duque | MEDLINE | Molecules | 2023 |
| 2 | A New Multi-Analyte LC-MS-MS Screening Method for the Detection of 120 NPSs and 49 Drugs in Hair | J Rubicondo, L Scuffi, L Pietrosevoli, M Mineo, F Terranova, M Bartucca, C Trignano, E Bertol, F Vaiano | MEDLINE | Journal of Analytical Toxicology | 2022 |
| 3 | Identification and Quantitative Analysis of 2-Fluoromethamphetamine and Its Metabolites in Human Urine | Ayumu Ishii, Kazuki Sato, Kosuke Kusakabe, Noriyuki Kato, Takeshi Wada | MEDLINE | Journal of Analytical Toxicology | 2023 |
| 4 | Development of a Dispersive Liquid-Liquid Microextraction for Synthetic Cathinones in Biological Fluids Based on Principles of Green Analytical Toxicology | André Luis Fabris, Rafael Lanaro, José Luiz Costa, Mauricio Yonamine | PUBMED | Journal of Analytical Toxicology | 2023 |
| 5 | How new nanotechnologies are changing the opioid analysis scenery? A comparison with classical analytical methods | Muhammad Usman, Yawar Baig, Donatella Nardiello, Maurizio Quinto | PUBMED | Forensic Sciences Research | 2024 |
| 6 | UHPLC-MS/MS-based analysis of 17 nitazenes in human hair for practical forensic casework with simultaneous separation of 6 groups of isomers | Gao G., Yang S., Wang X., Xiang P., Ma L., Yan F., Shi Y. | PUBMED | Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis (JPBA) | 2025 |
| 7 | Ultraviolet-Visible and High-Resolution Mass Spectrometry for the Identification of Cyclopropyl-Fentanyl in the First Fatal Case in Spain | José Manuel Matey Cabañas, Carmen García-Ruiz, Gemma Montalvo García, Juan Carlos Gómez Soro, Daniel Gutiérrez Delicado, Jovita Rodríguez Gallardo, María Martínez | PUBMED | Journal of Analytical Toxicology | 2020 |
| 8 | Development and validation of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) method including 25 novel synthetic opioids in hair and subsequent analysis of a Swiss opioid consumer cohort | Max Polke, Marta Concheiro, Gail Cooper, Christian Bogdal, Markus R. Baumgartner, Thomas Krämer, Tina M. Binz | PUBMED | Drug Testing and Analysis | 2024 |

Fonte: Elaboração própria (2025)

Entre os autores dos estudos analisados, predominaram profissionais da área da saúde, especialmente toxicologistas, peritos em medicina legal e pesquisadores. Esses profissionais estão vinculados a instituições destinadas a pesquisas biomédicas, farmacêuticas e ciência em

saúde com foco na toxicologia forense. Os artigos são de origens de diferentes países enfatizando a sua importância global, eles buscam desenvolver métodos analíticos eficientes na detecção de drogas.

Os periódicos dos artigos selecionados nos quais foram publicados são de origem internacional e, em sua maioria, de acesso aberto, o que favorece a expansão do conhecimento científico e permite o acesso de resultados relevantes da toxicologia forense a pesquisadores de diferentes países e contexto. Quanto ao fator de impacto, os periódicos apresentam valores que variam entre 1,8 e 4,6, uma quantidade significativa de citações, o que demonstra sua relevância científica na área da toxicologia e ampla aceitação na comunidade internacional.

Após a seleção dos artigos que foram incluídos para base dessa pesquisa, foi realizada uma leitura preliminar de cada um, destacando seus objetivos, metodologias, resultados e conclusão, conforme detalhado no Quadro 02

Quadro 02: Identificação dos estudos selecionados para a construção dos resultados e discussões quanto aos títulos, objetivos e resultados.

| N ^o | OBJETIVO | METODOLOGIA | RESULTADOS E CONCLUSÃO |
|----------------|--|-----------------------|---|
| 1 | Desenvolver um método analítico simples e sensível para análise qualitativa e quantitativa de $\Delta 9$ -tetrahydrocannabinol ($\Delta 9$ -THC) e seu metabólito 11-nor- $\Delta 9$ -tetrahydrocannabinol-ácido carboxílico ($\Delta 9$ -THC-COOH) em sangue humano post-mortem usando GC-MS no modo de monitoramento de íons selecionados (SIM). | Pesquisa qualitativa | O método foi validado para os dois compostos, incluindo linearidade (faixa de 0,05 a 1,5 $\mu\text{g} / \text{mL}$ para $\Delta 9$ -THC e 0,08 a 1,5 $\mu\text{g} / \text{mL}$ para $\Delta 9$ -THC-COOH) e os principais parâmetros de precisão. Foi utilizada uma técnica de baixo custo, fácil execução e de alta recuperação, o que facilita sua aplicabilidade na rotina laboratorial. |
| 2 | Validar um novo método de triagem LC-MS-MS para a detecção simultânea de 120 NPSs, 43 BDZs/antidepressivos e 6 opiáceos/opioides no cabelo. | Estudo de diagnóstico | O método permitiu a identificação de 87 NPSs e 32 outros compostos, incluindo drogas "clássicas" de abuso (e seus metabólitos), opiáceos/opioides e BDZs. Possui alta sensibilidade, de baixo custo e rápido, aplicado a amostras reais, podendo ser expandido para incluir mais substâncias de acordo com a necessidade do laboratório. |
| 3 | Desenvolver e aplicar métodos analíticos para identificar e quantificar 2-FMA e seus metabólitos em urina. | Estudo de diagnóstico | Foi detectado e quantificado 2-FMA e seus metabólitos em urina humana, validando um método LC-MS/MS sensível e confiável. O estudo conclui que N-OH-2-FMA e 2-fluoroephedrine são alvos analíticos confiáveis para confirmar o uso de 2-FMA, e que a detecção de 2-FAP na urina não é suficiente para comprovar o uso desse estimulante. |

| | | | |
|---|---|----------------------|--|
| 4 | <p>Propor uma técnica com baixo impacto ambiental, mantendo a sensibilidade e robustez analítica para detecção de catinonas sintéticas em fluidos biológicos</p> | Estudo experimental | <p>O método foi desenvolvido com sucesso, mostrando uma boa sensibilidade, seletividade e adequação para a detecção das catinonas, além de gerar menos resíduos e utilizar solventes menos nocivos comparado a métodos tradicionais. A aplicabilidade do método foi comprovada com análise em amostras reais de casos, a proposta foi de uma técnica de extração simples e miniaturizada, baixos volumes de amostra e solventes menos tóxicos.</p> |
| 5 | <p>Discutir como as nanotecnologias (sensores nanoestruturados, nanomateriais, pontos quânticos, nanobiossensores) estão transformando a detecção e análise de opioides. Comparar essas técnicas emergentes com os métodos analíticos clássicos (como LC-MS/MS, GC-MS, UHPLC, espectroscopia).</p> | Pesquisa Comparativa | <p>As nanotecnologias demonstraram maior sensibilidade, com limites de detecção inferiores aos métodos convencionais, além de possibilitarem análises mais rápidas e portáteis. Observou-se também potencial para redução de custos em comparação aos equipamentos tradicionais. O estudo conclui que esses métodos ainda não alcançam a mesma confiabilidade legal e forense da LC-MS/MS, sendo mais indicados como ferramentas complementares ou de triagem preliminar, o que pode melhorar a análise de opióides.</p> |
| 6 | <p>Desenvolver e aplicar um método de UHPLC-MS/MS para identificar 17 nitazenos (novo grupo de opioides sintéticos extremamente potentes) em cabelo humano. Mostrar que é possível a separação simultânea de 6 grupos de isômeros, algo desafiador em toxicologia analítica. Testar o método em casos forenses reais.</p> | Pesquisa Aplicada | <p>O método conseguiu detectar todos os 17 nitazenos com alta sensibilidade. Conseguiu também separar simultaneamente os 6 grupos de isômeros, o que reforça a robustez do protocolo.</p> <p>Em casos práticos, foram identificados nitazenos em amostras de cabelo de interesse forense, confirmando o valor do método para toxicologia e investigações criminais. O estudo concluiu que o método é viável para a detecção de múltiplos nitazenos em cabelo humano, sendo aplicável para monitoramento de exposição ou uso da substância.</p> |
| 7 | <p>Relatar e confirmar a presença de ciclopropil-fentanil em um caso fatal ocorrido na Espanha, empregando técnicas avançadas de espectrometria de massa (UV-Vis e alta resolução).</p> | Pesquisa aplicada | <p>O ciclopropil-fentanil foi identificado de forma inequívoca nas amostras. O estudo representa o primeiro relato documentado de morte associada ao ciclopropil-fentanil na Espanha. A confirmação analítica reforça a relevância forense e clínica do monitoramento de análogos de fentanil em emergências toxicológicas. O estudo demonstra que mesmo quando não há padrão de comparação disponível, a combinação das duas técnicas</p> |

| | | | |
|---|---|----------------------|--|
| | | | convencionais com métodos de alta resolução permite distinguir isômeros de fentanil. |
| 8 | Desenvolver e validar um método analítico por cromatografia líquida-espectrometria de massa em tandem (LC-MS/MS) para detectar 25 novos opioides sintéticos (NSOs) em cabelo. Aplicar o método a uma coorte suíça de consumidores de opioides para verificar a ocorrência real desses NSOs no grupo. | Pesquisa qualitativa | O método mostrou alta sensibilidade e boa performance em todos os parâmetros de validação. Apenas 2,5% das amostras apresentaram algum NSO. Substâncias detectadas: butyrylfentanyl, acrylfentanyl, furanylfentanyl, methoxyacetylfentanyl, ocfentanil, U-47700, isobutyrylfentanyl e benzyl fentanyl. A prevalência de NSOs entre usuários de opioides na Suíça é baixa, mas o estudo destaca a importância de monitorar continuamente esses compostos devido ao seu potencial risco e conclui que o método representa uma ferramenta poderosa em análises forenses e toxicológicas rotineiras no monitoramento de uso de NSOs em populações específicas. |

Fonte: Elaboração própria (2025)

Os artigos em sua grande maioria tem como objetivo validar novos métodos de detecção de drogas, alguns com foco no baixo custo e praticidade, enquanto outros enfatizam maior especificidade e sensibilidade. Esses estudos utilizam abordagens comparativas para validação de seus métodos e buscam aplicá-los na rotina dos laboratórios toxicológicos, a fim de facilitar o fluxo de trabalho. Com base nesses objetivos foi possível identificar 3 eixos temáticos no geral, são eles: validação de novos métodos, aplicação em casos forenses e estudo de metabólitos.

Os artigos incluídos nesta revisão apresentaram predominantemente duas abordagens metodológicas: pesquisa qualitativa e estudos de diagnóstico. Os trabalhos qualitativos exploraram significados, contextos e categorias relevantes para a toxicologia forense, contribuindo para a compreensão das tendências e desafios nos métodos analíticos. Já os estudos de diagnóstico validam técnicas específicas para a detecção de drogas, fornecendo evidências concretas sobre sensibilidade, especificidade e aplicabilidade em cenários forenses.

Além dessas abordagens, os outros artigos selecionados possuem metodologias como pesquisa aplicada, comparativa e estudo experimental em seus desenvolvimentos, o que diversifica ainda mais a forma como o assunto em questão é tratado. A combinação dessas abordagens reforça a robustez das evidências reunidas na evolução dos métodos analíticos na detecção de drogas como ilustrado por Shukla *et al.*¹⁴, que executa uma revisão global de publicações que revela tanto a diversidade metodológica quanto as lacunas nos temas abordados.

Os artigos analisados buscaram responder à questão central desta revisão: quais os principais avanços dos métodos analíticos na detecção de drogas de abuso? A partir de uma análise integrativa foi possível identificar diferentes estratégias que visam maior eficiência e praticidade na rotina laboratorial, que serão abordados nos seguintes parágrafos.

J Rubicundo *et al.*¹⁵ desenvolveu um método na detecção de NPSs, BDZs/antidepressivos e outras substâncias psicoativas em amostras de cabelo, demonstrando alta seletividade e especificidade, necessidade reduzida de matriz e extração com reagentes facilmente disponíveis.

Iván Freire-Alvarez *et al.*¹⁶ propôs um método simples e específico para determinação de THC e THC-COOH em amostras de sangue post-mortem por GC-MS, utilizando extração líquido-líquido de baixo custo, fácil execução e alta taxa de recuperação.

Polke *et al.*¹⁷ desenvolveram e validaram um método sensível por LC-MS/MS para a detecção de 25 novos opioides sintéticos em amostras de cabelo, aplicando-o a uma coorte suíça de consumidores de opioides, onde identificaram uma prevalência baixa (2,5%) de substâncias como butyrylfentanyl, acrylfentanyl, furanylfentanyl e U-47700.

Gao *et al.*¹⁸ propuseram um método baseado em UHPLC-MS/MS para a determinação de 17 nitazenos em cabelo humano, com a capacidade inédita de separar simultaneamente seis grupos de isômeros, demonstrando aplicabilidade prática em casos forenses reais.

No estudo de Fabris *et al.*¹⁹, os autores propõem um método sustentável aplicando os princípios da toxicologia analítica verde, aplicável à extração de catinonas sintéticas em fluidos biológicos com o objetivo de reduzir o uso de solventes agressivos. A técnica demonstrou eficiência com uma boa sensibilidade, seletividade e adequação na detecção dessas substâncias nas matrizes biológicas analisadas.

A validação de novos métodos de detecção de drogas é de extrema relevância na toxicologia forense a fim de garantir métodos confiáveis, sensíveis e precisos. Os artigos analisados acima mostraram avanços na detecção de drogas de abuso, com métodos que apresentam alta sensibilidade, seletividade, especificidade, baixo custo e de fácil execução em comparação aos métodos tradicionais, além da redução da necessidade de matriz e abordagens mais sustentáveis.

Esses avanços indicam um esforço significativo em tornar a análise mais eficiente e aplicável em casos forenses reais, apesar de ainda existir dificuldades como as novas drogas emergentes e a padronização entre laboratórios. Portanto a validação contínua colabora não só apenas para resultados confiáveis, mas para o acompanhamento dos laboratórios frente às novas drogas emergentes e diminuição do impacto ambiental.

No estudo de Ishii *et al.*²⁰, foi possível observar avanços importantes na identificação de metabólitos do 2-FMA, especialmente com a síntese inédita do N-OH-2-FMA e da 2-fluorofedrina, que até então não estavam disponíveis como padrões analíticos. Além disso, os

autores utilizaram a técnica de LC-MS/MS com coluna PFP, o que permitiu separar regioisômeros de forma eficiente, algo que costuma ser bastante desafiador nesse tipo de análise. O método também apresentou alta sensibilidade (com limite de quantificação de 0,1 ng/mL) e recuperação acima de 96%, o que reforça a aplicabilidade na rotina forense, principalmente na detecção de análogos de anfetaminas em investigações envolvendo o uso de substâncias psicoativas emergentes.

O estudo de Matey *et al.*²¹ relata o primeiro caso fatal associado ao ciclopropil-fentanil na Espanha, utilizando espectrometria de massa de alta resolução e espectroscopia UV-Vis para confirmar a substância em amostras biológicas. O trabalho destaca a importância da aplicação de métodos sensíveis e precisos na identificação de novos opioides sintéticos, cuja estrutura química semelhante dificulta a detecção. De forma semelhante, Polke *et al.*¹⁷ também evidenciaram a presença de análogos de fentanil em cabelo humano, reforçando a necessidade de atualização constante dos métodos analíticos e dos bancos de dados toxicológicos para garantir resultados confiáveis em investigações forenses.

Usman *et al.*²² destacaram que as nanotecnologias estão transformando o cenário da análise de opioides na toxicologia forense, ao introduzirem métodos de detecção com sensibilidade e rapidez superiores às técnicas convencionais. O estudo demonstrou que nanossensores eletroquímicos, nanopartículas metálicas aplicadas à espectroscopia Raman de superfície (SERS) e pontos quânticos fluorescentes permitem a detecção ultrasensível de opioides em tempo quase real, com menor necessidade de preparo de amostra.

Em comparação aos métodos clássicos como LC-MS/MS e GC-MS, essas abordagens se mostraram mais ágeis e potencialmente mais econômicas, além de oferecerem portabilidade para uso em campo. Os autores ressaltaram, contudo, que apesar de promissoras, tais tecnologias ainda funcionam como ferramentas complementares aos métodos tradicionais, representando um avanço significativo rumo a análises mais eficientes, acessíveis e sustentáveis no contexto forense.

De forma geral, os artigos selecionados demonstraram desenvolvimento contínuo de métodos analíticos voltados à detecção de drogas. Os estudos contribuem para aprimorar a rapidez e eficiência das análises, além de trazerem diferentes abordagens, como sustentabilidade, o que amplia a capacidade dos laboratórios acompanharem os avanços tecnológicos e melhorarem a confiabilidade dos resultados.

4 CONCLUSÃO

Os artigos analisados demonstraram vários avanços nos métodos de detecção de drogas de abuso. Ao longo do trabalho foi evidenciado tanto métodos simples, voltados à especificidade, seletividade e praticidade, quanto abordagens sustentáveis e o emprego de nanotecnologias.

Com base na análise dos estudos, também foi possível identificar suas aplicações práticas no contexto toxicológico e ressaltar a relevância da validação para garantir resultados confiáveis. Apesar dos progressos observados, ainda persiste um desafio para a toxicologia forense quanto à padronização dos procedimentos laboratoriais, o que evidencia a necessidade de maior uniformização e controle de qualidade entre os laboratórios.

Dessa forma, conclui-se que os avanços observados nos métodos de detecção de drogas de abuso refletem uma transformação significativa na toxicologia forense, impulsionada pela inovação tecnológica e pela busca por resultados mais precisos e ágeis. As novas abordagens, que incorporam nanotecnologias, técnicas sustentáveis e métodos de alta sensibilidade, consolidam-se como ferramentas promissoras para aprimorar a confiabilidade das análises e fortalecer a produção de evidências científicas. Além de otimizar o desempenho laboratorial, essas inovações contribuem para um processo pericial mais eficiente, seguro e alinhado às demandas contemporâneas da justiça e da saúde pública. Diante disso, é importante que essas abordagens sejam divulgadas para que tenham um maior destaque na área da toxicologia e possam ser cada vez mais incentivadas.

REFERÊNCIAS

1. Dorta DJ, Yonamine M, Costa, Spinosa B. Toxicologia forense [Internet]. Repositorio.usp.br. 2018. Available from: <https://repositorio.usp.br/item/002919772>
2. Duarte GL. O papel da ciência forense na investigação dos crimes de homicídio. [s.l.]: [s.n.]; [s.d.].
3. Oliveira RV. Toxicologia forense: uma abordagem multidisciplinar. Rev Bras Toxicol. 2012;1–15.
4. United Nations Office on Drugs and Crime. World drug report 2024 [Internet]. [citado 2025 abr 3]. Disponível em: <https://www.unodc.org/unodc/>
5. Mota Ronzani T, Soares Pereira T, Branco Castro J, Dimenstein M. Determinantes Sociais e Dependência de Drogas.: Revisão Sistemática da Literatura. Psic.: Teor. e Pesq. [Internet]. 11º de agosto de 2023 [citado 26º de julho de 2025];39. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/revistapt/article/view/33800>
6. National Institute on Drug Abuse. Co-Occurring disorders and health conditions [Internet]. National Institute on Drug Abuse. 2024. Available from: <https://nida.nih.gov/research-topics/co-occurring-disorders-health-conditions>
7. Castro ML, et al. New psychoactive substances: Analytical challenges and toxicological implications. TrAC Trends Anal Chem. 2020;124:115803.
8. Pereira HMG, et al. Advances in forensic toxicology: Current techniques and future trends. Forensic Sci Int. 2017;281:1–13.
9. Synthetic stimulants – the current situation in Europe (European Drug Report 2024) | www.euda.europa.eu [Internet]. www.euda.europa.eu. Available from: https://www.euda.europa.eu/publications/european-drug-report/2024/synthetic-stimulants_en
10. Boscolo-Berto R. Challenges and future trends of forensic toxicology to keep a cut above the rest. Adv Clin Exp Med. 2024;33(5):423–5.
11. De Alencar K, Sampaio CG, Alves FA. Toxicologia forense: estudo bibliográfico sobre as técnicas relacionadas à química analítica nas investigações criminais. Rev Bras Criminalística. 2022;11(1):59–64.
12. Maskell PD, et al. A model of evaluative opinion to encourage greater transparency and justification of interpretation in postmortem forensic toxicology. J Anal Toxicol.

2023;47(7):563–73.

13. Botelho LLR, Cunha CC de A, Macedo M. O MÉTODO DA REVISÃO INTEGRATIVA NOS ESTUDOS ORGANIZACIONAIS. *Gestão e Sociedade*. 2011 Dec 2;5(11):121.

14. Shukla S, Khanna S, Gani Mir T ul, Dalal J, Sankhyan D, Khanna K. Emerging global trends and development in forensic toxicology: A review. *Journal of Forensic and Legal Medicine* [Internet]. 2024 Apr 1 [cited 2024 Mar 30];103:102675. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1752928X24000374#bib11>

15. Rubicondo J, Scuffi L, Pietrosevoli L, Mineo M, Terranova F, Bartucca M, et al. A New Multi-Analyte LC–MS–MS Screening Method for the Detection of 120 NPSs and 49 Drugs in Hair. *Journal of Analytical Toxicology*. 2022 Nov 1;46(9):e262–73.

16. Iván Alvarez-Freire, Anxa Valeiras-Fernández, P. Cabarcos-Fernández, Ana María Bermejo-Barrera, María Jesús Tabernero-Duque. Simple Method for the Determination of THC and THC-COOH in Human Postmortem Blood Samples by Gas Chromatography—Mass Spectrometry. 2023 Apr 20;28(8):3586–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10146061/>

17. Polke M, Concheiro M, Cooper G, Bogdal C, Baumgartner MR, Krämer T, et al. Development and validation of a liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC–MS/MS) method including 25 novel synthetic opioids in hair and subsequent analysis of a Swiss opioid consumer cohort. *Drug Testing and Analysis*. 2024 Feb 21;

18. Gao G, Yang S, Wang X, Xiang P, Ma L, Yan F, et al. UHPLC-MS/MS-based analysis of 17 nitazenes in human hair for practical forensic casework with simultaneous separation of 6 groups of isomers. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* [Internet]. 2025 Jan 31;257:116707.

19. Fabris AL, Lanaro R, Costa JL, Yonamine M. Development of a Dispersive Liquid-Liquid Microextraction for Synthetic Cathinones in Biological Fluids Based on Principles of Green Analytical Toxicology. *Journal of analytical toxicology* [Internet]. 2023 Summer;47(4):353–65. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36691915/>

20. Ishii A, Sato K, Kusakabe K, Kato N, Wada T. Identification and Quantitative Analysis of 2-Fluoromethamphetamine and Its Metabolites in Human Urine. *Journal of Analytical Toxicology*. 2022 May 14;47(1):59–65.

21. JM Matey, C García-Ruíz, G Montalvo, JC Gómez-Soro, D Gutiérrez-Delicado, J Rodríguez-Gallardo, MA Martínez et al. *J Anal Toxicol*. 2020 Dec 12;44(8):927–935. doi:10.1093/jat/bkaa081. PMID: 32715311 PubMed

22. Usman, M., Baig, Y., Nardiello, D., & Quinto, M. (2024). How new nanotechnologies are changing the opioid analysis scenery? A comparison with classical analytical methods. *Forensic Science Research*, 9(1), owae001. <https://doi.org/10.1093/fsr/owae001>