



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM QUÍMICA**

ANNE ADRIELLE CALHEIROS AURELIANO

A CONTRIBUIÇÃO DA QUÍMICA ANALÍTICA NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

**PENEDO, AL
2025**

ANNE ADRIELLE CALHEIROS AURELIANO

A CONTRIBUIÇÃO DA QUÍMICA ANALÍTICA NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Marina de Magalhães Silva

PENEDO, AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

A927c

Aureliano, Anne Adrielle Calheiros.

A contribuição da química analítica na elucidação de crimes /
Anne Adrielle Calheiros Aureliano. – 2025.
20f.

Orientação: Prof.^a Marina de Magalhães Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio
Integrado em Química) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus
Penedo*, Penedo, 2025.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Química forense. 2. Toxicologia. 3. Química analítica -
Técnicas. I. Silva, Marina de Magalhães. II. Título.

CDD:540.7

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

ANNE ADRIELLE CALHEIROS AURELIANO

A CONTRIBUIÇÃO DA QUÍMICA ANALÍTICA NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO(A) EM: 12/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Marina de Magalhães Silva

Prof^a. Dr^a. Marina de Magalhães Silva
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Amanda Luise Alves Nascimento

Prof^a. Dr^a Amanda Luise Alves Nascimento
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Amaury Franklin Benvindo Barbosa

Prof. Dr. Amaury Franklin Benvindo Barbosa
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte inesgotável de força e sabedoria, por me sustentar até este momento, por renovar meu ânimo nos dias difíceis e por colocar em meu caminho pessoas sábias e generosas que me guiaram e inspiraram. Sem essa base espiritual e esse suporte divino, esta jornada teria sido muito mais árdua.

Dirijo meu mais profundo reconhecimento à minha orientadora, Marina de Magalhães Silva. Sua confiança, paciência e dedicação foram pilares fundamentais para que eu pudesse superar desafios, encontrar motivação e crescer academicamente e pessoalmente. Seu olhar atento e suas palavras de incentivo foram luzes que iluminaram meu caminho durante a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Sou também imensamente grata ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL), que proporcionou um ambiente acolhedor, estimulante e repleto de oportunidades para o desenvolvimento do meu conhecimento na área da Química. Foi neste espaço que pude expandir meus horizontes e fortalecer meu compromisso com a ciência e a pesquisa.

Aos meus pais, dedico meu mais sincero e carinhoso agradecimento. Vocês foram meu porto seguro, sempre oferecendo amor, apoio e incentivo incondicional desde os primeiros passos desta caminhada. A presença constante de vocês, seja nas palavras, gestos ou no silêncio confortante, foi o que me manteve firme mesmo diante das dificuldades. Esta conquista é tanto minha quanto de vocês, que sempre acreditaram no meu potencial.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, direta ou indiretamente, contribuindo para que este sonho se tornasse realidade. Cada gesto de apoio, amizade e compreensão foi essencial para que eu chegasse até aqui.

A CONTRIBUIÇÃO DA QUÍMICA ANALÍTICA NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

THE CONTRIBUTION OF ANALYTICAL CHEMISTRY TO CRIME SOLVING

Anne Adrielle Calheiros Aureliano¹
Marina de Magalhães Silva²

RESUMO

Os crimes representam desafios complexos para os sistemas de segurança e Justiça, exigindo métodos científicos rigorosos para a elucidação e responsabilização dos envolvidos. A Química Analítica desempenha um papel crucial na detecção e identificação de substâncias químicas e vestígios, utilizando métodos como espectrometria de massas, cromatografia e análise de DNA. Este trabalho investiga a relação entre a Química Analítica e a investigação forense, destacando como as técnicas analíticas são aplicadas na resolução de crimes. O estudo aborda, por meio de uma revisão bibliográfica, as principais metodologias forenses, com foco nas suas contribuições para a reconstrução de cenas de crimes e a coleta de evidências precisas. A pesquisa busca compreender como essas ferramentas auxiliam a Justiça, melhorando a confiabilidade dos resultados periciais em investigações criminais. Os resultados obtidos demonstram a relevância das técnicas analíticas na consolidação de provas científicas. Verificou-se que a precisão e a especificidade dos métodos contribuem para investigações mais eficazes. A aplicação dessas ferramentas fortalece a conexão entre ciência e Justiça.

Palavras-chave: Química Forense; Toxicologia; Técnicas analíticas; Substâncias químicas; Evidências periciais.

ABSTRACT

Crimes represent complex challenges for security and justice systems, requiring rigorous scientific methods for the elucidation and accountability of those involved. Analytical Chemistry plays a crucial role in the detection and identification of chemical substances and traces, using methods such as mass spectrometry, chromatography, and DNA analysis. This work investigates the relationship between Analytical Chemistry and forensic investigation, highlighting how analytical techniques are applied in solving crimes. The study addresses, through a literature review, the main forensic methodologies, focusing on their contributions to crime scene reconstruction and the collection of precise evidence. The research aims to understand how these tools assist the justice system by improving the reliability of forensic results in criminal investigations. The results demonstrate the relevance of analytical techniques in consolidating scientific evidence. It was found that the accuracy and specificity of the methods contribute to more effective investigations.

¹ Discente do Curso Técnico Integrado em Química/IFAL. E-mail: aaca2@aluno.ifal.edu.br.

² Docente orientadora do Curso Técnico Integrado em Química/IFAL. E-mail: marina.magalhaes@ifal.edu.br.

The application of these tools strengthens the connection between science and justice.

Keywords: Forensic Chemistry; Toxicology; Analytical techniques; Chemical substances; Forensic evidence.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da criminalidade e do tráfico de drogas no Brasil tem impulsionado a necessidade de instrumentos científicos cada vez mais precisos na investigação criminal. De acordo com o Anuário Brasileiro de Segurança Pública de 2024, foram registradas mais de 1,3 milhão de ocorrências relacionadas ao tráfico de entorpecentes no país, representando um dos principais desafios para a segurança pública nacional. O impacto das drogas ilícitas vai além da saúde pública, afetando diretamente os índices de violência, como homicídios e crimes patrimoniais. Nesse cenário, a ciência forense, em especial a Química Forense, assume um papel crucial ao oferecer métodos confiáveis para a detecção, identificação e quantificação dessas substâncias, contribuindo diretamente para a responsabilização de criminosos e o combate ao narcotráfico (FBSP, 2024).

Entre os recursos mais valiosos da Química Forense está a análise de amostras biológicas, como sangue, urina, cabelo, saliva e tecidos, que podem conter vestígios de substâncias químicas relacionadas ao crime. Essas amostras são essenciais na toxicologia forense para verificar a exposição a drogas, venenos ou outros compostos químicos, sendo fundamentais na determinação de causas de morte, estados de intoxicação e tempo de exposição. Além disso, as amostras biológicas apresentam a vantagem de refletirem interações metabólicas e podem ser coletadas tanto em ambientes clínicos quanto em locais de crime, exigindo procedimentos rigorosos de preservação e análise para garantir a validade judicial dos resultados (MARQUES *et al.*, 2020; OLIVEIRA; LIMA, 2021).

A Química Forense é uma disciplina da ciência forense que utiliza conhecimentos químicos para analisar evidências em investigações criminais. Seu principal objetivo é identificar substâncias químicas e determinar sua composição, origem e possíveis implicações em um crime, contribuindo diretamente para a elucidação de casos e para a justiça criminal (SILVA, 2024). A aplicação da Química Forense é ampla e engloba diversas áreas, como a toxicologia, que analisa a presença de substâncias químicas no organismo humano; a análise de drogas

ilícitas, que permite identificar e quantificar entorpecentes apreendidos; e a identificação de explosivos e resíduos de disparos de armas de fogo, essenciais para investigações de atentados e homicídios (SILVEIRA, 2019). Além disso, técnicas avançadas, como espectrometria de massa, cromatografia gasosa e espectroscopia no infravermelho, são frequentemente empregadas para garantir a precisão das análises laboratoriais. O trabalho dos químicos forenses não se limita apenas ao laboratório, podendo atuar em locais de crime, coletando amostras e garantindo a preservação das evidências, que posteriormente serão analisadas em condições controladas.

A Química Forense é um ramo da ciência que combina princípios e técnicas químicas para investigar crimes e ajudar na administração da justiça. Desde sua origem, tem desempenhado um papel cada vez mais importante na resolução de casos criminais, fornecendo evidências científicas que podem ser usadas em tribunais de justiça. A interpretação correta dos resultados obtidos pode fornecer informações cruciais para investigações policiais, auxiliando na determinação de causas de morte, identificação de suspeitos e até mesmo na reconstituição de eventos criminosos (FRANCO, 2023). Com os avanços tecnológicos e o aperfeiçoamento de técnicas analíticas, a química forense se tornou uma ferramenta indispensável na investigação criminal moderna. Seu papel vai além da simples identificação de substâncias, pois também contribui para a comprovação científica de fatos, fortalecendo a confiabilidade das provas apresentadas no sistema judiciário. Assim, essa área do conhecimento desempenha uma função essencial na busca pela verdade e na promoção da justiça (SILVEIRA, 2019).

A Química Forense, ao integrar conhecimentos químicos com investigações criminais, tornou-se uma ferramenta indispensável na elucidação de crimes. Sua atuação vai desde a análise de substâncias tóxicas até a reconstituição de eventos com base em evidências químicas. A utilização de técnicas químicas avançadas permite a identificação de substâncias, a determinação da causa de mortes, a análise de toxinas, entre outras aplicações. Sendo assim, buscou-se o fornecimento da visão geral das contribuições da química forense para a investigação criminal e seus avanços recentes (SILVA, 2024).

Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação da Química Analítica na investigação forense, abordando as principais técnicas analíticas utilizadas na identificação de substâncias e vestígios em contextos criminais e suas aplicações

em análises técnicas no campo educacional para investigação criminal. Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, exploratória quanto ao objetivo e bibliográfica quanto ao procedimento. A busca de materiais foi realizada em bases de dados acadêmicas como Google Acadêmico, Scopus, SciELO, OASIS e BDTD, utilizando palavras-chave como "Química Forense" e/ou "Técnicas Analíticas".

2 TOXICOLOGIA FORENSE

A toxicologia forense é uma subdivisão da Química Forense responsável por detectar e analisar substâncias tóxicas, como venenos, fármacos e drogas ilícitas, em amostras biológicas humanas e animais. O processo investigativo geralmente se inicia com a aplicação de testes presuntivos, também conhecidos como testes preliminares, que são métodos rápidos, simples e de baixo custo usados para indicar a possível presença de uma substância química. Esses testes, como o teste de Marquis, Scott, Duquenois-Levine e o teste de Cobalt Thiocyanate, são fundamentais na triagem inicial, principalmente em apreensões de drogas ou exames toxicológicos, embora não apresentem valor confirmatório.

Após essa triagem inicial, procede-se com a aplicação de técnicas confirmatórias mais sofisticadas, que garantem maior especificidade e sensibilidade na identificação e quantificação das substâncias de interesse. Dentre essas técnicas, destacam-se a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS), a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), a Espectrometria de Massas com Ionização por Paper Spray (PS-MS), a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e a Espectroscopia por Dispersão de Energia (MEV-EDS). A escolha da metodologia analítica depende da matriz biológica analisada (como sangue, urina, cabelo ou vísceras) e da natureza do composto químico investigado. Essas abordagens analíticas oferecem dados robustos que auxiliam na compreensão dos efeitos das substâncias no organismo e sua correlação com mortes, alterações de comportamento ou incapacitações físicas observadas em contextos forenses (CARLINI *et al.*, 2020; LOGAN; DODSON, 2021; CLARKE'S, 2023).

A toxicologia forense integra conhecimentos da química, biologia e medicina legal, sendo essencial na resolução de casos judiciais. Essa área é tradicionalmente dividida em três ramos principais: toxicologia *post mortem*, *ante mortem* e ambiental.

A primeira é aplicada na investigação de mortes, por meio da análise de amostras biológicas coletadas em necropsias. Nesses casos, a interpretação dos resultados pode ser dificultada por processos como a autólise (decomposição inicial provocada por enzimas do próprio corpo) e a putrefação, que envolve a ação microbiana e liberação de gases e odores característicos (FISHER, 2015).

A toxicologia *ante mortem*, por outro lado, foca em indivíduos vivos, como em casos de suspeita de intoxicação ou de crimes cometidos sob influência de substâncias psicoativas. Enquanto a toxicologia ambiental, examina a presença de contaminantes químicos em solo, água ou organismos vivos, geralmente decorrentes de atividades humanas (FISHER, 2015).

No campo prático, os exames laboratoriais de toxicologia forense abrangem a identificação e quantificação de substâncias como álcool etílico, pesticidas, medicamentos, monóxido de carbono, entre outros. As matrizes biológicas analisadas incluem sangue, cabelo, urina e outros fluidos corporais, conforme a natureza do caso (GOMES, 2013). Inicialmente focada apenas na identificação de toxinas, a toxicologia forense passou, a partir do século XX, a incluir também a quantificação e contextualização dos achados, contribuindo na elucidação de overdoses, reações adversas e abuso de substâncias (SILVA *et al.*, 2014).

A etimologia do termo "forense" remete ao latim *forensis*, associado aos julgamentos públicos na Roma Antiga. Hoje, as ciências forenses reúnem diversas especialidades técnicas e científicas voltadas à promoção da justiça.

Entre as múltiplas aplicações da toxicologia forense estão a investigação de mortes suspeitas, controle de *doping*, detecção de crimes facilitados por substâncias, casos de direção sob efeito de drogas, e até situações de bioterrorismo (KETHA; GARG, 2020). Para isso, os conhecimentos em farmacocinética e farmacodinâmica são fundamentais. A farmacocinética estuda o caminho da substância no corpo (absorção, distribuição, metabolismo e excreção) enquanto a farmacodinâmica analisa os efeitos que essa substância provoca no organismo (WAGNER, 2020; FEDERICO *et al.*, 2017).

Abordagens modernas, como o uso de enzimas terapêuticas (ex.: butirilcolinesterase humana) para neutralizar cocaína, ou imunoterápicos capazes de bloquear a metanfetamina e o fentanil antes que atinjam o cérebro, são exemplos de aplicação desses conceitos (MONTROYA, 2012; ZHENG *et al.*, 2016). A farmacodinâmica, por sua vez, estuda como os compostos interagem com os

receptores do sistema nervoso central, determinando seus efeitos terapêuticos ou tóxicos (WAGNER, 2020).

A confiabilidade dos resultados depende de rígidos padrões de qualidade nos laboratórios forenses, desde a coleta até a interpretação dos dados. Esse controle envolve validação de métodos analíticos (linearidade, precisão, especificidade, entre outros) e o rigoroso cumprimento da cadeia de custódia, garantindo que as amostras não sejam adulteradas ou contaminadas durante o processo. Entre as técnicas mais modernas, destaca-se a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (HPLC-MS/MS), especialmente eficaz na triagem de compostos hidrofílicos e termolábeis (PEACOCK *et al.*, 2019; EVANS-BROWN; SEDEFOV, 2017). Essa metodologia também é essencial para identificar novas substâncias psicoativas (NSP) presentes em drogas recreativas, além de permitir análises em matrizes alternativas, como manchas de sangue secas.

Assim, a toxicologia forense configura-se como uma ciência multidisciplinar, integrando química, biologia, farmacologia e direito. Compreender os princípios toxicológicos, os efeitos dos xenobióticos e as formas de exposição é essencial para fundamentar investigações criminais, oferecendo respostas científicas que sustentam decisões judiciais éticas e precisas (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2014).

2.1 A ATUAÇÃO DO PROFISSIONAL FORENSE

O profissional que atua na área da química forense deve reunir uma combinação de habilidades técnicas avançadas, conduta ética rigorosa e um compromisso inabalável com a justiça. Sua atuação é essencial em todas as etapas do processo investigativo, desde a coleta e preservação de amostras na cena do crime até a elaboração do laudo técnico-científico, que servirá como prova em ações judiciais. Segundo Lima (2018, p. 45), "o perito forense deve garantir que sua conduta seja pautada pela imparcialidade e pela objetividade, agindo com total transparência em relação ao seu trabalho".

A metodologia aplicada e o controle rigoroso da cadeia de custódia são aspectos cruciais para garantir que os resultados obtidos sejam confiáveis e juridicamente válidos. Conforme Silva e Barbosa (2019, p. 30): "A cadeia de custódia é um dos pilares que assegura a integridade das evidências coletadas, prevenindo

contaminações ou manipulações indevidas que possam comprometer o processo legal".

A atuação do químico forense não se restringe ao ambiente investigativo, estendendo-se a laboratórios de polícia técnico-científica, institutos de criminalística, universidades e centros de pesquisa. Nesses locais, o profissional pode estar envolvido em análises de substâncias, investigações toxicológicas, identificação de vestígios biológicos, estudos sobre resíduos de explosivos, entre outros. A precisão analítica é indispensável, o que exige a escolha criteriosa das metodologias, o correto funcionamento e calibração dos instrumentos e a validação rigorosa dos métodos utilizados. Segundo Costa (2020, p. 125): "A validação de métodos é uma prática fundamental na química forense, garantindo que os processos analíticos sejam consistentes e os resultados possam ser reproduzidos em diferentes circunstâncias".

Esses cuidados são fundamentais, pois a confiabilidade das evidências depende diretamente da qualidade do trabalho técnico desenvolvido. A reprodutibilidade dos resultados é, portanto, um aspecto-chave na atuação forense. Além das competências técnicas, o perito forense deve manter uma postura ética irrepreensível. Sua função exige neutralidade e responsabilidade, assegurando que os dados obtidos sejam apresentados de forma clara, objetiva e respeitosa com todas as partes envolvidas no processo judicial. Conforme Lopes e Silva (2017, p. 200): "A ética no trabalho pericial forense não se limita à análise dos resultados, mas se estende ao respeito pelo processo judicial e pelas partes envolvidas, evitando qualquer tipo de parcialidade ou conflito de interesse".

Dessa forma, o profissional da química forense não apenas fornece subsídios técnicos às investigações, mas também contribui para a compreensão dos fatos com base em evidências científicas robustas, respeitando o devido processo legal.

3 TÉCNICAS PARA A ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

Entre os diversos métodos empregados na investigação forense, a análise de drogas e substâncias ilícitas se destaca como uma das mais demandadas. O crescimento do tráfico e do consumo de entorpecentes elevou significativamente a

necessidade por métodos analíticos que possibilitem identificações rápidas, seguras e precisas.

A química analítica desempenha papel central nesse processo, fornecendo técnicas eficientes para detectar e quantificar compostos químicos em diferentes tipos de amostras — como comprimidos, pós, líquidos ou materiais biológicos (sangue, urina e outros fluidos). Segundo Melo e Andrade (2016, p. 87):

A aplicação de métodos analíticos modernos, como a cromatografia e a espectrometria, tem sido essencial para a identificação de substâncias psicoativas, permitindo que as perícias obtenham resultados confiáveis e replicáveis, mesmo em amostras complexas ou em pequenas quantidades.

Dentre as principais técnicas empregadas em laboratórios forenses, destacam-se:

- Testes colorimétricos e de triagem: são aplicados como procedimentos iniciais em contextos forenses com o objetivo de indicar a presença provável de determinadas classes de substâncias químicas. Esses testes fazem parte dos chamados testes presuntivos, que não fornecem identificação conclusiva, mas são valiosos por sua rapidez, simplicidade e baixo custo. Eles funcionam com base em reações químicas específicas entre o reagente e o analito, resultando em mudanças de cor visíveis que sugerem a presença de um composto alvo.
- Cromatografia Gasosa (GC) e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC): promovem a separação dos componentes de uma amostra, possibilitando sua análise individualizada;
- Espectrometria de Massas (MS): utilizada para a identificação da estrutura molecular das substâncias presentes, frequentemente acoplada à GC ou HPLC;
- Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR): permite a detecção de grupos funcionais característicos das moléculas analisadas;

A aplicação integrada dessas técnicas permite a produção de laudos periciais precisos, os quais são essenciais para o embasamento técnico de processos judiciais. Em muitos casos, a confiabilidade dos resultados obtidos depende não apenas da escolha adequada do método, mas também da competência do químico forense em interpretar corretamente os dados analíticos. Como reforça Costa (2020, p. 92):

A interpretação dos resultados obtidos por técnicas instrumentais exige do perito não apenas domínio técnico, mas também compreensão aprofundada das propriedades físico-químicas das substâncias analisadas e de seus possíveis interferentes.

Portanto, o domínio dessas metodologias e sua aplicação criteriosa contribuem diretamente para o esclarecimento dos fatos em investigações criminais, sendo uma das áreas mais relevantes e sensíveis da atuação pericial em química forense.

3.1 ANÁLISE DE DROGAS E SUBSTÂNCIAS ILÍCITAS

A identificação e quantificação de substâncias ilícitas em contextos forenses exigem a aplicação de métodos analíticos com elevado grau de precisão e confiabilidade. A crescente complexidade das drogas ilícitas, aliada ao surgimento constante de novas substâncias psicoativas (NSPs), demanda do químico forense o domínio de técnicas modernas e sensíveis. Segundo Ferreira *et al.* (2021, p. 89):

A espectrometria de massas, especialmente quando acoplada à cromatografia líquida (HPLC-MS), tornou-se indispensável na análise toxicológica moderna, pela elevada seletividade e sensibilidade frente a baixos níveis de concentração.

Apesar da sofisticação e alta precisão dos métodos instrumentais modernos, os testes preliminares colorimétricos ainda desempenham um papel essencial na rotina forense, especialmente em situações que exigem respostas rápidas e operacionais, como abordagens policiais, apreensões em flagrante e perícias em locais de crime. Esses testes são utilizados como primeira linha de análise, pois permitem uma triagem ágil e de baixo custo, sem a necessidade de equipamentos laboratoriais complexos ou ambientes controlados. Sua portabilidade e facilidade de aplicação tornam-nos ideais para uso em campo, orientando de forma imediata as medidas a serem tomadas como a apreensão de material, encaminhamento para exames confirmatórios ou prisão em flagrante. Como destaca Gomes (2013, p. 30), “Os testes de triagem são frequentemente realizados no local da ocorrência, permitindo uma identificação preliminar da substância antes de análises laboratoriais mais rigorosas”.

Essas abordagens são particularmente úteis diante da rápida disseminação de NSPs, que frequentemente escapam aos protocolos padronizados de análise. A

adaptabilidade dos métodos analíticos torna-se, portanto, uma exigência constante da toxicologia forense contemporânea.

Outro aspecto crucial envolve a escolha da matriz biológica para análise, que pode impactar significativamente a detecção e interpretação dos resultados. Embora sangue e urina sejam os materiais mais utilizados, há uma valorização crescente de matrizes alternativas, como fluido oral e cabelo, devido à sua viabilidade, estabilidade e capacidade de revelar padrões de uso mais abrangentes. Silva, Guedes e Almeida (2021, p. 150) ressaltam: “O fluido oral, quando coletado em papel filtro seco (DOFS), apresenta excelente estabilidade e permite a identificação simultânea de várias classes de drogas com alta sensibilidade”.

Além disso, o uso de amostras capilares vem ganhando espaço, especialmente em contextos que exigem a avaliação de consumo crônico. Nesse sentido, Gomes (2013, p. 38) destaca: “A utilização do cabelo como matriz alternativa permite detectar o uso crônico de substâncias, refletindo o histórico de consumo do indivíduo por períodos mais longos”.

Um exemplo concreto da aplicação integrada de testes presuntivos e confirmatórios ocorreu em um caso pericial no estado de São Paulo, em que um pó branco apreendido em uma blitz foi inicialmente submetido ao teste de Scott, sugerindo a presença de cocaína. A amostra foi então analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), que confirmou a presença de cloridrato de cocaína com alta pureza. O laudo laboratorial subsidiou a denúncia formal e contribuiu diretamente para a condenação do acusado por tráfico de entorpecentes (MARTINS; OLIVEIRA; FONSECA, 2020).

A incorporação dessas novas tecnologias e abordagens analíticas tem sido essencial para manter a eficácia da química forense diante das mudanças constantes no perfil das substâncias ilícitas. O aprimoramento contínuo das metodologias é, portanto, um fator determinante para a qualidade das perícias e para a produção de laudos consistentes e juridicamente válidos.

3.2 ANÁLISE DE VESTÍGIOS BIOLÓGICOS

A análise de vestígios biológicos desempenha um papel essencial na investigação criminal, permitindo não apenas a identificação de indivíduos, mas

também a elucidação de crimes de diferentes naturezas. O uso de técnicas avançadas, como a análise de DNA, é fundamental para a produção de evidências confiáveis e robustas em cenários forenses. De acordo com Nuñez Del Prado e Reis (2019, p. 2) “A investigação criminal busca descobrir como o crime ocorreu e os envolvidos no fato, nesse contexto a utilização do DNA e das técnicas moleculares representam uma importante ferramenta utilizada pela perícia criminal para desvendar o crime.”

Essas técnicas, como a amplificação do DNA por PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), sequenciamento genético e análise de microssatélites, têm demonstrado alta sensibilidade e especificidade, permitindo a identificação precisa de vestígios biológicos, como sangue, sêmen ou células epiteliais, encontrados em cenas de crime. Além disso, a genética forense tem se tornado uma ferramenta crucial na individualização e identificação de pessoas, especialmente em casos onde os vestígios são escassos ou deteriorados. Como destacam Dias Filho e Francez (2016, p. 1): “A genética forense é um ramo da biologia forense que analisa tais vestígios e usa as leis da genética e da biologia molecular para determinar a compatibilidade e o parentesco genético, comparando padrões conhecidos com questões.”

Esse processo é particularmente útil em investigações envolvendo desaparecimentos, homicídios e outros crimes violentos, sendo aplicável até na identificação de vítimas em desastres naturais ou acidentes em larga escala. A precisão da análise genética tem permitido resolver casos complexos, tornando-se uma das ferramentas mais confiáveis na ciência forense.

Um exemplo emblemático da aplicação da genética forense ocorreu no caso das vítimas do desastre aéreo da Air France, em 2009, quando a análise do DNA permitiu a identificação de corpos fragmentados e deteriorados, proporcionando conforto às famílias e subsidiando investigações oficiais (PRADO *et al.*, 2012).

3.3 RESÍDUOS DE DISPARO DE ARMA DE FOGO E IDENTIFICAÇÃO DE EXPLOSIVOS

A identificação de resíduos de disparo de arma de fogo (*Gunshot Residue – GSR*) constitui uma etapa essencial na balística forense, desempenhando papel decisivo na reconstrução de crimes envolvendo armas de fogo. A detecção desses

resíduos permite inferir se um indivíduo efetuou um disparo, esteve nas proximidades do evento ou manuseou uma arma recentemente. Segundo Duarte (2014, p. 22): “Os resíduos de disparo de arma de fogo consistem em partículas provenientes da combustão incompleta da espoleta, propelente e componentes da cápsula, que podem aderir à pele, roupas e objetos próximos ao disparo.”

A caracterização química do GSR é fundamental para distinguir entre resíduos típicos (provenientes do disparo) e atípicos (provenientes de outras fontes de contaminação ambiental). Para essa finalidade, técnicas de alta sensibilidade têm sido amplamente empregadas, com destaque para a microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia por dispersão de energia (MEV-EDS), que permite identificar e caracterizar as partículas quanto à morfologia e à composição elementar.

Com os avanços tecnológicos das últimas décadas, outras técnicas analíticas passaram a integrar os protocolos forenses, oferecendo maior precisão e adaptabilidade. Ferreira (2020, p. 45) ressalta a eficiência de métodos como a fluorescência de raios X por reflexão total (TXRF) e a espectrometria de massas com ionização por *paper spray* (PS-MS), que possibilitam análises diretas em amostras ambientais ou biológicas com elevada resolução e praticidade. Além dessas, os métodos eletroquímicos também vêm se destacando. Monteiro Filho (2018, p. 57) evidencia: “A voltametria de redissolução anódica oferece um método simples e econômico para identificar elementos metálicos constituintes do GSR, como chumbo, bário e antimônio.”

Tais inovações ampliam o escopo de atuação da química forense, principalmente em situações em que não se dispõe de equipamentos de grande porte, permitindo maior acessibilidade e agilidade nas investigações.

Outro fator relevante diz respeito ao comportamento dos resíduos em diferentes superfícies e ao longo do tempo. A persistência do GSR pode ser comprometida por fatores externos como lavagem, vento ou atrito, dificultando sua detecção em certas circunstâncias. Vanini (2014, p. 33) observa que:

“A detecção de resíduos de disparo pode ser dificultada pela lavagem das mãos, ação do vento ou até mesmo pelo tempo decorrido desde o disparo, o que exige metodologias sensíveis e protocolos rigorosos de coleta e análise.

Essas variáveis interferem diretamente na validade dos resultados periciais, uma vez que os resíduos são suscetíveis à degradação ou contaminação cruzada. Portanto, é imprescindível a atuação integrada entre a química analítica e os procedimentos investigativos, assegurando a confiabilidade das evidências coletadas e a robustez das conclusões obtidas.

A identificação de explosivos constitui uma das áreas mais sensíveis e estratégicas da química forense, especialmente em contextos de atentados terroristas, acidentes industriais e crimes envolvendo artefatos explosivos improvisados (Improvised Explosive Devices – IEDs). A análise adequada desses materiais é fundamental para elucidar as causas do evento, identificar responsáveis e prevenir novas ocorrências. Quando se trata de explosivos inorgânicos (nitratos, cloratos e percloratos), a cromatografia iônica tem se destacado como uma das técnicas mais empregadas, devido à sua elevada sensibilidade, seletividade e robustez. Conforme estudo de FERREIRA, Luisa (2020): “A cromatografia iônica é considerada o método de preferência para análise de íons inorgânicos, pois apresenta alta sensibilidade e alta seletividade, além de ser uma técnica robusta e confiável.”

Além da eficiência analítica, ressalta-se que a etapa de amostragem é crítica para o sucesso da análise. Segundo Vilas Boas (2017, p. 60): “A etapa crucial na análise de explosivos por cromatografia iônica provavelmente é a amostragem”, reforçando a importância de procedimentos rigorosos desde o momento da coleta no local da ocorrência até o processamento laboratorial.

No caso dos explosivos orgânicos — como TNT (trinitrotolueno), PETN (pentaeritritol tetranitrato) e RDX (ciclonita) —, a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), geralmente associada à detecção por UV-vis, apresenta resultados bastante promissores. Estudos realizados no Instituto Politécnico de Lisboa demonstraram avanços importantes nessa área. Conforme Moura (2022, p. 63): “O novo método de ensaio desenvolvido demonstrou ser um método mais rápido na análise de explosivos quando comparado com o anterior método.” Esse desenvolvimento permitiu a identificação de até quinze substâncias explosivas em misturas complexas, o que evidencia a aplicabilidade da HPLC em exames periciais de alta exigência. Sua precisão, aliada à rapidez na detecção de compostos

orgânicos voláteis, mantém essa técnica entre as preferidas nos laboratórios forenses.

Outro aspecto fundamental na análise de explosivos diz respeito à padronização dos procedimentos investigativos. A adoção de protocolos internacionalmente reconhecidos garante a confiabilidade dos resultados, a rastreabilidade das evidências e a aceitação jurídica dos laudos periciais. Nesse contexto, destaca-se a utilização do protocolo NFPA 1033, voltado à investigação de incêndios e explosões. Cotomacio (2020, p. 73) afirma: “A aplicação do protocolo NFPA 1033 no exame pericial de explosão [...] culminou na confirmação de sua importância como um protocolo padrão de atuação na realização de exames periciais de incêndio e explosão.”

A implementação de tais normas contribui para a sistematização das práticas periciais, assegurando maior uniformidade na condução de investigações técnico-científicas e fortalecendo a credibilidade das conclusões apresentadas em processos judiciais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre a Química Analítica e a investigação forense foi analisada sob a perspectiva da aplicação de técnicas analíticas no processo de identificação de substâncias e vestígios em contextos criminais. Ao longo da pesquisa, foi possível perceber a relevância de métodos como cromatografia, espectrometria e análise genética, que se mostram essenciais para a precisão e confiabilidade das evidências forenses.

Embora não tenha sido realizada uma investigação prática, a revisão teórica permitiu a compreensão de como essas técnicas podem contribuir significativamente para a elucidação de crimes, seja na identificação de substâncias psicoativas, resíduos de disparo de arma de fogo, explosivos ou vestígios biológicos. A utilização dessas metodologias demonstra uma efetiva colaboração entre a ciência química e a investigação criminal, garantindo resultados mais detalhados e confiáveis.

O estudo também evidenciou a constante evolução das técnicas forenses, com novos métodos sendo desenvolvidos para aprimorar a sensibilidade e a rapidez nas análises, o que reforça a necessidade de um acompanhamento contínuo dos avanços tecnológicos no campo da Química Analítica aplicada à criminologia.

Em suma, a pesquisa reafirma a importância de integrar a Química Analítica ao processo investigativo, oferecendo bases teóricas que fundamentam futuras práticas forenses, permitindo um aprofundamento no uso de técnicas cada vez mais sofisticadas e precisas, que podem melhorar a qualidade das evidências e, conseqüentemente, a justiça nos processos judiciais.

REFERÊNCIAS

CARLINI, Elisaldo L. et al. **Toxicologia Forense e Substâncias Psicoativas: Uma abordagem científica e legal**. São Paulo: Atheneu, 2020.

CLARKE'S ANALYSIS OF DRUGS AND POISONS. In **pharmaceuticals, body fluids and postmortem material**. 5. ed. London: Pharmaceutical Press, 2023.

COTOMACIO, A. C. **A aplicação do protocolo NFPA 1033 no exame pericial de explosão: o caso da fogueira de Osasco-SP**. Revista Brasileira de Criminalística, v. 9, n. 1, p. 69–74, 2020. Disponível em: <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/download/402/pdf/1847>. Acesso em: 10 maio 2025.

DIAS FILHO, B. P.; FRANCEZ, P. A. **Genética Forense: Uma revisão sobre vestígios biológicos**. INPEB, 2016.

DUARTE, Anaí. **Caracterização Elementar de Resíduos de Disparo de Armas de Fogo Gerados por Munição de Fabricação Brasileira**. 2014. 167 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/119121>. Acesso em: 10 maio 2025.

EVANS-BROWN, M.; SEDEFOV, R. **New psychoactive substances: driving greater complexity into the drug problem**. *Addiction*, v. 112, n. 1, p. 36–38, 2017.

EVANS-BROWN, M.; SEDEFOV, R. **New psychoactive substances: global markets, global threats and the COVID-19 pandemic**. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017. Disponível em: https://www.emcdda.europa.eu/publications/joint-publications/europol-emcdda-2020_en. Acesso em: 10 maio 2025.

FBSP – FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **18º Anuário Brasileiro de Segurança Pública**: 2024. São Paulo: FBSP, 2024. Disponível em: <https://forumseguranca.org.br>. Acesso em: 14 jun. 2025.

FERREIRA, E. L. et al. **Aplicações da cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas na toxicologia forense**. Revista Brasileira de Criminalística, Brasília, v. 10, n. 2, p. 88-99, 2021. Disponível em: <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/787>. Acesso em: 10 maio 2025.

FERREIRA, Luisa Pereira e. **Identificação e Discriminação de Resíduos de Disparo de Arma de Fogo por Fluorescência de Raios X por Reflexão Total, Espectrometria de Massas com Ionização por Paper Spray e Técnicas Quimiométricas**. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35892>. Acesso em: 10 maio 2025.

FISHER, M. A. **Análises toxicológicas de emergência**. In: OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. Fundamentos de toxicologia. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 554-561. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/eps-1549>. Acesso em: 10 maio 2025.

FISHER, M. B. **Principles of Forensic Toxicology**. 4. ed. Illinois: Springer Publishing, 2015.

FRANCO, Monique Guimarães. **Percepções de licenciandos/as em Química sobre Química Forense**. 2023. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/39461/1/Percep%ca7%ca3oLicenciandosQu%cadmica.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2025.

GOMES, Miriam Silva. **Contributo da Química Forense na Detecção de Drogas de Abuso**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/10074/1/ulfc105875_tm_Miriam_Gomes.pdf. Acesso em: 10 maio 2025.

GOMES, P. A. M.; PASSAGLI, M. F. **Toxicologia Forense - Teoria e Prática**. Revista Brasileira de Criminalística, v. 2, n. 1, p. 52, 2013. Disponível em: <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/35>. Acesso em: 10 maio 2025.

KETHA, H.; GARG, U. **Drug testing in alternate biological specimens**. Totowa, NJ: Humana Press, 2020.

LIMA, R. F. **Ética e Prática Pericial: Fundamentos e Aplicações no Sistema Judicial**. Rio de Janeiro: Editora Jurídica, 2018.

LOGAN, Barry K.; DODSON, Tim S. **Identification and Confirmation of Drugs in Biological Samples**. In: KRUSZELNICKI, Karl J. (ed.). *Forensic Toxicology: Principles and Concepts*. 2. ed. New York: Springer, 2021. p. 143–181.

LOPES, A. S.; SILVA, M. R. **A Ética no Processo Pericial: Práticas e Desafios no Sistema Criminal**. Curitiba: Editora Forense, 2017.

MARTINS, Juliana R.; OLIVEIRA, Caio V.; FONSECA, Mirela T. **Aplicação de testes presuntivos e confirmatórios na caracterização de drogas ilícitas: estudo de caso em São Paulo**. *Revista Brasileira de Ciências Forenses*, v. 8, n. 1, p. 77–85, 2020.

MONTEIRO FILHO, Carlos Fernando Pessoa. **Identificação de Resíduos de Disparo de Arma de Fogo através de Técnicas Eletroquímicas**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/44540>. Acesso em: 10 maio 2025.

MONTOYA, I. D. **The use of butyrylcholinesterase for the treatment of cocaine toxicity: a review**. *Substance Use & Misuse*, v. 47, n. 1, p. 1-6, 2012.

NUÑEZ DEL PRADO, C. C.; REIS, M. F. dos. **Vestígios Biológicos e Técnicas Moleculares Aplicadas na Investigação Criminal**. Brasília: Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2019.

PEACOCK, A. et al. **New psychoactive substances: challenges for toxicology and drug monitoring**. *Therapeutic Drug Monitoring*, v. 41, n. 2, p. 169–178, 2019.

PRADO, Nuñez del et al. **Aplicações da genética forense na identificação de vítimas em desastres: o caso do acidente aéreo da Air France**. *Revista Brasileira de Ciências Forenses*, v. 8, n. 2, p. 45-53, 2012.

SILVA, Camila Ferreira da. **Química Forense E Suas Aplicações Em Técnicas Analíticas**. 2024. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2024.

SILVA, João Vitor Veloso. **Química Forense: A Utilização Da Química Na Identificação De Entorpecentes**. 2024. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/1f88e811-57c4-4ca9-b9ad-f1aae9a602d6/conten>. Acesso em: 01 abr. 2025.

SILVEIRA, Arieli Matos da. **Química Forense No Ensino De Química: O Que Nos Diz A Literatura?** 2019. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/123456789/33524>.

