

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO
CURSO TÉCNICO EM ANÁLISES CLÍNICAS INTEGRADO AO ENSINO MÉDIO

Maria Clara Barbosa Ferreira de França

**QUÍMICA FORENSE E OS MÉTODOS ANALÍTICOS
UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE DROGAS DE ABUSO**

Rio de Janeiro

2023

Maria Clara Barbosa Ferreira de França

**QUÍMICA FORENSE E OS MÉTODOS ANALÍTICOS
UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE DROGAS DE ABUSO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para aprovação no Curso Técnico em Análises Clínicas.

Orientadora: Virginia de Lourdes Mendes Finete

Rio de Janeiro

2023

Maria Clara Barbosa Ferreira de França

QUÍMICA FORENSE E OS MÉTODOS ANALÍTICOS
UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE DROGAS DE ABUSO

Monografia apresentada como requisito parcial
para aprovação no Curso Técnico em Análises
Clínicas.

Aprovado em 23 /11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Mônica Mendes Caminha Murito
EPSJV/FIOCRUZ

Tainah Silva Galdino de Paula
EPSJV/FIOCRUZ

Virginia de Lourdes Mendes Finete
EPSJV/FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir completar mais esta etapa da minha vida e por todos os acontecimentos bons e momentos felizes que me proporcionou.

Agradeço à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio e à Fundação Oswaldo Cruz pela minha formação acadêmica, e aos professores e profissionais desta instituição que fizeram parte da minha trajetória. Obrigado por ampliarem minha visão de mundo e por impulsionarem meus sonhos. Um dos meus maiores orgulhos da vida será ter feito parte desse lugar e dessa história.

Agradeço com imenso carinho à minha orientadora, Prof.^a Virginia Finete, por todo o auxílio, conselhos, correções, cumplicidade e pela confiança depositada em mim e neste trabalho durante esses dois anos de escrita. A senhora foi um grande exemplo durante o desenvolvimento desta monografia, sua preocupação e carinho foram elementos essenciais para o meu progresso, não apenas na escrita, mas em meu progresso como ser humano. Obrigada por ser tão atenciosa como orientadora, tão dedicada como professora e tão amável como pessoa. Sou grata por tê-la tido em minha jornada e sentirei muita falta de nossas conversas e orientações. Você é um dos presentes mais especiais que ganhei e levarei dessa instituição.

Agradeço às queridas docentes que compuseram minha banca examinadora, Tainah Galdino e Mônica Murito. Obrigada pelas sugestões, trocas e conselhos que enriqueceram e muito meu trabalho neste período de qualificação até a defesa. Sou grata também por todos os ensinamentos e amizade desenvolvida durante estes anos, além de banca são professoras que marcaram de forma muito especial minha trajetória neste colégio, contribuindo grandemente para a minha formação profissional. Pessoas que lembrarei com muito carinho.

Agradeço as Prof^{as} Fernanda Bottino e Tainah Galdino, por me inserirem na área da pesquisa acadêmica através das aulas de metodologia de pesquisa do PTCC. Esse processo de escrita da monografia, que era tão temido, se tornou mais leve por causa de vocês, que com toda paciência me auxiliaram em todas as etapas dessa caminhada, desde a escolha do tema até aqui. Obrigada pela troca de conhecimentos e por terem sido minhas professoras.

Agradeço com muito amor à minha família e amigos, que foram e são minha fonte de força e apoio. Minha mãe, Ana Paula Barbosa Fernandes e minhas irmãs, Lorena, Luiza e Rebeca, pessoas que amo mais do que tudo nessa vida, por sempre me incentivarem. Amigos que fiz em minha jornada nessa instituição, Ana Beatriz Sales, Carlos Alberto Mendes Júnior, Kauã Krauss e Sabrina Souza Alves, que durante toda esta trajetória de aprendizado estiveram comigo. Minhas amigas queridas que, mesmo não vivenciando de perto minha jornada, foram extremamente importantes no meu progresso, Cristiana Vitória Frutuoso, Letícia Ferreira Lopes, Marcella Santana Diniz Rocha e Mylena Beatriz Raimundo. A vida se torna melhor de ser vivida porque vocês estão nela, e tenho muita sorte por poder contar com cada um. Obrigada por tudo, eu amo muito vocês.

Por fim, agradeço a mim mesma, por não ter desistido e pela determinação até o fim. Tenho muito orgulho do que você construiu até aqui.

*“I love myself,
I trust myself,
These are the words that will embrace me.”
(Kim Taeyeon – Dear Me)*

RESUMO

O estudo forense por meio da química se dá pelo desenvolvimento e realização de métodos analíticos que têm como objetivo identificar e quantificar substâncias, a fim de ser um auxílio no processo de elucidação de crimes. Em um cenário de casos elevados de dependência química no Brasil e no mundo, muitas pessoas são afetadas pelo vício em drogas e, como consequência, acabam adquirindo problemas de saúde. Com as drogas presentes em diversos meios da sociedade, afetando a população e infringindo leis, a análise dessas substâncias através de uma base criminal se torna essencial, visto que este contexto abre portas para diferentes crimes que podem ser cometidos envolvendo essas drogas. A partir disto, a realização de um trabalho com esse intuito mostra-se relevante, pois além do fato da alta dependência química na população e as consequências na área criminal que isso traz, existe também a negligência na área forense pela falta de conhecimento das pessoas acerca do assunto e de atenção ao estudo da ciência judicial. Logo, os objetivos deste trabalho visam investigar e explicar quais são os tipos de técnicas analíticas usadas na química forense em situações relacionadas a drogas em geral (lícitas e ilícitas) e como elas funcionam, para trazer compreensão desses acontecimentos em uma visão mais aprofundada, mostrando a importância dessa ciência. Foi utilizada a metodologia qualitativa, por meio de revisão da literatura científica de artigos, livros, vídeos e trabalhos em bases de dados como LILACS, Google Scholar e SciELO, no período compreendido entre os anos de 1990 e 2023. Espera-se que esta monografia seja uma fonte de conhecimento científico ao leitor, para que ele compreenda a relevância deste estudo e a importância das metodologias analíticas aplicadas em química forense e utilizadas no campo da perícia criminal, para o combate à criminalidade envolvendo drogas de abuso.

Palavras-chave: Química forense; Drogas de abuso; Metodologias analíticas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica da reação entre a molécula de ninidrina e o aminoácido (Fonte:CSIC-CIB).....	11
Figura 2 - Impressões digitais reveladas com solução de ninidrina em papel (Fonte: CHEMELLO, 2006).	11
Figura 3 – Representação gráfica da reação química geral da molécula de luminol (Fonte:VASCONCELLOS; PAULA, 2017).	12
Figura 4 - Luz azulada fosforescente gerada pela interação da mistura de luminol e da proteína hemoglobina (Fonte: CAVALCANTI; BARROS, 2016).	13
Figura 5 – Ilustração do primeiro aparato cromatográfico criado por Mikhail Semenovitch Tswett em 1906, com cinco colunas cromatográficas e trompas d'água (Fonte: CMS Científica, 2019).....	16
Figura 6 – Principais partes e funções do SNC (Sistema Nervoso Central) (Fonte: Adaptado de ADUR, 2006).	22
Figura 7- Índices globais do mecanismo de homicídios cometidos no ano de 2012 em todos os continentes (Fonte: Adaptado de United Nations Office on Drugs and Crime /Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crimes, 2013).....	25
Figura 8 - Índices de vítimas de homicídio e agressores sob efeitos de drogas psicoativas no momento do crime entre os anos de 2003 e 2006 na Suécia e Finlândia (Fonte: Adaptado de United Nations Office on Drugs and Crime/ Escritório das Nações Unidas).	26
Figura 9 - Ilustração da migração diferencial realizada dentro de uma coluna, na fase estacionária de um cromatógrafo, de dois componentes de uma mistura (amostra), representados pelas bolas e quadrados na imagem (Fonte: AMORIM, 2019).....	33
Figura 10 - Representação esquemática dos diferentes tipos de sistemas cromatográficos (Fonte: AMORIM, 2019).	35
Figura 11 - Partes da instrumentação esquematizada de um cromatógrafo gasoso (Fonte: NASCIMENTO et al., 2018).	36
Figura 12 - Cromatograma referente à determinação de etanol em amostras de sangue por CG, utilizando coluna capilar de sílica, com detector de ionização de chama (DIC) e t-butanol como padrão interno (Fonte: adaptado de REGO, 2008).	37
Figura 13 - Partes da instrumentação esquematizada de um cromatógrafo de alta eficiência (Fonte: VALIM, 2020).....	38

Figura 14 - Esquema das partes fundamentais de um espectrômetro de massas (Fonte: PAVIA apud LACOM, 2010).	40
Figura 15 – Esquema representativo da ionização por impacto de elétrons, com a formação do íon molecular (cátion radical) (Fonte: BRONDANI, 2019).....	41
Figura 16 – Representação da formação da estrutura CH_5^+ (Fonte: BRONDANI, 2019).....	42
Figura 17 - Representação da ionização por electrospray (Fonte: adaptado de BRONDANI, 2019).....	43
Figura 18- Analisador de massas quadrupolo (Fonte: adaptado de GATES, 2014).....	44
Figura 19- Esquema de um analisador de tempo de vôle (Fonte: CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).	45
Figura 20- Diagrama esquemático de um espectrômetro de massas (Fonte: ROMÃO, 2010).....	46
Figura 21 - Esquema representativo do acoplamento das técnicas CG e EM com ionização por impacto de elétrons e analisador de massas quadrupolo (Fonte: HARRIS, 2001).	47
Figura 22 - Espectro de massas do THC, principal componente ativo da maconha, obtido por ionização por impacto de elétrons (EI), em que se observa o pico molecular 314 (Fonte: adaptado de RUPPEL, 2011 apud CUNHA et al., 2015).	48
Figura 23 - Espectro de massas da cocaína apresentando os principais picos de massas (m/z) da cocaína em 82, 182 e 304, obtido a partir de sistema CLAE/EM e ionização por electrospray (ESI) (Fonte: adaptado de PASSAGLI, 2013 apud CUNHA et al., 2015)	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais entorpecentes de cada grupo de drogas psicoativas (Fonte: Adaptado de Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas, CEBRID, 2022).	23
Tabela 2 - Uso de drogas nas regiões de 108 cidades com mais de 200 mil habitantes do Brasil, exceto álcool e tabaco, em entrevista feita entre os anos de 2001 e 2005, levando em consideração o sexo e faixa etária dos entrevistados (Fonte: CARLINI et al., 2022).	24
Tabela 3 - Testes colorimétricos mais utilizados na detecção de álcool, maconha e cocaína.	32
Tabela 4 – Exemplos de utilização das técnicas analíticas instrumentais estudadas e sua aplicação em química forense, para determinação de álcool, maconha e cocaína.....	49

LISTA DE SIGLAS

CLAE – Cromatografia líquida de alta eficiência

EPSJV – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio

HPLC – High-Performance Liquid Chromatography

CG– Cromatografia gasosa

EM – Espectrometria de massas

RP– Púrpura de Ruhemann

MS – Mass Spectrometry

APCI - Atmospheric Pressure Chemical ou Ionização Química à Pressão Atmosférica

ESI – Ionização por Electrospray

m/z – razão entre massa e carga

SNC – Sistema Nervoso Central

OMS – Organização Mundial de Saúde

CSI – Crime Scene Investigation

NBC – National Broadcasting Company

CBS – Columbia Broadcasting System

SISNAD – Sistema Nacional de Políticas Públicas sobre Drogas

CEBRID – Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo

SENAD – Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas

UNODC – United Nations Office on Drugs and Crime/Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crimes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1 – Objetivo geral	6
2.2 – Objetivos específicos	6
3. METODOLOGIA	7
4. CAPÍTULO 1 – A IMPORTÂNCIA DA QUÍMICA FORENSE NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES	8
4.1- Introdução sobre a química e a aplicação dos seus estudos na área forense.....	8
4.2- História da química forense na humanidade	9
4.3 -Histórico do desenvolvimento das técnicas analíticas aplicadas à química forense...	14
4.4- A química forense representada em séries televisivas	18
5. CAPÍTULO 2 - TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS EM QUÍMICA FORENSE PARA A DETERMINAÇÃO DAS PRINCIPAIS DROGAS DE ABUSO.	21
5.1 - Principais investigações criminais na identificação de drogas.....	21
5.2 - Principais drogas de abuso no cenário da química forense	22
5.3 - Principais métodos analíticos aplicados na identificação de drogas de abuso na área forense	30
5.4 – Métodos colorimétricos	31
5.5 – Cromatografia.....	33
5.5.1 - Cromatografia Gasosa (CG).....	35
5.5.2 - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)	38
5.6 – Espectrometria de Massas (EM).....	39
5.7 - Acoplamento de técnicas analíticas e exemplos de sua aplicação na determinação de drogas de abuso	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

A Ciência Forense é um ramo de cunho judicial, onde a ciência se une a criminologia em prol da elucidação de crimes, ciência na qual a química está inserida e que tem se destacado pelos seus métodos eficientes e se tornando indispensável na maioria das investigações criminais. A investigação e aplicação da Química Forense no Brasil como forma de auxiliar a criminologia ainda é recente, mas se mostra cada vez mais precisa e primordial para o seu campo através de seus estudos e suas análises (ROMÃO *et al.*, 2011).

O interesse pelo desenvolvimento de um trabalho na área da Química Forense foi despertado após a participação em um jogo denominado *Criminal Case (Pretty Simple)*, no qual o jogador interpreta um detetive, que soluciona diversos casos da polícia com a ajuda de agentes, peritos, legistas, e outros personagens. A forma como as análises forenses eram explicadas e ilustradas estimulou demasiado interesse pessoal, o que despertou a curiosidade em aprofundar neste estudo, cujo tema vai ao encontro da área profissional que pretendo seguir, como perita criminal.

Além disto, a aplicação de estudos da Química Analítica no meio criminalístico também veio a ser muito surpreendente quando descobri essa relação, através de pesquisas, e por ter sido uma das disciplinas que mais gostei em minha formação no Curso Técnico em Análises Clínicas, me interessou trazê-la como um dos assuntos bases do tema desta monografia.

Sobre esse contexto da importância da formação profissional, uma questão relevante relacionada ao perito criminal no Brasil é a escassez de disciplinas e especializações para a formação na área pericial. Esse é um fator desfavorável, pois os cursos de graduação e pós-graduação existentes, que envolvem a ciência forense, são ofertados em pouquíssimas universidades. O aumento da oferta dessa formação específica seria muito importante não somente para gerar mais conhecimento e interesse pela área, mas para fortalecer a Química Forense em nosso país (ALMEIDA, 2016).

A Química Forense foi definida pela cientista Suzanne Bell (2006) como uma química analítica aplicada, mostrando como as técnicas e métodos analíticos são extremamente importantes para a realização de análises laboratoriais, principalmente na análise de drogas de abuso, um tema que desperta o interesse da comunidade de químicos que trabalham na área forense, já que é um tópico considerado tabu na sociedade brasileira (BELL, 2006 *apud* FARIAS, 2010).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (1993) podem ser consideradas drogas todos os tipos de substâncias naturais, que não tenham nenhuma alteração, ou sintéticas, que são modificadas laboratorialmente pelo homem, que quando ingeridas alteram uma ou mais funções do organismo, podendo ser de forma dependente para tratamento de doenças ou de forma psicológica, com uma dependência química de algum elemento que tenha ações negativas ao corpo e a vida, sendo classificadas como drogas de abuso.

A presença e os efeitos de drogas de uso abusivo nos indivíduos é um grave problema de saúde pública, e algo que afeta diariamente a vida dessas pessoas. Familiares e o próprio usuário conseguem notar, haja vista que a mudança no comportamento e no corpo do utilizador é perceptível, tornando essencial o entendimento sobre o assunto para evitar piores acontecimentos futuramente (DRUMOND; FILHO, 2004).

Essas substâncias, sendo de maioria psicoativas¹, podem levar a ações ou acontecimentos que resultam na morte ou apreensão do usuário. Nestes casos, os indivíduos podem ser caracterizados como criminosos ou doentes, o que acarreta em procedimentos um tanto repressivos para a reinserção destas pessoas na sociedade, reforçando a estigmatização desses usuários e a falta de exploração com base em métodos reabilitativos para a recuperação desses indivíduos (SANTOUCY; CONCEIÇÃO; SUDBRACK, 2010).

Em sua maioria, as razões para uso dessas drogas podem ocorrer por questões emocionais, familiares ou de estresse e entre outros porquê que influenciam a utilização, o que leva aos indivíduos se tornarem usuários constantes das substâncias. Casos como acidentes, overdoses, e até mesmo suicídios ocorrem, e muitas dessas ocorrências são pelos efeitos de drogas que se tornam de uso exacerbado no organismo, e acabam resultando em efeitos com maior intensidade e maiores danos causados ao psicológico e à saúde do usuário (SENGIK; SCORTEGAGNA, 2008).

Sendo considerado um problema social no Brasil, os usuários de drogas possuem uma vulnerabilidade para ações de perigo devido à dependência da substância e seus efeitos no organismo, o que dificulta a vivência do indivíduo e prejudica suas ações e decisões. Nesta conjuntura, o sujeito que for dependente ou fazer uso de alguma substância pode ser influenciável à prática de crimes, o que pode ocasionar em uma repreensão policial ou o

¹ Substâncias psicoativas são aquelas que atuam diretamente no Sistema Nervoso Central (SNC) do corpo, alterando o comportamento, ações e efeitos no organismo do usuário, podendo ser de tipossintético ou natural, lícitas ou ilícitas (ALARCON; JORGE, 2012).

encaminhamento a prevenções, caso o usuário queira buscar ajuda voluntariamente ou se for exposto portando a substância em alguma circunstância (BRASIL, 2006).

Em um estudo feito pela UNODC (Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crimes ou em inglês *United Nations Office on Drugs and Crimes*) em 2015 entre 17 países, mostrou-se uma taxa de autores de homicídios sob a influência de drogas psicoativas, sendo álcool e outras drogas ilícitas, de 37%, homicídios estes que foram cometidos de forma violenta (UNODC, 2019).

No Brasil, um estudo realizado mostrou que de aproximadamente 50 mil homicídios cometidos por ano, apenas cerca de 8% são solucionados. Em um estudo mais aprofundado, uma contagem de homicídios por taxa de 100 mil habitantes, que foi feito na cidade mais populosa do Brasil, São Paulo, relatou crimes envolvendo tráfico de drogas, violências domésticas e sexuais e brigas de rua, com agentes influenciadores sendo drogas lícitas e ilícitas, com mais de mil vítimas durante os anos de 2010, 2011 e 2012, o que revela a importância do desenvolvimento de metodologias analíticas para a detecção desses agentes (UNODC, 2014).

A definição de crimes envolvendo drogas, bem como das medidas para prevenção do uso indevido, atenção e reinserção social de usuários e dependentes, e o estabelecimento de normas para repressão à produção não autorizada e ao tráfico ilícito de drogas, são realizados pelo Sistema Nacional de Políticas Públicas sobre Drogas (SISNAD), instituído pela Lei 11.343, de 23 de agosto de 2006, conhecida como Lei de drogas (BRASIL, 2006).

Ainda de acordo com essa Lei,

consideram-se como drogas as substâncias ou os produtos capazes de causar dependência, assim especificados em lei ou relacionados em listas atualizadas periodicamente pelo Poder Executivo da União”; além disso, ficam proibidas, em todo o território nacional, as drogas, bem como o plantio, a cultura, a colheita e a exploração de vegetais e substratos dos quais possam ser extraídas ou produzidas. O plantio de vegetais exclusivamente para fins medicinais ou científicos podem ser autorizados pela União, mediante fiscalização (BRASIL, 2006).

Entretanto, com o governo disponibilizando laboratórios civis públicos precários, que são localizados em poucos estados do Brasil específicos para análise de drogas, certas dificuldades são apresentadas ao longo do tempo quanto a questões como a fiscalização, coleta de provas dos crimes, infraestrutura precária dos laboratórios e falta de profissionais públicos para exercerem o trabalho. Assim, o Brasil detém um baixo número de resoluções de casos criminais envolvendo drogas de abuso (ALMEIDA, 2016).

Nos casos de dependência química pelo uso de drogas de abuso, dependendo da situação, métodos diferentes podem ser oferecidos, que têm o objetivo de ajudar a pessoa a se reajustar à comunidade e a situá-la sobre o uso das substâncias químicas e seus efeitos diante a relações com a sociedade e com sua própria vida e saúde, segundo o SISNAD (BRASIL, 2006).

O encaminhamento médico, uma das formas de prevenção, é usado como reabilitação dos indivíduos que queiram ou são destinados para estes locais, de modo que o usuário receba atenção e atendimento necessário para a desintoxicação das substâncias e entendimento acerca das mesmas dentro do organismo, e ajuda para a reinserção social do usuário através de atividades e acompanhamento terapêutico, com isso sendo feito por vontade própria do indivíduo, respeitando sempre os direitos humanos implicados, de acordo com o Artigo 19 da Lei nº 11.343 (BRASIL, 2006).

Outrora, caso seja exercida a apreensão do indivíduo portando drogas de abuso, o que pode ocorrer por diversos fatores como pela utilização, transporte, preparo, fabricação, importação e exportação, este poderá ter variações em sua pena e a efetuação de pagamentos de uma multa que também pode variar, denominado como dias-multa (valor unitário determinado pelos magistrados, que se paga de acordo com a quantidade de dias que o réu permanece na prisão). Também poderá obter formas de ajuda para se reabilitar, tendo como opções a realização de trabalhos voluntários até o comparecimento em cursos educativos, segundo os Artigos 28 e 33 da Lei nº 11.343 (BRASIL, 2006).

A química forense se insere nesse contexto levando em conta que, para a apreensão ser efetuada, a mesma precisa ser feita com o apoio de um perito criminal ou com o auxílio de equipamentos e métodos específicos para análise da substância, com a finalidade de provar se o elemento ou a acusação são realmente verdadeiros. Evitando casos de erros, o perito exerce dois tipos de análises chamadas laudo preliminar e laudo definitivo, que têm como objetivo assegurar os resultados encontrados já que as análises forenses são parte indispensável do inquérito policial, que embasarão a decisão judicial (NETO; ALBANO, 2020).

Assim, a atuação das análises químicas no contexto de drogas se torna por muito necessário, visto que em seções da sociedade como no âmbito de trabalho, esporte (*doping*) e na reabilitação de usuários é frequentemente verificada a aplicação dessas substâncias, tendo em mente que através da química forense é feita a identificação das drogas no organismo através de exames laboratoriais, por metodologias analíticas que utilizam tanto amostras orgânicas como inorgânicas (FASSINA *et al.*, 2007).

A Química Analítica se torna tão valiosa para a área laboratorial, pois além de conseguirmos identificar a classe da droga e seus principais compostos, os métodos também conseguem deduzir seu tipo e descrever os produtos diretos da fabricação ou de refino através de perfis químicos, o que pode levar à identificação de rotas de onde aquela droga foi produzida. E o mais importante é a separação de seus compostos, de forma que seja possível identificar tudo o que foi utilizado na construção daquele produto (ROMÃO *et al.*, 2011).

Este trabalho tem como tema a Química forense e os métodos analíticos para a determinação de drogas de abuso. São apresentadas a importância, o histórico, a popularização dessa ciência nas últimas décadas por meio das séries televisivas e aplicações para a descoberta de provas em casos de uso abusivo de drogas, assim como os principais métodos analíticos nesse contexto.

Esses métodos analíticos utilizam as técnicas clássicas colorimétricas, e as técnicas instrumentais Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), Cromatografia Gasosa (CG) e Espectrometria de Massas (EM), destacando a importância do químico e das análises nesta área. Assim, é destacada a química, que apresenta uma grande importância na área criminalística, mesmo não tendo um grande reconhecimento, nem um estudo aprofundado ainda no Brasil, por ser uma área de pesquisa recente em nosso país.

As informações apresentadas neste trabalho buscarão fazer com que o leitor compreenda a relevância da química no âmbito forense e de determinação de drogas. As formas e o uso das metodologias analíticas na área criminalística são explorados, mostrando como esses métodos são eficazes nesse contexto e como exercem a detecção e quantificação dessas substâncias, em prol da elucidação e combate aos crimes envolvendo drogas de abuso.

2. OBJETIVOS

2.1 – OBJETIVO GERAL

Investigar e explicar quais são os tipos de técnicas analíticas usadas na Química Forense em situações relacionadas a drogas em geral (lícitas e ilícitas) e como elas funcionam, para trazer compreensão desses acontecimentos em uma visão mais aprofundada, mostrando a importância dessa ciência para a elucidação e o combate de crimes envolvendo essas substâncias.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Elaborar uma revisão sobre a importância da Química Forense na elucidação de crimes, com sua história na área judicial, a visibilidade recente em séries televisivas e as análises contribuintes para identificação de substâncias consideradas drogas de abuso;

2) Apresentar as principais técnicas analíticas empregadas em análises da Química Forense, com enfoque nas técnicas clássicas colorimétricas, e instrumentais, Cromatografia (líquida e gasosa) e Espectrometria de Massas, e suas aplicações na determinação das principais drogas de abuso.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi baseado na abordagem qualitativa e utilizou como estratégias de pesquisa a revisão da literatura científica por meio da busca de artigos científicos, livros e trabalhos em bases de dados como LILACS, Google Scholar e SciELO, no período compreendido entre os anos de 1990 e 2023, tendo como referência os descritores (palavras-chave): Química forense; Drogas de abuso; Metodologias analíticas.

A monografia foi desenvolvida em dois capítulos:

Capítulo 1 – A importância da química forense na elucidação de crimes.

Capítulo 2 – Técnicas analíticas aplicadas em química forense para a determinação das principais drogas de abuso.

4. CAPÍTULO 1 – A IMPORTÂNCIA DA QUÍMICA FORENSE NA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

4.1 - INTRODUÇÃO SOBRE A QUÍMICA E A APLICAÇÃO DOS SEUS ESTUDOS NA ÁREA FORENSE

A partir do conceito desenvolvido pelo químico Peter William Atkins (2018) a química, como uma prática em geral, é a ciência que estuda a matéria e as suas mudanças, sendo um âmbito da área científica que visa à importância dos fenômenos ocorrentes na natureza. Seus princípios se baseiam nas ações dos átomos e moléculas e seu comportamento, além de ser essencial para a compreensão e estudo de outros ramos da ciência, dialogando muito, por exemplo, com a Biologia, na qual evidencia o estudo da química no conhecimento mais admirável da matéria, a vida.

O mundo da química inclui, portanto, todo o mundo material que nos rodeia – o chão que o suporta, a comida com que você se alimenta, os tecidos biológicos dos quais você é feito e o silício com que o seu computador foi fabricado. Nenhum material independe da química, seja vivo ou morto, vegetal ou mineral, seja na Terra ou em uma estrela distante (ATKINS *et al.* 2018, pág. 27).

Desta forma, é perceptível o quanto o estudo da química se torna importante no cotidiano da vida do ser humano, sendo necessário em âmbitos como o da saúde, alimentação, moradias, transporte, etc. A inserção deste aprendizado na área de trabalho mostra também múltipla importância dos químicos em função de estudos acerca de diversos assuntos, que jamais teriam sido descobertos se não fosse a atividade destes profissionais, como por exemplo em avanços de tratamentos para várias doenças, na exploração espacial, e nos melhoramentos nas análises e práticas da tecnologia, segundo Zucco (2011).

A química forense é uma das “maravilhas criadas” baseada no conhecimento e nos estudos da química, que são incrementadas em união à criminologia, trazendo diversas análises que contribuem grandemente para as investigações criminais e outros ramos judiciais - sendo o aspecto atuante mais conhecido da área - quanto também para outros âmbitos trabalhistas, como na perícia de alimentos e medicamentos, investigação de *doping* nos esportes, adulterações nas bebidas e combustíveis utilizados na sociedade, dentre outros (CRQ, 2014).

A ciência forense, ramo no qual a química está inserida, é o estudo geral no qual várias áreas das ciências humanas e naturais, como física, biologia, antropologia e até mesmo a medicina, estão em diálogo em prol da elucidação de crimes através de conhecimentos científicos que ajudem nas investigações e identificação de substâncias e outros fatores

recolhidos nas cenas criminais, recebendo desta forma, a caracterização em que a ciência forense, é uma ciência aplicada à lei, como dito por Silva e Rosa (2013).

Contudo, o químico forense possui também áreas de atuação fora do cenário laboratorial, apesar de ser a prática principal, o que instiga estes profissionais a não terem um conhecimento limitado apenas à base analítica da ciência, mas juntamente a isto, um aprendizado geral dos estudos das áreas correlatas à ciência forense (Biologia, Antropologia, Medicina, etc) que sejam aplicados ao âmbito forense, o que dá sentido ao conceito de interdisciplinaridade deste saber (FARIAS, 2017).

4.2 - HISTÓRIA DA QUÍMICA FORENSE NA HUMANIDADE

Em um contexto histórico da origem e surgimento deste estudo, é considerado que as ciências forenses estão presentes na humanidade desde a Roma Antiga, no início da civilização, pois existem relatos que, nesta época, eram numerosos os casos de envenenamentos dirigidos a figuras políticas públicas, sendo nestas situações muito utilizados os conhecimentos científicos para análises de provas destes crimes (FARIAS, 2010).

O arsênio, um dos diversos agentes tóxicos que existem na humanidade, é considerado de grande importância histórica na Idade Média, pois foi o agente mais manipulado nos envenenamentos envolvendo políticos, gerando até epidemias naquele período que eram extremamente difíceis de prevenir, visto que o óxido deste elemento (trióxido de arsênio, As_2O_3) apresenta certas características que dificultam a sua identificação, tais como: a sua coloração branca, ser uma substância solúvel em meio aquoso, sem cheiro e sem gosto. Essa substância pode ser considerada como o precursor da química forense na época, por conta da demanda de análises químicas que eram feitas e preparadas para a identificação do arsênio nos casos, sendo de difícil investigação por conta das características citadas acima, o que dá a este elemento, o status de “rei dos venenos” e o “óxido do crime perfeito” (FARIAS, 2010).

De forma geral, a ciência forense se fez presente na sociedade com um primeiro registro de caso envolvendo um assassinato no ano de 1247, descrito em um manual chinês chamado “A Limpeza dos Erros” (tradução para o português), no qual um legista realiza uma análise de cortes encontrados no corpo da vítima e testa diferentes tipos de lâminas cortantes em um cadáver de vaca a fim de identificar a arma exata do crime, mostrando o primeiro caso no qual o estudo forense é situado na humanidade. Já as técnicas, análises e a química forense em si, só foram constatadas em nosso meio por volta do ano de 1700, quando foi publicada a obra de Bernardo Ramazzini intitulada “A doença dos trabalhadores” (tradução para o

português), que fala sobre as substâncias químicas, efeitos e riscos que elas podem causar na fisiologia humana, o que foi de grande valia e importância para a construção da química forense que temos hoje em dia (CRUZ, 2014).

Mathieu-Joseph Bonaventure Orfila, nascido na Espanha, foi considerado o pai da toxicologia e um dos grandes pioneiros da ciência forense durante seus anos de vida (1787-1853). Ele teve como grande ascendência em sua fama e carreira seus estudos feitos sobre asfixia, exumação e decomposição de corpos humanos e seus trabalhos com as análises químicas, trazendo-as para a rotina da medicina forense e as tornando de suma importância para a área (FARIAS, 2017).

Além disto, Orfila atuou em um caso como perito, fazendo uso de seus estudos para solucionar um crime envolvendo envenenamento. O espanhol identificou, através de uma exumação no corpo da vítima, a presença de arsênio, comprovando uma intoxicação no indivíduo que ocorreu pela presença deste elemento e não por uma contaminação no solo do local em que o corpo estava enterrado - que era o que desconfiava. Orfila teve seu legado com seus estudos e contribuições para o futuro da área forense e, deixou como um dos seus grandes feitos, o *Tratado de Medicina Legal*² (FARIAS, 2017).

Ainda na mesma época, seguindo a mesma lógica, destaca-se também um químico inglês chamado James Marsh, que fez o desenvolvimento de um método eficaz conhecido hoje em dia como Teste de Marsh, que tem como objetivo a detecção de arsênio nas vítimas. Seu método era baseado a partir da análise de um pedaço de tecido ou uma amostra de sangue do indivíduo supostamente contaminada pela substância, colocando em contato com zinco metálico e ácido sulfúrico sob aquecimento, a fim de identificar a presença do elemento no teste (FARIAS, 2017).

Siegfried Ruhemann em 1910 fez uma descoberta, desta vez, de uma substância química chamada ninidrina (que apresenta fórmula molecular $C_9H_6O_4$) e as reações que essa substância realizava ao interagir com polipeptídeos, proteínas e alfa-aminoácidos, formando produtos coloridos (Figura 1).

²Medicina Legal é a junção dos conhecimentos medicinais e da área judicial, com o objetivo de promover a contribuição da Medicina para os casos de justiça social. O Tratado foi um livro escrito por Orfila em 1827 que reúne conhecimentos adquiridos desta área (COELHO, 2010).

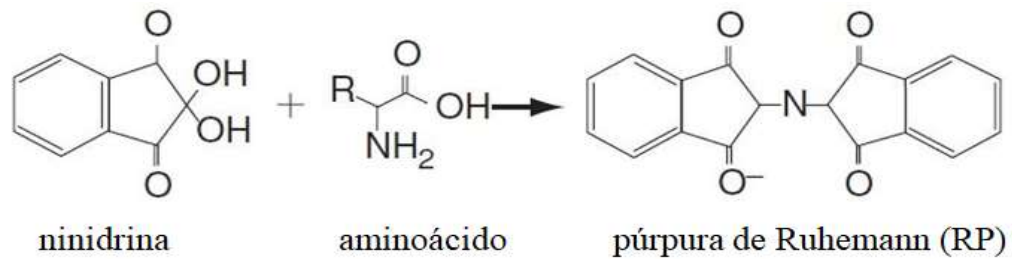


Figura 1 - Representação gráfica da reação entre a molécula de ninidrina e o aminoácido (Fonte:CSIC-CIB).

Essa descoberta foi de extrema importância e é utilizada até hoje, mas ela só teve reconhecimento e se difundiu na química forense anos depois, em 1954, a partir de estudos de alguns cientistas sobre as reações da ninidrina com os aminoácidos secretados pelas glândulas sudoríparas³, facilitando a identificação de impressões digitais a partir da coloração azul-violeta gerada pela interação, que ficou conhecida como Púrpura de Ruhemann (RP). A Figura 2 demonstra como as impressões ficariam ilustradas em um papel utilizando esta técnica (FARIAS, 2017).

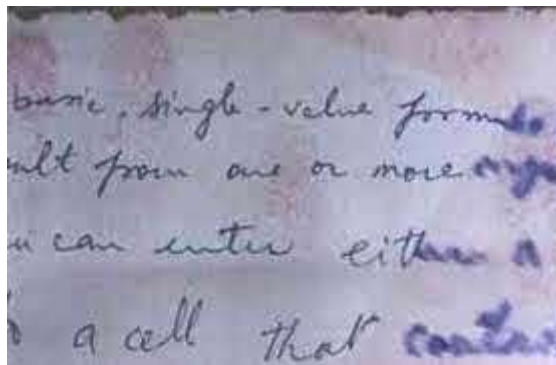


Figura 2 - Impressões digitais reveladas com solução de ninidrina em papel (Fonte: CHEMELLO, 2006).

Ainda em 1910, o cientista francês Edmond Locard seria prestigiado pelos seus estudos e trabalhos que levaram à criação do primeiro laboratório científico de polícia no mundo, o Laboratório de Polícia Técnica de Lyon. Locard ficou conhecido como o “Sherlock

³ As glândulas sudoríparas (écrinas) são formadas por tecido epitelial e auxiliam na termorregulação do corpo e excretam produtos nos quais o organismo não necessita, a partir da produção de suor.

Holmes francês” após sua dedicação em temas relacionados à medicina legal, coleta de indícios encontrados nos locais de crime e seus serviços no laboratório de Lyon, que contava com uma equipe de cientistas e técnicos além de Locard, no empenho das análises e conhecimentos utilizados na elucidação de diferentes crimes (FARIAS, 2017).

Além disso, o laboratório de Lyon por ser o primeiro fundado voltado para as análises forenses foi exemplar para a criação de outros laboratórios policiais do futuro, inclusive os laboratórios construídos atualmente, que são inspirados e feitos de forma semelhante ao inicial. O francês também é o criador de um dos princípios clássicos da ciência aplicada à criminologia: todo contato deixa um vestígio, segundo Farias (2017).

Em 1937 ocorreu um dos maiores acontecimentos para o estudo da química forense, a inserção do luminol nas investigações criminais. Essa substância é utilizada até hoje na perícia envolvendo crimes violentos, pois seu objetivo é a revelação de vestígios sanguíneos nas regiões em que as ações foram cometidas. De suas propriedades podemos destacar sua fórmula molecular ($C_8H_7O_2N_3$) e sua reação química geral (Figura 3), em que um metal age como catalisador da reação com o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), formando o 3-aminofalato, que já é produzido no estado excitado. A quimioluminescência ocorre por meio da emissão de luz nos comprimentos de onda entre 425-430nm, quando o elétron excitado pela reação retorna ao seu estado fundamental, o que depende do pH do meio, da concentração dos reagentes e do catalisador (VASCONCELLOS; PAULA, 2017).

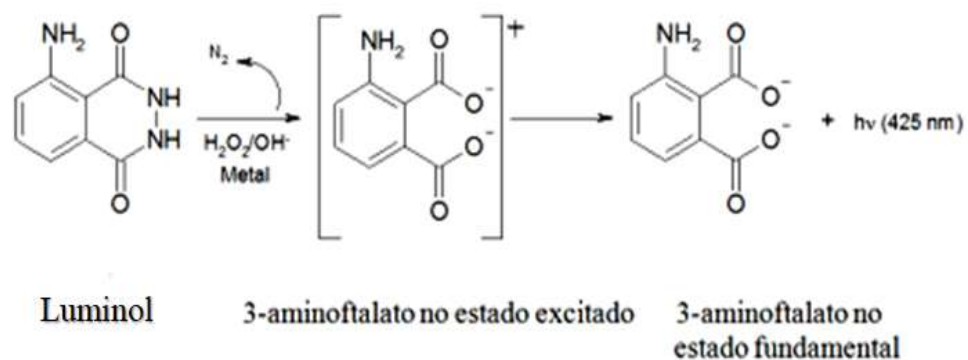


Figura 3 – Representação gráfica da reação química geral da molécula de luminol (Fonte: VASCONCELLOS; PAULA, 2017).

Walter Specht foi o cientista forense alemão responsável por este feito, introduzindo o luminol no meio forense como um tipo de teste presuntivo, ou seja, um teste que não é capaz de provar ou refutar a presença de sangue na cena do crime, mas que indica uma possibilidade, o que é utilizado posteriormente como ponto de investigação para os peritos (HETZEL, 1991).

O uso do luminol é principalmente voltado para a detecção de resquícios de sangue no local que se tornam invisíveis a olho nu, caso haja alguma limpeza feita pelos perpetradores nas cenas criminais visando à eliminação de provas. Esse reagente apresenta quimiluminescência, que é a produção de luz gerada pela interação de duas substâncias químicas, que neste caso é o pó de luminol dissolvido em um líquido que contém peróxido de hidrogênio, o que é capaz de provocar a emissão de luz. Porém para a reação ser completa, essa mistura precisa de um catalisador no processo de forma que a luz gerada seja ainda mais forte - esse catalisador é encontrado no ferro da hemoglobina (íon Fe^{3+}), proteína que carrega o oxigênio pelo sangue, acelerando a reação da mistura de luminol e dando origem a uma luz fosforescente visível a olho nu. Colocando a técnica em prática, os peritos na área do crime pulverizam a mistura de luminol no local, desligam as luzes e fecham as cortinas, aguardando a aparição de alguma fonte de luz azulada ou esverdeada. Havendo traços de sangue e a interação entre as substâncias ocorrendo de forma bem-sucedida, as luzes aparecerão, como ilustrado na Figura 4 (LIMA *et al.*, 2018).

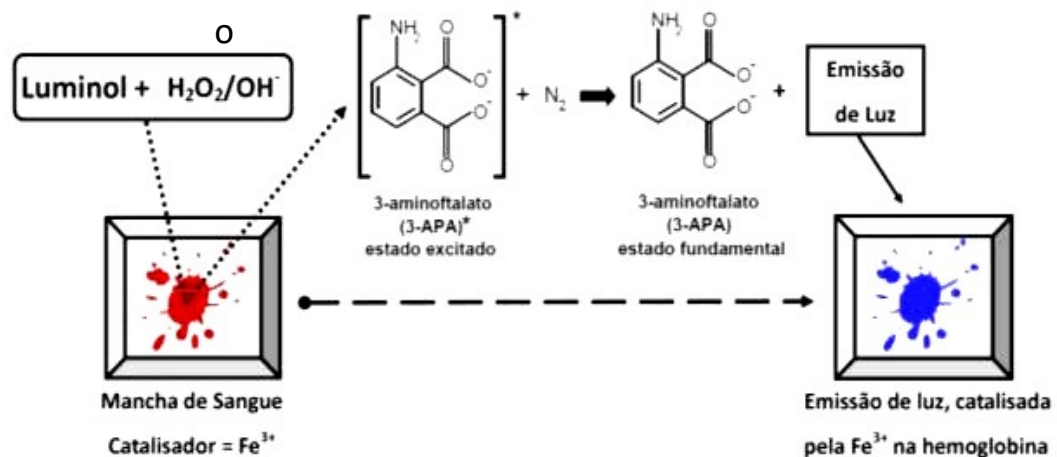


Figura 4 - Luz azulada fosforescente gerada pela interação da mistura de luminol e da proteína hemoglobina (Fonte: CAVALCANTI; BARROS, 2016).

4.3 - HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS À QUÍMICA FORENSE

É importante destacar a evolução das técnicas analíticas em geral, no âmbito da química forense. Os procedimentos citados anteriormente neste trabalho ainda são utilizados e muito eficazes. Porém com o avanço da ciência e tecnologia durante os anos, esses processos foram aprimorados, trazendo equipamentos e análises muito mais aprofundadas e precisas que contribuíram de forma muito significativa para as conclusões criminais. Duas técnicas que apresentam um antigo histórico e foram marcadas como grandes descobertas no conceito químico, melhoradas durante o tempo para se tornarem então, exemplos de técnicas analíticas mais eficazes hodiernamente, são a Cromatografia e a Espectrometria de massas.

A Cromatografia é fundamentada a partir da separação de componentes em uma amostra e estes passam a migrar da mistura, a partir de diferentes interações de cada componente entre duas fases: estacionária e móvel. A fase móvel é um fluido adicionado ao procedimento a fim de promover a separação destes componentes, que se movem através dele. O fluido pode ser tanto líquido quanto gasoso, dependendo da técnica cromatográfica utilizada. Já a fase estacionária é basicamente o local pelo qual os componentes irão passar ao serem carreados pela fase móvel, podendo ser constituída por algum material líquido ou sólido (PERES, 2002).

Após essa breve introdução sobre este método em sua forma mais básica, pode-se redigir também sobre sua origem e descoberta a partir do ano de 1903, quando Mikhail Semenovitch Tswett, botânico russo considerado "pai da cromatografia", publica seu relatório sobre o novo fenômeno de adsorção e solubilidade descoberto por ele. Tswett inicialmente fez seus estudos baseados nas constituições da clorofila, carotenos e xantofilas, já que possuía especialização em botânica, mas posteriormente testou o método em diversas substâncias orgânicas e inorgânicas para fins experimentais, como o sangue, carvão e lã de vidro, testando também as substâncias com diferentes adsorventes e solúveis, para que encontrasse processos perfeitos e novos conhecimentos (PACHECO *et al.*, 2014).

O botânico descrevia em seu relatório os experimentos e as reações encontradas durante o processo, na qual ele, no início, focou em separar os componentes da clorofila através da solubilidade da mesma com o etanol, testando sua adsorção em um papel de filtro. Após isso, Tswett percebeu que a coloração do papel se transformou em um esverdeado depois de um tempo reservado sob vácuo, sendo possível extrair os componentes separados do papel. Dessa forma, o russo concluiu que essa reação se tratava na verdade de um

fenômeno de adsorção, e que se explorado mais profundamente, seria possível desenvolver uma nova técnica de separação física de substâncias futuramente (COLLINS, 2009).

A partir disto, Tswett começou a desenvolver extensos experimentos a fim de estudar melhor este fenômeno. A adsorção em papel filtro descoberta pelo químico evoluiu, posteriormente, para experimentos realizados através de uma coluna de inulina, um tipo de fibra vegetal, e outros sólidos, em que eram identificados diferentes pigmentos da clorofila e de outras substâncias através da, até então, intitulada "filtração". Porém, para o estudo se tornar completo, o químico desvendou novos conhecimentos através de certas diferenças encontradas a partir dos testes feitos, mas ainda assim, seu estudo inicial foi de muita importância. Tswett compreendeu isso, pois destaca no fim de seu relatório: "Sem qualquer dúvida, uma investigação mais aprofundada sobre o mecanismo de adsorção levaria à perfeição de sua aplicação analítica." (TSWETT, 1903, pág. 285 *apud* PACHECO *et al*, 2014).

Já em 1906, ele cumpre com sua afirmação e promove um estudo mais aprofundado acerca do método investigado. Com a publicação de dois artigos, o russo descreve e nomeia esse conhecimento de "Cromatografia", que segundo a literatura é uma palavra composta por duas raízes gregas, "chroma" que significa "cor", e "graphein" que significa "escrita", adquirindo então a tradução de "escrita das cores". No entanto, a tradução dessa palavra, possui outra teoria um pouco diferente, já que Tswett em russo escreve-se "цвет", lendo-se foneticamente como "tsvet", que significa "cor". Dessa maneira, a tradução também poderia ser "escrita das cores (segundo a fonética da palavra Tswett)/escrita de Tswett", o que gera uma dúvida até os dias de hoje, pois o químico nunca explicou em seu artigo sobre a origem da palavra e o porquê nomeou a técnica desta forma (PACHECO *et al*, 2014).

Os artigos desenvolvidos por Tswett, ainda em 1906, definem e descrevem com detalhes todo o método cromatográfico. O russo apresenta o aparato cromatográfico (Figura 5) construído para a ocorrência da cromatografia em até cinco colunas distintas, na qual se utilizavam tubos de vidro para o recebimento das substâncias, dos adsorventes e dos solventes, para a separação física dos pigmentos da amostra acontecer. Uma das coisas mais importantes que o químico descreveu em seu novo estudo foi a caracterização do mecanismo que ocorria na separação dos componentes com a adsorção, conhecidas posteriormente como as fases estacionária e móvel (COLLINS, 2009).

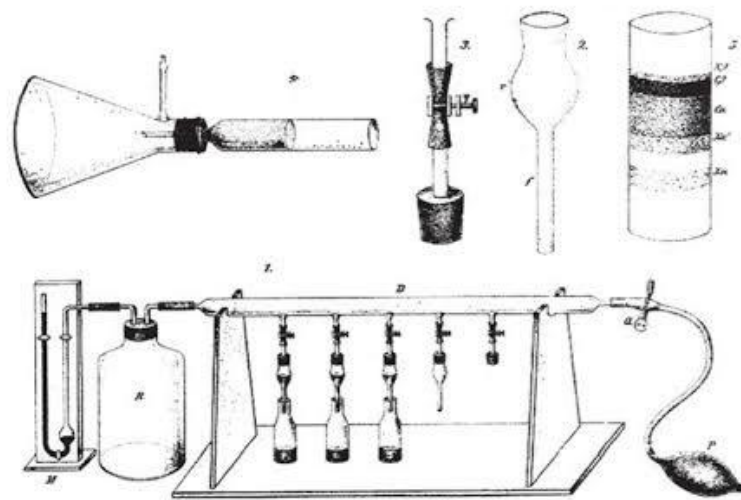


Figura 5 – Ilustração do primeiro aparato cromatográfico criado por Mikhail Semenovich Tswett em 1906, com cinco colunas cromatográficas e trompas d’água (Fonte: CMS Científica, 2019).

Apesar das grandes pesquisas feitas por Tswett, estudos afirmam que, na verdade, a cromatografia já havia se tornado conhecida na sociedade há tempos antecedentes ao descobrimento da própria técnica. Nomes como Christian Friedrich Schönbein, Friedrich Goppelsröder e Friedlieb Ferdinand Runge, no século 19, foram responsáveis pela introdução da ideia de separação de pigmentos através do papel filtro para fins analíticos. Runge, inclusive, teve livros publicados em prol deste novo conhecimento químico, no qual ele descrevia o processo que ocorria no papel filtro. Porém existiram outros cientistas importantes na evolução da técnica cromatográfica, já que é um método que, por ser bem flexível nos estudos, obteve um avanço grande e gerou diversos tipos de cromatografia com o tempo e pesquisas (COLLINS, 2009).

Já na Espectrometria de Massas (EM), o conceito essencial explanado acerca desta técnica em sua utilização é a ionização e separação de íons baseada em suas razões massa e carga, a fim de obter um espectro de massas do respectivo composto analisado. Esse procedimento é bastante aplicado em casos de identificação de compostos, quantificação e auxílio no descobrimento de estruturas moleculares e, inclusive, é geralmente acoplada a técnicas cromatográficas pelo encaixe de análises qualitativa-quantitativa, considerando-se assim, uma técnica robusta (ROMÃO, 2010).

O descobrimento da técnica baseada na produção e separação de íons no espectrômetro teve seu início considerado a partir dos estudos do físico Joseph John Thomson, acerca dos raios catódicos e o descobrimento dos elétrons. Seu estudo ganhou o prêmio Nobel de física em 1906, baseado em seu trabalho de aplicação do elétron em um campo elétrico cúbico, realizado em 1897, no qual o próprio identificou uma deflexão de elétrons dentro do campo. Essa observação feita por ele demonstra uma das primeiras determinações da razão entre massa e carga (m/z), um dos fundamentos básicos para o funcionamento da Espectrometria de Massas (LANÇAS, 2009).

Historicamente, a descoberta e desenvolvimento da EM foi resultado de estudos de diversos ganhadores de Prêmios Nobel de química e física. Nomes importantes para a evolução desta técnica como o de Francis William Aston, que iniciou os estudos para a invenção de um espectrômetro de massas e descobriu os isótopos de um grande número de elementos não radioativos em 1922, ganhando um Nobel em Química por este feito, e o de Wolfgang Paul, responsável pela criação da técnica de *ion trap* quadrupolo, um procedimento que consiste em uma armadilha de íons utilizando um campo elétrico, com o objetivo de capturar partículas carregadas, sendo um dos fundamentos principais da técnica. Paul ganhou o Nobel de física em 1989 por essa descoberta (LANÇAS, 2009).

Evan C. Horning desenvolveu o procedimento de ionização *Atmospheric Pressure Chemical Ionization* (APCI) ou Ionização Química à Pressão Atmosférica, amplamente utilizada na espectrometria, que se baseia na capacidade de ionização e detecção de espécies polares e não polares, principalmente. Malcolm Dole iniciou os estudos sobre ionização pela nova técnica sucessora da APCI, a *Electrospray Ionization* (ESI) ou Ionização por Eletrospray, mas não concluiu seu trabalho. Essa técnica é também de grande importância na espectrometria, o que trouxe o Nobel alguns anos depois para John Bennett Fenn, que fez a demonstração prática da técnica de ESI e se aprofundou melhor nos estudos relacionados ao procedimento que não foram concluídos por Dole, e sua aplicabilidade no procedimento de espectrometria de massas, além de conceituar esse processo:

A espectrometria de massas é a arte de medir átomos e moléculas para determinar suas massas moleculares. Tal informação sobre a massa ou peso é muitas vezes suficiente, frequentemente necessária, e sempre útil na determinação da identidade de uma espécie. Para praticar esta arte, colocamos carga nas moléculas de interesse, isto é, os analitos, e então medimos como as trajetórias dos íons resultantes respondem, sob vácuo, a várias combinações de campos elétricos e magnéticos (LANÇAS, 2009, pág. 38).

A partir da dissertação feita sobre as técnicas acima, pode-se perceber que todos os estudos apresentados foram importantes para o desenvolvimento destas técnicas analíticas, que com o tempo vieram a se tornar de grande destaque como as mais eficazes no meio analítico, sendo as mais utilizadas pelos químicos forenses com o objetivo de analisar componentes de amostras que compõem um cenário de crime. Segundo Chemello (2006), dentre as técnicas que os químicos exercem, as analíticas merecem melhor evidência (CHEMELLO, 2006). Diante disso, a Cromatografia e a Espectrometria em seu geral, tornam-se de demasiada importância para as análises criminais, pois através de sua sensibilidade e alta precisão nesta área, os casos conseguem, em sua maioria, ser desvendados.

4.4 - A QUÍMICA FORENSE REPRESENTADA EM SÉRIES TELEVISIVAS

A exposição da química forense na mídia através de séries televisivas vem despertando o interesse para essa ciência nas últimas décadas, o que pode ser considerado positivo, no sentido de chamar a atenção do público em geral para essa área, aproximando as pessoas, rompendo o estereótipo de que a ciência é algo distante e restrito e até mesmo possibilitando o estímulo para que mais estudos nessa área sejam desenvolvidos (MOTA; DI VITTA, 2014).

Esses produtos audiovisuais atuam como veículos popularizadores da química forense, representando-a através de elementos, tais como: os locais de trabalho do perito, seja em campo, nas cenas de crime coletando amostras, ou no laboratório realizando análises; os equipamentos e vestimentas utilizados, que são aspectos relacionados ao combate e elucidação de crimes, em atendimento aos anseios sociais, através da ciência moderna (BOFFELLI, 2022).

A área forense possui grandes destaques no âmbito audiovisual por ser um assunto que instiga interesse entre as pessoas, quando demonstrado de forma interativa como em séries ou filmes, propagando ainda mais o conhecimento e divulgando a importância deste conhecimento no cotidiano. Nessa visão, a própria química ganha evidência nesse contexto pela exibição de seus saberes e práticas investidas em forma de recursos audiovisuais, que segundo Hernández e Robles (2005), podem ser uma grande ferramenta de aprendizado e socialização além do entretenimento (HERNÁNDEZ; ROBLES, 2005).

Seriados e filmes com foco policial, perícias criminais e elucidações de crimes como CSI (*Crime Scene Investigation*), Medical Detectives (*Médicos Detetives*), Chicago P. D. (*Departamento de Polícia de Chicago*), dentre outros, conseguem adquirir a atenção de

muitos indivíduos e atingir cada vez mais o sucesso, isso pois esses instrumentos audiovisuais mostram o dia-a-dia de profissionais com diversas habilidades, desvendando crimes através de técnicas e do conhecimento forense, com coleta de evidências e de vestígios encontrados na cena criminal (SILVA; ROSA, 2013).

Colocando como exemplo as séries de televisão CSI e Chicago P. D., elas se passam em diferentes cidades dos Estados Unidos. O programa CSI, exibido pela produtora CBS (*Columbia Broadcasting System*), relata sobre as investigações forenses realizadas por um grupo de peritos do departamento de criminalística de Las Vegas, Miami e Nova York, e fazem uso do saber científico para a execução de análises que surgem de diversos casos apresentados durante o seriado, dentre eles a efetivação de técnicas químicas analíticas dentro da química forense (SANTOS; RIBEIRO, 2020).

Porém, diferentemente do programa citado anteriormente, Chicago P. D, produzido pela NBC (*National Broadcasting Company*), tem o foco centralizado na elucidação de crimes por um departamento de policiais, e faz parte de uma franquia constituída por quatro diferentes seriados incluindo este, (*Chicago Med, Chicago Fire e Chicago Justice*) mas o seriado não deixa de fazer citações e demonstrar com frequência durante sua exibição, cenas e falas nas quais destacam sobre as análises forenses que foram realizadas para chegar a conclusões de crimes (MEIMARIDIS, 2021).

Um exemplo, é no seriado “Chicago P.D”, que em seu décimo episódio da terceira temporada intitulado “*Now I’m God*” (*Agora eu sou Deus*), o sargento Hank Voight - detetive principal da trama - e sua equipe estão responsáveis por um caso no qual um médico é acusado de ser responsável pela morte de diversas pacientes por overdose de substâncias quimioterápicas no tratamento de câncer. Em uma conversa com uma médica auxiliar do caso, Voight questiona se é possível encontrar a origem do local de fabricação das substâncias e a médica responde que sim, através da técnica de Espectrometria de Massas, muito aplicada também em casos de refinação e detecção de origem de amostras (NBC, 2014).

Mas é importante destacar que, apesar da boa representação destes exemplos audiovisuais que retratam a rotina policial e a perícia criminal, eles não mostram a total realidade dessa experiência na ficção. Nos seriados, as análises e investigações são, por sua maioria, de difícil conclusão e sempre acompanhados de um grande achado de vestígios para auxiliar na elucidação, o que na vida real não ocorre com frequência. Essa situação é denominada de “efeito CSI” por estudiosos, um conceito implantado quando em casos criminais, os juízes concluem investigações se baseando em poucas evidências científicas,

fundamentado no programa de mesmo nome, na qual essas situações não acontecem (SANTOS, 2011).

Ainda em relação à série CSI, a prática da ciência forense é representada como mais importante do que qualquer outra atividade de rotina da polícia investigativa e a análise científica é dirigida somente a obtenção de resultados. É importante pontuar que há a presença de preconceitos, como estereótipos relacionados a gênero, sobretudo sobre a cientista mulher, bem como a ausência de representação de cientistas negros (ou, quando são representados, o são de forma estereotipada – um exemplo ocorre na série CSI, que representa um cientista negro atuante, Warrick Brown, como um personagem impulsivo, um químico ex-dependente de jogos, ambicioso e que comete erros graves (BOFFELLI, 2022).

Nas séries televisivas explicitadas como exemplo, muitos conceitos químicos e das ciências forenses podem ser evidenciadas, com citações de análises, técnicas - como a própria Cromatografia, nos processos de separação de compostos realizados através de sua coloração e suas interações em fases envolvendo o uso de fluidos, colunas sólidas e fixação de componentes, e Espectrometria de Massas, procedimento muito utilizado no meio analítico físico-químico como forma de identificação de compostos, elucidação estrutural de moléculas e quantificação de substâncias conhecidas, realizadas em um espectrômetro.

Esses casos demonstram, apesar de um pouco errôneos pela ficção, a realidade da área forense e o quão importante ela e suas técnicas são na apuração de diversos crimes, mais especificamente aqueles que envolvem o uso de drogas de abuso, tendo o seu papel atuante no âmbito cultural do campo da divulgação científica (BOFFELLI, 2022).

5. CAPÍTULO 2 - TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS EM QUÍMICA FORENSE PARA A DETERMINAÇÃO DAS PRINCIPAIS DROGAS DE ABUSO.

5.1 - PRINCIPAIS INVESTIGAÇÕES CRIMINAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE DROGAS

As investigações aplicadas à química forense são nada mais do que as análises realizadas por um profissional preparado para esta situação, no caso, o perito criminal, e que envolvem diversas técnicas aplicadas em prol da elucidação de casos judiciais. O trabalho do perito na área química não se limita apenas no campo laboratorial, mas também explora a área externa, como em análises executadas nas áreas industriais, ambientais, trabalhistas e na identificação de doping. Por este motivo, é importante o profissional que trabalha neste quesito estar bem preparado, ter um conhecimento vasto dos âmbitos da química, adquirir um saber analítico aguçado e obter uma boa noção sobre manipulação de equipamentos, além de dominar áreas correlatas como a biologia, toxicologia e criminalística, em especial, casos de crimes envolvendo o uso de drogas lícitas e ilícitas (MOTA; DI VITTA, 2014).

Cabe ao profissional fazer a análise da cena criminal e recolher os materiais necessários, como manchas, roupas, armas brancas ou de fogo, dentre outros vestígios que podem ser coletados como amostras para uma observação pericial para a pesquisa de substâncias (analitos), na qual o perito analisa e interpreta de modo claro e descritivo essas amostras e seus resultados. A partir disto, um relatório judicial específico para o caso é desenvolvido pelo perito, sendo denominado laudo técnico-pericial, que contém todas as informações precisas e indispensáveis para a interpretação e seguimento do caso criminal (OLIVEIRA, 2006).

A toxicologia - área que estuda as substâncias nocivas para o organismo humano e os seus efeitos - é um dos principais saberes que um químico atuante na área forense precisa dominar, além de ser um estudo diretamente ligado aos casos criminais que envolvem as drogas de abuso. Sendo assim, existem diversos procedimentos que são utilizados nessas situações e efetuados no dia-a-dia da ciência forense. Usando como fonte de investigação amostras biológicas orgânicas e inorgânicas, como saliva, sangue, fios de cabelo e pedaços de roupa do indivíduo, análises simples e específicas podem ser realizadas visando a determinação de entorpecentes que possivelmente estejam envolvidos no ato (GOMES, 2013).

5.2 - PRINCIPAIS DROGAS DE ABUSO NO CENÁRIO DA QUÍMICA FORENSE

No cenário forense, existem determinadas substâncias que se destacam nas análises químicas e caracterizam grande parte de crimes – que tenham envolvimento com drogas - cometidos na atualidade, tanto em casos de consumo próprio quanto em casos de consumo induzido em outro indivíduo, pela utilização, transporte, preparo, fabricação, importação e exportação e tráfico.

As drogas de abuso, em sua maioria, são definidas como causadoras de efeitos hedônicos, ou seja, produzem efeitos agradáveis à pessoa que utiliza a substância, porém ao mesmo tempo em que estes efeitos são gerados, a droga também prejudica em altos níveis o utilizador, podendo causar sérios riscos à saúde pela ingestão excessiva, riscos estes que atingem por exemplo, o estado mental e o Sistema Nervoso Central (SNC) do indivíduo (RANG *et al.*, 2006).

Esses efeitos maléficos do corpo em reação à substância inserida no organismo são chamados de psicofarmacologia, que é a resposta do sistema nervoso do corpo humano à ingestão de certas drogas, alterando funções específicas como a cognição, comportamento, psicomotricidade e personalidade. Estas substâncias, por sua maioria, são denominadas comumente como drogas psicoativas, que são aquelas que atingem diretamente o SNC e afetam as funções descritas abaixo (Figura 6) (UNODC, 2013).

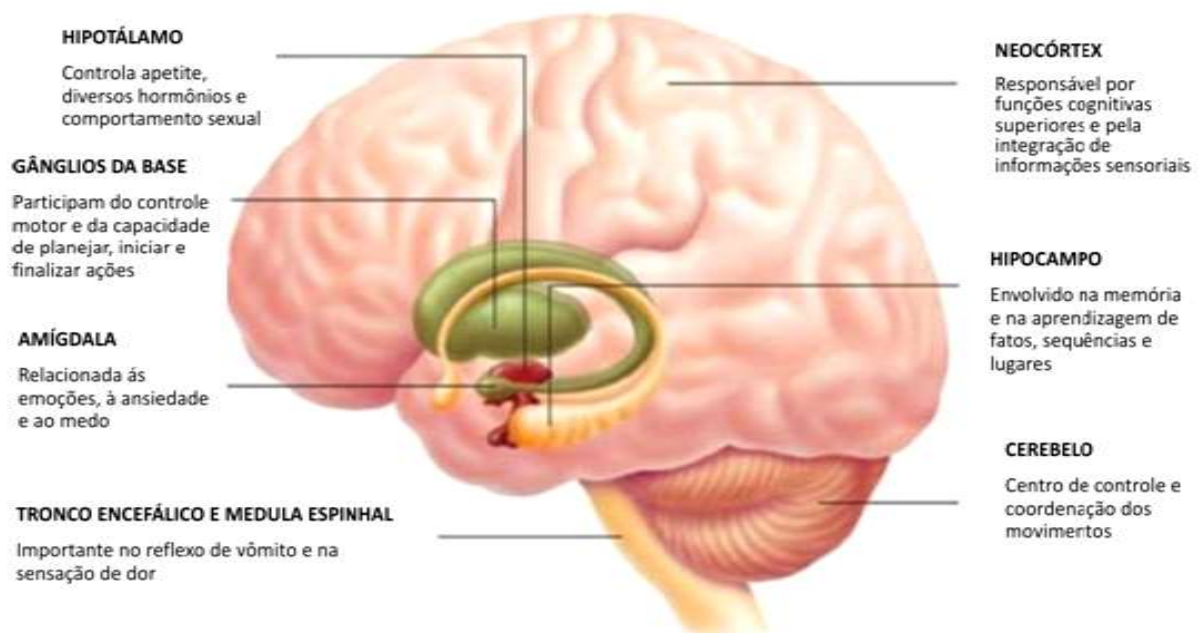


Figura 6 – Principais partes e funções do SNC (Sistema Nervoso Central) (Fonte: Adaptado de ADUR, 2006).

As drogas psicoativas podem ser classificadas em subgrupos, sendo eles: drogas depressoras, estimulantes e perturbadoras, que causam efeitos adversos no ser humano.

A depressão do SNC, ligado as drogas psicoativas depressoras, pode ser marcada por três fases, que desenvolvem diferentes efeitos quando induzidos por substâncias, conforme progride. Na fase leve, as depressoras estimulam o não interesse nos locais ao indivíduo, falta de atenção e dificuldade de se concentrar em algo por muito tempo. A segunda fase das depressoras do SNC traz danos como letargia, dificuldade na movimentação e diminuição na percepção de sensações do corpo como frio, dor ou calor. E a fase acentuada da depressão no SNC, produz coma ou inconsciência do indivíduo, e em casos mais extremos pode causar até a morte (ABRAMS, 2006).

As drogas classificadas como estimulantes irão produzir efeitos que correspondem com sua denominação. Essas substâncias podem gerar estímulos leves como alerta mental e diminuição de fadiga, até estímulos exacerbados no corpo do ser humano, causando hiperatividade, insônia, convulsões, arritmias cardíacas, e em casos mais graves, podem levar a óbito (ABRAMS, 2006).

Por fim, as drogas perturbadoras afetam os pensamentos e a mente do indivíduo, causando alterações e perturbações no modo de pensar e agir. As ações e percepções do usuário se tornam distorcidas e não nítidas, como se tudo não passasse apenas de um sonho. Este grupo de drogas psicoativas demonstra ser mais complexo do que as estimulantes e depressoras, pois até hoje não se tem uma classificação precisa delas (RANGEL, 2003/2004).

A partir disso, diversas substâncias se encaixam nesses grupos e agem no organismo dos indivíduos causando como consequência, os efeitos descritos. Na tabela a seguir são demonstrados alguns dos principais entorpecentes psicoativos utilizados pelos seres humanos nos dias de hoje (Tabela 1).

Tabela 1 - Principais entorpecentes de cada grupo de drogas psicoativas (Fonte: Adaptado de Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas, CEBRID, 2022).

DEPRESSORAS DO SNC	ESTIMULANTES DO SNC	PERTURBADORAS DO SNC
Álcool	Cocaína	Maconha
Ansiolíticos	Nicotina	Cogumelo
Barbitúricos	Cafeína	LSD
Opiáceos	Anfetamina	Ecstasy

Além desta informação, entre os anos de 2001 e 2005, uma grande pesquisa foi feita nas 108 maiores cidades do Brasil de todas as regiões por pesquisadores juntamente com a Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas (SENAD), em conjunto com o Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas (CEBRID) e o Departamento de Psicobiologia da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), mostrando as substâncias psicoativas mais consumidas pela população daqueles locais, ilustrado na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Uso de drogas nas regiões de 108 cidades com mais de 200 mil habitantes do Brasil, exceto álcool e tabaco, em entrevista feita entre os anos de 2001 e 2005, levando em consideração o sexo e faixa etária dos entrevistados (Fonte: CARLINI *et al.*, 2022).

DROGAS	Sexo (em %)					
	Ano 2001			Ano 2005		
	Masc	Fem	Total	Masc	Fem	Total
Maconha	10,6	3,4	6,9	14,3	5,1	8,8
Solventes	8,1	3,6	5,8	10,3	3,3	6,1
Cocaína	3,7	0,9	2,3	5,4	1,2	2,9
Estimulantes	0,8	2,2	1,5	1,1	4,5	3,2
Benzodiazepínicos	2,2	4,3	3,3	3,4	6,9	5,6
Orexígenos	3,2	5,3	4,3	2,5	5,1	4,1
Xaropes (codeína)	1,5	2,4	2,0	1,7	1,9	1,9
Opiáceos	1,1	1,6	1,4	0,9	1,6	1,3
Anticolinérgicos	1,1	1,0	1,1	0,9	0,3	0,5
Alucinógenos	0,9	0,4	0,6	1,8	0,6	1,1
Barbitúricos	0,3	0,6	0,5	0,6	0,8	0,7
Heroína	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,09
Crack	0,7	0,2	0,4	1,5	0,2	0,7
Merla	0,3	0,1	0,2	0,6	0,0	0,2
Esteróides	0,6	0,1	0,3	2,1	0,1	0,9

Na pesquisa realizada por pesquisadores juntamente com o SENAD, o CEBRID e a UNIFESP, o álcool e o tabaco foram eliminados da pesquisa, pois de modo geral, são as drogas lícitas mais utilizadas na atualidade. Em sequência destas, outras nove drogas possuem um índice de alto uso pelos indivíduos, divididos por parâmetros de sexo e faixa etária no estudo, englobando entre elas algumas das drogas de efeitos psicoativos possuindo um elevado índice de uso: a maconha com um percentual de utilização por homens e mulheres de 6,9 em 2001 e 8,8 em 2005, com um aumento de 1,9 entre os dois anos e a cocaína com um percentual de 2,3 em 2001 e 2,9 em 2005 com um aumento de 0,6 entre os dois anos. Com estas duas substâncias sendo as que mais se destacam no meio psicoativo e apresentam os

índices mais altos deste grupo na tabela, conclui-se que, juntamente com o álcool, estas drogas são as mais utilizadas pelos indivíduos.

Ademais, outro dado importante é apresentado de ano em ano pelo Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crimes/ *United Nations Office on Drugs and Crimes* (UNODC) que é um percentual de homicídios em todas as regiões do mundo. No ano de 2012, o escritório fez um estudo global do mecanismo de homicídios cometidos naquela época, separados em crimes por arma de fogo, objetos cortantes e outros, parâmetro no qual as drogas de abuso se encaixam (Figura 7).

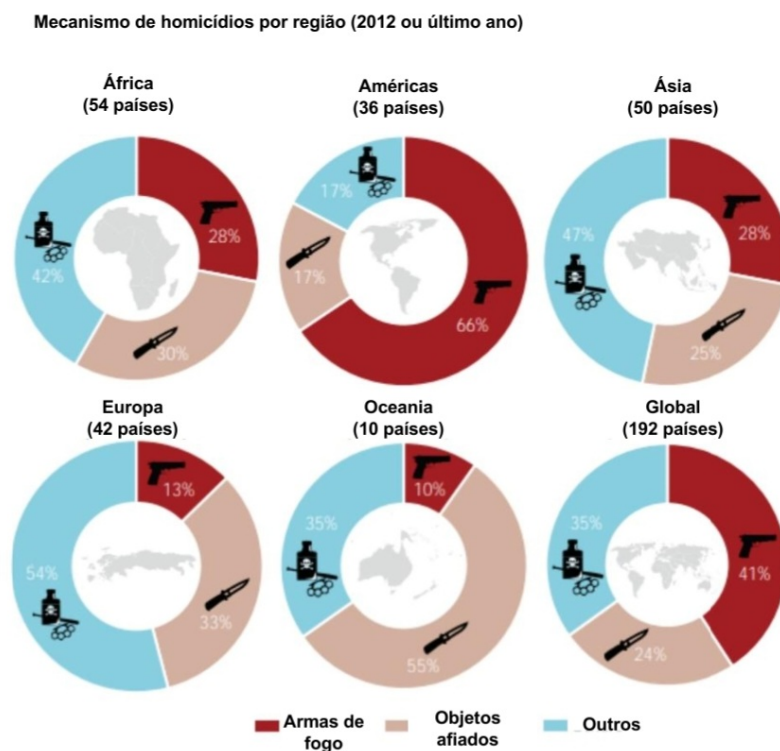


Figura 7- Índices globais do mecanismo de homicídios cometidos no ano de 2012 em todos os continentes (Fonte: Adaptado de *United Nations Office on Drugs and Crime* /Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crimes, 2013).

No mesmo estudo global, a UNODC apresentou uma pesquisa referente apenas a dois países da Europa, Suécia e Finlândia, na qual ilustrou um esquema que representa o percentual de homicídios cometidos sob a influência de drogas psicoativas entre os anos de 2003 e 2006, divididos nos parâmetros de sexo, agressores e vítimas adultas (Figura 8).

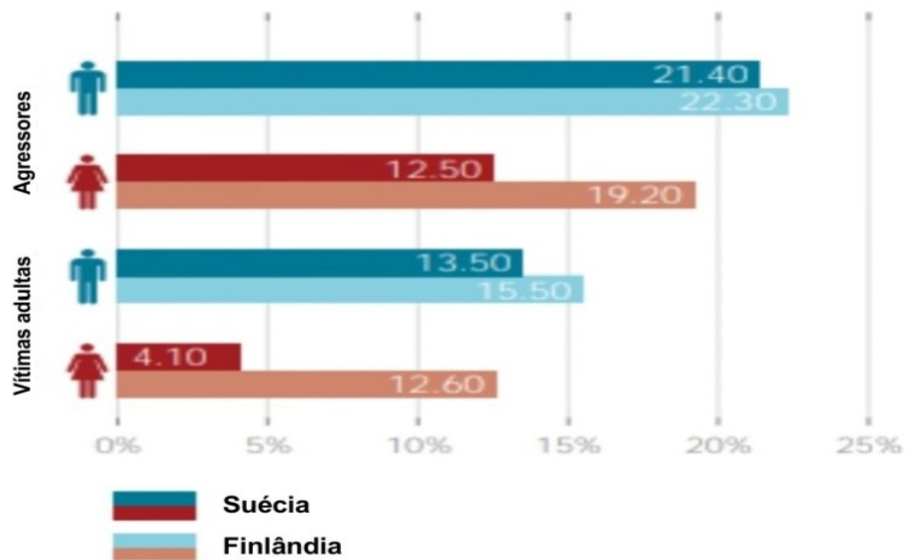


Figura 8 - Índices de vítimas de homicídio e agressores sob efeitos de drogas psicoativas no momento do crime entre os anos de 2003 e 2006 na Suécia e Finlândia (Fonte: Adaptado de *United Nations Office on Drugs and Crime/* Escritório das Nações Unidas).

A partir destes índices, pode-se perceber o uso elevado de drogas psicoativas no quesito criminal. Estas substâncias atingem grande parte da população e fazem presença constante no cenário forense, tanto influenciando crimes quanto causando dependências por consumo próprio. As drogas que são mais encontradas neste âmbito, em suas classificações como depressoras, estimulantes e perturbadoras do SNC, são o álcool, a cocaína e a maconha, respectivamente.

5.2.1 - Álcool

O álcool etílico, ou etanol, é a principal substância depressora do SNC, tornando-se o primeiro sistema afetado do corpo quando o contato com a droga ocorre, em comparação a outros órgãos. A principal causa disso são os efeitos psicofarmacológicos induzidos ao organismo, sendo o etanol uma das substâncias que mais gera estes efeitos, causando

embriaguez, desinibição comportamental, dentre outros. Porém dentro do organismo, o álcool pode gerar diferentes resultados no corpo do indivíduo dependendo de certos parâmetros, como o teor alcoólico consumido, a resistência metabólica do usuário, sexo, faixa etária, peso corporal e outros fatores que interferem na estabilidade do álcool no corpo humano e problemas que esta substância pode causar ao indivíduo (PASSAGLI, 2009).

5.2.2 - Maconha

A maconha, denominação comum dada às folhas de *Cannabis sativa*, é uma planta utilizada há séculos na medicina, como na fabricação de remédios, e utilizada para fins recreativos, em situações de lazer. A planta possui substâncias químicas e alcalóides (canabinoides) em sua composição, sendo o THC (delta-9-tetrahidrocanabinol) um dos mais importantes, conhecido como a substância química ativa mais psicoativa da maconha, já que é facilmente absorvida e distribuída para o cérebro, chegando ao SNC sem dificuldades e gerando efeitos perturbadores no indivíduo. As sensações concebidas ao usuário desta substância são de relaxamento e consciência sensorial aguçada, permitindo visões intensas e às vezes alucinações, se assemelhando a sonhos (RANG *et al.*, 2006).

A Cannabis contém duas formas de utilização, que são pela via oral e pulmonar, sendo a última a mais usada pela absorção e efeitos rapidamente gerados. Os prejuízos causados pelo uso contínuo e exacerbado da substância são danos na coordenação motora e na memória, taquicardia, vasodilatação, ansiedade e, quando em doses muito elevadas, pode causar paranoia e psicose tóxica (RANG *et al.*, 2006).

5.2.3 - Cocaína

A cocaína também se encaixa no grupo de substâncias extraídas de folhas, sendo um alcalóide natural presente na planta *Erythroxylum coca*. É caracterizado por ser um forte estimulante do SNC, além de se enquadrar como possível anestésico do mesmo sistema no corpo humano. As sensações causadas por este entorpecente são levemente diferenciais, pois a cocaína é um estimulante com ação dopaminérgica, ou seja, induz a produção de dopamina no organismo onde esse neurotransmissor irá agir diretamente no SNC, gerando diferentes efeitos no indivíduo, como sensações de euforia, vigor e relaxamento (CARLINI *et al.*, 2002).

Existem duas formas que são as mais comuns de se utilizar esta substância: de forma inalatória com o hidrocloreto de cocaína em forma de pó, no qual pode ser aspirado ou dissolvido em água e ser ingerido de forma intravenosa, ou o crack, que é o produto da transformação do cloridrato de cocaína somado ao bicarbonato de sódio. O último meio é

pouco solúvel em água, e por isto é mais consumido de forma volatilizada quando é aquecida, como em cachimbos. A droga pode prejudicar o ser humano em diferentes níveis, dependendo da frequência de uso dela. Os efeitos da cocaína podem ser considerados imediatos, gerando sensações hedônicas ao indivíduo porém trazendo prejuízos, levando ao estado de taquicardia, hiperglicemia e agressividade, e em casos mais graves, pode gerar depressão neuronal, convulsões, paranoia, e morte por overdose (CARLINI *et al.*, 2002; REGO, 2010).

5.2.4 - Matrizes biológicas para a análise de drogas de abuso

As matrizes biológicas para a análise de drogas de abuso, que apresentam o fito de identificar e detectar rastros de exposição ou consumo de substâncias tóxicas, podem ser determinadas por fatores específicos. As análises para drogas são divididas para os testes laboratoriais baseados em matrizes de fluidos corporais (sangue, urina, saliva, suor) e amostras de queratina (cabelo e/ou pelos). Essas matrizes contêm fatores específicos distintos, podendo ter um parâmetro de detecção baixo ou alto para a identificação das substâncias (BORDIN *et al.*, 2015).

Atualmente, o cabelo é rotineiramente utilizado como uma matriz biológica importante para a detecção de drogas de abuso, complementar ao sangue e urina, não só na ciência forense, mas também em toxicologia clínica ou em medicina (COGNARD *et al.*, 2005 *apud* COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010). A coleta das amostras de cabelo é um processo simples, não invasivo, de difícil adulteração. As amostras não exigem condições especiais de transporte e armazenamento, são estáveis por um longo período de tempo, além de fornecerem informações de longo prazo sobre o consumo da substância (LIMA; SILVA, 2007 *apud* COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

Para a determinação do álcool etílico, a principal matriz biológica utilizada é o sangue, pois circula por todo o corpo do indivíduo, atuando como meio de obtenção de oxigênio e nutrientes pelos tecidos, ao mesmo tempo em que elimina produtos gerados para os sistemas excretores. No sangue é possível analisar diretamente a droga, obtendo a taxa absorvida pelo organismo (COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

Porém, é importante destacar que possíveis problemas referentes à contaminação do sangue, com fluidos procedentes de vários locais do organismo nos casos de morte por traumatismo interno, ou pela produção de substâncias pós-morte pela ação de microorganismos (em cadáveres putrefatos), podem ocorrer elevando os níveis de etanol no

sangue, prejudicando a interpretação do resultado desta droga de abuso na matriz sanguínea. Assim, o humor vítreo⁴ e a urina são utilizados como alternativa de amostra, fornecendo resultados mais seguros para a determinação do etanol (COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

Além da matriz biológica, cada droga de abuso pode requerer um tipo de técnica específica de análise para a determinação de substâncias, dependendo da amostra orgânica utilizada. A Cromatografia e a Espectrometria de Massas como exemplos de técnicas analíticas muito específicas e sensíveis, são as mais utilizadas neste aspecto, e as drogas colocadas em evidência anteriormente, empregam estas exatas técnicas para sua detecção. A maconha utiliza-se em geral da técnica de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM) juntamente com a cocaína, que pode ser também determinada pelo método de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), e o álcool com o uso da técnica Cromatográfica Gasosa (PASSAGLI, 2009; RANGEL, 2003/ 2004).

Entretanto, há uma etapa muito importante do processo analítico, que antecede a determinação das drogas de abuso no laboratório, pela utilização das técnicas analíticas instrumentais apresentadas: o preparo das amostras laboratoriais.

5.2.5 – Preparo de amostras para análise por técnicas analíticas instrumentais

Todo vestígio encontrado no local de um crime, como materiais biológicos ou resíduos inertes, é importante para elucidar o fato ocorrido, e deve ser analisado pelo perito forense, que produz a documentação (laudo) referente a esses vestígios e realiza a coleta dessas evidências. Essas amostras coletadas são levadas ao laboratório para que sejam analisadas, e o seu preparo é parte fundamental do processo analítico (LOMBA *et al.*, 2023).

O preparo das amostras de drogas de abuso é a forma na qual aquela matriz biológica onde a droga pode estar presente é modificada para adentrar ao instrumento, que precisa ser de uma maneira específica, para evitar perdas e remover possíveis substâncias interferentes, fazendo com que somente a substância de interesse (analito) seja determinada (LOMBA, *et al.*, 2023).

Para isso existem diversos métodos aplicados, como o método de preparo em *headspace*, que se baseia na evaporação dos analitos de interesse, que ficam suspensos em um

⁴ O humor vítreo (HV), também nomeado como corpo ou fluido vítreo, é um gel claro presente na cavidade vítrea ou cavidade posterior do globo ocular, que tem as funções de dar volume ao olho, apoiar a retina e manter a sua transparência para permitir que os feixes de luz possam atravessá-la (MONTEFUSCO-PEREIRA; PINTO, 2016).

tubo fechado juntamente com a matriz biológica analisada (neste caso, sangue) e são inseridos no cromatógrafo a partir de uma seringa (REGO, 2008).

O método de *headspace* com microextração em fase sólida (MEFS) é o mais utilizado para a determinação do álcool etílico, permitindo extrair essa substância orgânica volátil com algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais de amostragem: baixo custo, possibilidade de reutilização, sistema portátil, facilidade de operação, perda e contaminação mínimas da amostra durante o transporte e armazenamento (PARREIRA; CARDEAL, 2005 *apud* COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

A SPE (Extração em Fase Sólida ou *Solid Phase Extraction*), uma separação líquido-sólido que transforma a matriz biológica em uma substância mais simples, evitando contaminantes em sua análise (PAIXÃO; PEREIRA; MELO, 2023).

A derivatização também é um método muito utilizado para o preparo de amostras de matrizes biológicas, sendo um processo que modifica os compostos de uma amostra através de reações químicas, para gerar melhores resultados, tornando os analitos mais estáveis para serem analisados por determinada técnica. A derivatização pode ser realizada de várias formas, podendo citar como exemplos o uso do BSA (Albumina Sérica Bovina) como reagente para a modificação do analito em análises de amostras de cocaína por CLAE/EM (BOTELHO, 2011) e do reagente derivatizante N,O-bis(trimetilsilil)trifluoroacetamida (BSTFA), aplicado para a análise de metabólitos de canabinoides por CG/EM (DÓREA *et al.*, 2017).

5.3 – PRINCIPAIS MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS NA IDENTIFICAÇÃO DE DROGAS DE ABUSO NA ÁREA FORENSE

Os métodos analíticos são utilizados na separação, identificação e quantificação dos diversos tipos de drogas de abuso e são essenciais para a para a determinação dessas substâncias em níveis muito baixos de concentração, permitindo a realização de análises rápidas em pequenas quantidades de amostra. A escolha do método deve ser embasada em critérios técnicos, como a especificidade, sensibilidade e precisão, além da disponibilidade e custo do mesmo (COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

O desenvolvimento de métodos no âmbito forense deve priorizar a sensibilidade, seletividade e especificidade, de modo a permitir que o analista emita laudos com resultados inquestionáveis, uma vez que estes são utilizados, em geral, como parte de processos

judiciais, que poderão implicar na condenação ou absolvição de um réu (COSTA, 2008 *apud* COSTA; CRUZ; OSHIMA-FRANCO, 2010).

É importante destacar que para o bom desempenho desses métodos é fundamental a realização do processo de validação, que consiste em garantir a qualidade das medidas obtidas e a confiabilidade estatística dos cálculos envolvidos durante a sua realização, pela avaliação de figuras analíticas de mérito, tais como sensibilidade, seletividade, precisão, exatidão, limites de detecção e quantificação e robustez. A validação garante que um determinado método analítico é adequado ao que se propõe e é conduzida de forma a assegurar a aplicação do método durante as operações de rotina em análises de campo ou laboratoriais (GIUDICE, 2016).

Os métodos analíticos hodiernamente utilizados para a determinação de resíduos de drogas de abuso e seus derivados são os clássicos colorimétricos, e os instrumentais, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), a Cromatografia Gasosa (CG) e a Espectrometria de Massas (EM), com os seus grandes avanços no decorrer dos anos (GOMES, 2013).

5.4 – MÉTODOS COLORIMÉTRICOS

Testes clássicos colorimétricos, realizados em áreas externas, são muito utilizados, por exemplo, em apreensões policiais de narcóticos. O teste de Marsh, que era utilizado para identificação de arsênio em casos de envenenamentos antigamente, ainda encontra-se sendo usado nos dias de hoje para os mesmos fins, e principalmente na área da toxicologia forense. Estes testes fazem parte da rotina em química forense, e consistem em diferentes abordagens que promovem a identificação de substâncias, tais como as drogas de abuso, em diferentes amostras, por meio de reações químicas, que dão origem a produtos coloridos (COSTA; BRITO, 2020).

Assim, testes baseados no princípio da colorimetria são utilizados tanto em trabalhos nos laboratórios de química analítica forense, como nas partes externas, em procedimentos policiais de rotina em busca de substâncias tóxicas. Na identificação das substâncias, os testes podem obter resultados bem amplos, visando apenas à detecção de alguma droga de abuso no geral, porém alguns conseguem determinar o tipo específico da substância em sua análise, como nos casos da maconha, da cocaína e do álcool (MOTA; DI VITTA, 2014).

Os testes colorimétricos são exemplos de técnicas analíticas qualitativas comumente utilizadas na detecção de drogas de abuso no meio forense (Tabela 3). Por serem métodos de baixo custo, necessitando somente de reagentes específicos para sua realização, e apresentarem um resultado rápido, que se baseia em reações químicas simples, que geram cor, essas técnicas se tornam de mais fácil acesso e eficiência e são realizadas como testes de triagem, os quais têm como propósito identificar a substância de interesse de forma rápida (MOTA; DI VITTA, 2014).

Tabela 3 - Testes colorimétricos mais utilizados na detecção de álcool, maconha e cocaína.

DROGA DE ABUSO	AMOSTRA	MÉTODO / PRINCÍPIO	REFERÊNCIA
Álcool etílico	Soro Plasma Urina Saliva	- kit de ensaio enzimático colorimétrico EnzyChrom™ / oxidação do etanol catalisada pela enzima álcool desidrogenase. A intensidade da cor do produto formado, medida a 565 nm, é proporcional à concentração de etanol na amostra.	(SOUZA; BACH HI; GONZALES, 2014)
Maconha	Sólido apreendido ou coletado	- Teste de Duquenois-Levine / reação da amostra com o reagente de Duquenois-Levine (solução de vanilina em álcool etílico 95% e acetaldéido) em meio de ácido clorídrico concentrado. Se houver desenvolvimento de uma coloração dentro de até 3 minutos, adiciona-se clorofórmio. Uma coloração violeta na camada clorofórmica indica a presença de canabinoides na amostra. - Teste com Fast Blue B Salt / reação da amostra com éter de petróleo, em superfície de papel de filtro. Após, reação com mistura de Fast Blue B Salt (cloreto de di-o-anisidina tetrazolio), sulfato de sódio anidro e bicarbonato de sódio. Uma mancha vermelha é indicativa da presença de canabinoides na amostra.	(COSTA; BRITO, 2020)
Cocaína	Sólido apreendido ou coletado	- Teste de Scott / reação da amostra com o reagente de Scott (tiocianato de cobalto em ácido acético e glicerina), em meio de ácido clorídrico concentrado. A coloração deverá mudar de azul para rosa, indicando a presença de cocaína na amostra.	(COSTA; BRITO, 2020)

5.5 – CROMATOGRAFIA

A cromatografia pode ser determinada como um método baseado em princípios físico-químicos de separação de compostos, que são fundamentados a partir da migração diferencial de componentes de uma mistura. Esta migração diferencial é derivada de diferentes interações que ocorrem entre as duas fases principais da técnica cromatográfica: fase móvel e fase estacionária (AMORIM, 2019).

A fase móvel é a parte na qual, a partir de um líquido ou gás, os compostos da mistura analisada são impulsionados a passar pela fase estacionária, que por sua vez, será responsável em reter a fase móvel e os compostos que ela carrega a partir de um líquido ou sólido, o que gera migrações diferenciadas dos componentes do analito, promovendo a separação dos mesmos (COLLINS *et al.*, 1997) (Figura 9).

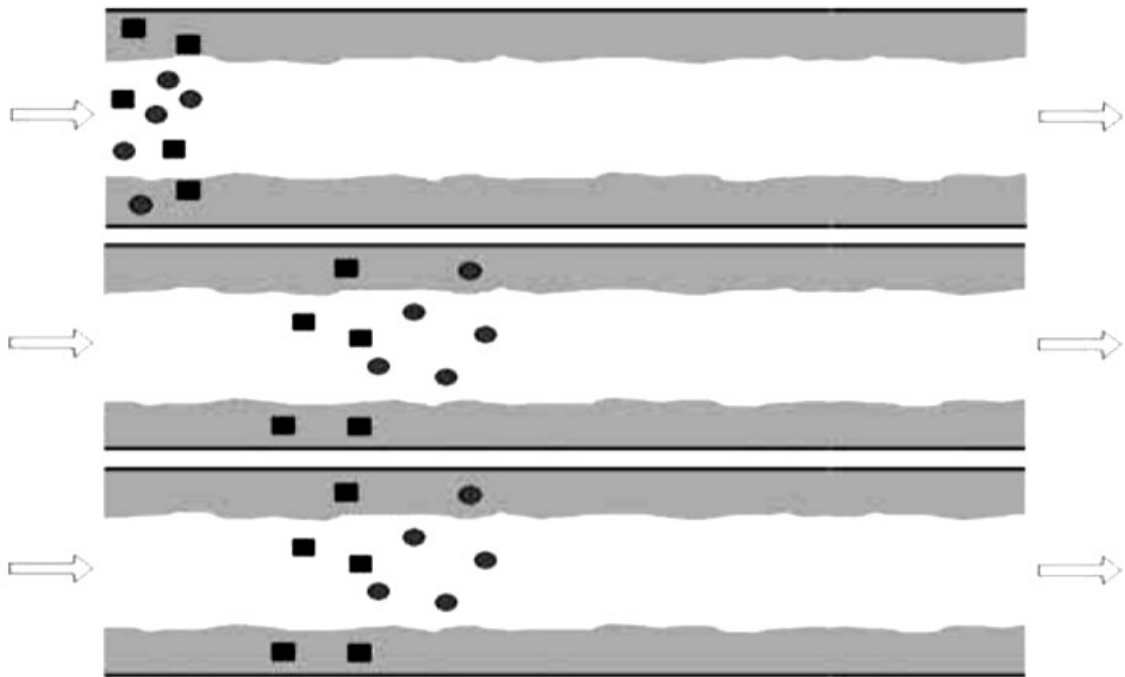


Figura 9 - Ilustração da migração diferencial realizada dentro de uma coluna, na fase estacionária de um cromatógrafo, de dois componentes de uma mistura (amostra), representados pelas bolas e quadrados na imagem (Fonte: AMORIM, 2019).

Além destes princípios básicos, existem alguns critérios de separação específicos para diferentes análises em sistemas cromatográficos baseados no perfil físico-químico do método, e nas interações que irão ocorrer entre os componentes da substância e a fase estacionária. São os critérios de separação utilizados: partição, troca iônica, exclusão molecular, afinidade e adsorção. Essas categorias dão origem a diferentes tipos de análises das substâncias submetidas a este método, mas que irão gerar o mesmo resultado (AMORIM, 2019).

Os cromatógrafos, instrumentos específicos para a realização da técnica cromatográfica, são utilizados para a separação de compostos de uma amostra e apresentam partes fundamentais que funcionam para a análise se tornar totalmente eficiente e completa, porém vale ressaltar que elas podem variar dependendo da categoria de método cromatográfico utilizado. O injetor é por onde o analito adentra ao sistema, passando para a fase móvel e a fase estacionária, que ficam localizados em uma coluna. A fase móvel só percorre esta coluna levando a substância para ser separada na fase estacionária, a qual se encontra fixa dentro do sistema. Se o estado físico da fase estacionária for líquido, então o adsorvente pode estar espalhado sobre uma superfície de forma viscosa ou dentro de um tubo capilar, e já se o estado físico for sólido, esta fase pode se encontrar em formas de moléculas sólidas, empacotadas dentro da coluna, a qual é chamada de recheio (COLLINS *et al.*, 1997).

O sistema cromatográfico também é constituído de um detector, que pode ser de diferentes tipos. O detector é localizado na parte final do sistema, assim que a amostra já separada sai da coluna. Os detectores servem como transdutores de concentração dos compostos no analito, formando um gráfico que é liberado de forma computadorizada, chamado de picos cromatográficos. Estes picos podem variar dependendo da quantidade do componente encontrado na amostra e pelo seu tempo de retenção (t_r), ou seja, o tempo que aquele composto ficou retido na fase estacionária para ser separado desde o momento em que foi injetado no sistema. A altura do pico define a concentração do componente analisado naquela amostra, e a largura do pico irá definir o tempo de eluição daquele analito dentro da fase estacionária (COLLINS *et al.*, 1997).

A cromatografia apresenta uma alta seletividade e eficiência na separação a partir dos fenômenos de adsorção, solubilidade e outros presentes no procedimento, desde a interação entre os compostos, a migração deles entre as colunas, suas fases e até a separação de cada um deles. Sob esse viés, a cromatografia também pode apresentar tipos distintos de sistemas que utilizam como base, os fenômenos apresentados neste tópico para suas análises (Figura 10) (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

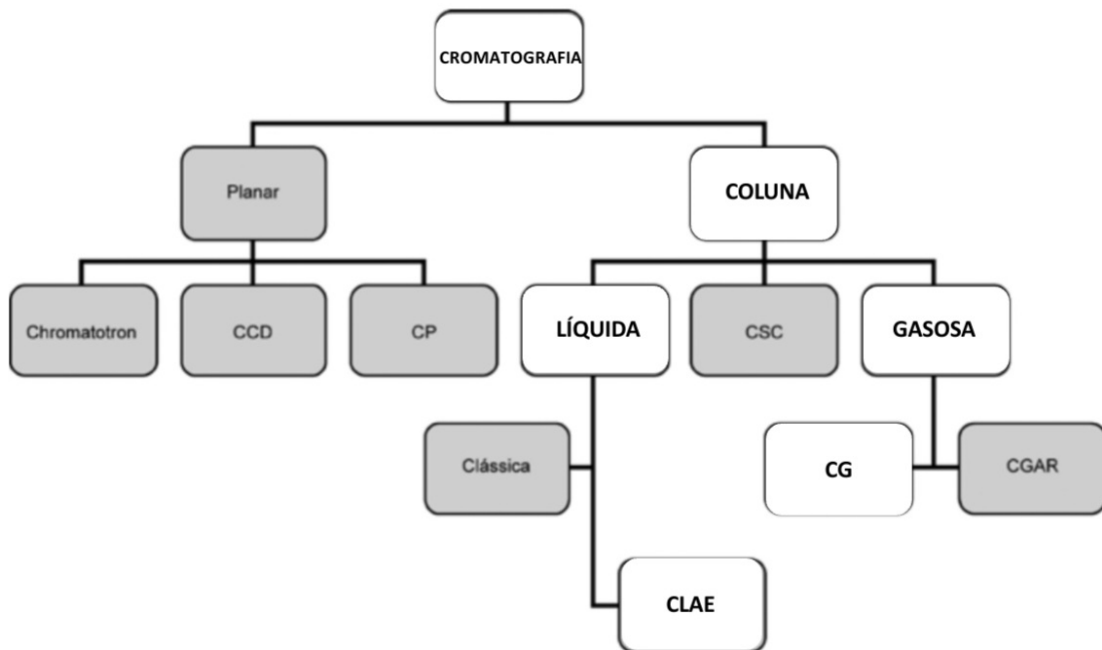


Figura 10 - Representação esquemática dos diferentes tipos de sistemas cromatográficos (Fonte: AMORIM, 2019).

As mais utilizadas no quesito de detecção de drogas de abuso são as cromatografias em coluna, mais especificamente a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida, considerando-se neste caso, a de alta eficiência (CLAE), acopladas à Espectrometria de Massas (EM).

5.5.1 - Cromatografia Gasosa (CG)

A cromatografia gasosa é o tipo de sistema cromatográfico no qual se utilizam, especificamente, gases em sua fase móvel (geralmente He, H₂ e N₂) (Figura 11). Esses gases são chamados de gases de arraste, que carregam a amostra injetada pela coluna do sistema até a fase estacionária, através de um disco de borracha, inserido no cromatógrafo de forma espiral. Neste tipo de cromatografia, a amostra que irá ser separada precisa ser volátil e estável termicamente, já que a análise na fase móvel será feita através de um gás e utilizará de um forno, para evitar contaminações na coluna cromatográfica. Porém, nos dias de hoje, mesmo as amostras que não apresentam essas características podem ser derivatizadas quimicamente, ou seja, preparadas adequadamente para a inserção no cromatógrafo e completar sua análise (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

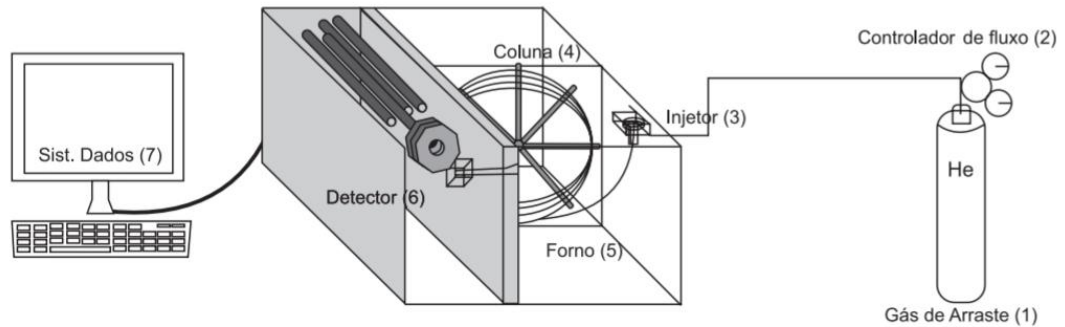


Figura 11 - Partes da instrumentação esquematizada de um cromatógrafo gasoso (Fonte: NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Esta cromatografia pode ser classificada como cromatografia gasosa (CG) ou cromatografia gasosa de alta resolução (CGAR). A diferença entre essas duas formas de denominação é que a CGAR é constituída de colunas cromatográficas de maior comprimento e menor em diâmetro, permitindo que a fase estacionária seja fina, aplicada diretamente nas paredes do tubo da coluna (capilares) e são consideradas mais eficientes. Na coluna capilar, os adsorventes usados nas colunas podem ser produzidos com sílica (SiO_4) e revestidos com poliamida, que é um plástico resistente a altas temperaturas. Esta coluna é mais utilizada neste tipo de cromatografia por ser mais sensível na detecção e separação dos compostos (HARRIS, 2001).

Já a CG, apresenta colunas cromatográficas denominadas de colunas recheadas, que são colunas empacotadas com um sólido e podem ou não serem revestidas por um líquido não volátil, servindo como a fase estacionária da técnica. Estas são produzidas geralmente por níquel, aço inoxidável ou vidro, e são essenciais na separação de gases, na qual necessita-se de uma grande quantidade da fase estacionária (HARRIS, 2001).

A amostra preparada, por sua vez, é injetada dentro do cromatógrafo com uma seringa, compacta no caso da amostra ser gasosa. A fase de gás de arraste ou fase móvel ocorre quando a amostra injetada é carregada pelo gás presente no sistema até a coluna da fase estacionária, que deve ter o mínimo de interferências possíveis no trajeto. Devido a isto, o gás utilizado como fase móvel precisa ser inerte, de alta pureza e adequado ao tipo de detector aplicado ao sistema. Em um caso, por exemplo, de CG/EM (Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas), o gás Hidrogênio, H_2 , não poderia ser usado na fase móvel apesar

de ser eficiente na análise, pois o seu uso iria prejudicar partes do detector espectrométrico, assim não obtendo uma análise de sucesso (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Os componentes separados saem da coluna cromatográfica dissolvidos no gás de arraste diretamente para o detector, em que serão analisadas as concentrações dos diferentes compostos detectados na amostra. Estes detectores podem ser classificados em diversos tipos: condutor térmico, ionização de chama (DIC), captura de elétrons, e outros. Os mais utilizados são os de condutividade térmica e por ionização em chama, pois se encaixam facilmente nos critérios da cromatografia gasosa, porém estes detectores não são tão específicos, sendo capazes de apenas identificar certos compostos, logo não são considerados detectores globais (COLLINS *et al.*, 1997).

Um detector denominado de nitrogênio-fósforo é um tipo fundamental na análise de fármacos (drogas) e outros componentes, sendo baseado em uma modificação do detector que utiliza do sistema de ionização de chama (DIC), pois identifica facilmente amostras que contém nitrogênio e/ou fósforo (COLLINS *et al.*, 1997).

Um exemplo da aplicação da Cromatografia Gasosa para a determinação de etanol em amostras de sangue é apresentado na Figura 12.

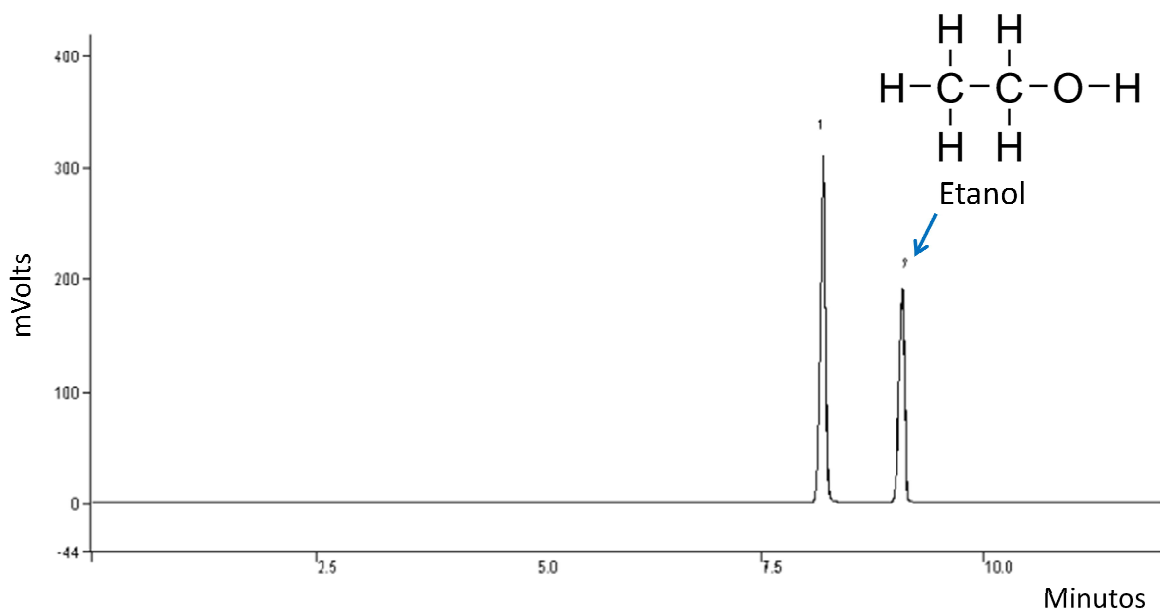


Figura 12 - Cromatograma referente à determinação de etanol em amostras de sangue por CG, utilizando coluna capilar de sílica, com detector de ionização de chama (DIC) e t-butanol como padrão interno (Fonte: adaptado de REGO, 2008).

5.5.2 - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

A cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) é o tipo de método cromatográfico em que se utiliza na fase móvel um líquido. A CLAE apresenta uma diferença entre a cromatografia líquida geral, que é a utilização de uma bomba de alta pressão em seu cromatógrafo. Isto se dá pois a técnica faz uso de partículas de separação diminutas em sua fase estacionária, as quais tornam o processo muito mais rápido e eficiente, fazendo jus a sua denominação de Cromatografia de Alta Eficiência (AMORIM, 2019).

O sistema trabalhado na CLAE possui partes fundamentais para suas análises, sendo um injetor da amostra, uma bomba de alta pressão, uma coluna cromatográfica na qual abriga a fase estacionária, um detector acoplado a um sistema computadorizado para exibir os resultados da separação e um descarte da fase móvel (Figura 13) (AMORIM, 2019).

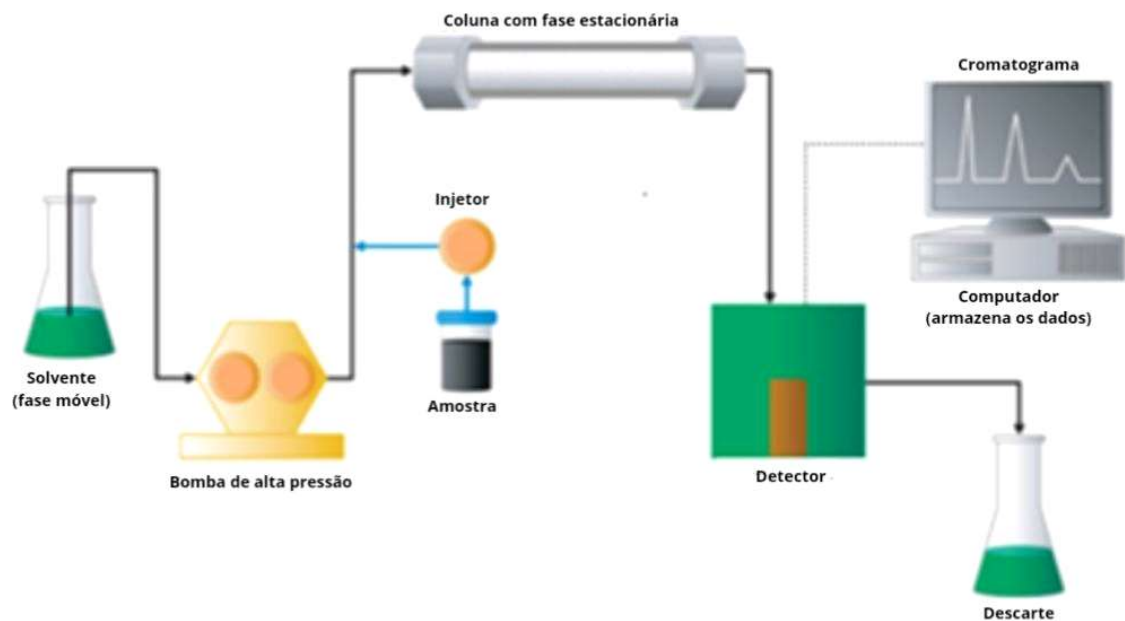


Figura 13 - Partes da instrumentação esquematizada de um cromatógrafo de alta eficiência (Fonte: VALIM, 2020).

Os tipos de coluna utilizadas nessa cromatografia são as recheadas, por serem mais eficazes pelas partículas presentes na fase estacionária. Geralmente são produzidas externamente com aço inoxidável, mas, internamente, seu recheio acaba se degenerando com certa facilidade por impurezas que possam estar presentes na amostra analisada. Por este motivo, o líquido utilizado na fase móvel precisa ter um alto grau de pureza, estar filtrado e

livre de quaisquer interferentes para a passagem na fase estacionária ser realizada, facilitada pela bomba de alta pressão, a qual promove uma eluição da fase móvel na coluna a uma velocidade razoável e com bastante eficácia (COLLINS *et al.*, 1997).

O processo que ocorre dentro deste sistema entre as fases móvel e estacionária é a partir da interação entre elas, na qual a amostra carregada da fase móvel líquida interage com o adsorvente da fase estacionária, um sólido da coluna recheada. Esse processo pode ser classificado como adsorção ou partição, e a partir dele as amostras são separadas e identificadas pelo detector (COLLINS *et al.*, 1997).

O detector nesta técnica pode ser de variados tipos, pois assim como outras técnicas, a CLAE possui limitações e necessita de detectores adequados ao seu método. O detector ideal é um que possua uma alta sensibilidade, um baixo limite de detecção, uma resposta rápida a todos os solutos, insensibilidade a mudança na temperatura já que, a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência necessita de uma temperatura um pouco acima do normal para conseguir um fluxo mais rápido em sua coluna, insensibilidade na vazão da fase móvel, dentre outros critérios. Infelizmente ainda não existe um detector que seja capaz de atender a todos os requisitos fundamentais da CLAE, necessitando-se em algumas análises, o uso de até dois detectores diferentes para que a amostra seja identificada corretamente (COLLINS *et al.*, 1997).

Neste caso, os detectores utilizados na técnica são os de ampla faixa de aplicação, que conseguem se empregar na CLAE. São estes: detector ultravioleta, fluorescência, eletroquímico, espectrometria de massas, dentre outros (COLLINS *et al.*, 1997).

5.6 – ESPECTROMETRIA DE MASSAS (EM)

A espectrometria de massas é uma técnica que se baseia nos processos de ionização e na diferença de massas moleculares e cargas encontradas na amostra que se deseja identificar. Essa amostra, composta por várias moléculas, sofre um processo de ionização, sendo quebradas em vários íons e fragmentos durante o processo (HARRIS, 2001).

Este método possui o objetivo de identificar e quantificar compostos desconhecidos, semelhante à cromatografia, porém esta técnica usa como abordagem a caracterização de átomos e moléculas a partir da relação entre a massa e carga (m/z) de seus íons, além de obter vantagens como a elucidação de estruturas moleculares da amostra (HARRIS, 2001).

A instrumentação desta técnica é fundamentada nas seguintes partes: introdução da amostra, fonte de ionização, analisador de massa e um detector (Figura 14). Na introdução da amostra, a espectrometria possui tipos de inserções, os quais podem ser a amostra direta (sem nenhuma preparação) inserida no espectrômetro ou a preparação prévia da substância que se busca analisar (LANÇAS, 2009).

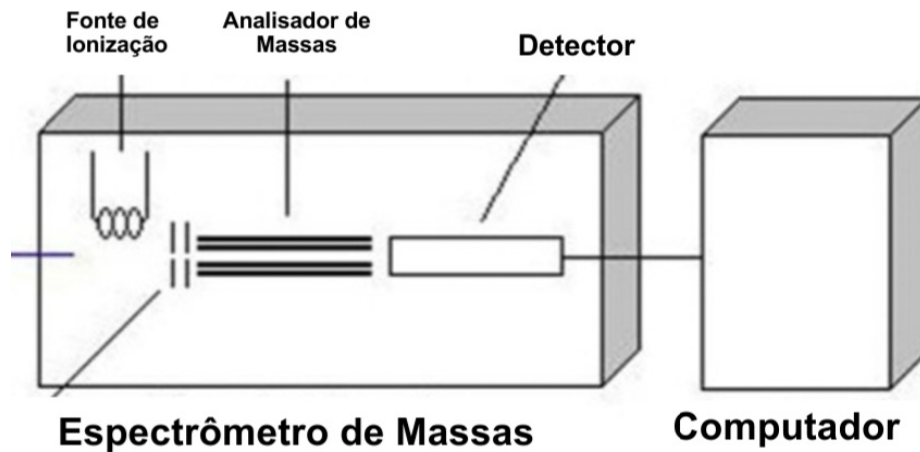


Figura 14 - Esquema das partes fundamentais de um espectrômetro de massas (Fonte: PAVIA *apud* LACOM, 2010).

As amostras não-preparadas para a inserção no espectrômetro não são tão utilizadas pelo fato da técnica ser de alta sensibilidade e possuir melhor análise em compostos puros. Já as amostras previamente preparadas, precisam ser isoladas e inseridas através de uma sonda dentro do sistema, um processo que se torna demorado e lento. Por estes motivos, a Espectrometria de Massas é melhor aplicada quando se é acoplada a outras técnicas analíticas, como a Cromatografia, já que os compostos saem diretamente e devidamente preparados ao espectrômetro (LANÇAS, 2009).

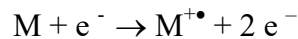
5.6.1 - Fontes de ionização em EM

As fontes de ionização, outra etapa do sistema espectrométrico, são as responsáveis pela fase na qual as moléculas inseridas são quebradas em íons e fragmentos. Essa ionização é realizada aplicando-se energia térmica ou elétrica, e apresenta tipos específicos em sua realização: ionização por Impacto de Elétrons (IE) (*Electron Impact* (EI)); Ionização Química (IQ) (*Chemical Ionization* (CI)); e Ionização por Electrospray (IES) (*Electrospray Ionization* (ESI)) (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

Ionização por Impacto de Elétrons (IE) (*Electron Impact (EI)*)

A ionização por impacto de elétrons tem como base a interação entre o feixe de elétrons energético produzido pela fonte e o vapor da amostra. Nesse tipo de fonte de ionização (Figura 15), um feixe acelerado de elétrons, para um campo magnético, irá bombardear a molécula ionizando-a em vários íons e fragmentos moleculares, relacionados às propriedades químicas das substâncias em estudo (LANÇAS, 2009).

O íon molecular, $M^{+\bullet}$, é originado pela perda de um elétron da molécula neutra (M) (LAVAGNINI *et al.*, 2006):



Esse íon molecular (também chamado de cátion radical) formado contém um elétron desemparelhado e uma carga positiva (Figura 15), e tem a mesma massa da molécula original, já que o elétron tem massa desprezível (BRONDANI, 2019).

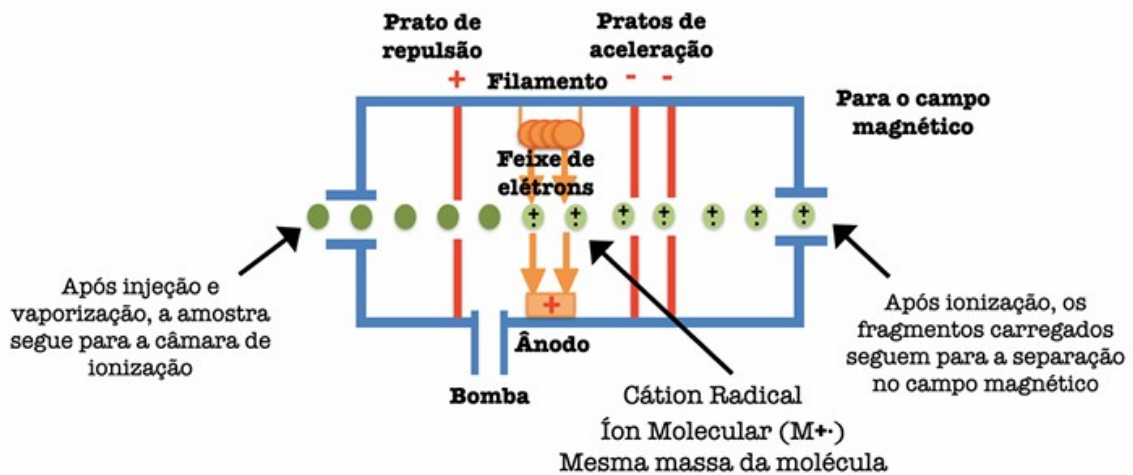


Figura 15 – Esquema representativo da ionização por impacto de elétrons, com a formação do íon molecular (cátion radical) (Fonte: BRONDANI, 2019).

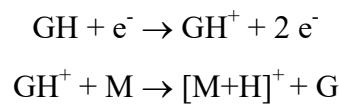
A série de fragmentos gerados por esse método de ionização geralmente é derivada do rompimento de ligações simples presentes nas moléculas, e outros processos de rearranjo molecular, o que gera espectros de massa bastante reprodutíveis, geralmente disponíveis para consulta em bibliotecas de espectros (LAVAGNINI *et al.*, 2006).

Para que a ionização seja efetiva e ocorra essa reprodutibilidade dos espectros gerados, o feixe de elétrons deve ter uma energia padronizada de 50 a 75 eV (elétron-volt), pois até entrar em contato com a amostra, um percurso é necessário para gerar as fragmentações. No entanto, o excesso de fragmentação pode se tornar uma desvantagem, especialmente para a análise de moléculas de alto peso molecular (BRONDANI, 2019).

Ionização Química (IQ) (*Chemical Ionization* (CI))

A ionização química irá utilizar de moléculas específicas de gases com baixo peso molecular, que irão colidir com íons, gerando outros íons gasosos que serão utilizados para ionizar moléculas neutras do analito, ou seja, as moléculas do composto que está sendo analisado no espectrômetro de massas (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

A interação entre os gases de baixo peso molecular (gás reagente, G) e as moléculas da amostra (M) produz geralmente espécies ácidas em fase gasosa, e para tal, reações de protonação do analito são mais empregadas, onde há a transferência de próton (H^+) do gás reagente, gerando íons $[M+H]^+$ (LAVAGNINI *et al.*, 2006):



Um exemplo de gás muito utilizado na ionização química é o metano (CH_4). Ocorre a transferência de próton entre o íon CH_5^+ , uma estrutura instável e com caráter ácido suficiente para protonar moléculas (Figura 16), e as moléculas da amostra (BRONDANI, 2019).

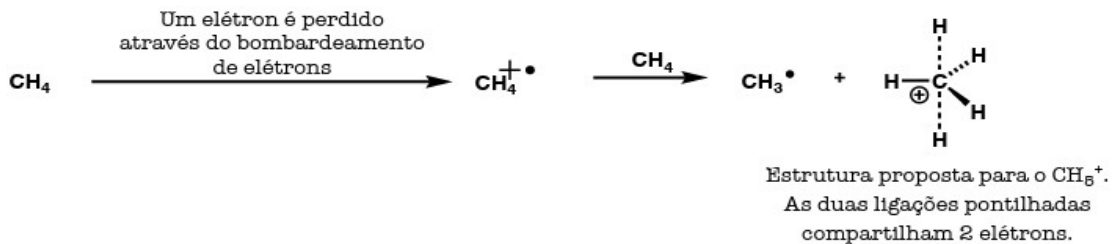
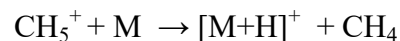


Figura 16 – Representação da formação da estrutura CH_5^+ (Fonte: BRONDANI, 2019).

Sendo assim, a amostra é protonada ao invés de perder elétrons, dando origem a um simples cátion, $[M+H]^+$, mais estável que um cátion radical (BRONDANI, 2019):



Mesmo que ocorram outras fragmentações, ou que alguma fragmentação leve à formação de um radical, além do cátion $[M+H]^+$, somente este cátion é detectado no espectrômetro de massas. Assim, essa metodologia de ionização da amostra gera menos sinais (fragmentações) no espectro de massas. Outra vantagem do método de ionização química é a produção de íons moleculares intactos, que são acelerados para o campo magnético, assim como no método de ionização por impacto de elétrons (BRONDANI, 2019).

Porém, é importante ressaltar que, assim como na ionização por impacto de elétrons, a ionização química requer a presença de amostras na fase vapor na fonte, e assim, não pode ser aplicada à analitos não voláteis (LAVAGNINI *et al.*, 2006).

Ionização por Electrospray (IES) (*Electrospray Ionization (ESI)*)

Já a ionização por electrospray ou eletronebulização, vai permitir a produção de íons por pressão atmosférica a partir da pressurização do analito em um tubo capilar de aço inoxidável, em uma alta voltagem (Figura 17). Como resultado disto, a amostra é liberada do capilar em forma de aerossol com gotículas carregadas em pressão atmosférica, e essas gotículas são carregadas, por conta da diferença de pressão, a uma câmara de alto vácuo presente no espectrômetro, ganhando tamanhos cada vez menores (LANÇAS, 2009).

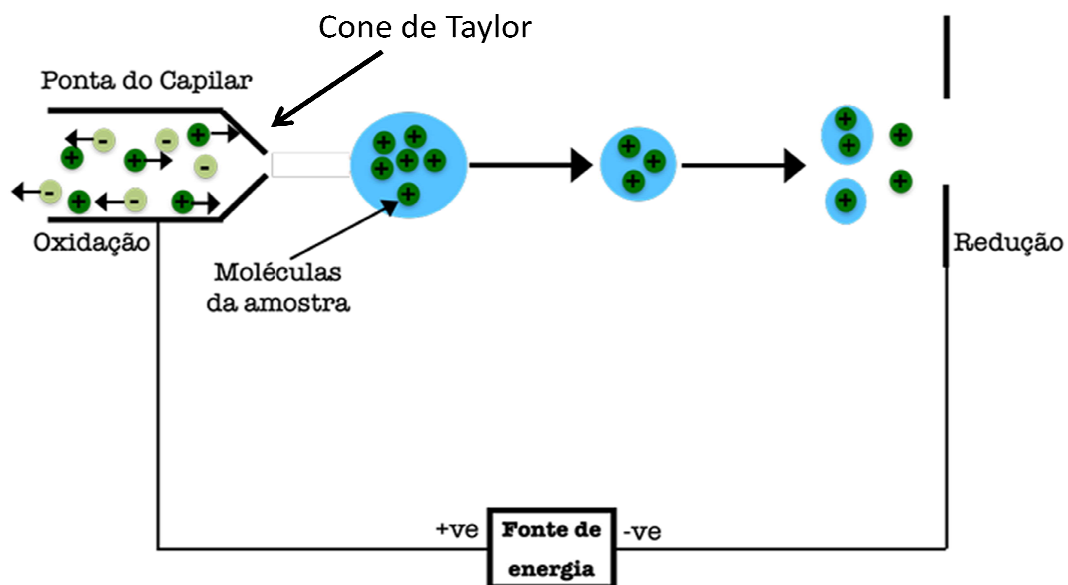


Figura 17 - Representação da ionização por electrospray (Fonte: adaptado de BRONDANI, 2019).

Nessa técnica de ionização ocorrem, então, três etapas principais após a injeção da amostra: 1- Produção de gotículas carregadas da amostra na região próxima à saída do capilar (O forte campo elétrico aplicado interage com a solução da amostra e as espécies carregadas presentes se movem na direção do campo, formando o chamado “cone de Taylor”); 2- Rápida diminuição do tamanho das gotículas, pela evaporação do solvente e repulsão entre as cargas elétricas de mesmo sinal; 3- Produção de íons na fase gasosa, originados das gotículas carregadas (LAVAGNINI *et al.*, 2006).

Uma vantagem dessa técnica de ionização, principalmente em sua aplicação na química forense, é a possibilidade de analisar biomoléculas maiores, na sua forma intacta, como proteínas e DNA. Além disso, é a metodologia de ionização mais aplicada em equipamentos de LC-EM, acoplando a Cromatografia Líquida à Espectrometria de Massas, pois as amostras são injetadas em solução líquida (BRONDANI, 2019).

5.6.2 – Analisadores de massas

Após a ionização da amostra, os íons e seus fragmentos são acelerados por um campo elétrico até adentrarem ao analisador de massas, que irá separar os íons de acordo com a razão entre sua massa molecular e sua carga (m/z). Os tipos de analisadores mais utilizados presentes nesta técnica são os quadrupolar e por tempo de voo, *Time-of-Flight* (ToF) (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

Analizador de massas quadrupolar ou quadrupolo

Este analisador de massas é baseado na separação dos íons através de hastes metálicas cilíndricas que servem como filtros (Figura 18), que quando colocadas em determinada voltagem, irão permitir a passagem de íons específicos até o detector; esses íons ressonantes são selecionados com base em sua razão (m/z) (LANÇAS, 2009).

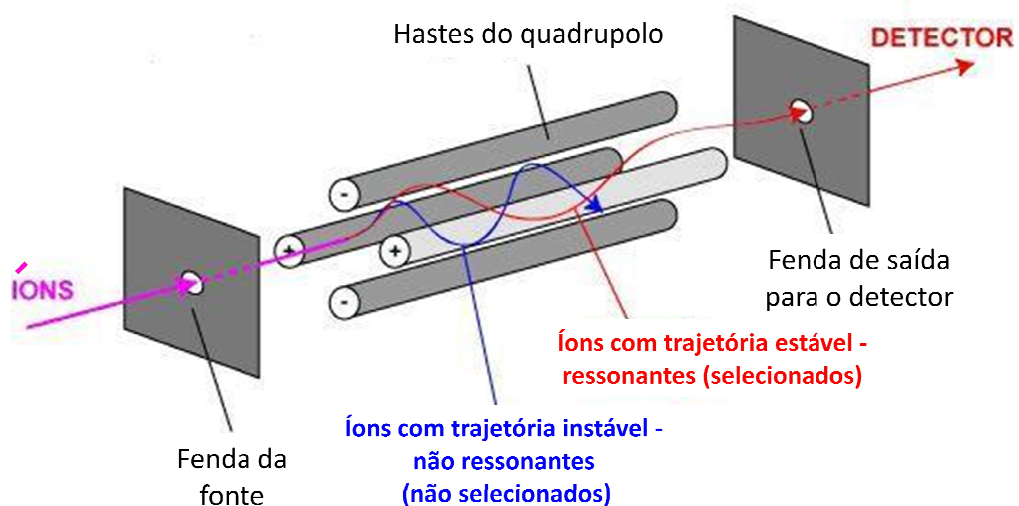


Figura 18- Analisador de massas quadrupolo (Fonte: adaptado de GATES, 2014).

É importante mencionar que os dados teóricos do comportamento de determinado íon no interior de um campo elétrico quadrupolo são altamente complexos (LAVAGNINI *et al.*, 2006), e a Figura 18 acima é somente uma representação ilustrativa do que acontece aos íons no interior desse tipo de dispositivo.

Analisador de massas por tempo de voo, *Time-of-Flight* (ToF)

Já na análise por tempo de voo (ToF), a aceleração dos íons até o detector será definida por um diferencial de potencial entre as razões massa e carga, pois os íons que apresentam uma razão m/z mais baixa, irão chegar mais rapidamente ao detector, e os que têm razão m/z mais alta, demoram mais para chegar (LANÇAS, 2009).

O princípio básico do analisador por tempo de voo considera que os íons, gerados na mesma fonte de ionização do espectrômetro de massas, têm a mesma energia cinética, de modo que as suas velocidades serão apenas diferenciadas pelas suas massas (importante destacar que essa velocidade é inversamente proporcional à raiz quadrada da massa do íon). Este fato permite que cada íon produzido seja acelerado através de um "tubo de voo" (Figura 19) para ser identificado, uma vez que o tempo que esses íons demoram para atravessá-lo está relacionado com a sua razão m/z (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

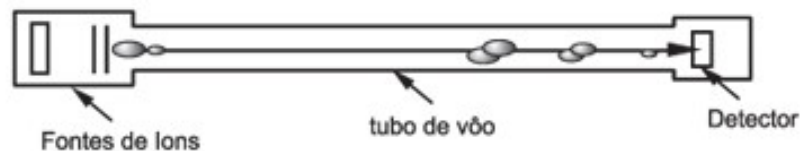


Figura 19- Esquema de um analisador de tempo de voo
(Fonte: CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

5.6.3 – Detectores de massas

Após os processos de ionização e análise, os íons serão todos carregados até o detector do espectrômetro de massas, que irá realizar a interpretação destes compostos baseadas em um banco de dados e gerará o resultado através de espectros de massa, que nada mais são do que um gráfico que representa os íons e seus fragmentos em função de suas concentrações relativas, caracterizados como pico base e pico molecular. O pico base será a abundância daquele íon em relação ao composto detectado, e o pico molecular irá determinar o composto presente através da semelhança encontrada pelo íon no banco de dados (SILVERSTEIN *et al.*, 1994).

O diagrama esquemático de um espectrômetro de massas, contendo os principais sistemas de inserção, métodos de ionização e analisadores de massas, está representado na Figura 20.

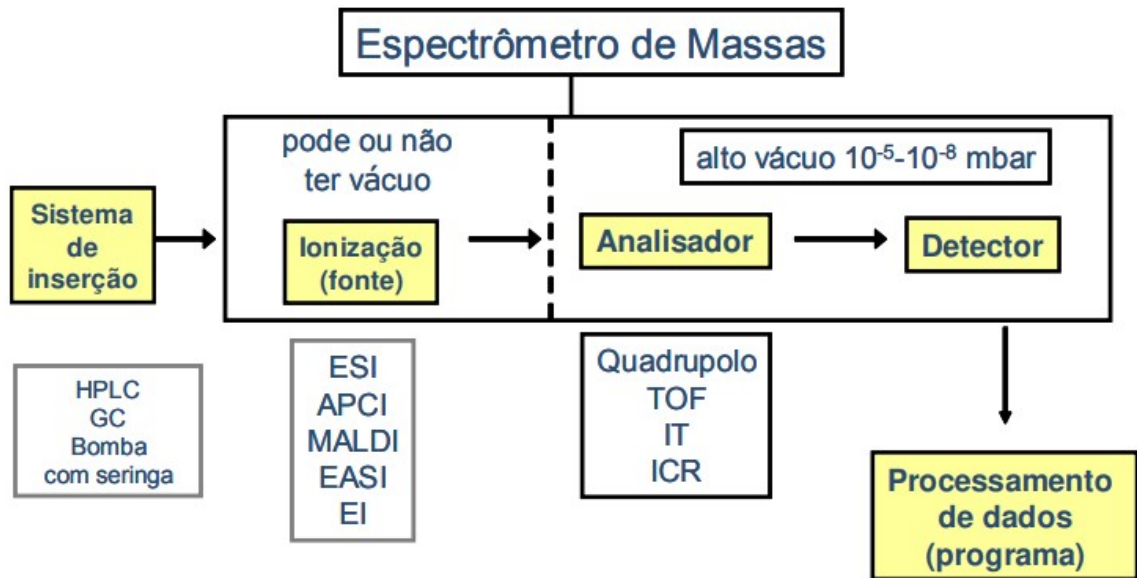


Figura 20- Diagrama esquemático de um espectrômetro de massas (Fonte: ROMÃO, 2010).

A Espectrometria de Massas, além de apresentar vantagens analíticas como, por exemplo, aumento adicional de seletividade, obtenção de informações estruturais e rastreamento de compostos das amostras, se torna ainda mais eficiente se acoplada à Cromatografia, tornando o processo ainda mais sensível e preciso (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

5.7 - ACOPLAMENTO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS E EXEMPLOS DE SUA APLICAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE DROGAS DE ABUSO

O acoplamento de técnicas analíticas como a Cromatografia e a Espectrometria de Massas, é frequentemente realizado para atividades de identificação e separação de substâncias, mas com vantagens, que apresentam análises mais apuradas e sensíveis combinando as funções de cada método. Entretanto, para que o acoplamento desses métodos seja possível, é preciso que as características de cada instrumento não sejam prejudicadas em suas funções e que as amostras aplicadas não sofram modificações químicas durante sua análise e sua transferência de um instrumento para o outro (CHIARADIA; COLLINS; JARDIM, 2008).

As técnicas cromatográficas mais aplicadas em conjunto com a Espectrometria de Massas são a Cromatografia gasosa (CG) e a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE ou HPLC). Um exemplo muito utilizado é o do Cromatógrafo gasoso (com coluna cromatográfica capilar) acoplado ao espectrômetro de massas quadrupolar (Figura 21). Os componentes da amostra separados no CG atravessam um conector aquecido, presente no interior da câmara de ionização por impacto de elétrons do espectrômetro, sob vácuo. Antes de adentrarem no separador de massas quadrupolar, os íons são acelerados (HARRIS, 2001).

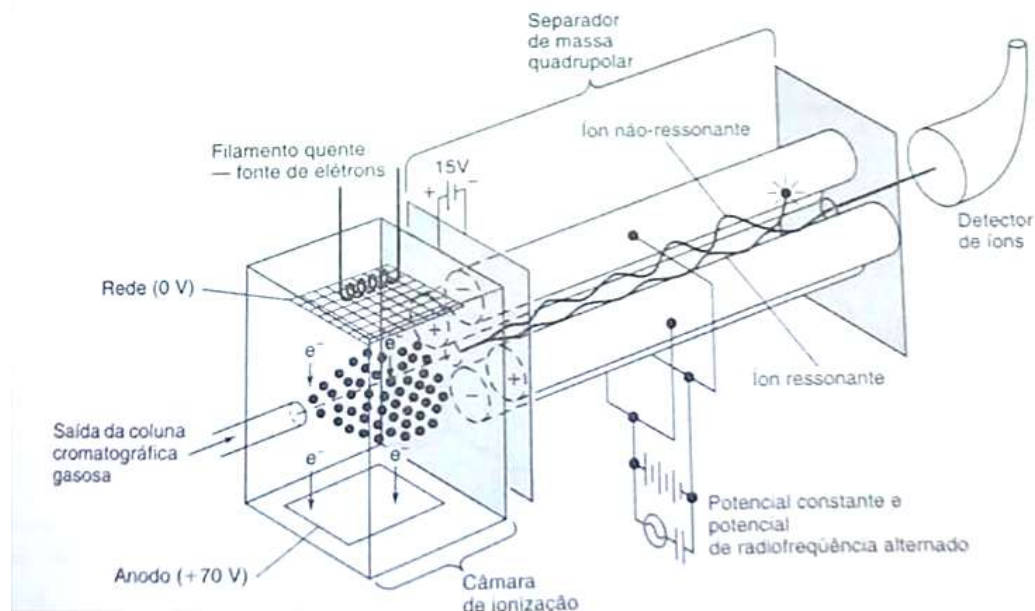


Figura 21 - Esquema representativo do acoplamento das técnicas CG e EM com ionização por impacto de elétrons e analisador de massas quadrupolo (Fonte: HARRIS, 2001).

A combinação de tais métodos tem promovido os melhores resultados na área forense e toxicológica, os quais se tornam as opções mais utilizadas e preferíveis para essas análises. A CLAE/EM (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas) e a CG/EM (Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas) permitem a detecção de diversos analitos em amostras presentes no ato criminal, dentre elas o álcool etílico, a maconha (Figura 22) e a cocaína (Figura 23) (ANNIS, *et al.*, 2007).

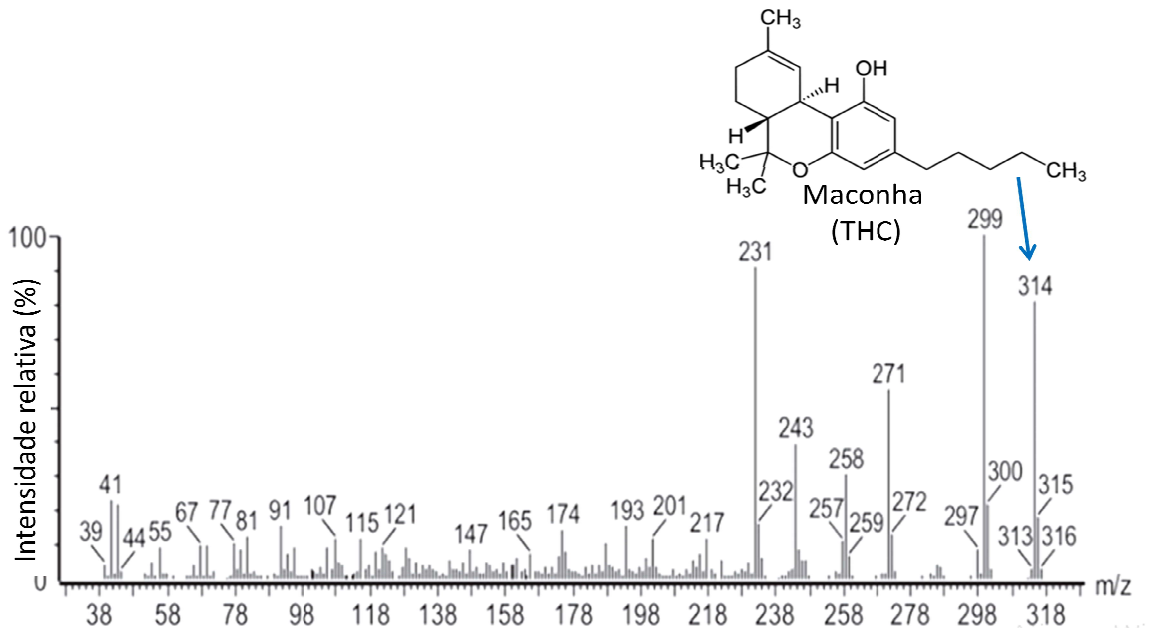


Figura 22 - Espectro de massas do THC, principal componente ativo da maconha, obtido por ionização por impacto de elétrons (EI), em que se observa o pico molecular 314 (Fonte: adaptado de RUPPEL, 2011 *apud* CUNHA *et al.*, 2015).

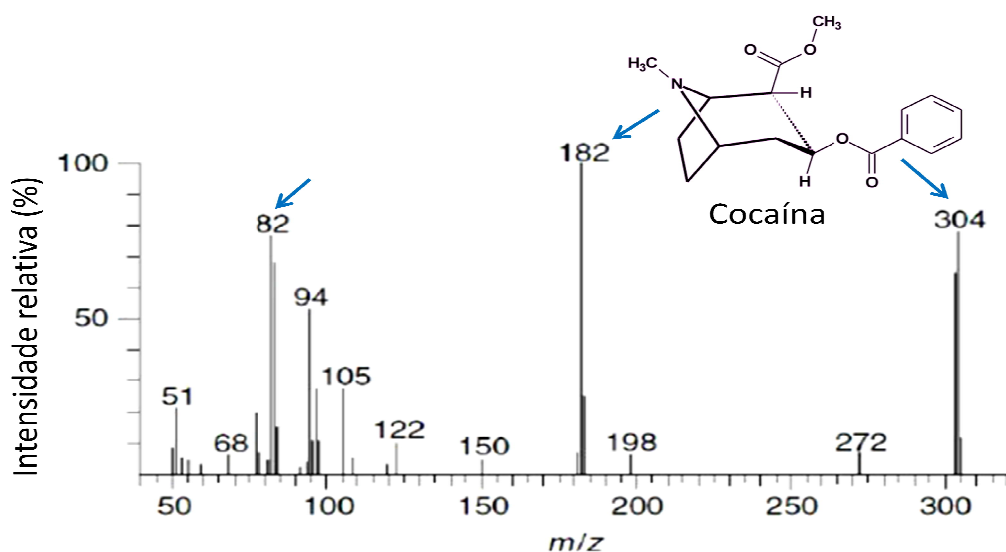


Figura 23 - Espectro de massas da cocaína apresentando os principais picos de massas (m/z) da cocaína em 82, 182 e 304, obtido a partir de sistema CLAE/EM e ionização por electrospray (ESI) (Fonte: adaptado de PASSAGLI, 2013 *apud* CUNHA *et al.*, 2015).

Na Tabela 4 são apresentados exemplos de determinações das principais drogas de abuso (álcool etílico, maconha e cocaína), no âmbito forense, utilizando as técnicas analíticas instrumentais estudadas, em amostras com a presença dessas substâncias, juntamente com a matriz biológica utilizada na análise e o método de preparo da amostra laboratorial.

Tabela 4 – Exemplos de utilização das técnicas analíticas instrumentais estudadas e sua aplicação em química forense, para determinação de álcool, maconha e cocaína.

DROGA DE ABUSO	AMOSTRA/PREPARO	TÉCNICA ANALÍTICA	REFERÊNCIAS
Álcool Etilico	Sangue/ <i>headspace</i>	CG/EM	(WASFI <i>et al.</i> , 2004)
	Sangue e urina/ microextração em fase sólida em <i>headspace</i>	CG	(MARTINIS <i>et al.</i> , 2004)
	Sangue, fluido oral/ microextração em fase sólida em <i>headspace</i>	CG	(FELTRACO <i>et al.</i> , 2009)
	Sangue/ <i>headspace</i>	CG/EM	(SAKA <i>et al.</i> , 2022)
Maconha	Cabelo / Extração em fase sólida	CG/EM	(KINTZ <i>et al.</i> , 1992)
	Saliva, sangue e urina / Extração líquido-líquido e sólido-líquido	CLAE/EM	(TEIXEIRA, 2008)
	Urina / hidrólise enzimática e básica e microextração em fase sólida	CLAE/EM/EM	(MONTESANO <i>et al.</i> , 2014)
	Urina / Microextração líquido-líquido	CG/EM/EM	(DÓREA <i>et al.</i> , 2017)
Cocaína	Urina / derivatização com BSA (albumina sérica bovina)	CG/EM e CLAE/EM	(CASALE; KLEIN, 1993)
	Cabelo/ hidrólise ácida e extração em fase sólida (SPE)	CG/MS/MS	(COGNARD, <i>et al.</i> , 2005)
	Saliva /extração em fase sólida (SPE)	CG/MS/MS	(COGNARD; BOUCHONNET; STAUB, 2006)
	Sangue e urina/precipitação ácida, centrifugação e extração em fase sólida	CLAE/EM/EM	(JOHANSEN; BHATIA, 2007)
	Cabelo/ Extração líquido-líquido	CLAE/EM/EM	(BORGO, 2016)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa elaborada teve como fito salientar o estudo da química forense e seus principais métodos analíticos aplicados à detecção de drogas de abuso, discorrendo sobre sua importância, sua história na humanidade, sua popularização por meio de séries televisivas e suas execuções na área criminal, que atuam desde os primórdios da humanidade e permanece em evolução com técnicas em prol da elucidação de crimes até os tempos atuais.

As drogas de abuso, matriz de enfoque deste trabalho, são substâncias que podem ser extremamente nocivas para o ser humano, alterando diversas funções do organismo e obtendo uma forte influência em atos criminais, seja por porte ou tráfico dessas drogas, ou pelo grande potencial de gerar dependência química em indivíduos que fazem um uso exacerbado desses entorpecentes.

Um dos desejos da autora desta pesquisa, também era o de trazer a importância desta problemática. A saúde é direito de todos e um dever do Estado, os indivíduos que fazem uso constante destas drogas precisam ser cuidados, e a criminalidade envolvendo esta temática precisa ser combatida. Drogas de abuso destroem vidas.

As metodologias químicas analíticas evidenciadas neste trabalho, como as principais utilizadas no âmbito forense, foram as técnicas clássicas colorimétricas, baseadas em reações químicas com a obtenção de produtos coloridos, e as instrumentais Cromatográficas e a Espectrometria de Massas, além de seus acoplamentos.

Foi possível compreender sobre como estes métodos funcionam, suas aplicações na determinação de drogas de abuso, métodos específicos de preparação de amostra e as matrizes biológicas utilizadas para a análise. Pode-se também entender sobre a importância de cada um destes métodos para a Química Analítica e para a Química Forense, visto que são técnicas altamente avançadas e seletivas, sendo uma grande invenção para a humanidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, A. C. **Farmacoterapia Clínica**. 7^a ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 14 out. 2023.
- ADUR (Associação de Docentes da Universidade Rural). **Barato Natural**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://www.adur-rj.org.br/5com/pop-up/barato_natural.htm>. Acesso em: 01 dez. 2023
- ALARCON, S. and JORGE, M. A .S, comps. **Álcool e outras drogas: diálogos sobre um mal estar contemporâneo**. [online]. Rio de Janeiro, Editora FIOCRUZ, 2012, 346 p. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8q677/pdf/alarcon-9788575415399.pdf>> Acesso em: 25 out. 2022.
- AMORIM, A. F. V. **Métodos Cromatográficos**. UECE, 1^a ed, 2019. Acesso em: 02 nov. 2023.
- ANNIS, D. A.; NICKBARG, E.; ZIEBELL, M. R.; WHITEHUSRT, C. E. **Affnity selection-mass spectrometry screening techniques for small molecule drug discovery**. Elsevier, 5^a ed. v. 11, 2007. Acesso em: 02 nov. 2023.
- ALMEIDA, V. Y. G. **Reflexões sobre a química forense no Brasil e nos EUA**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Química e Alimentos, Curso de Química Bacharelado, Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Rio Grande, p. 1-10, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.furg.br/handle/1/7878>> Acesso em: 22. set. 22.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 7^a ed. Porto Alegre, Bookman, 2018. Acesso em: 31 mai. 2023.
- BOFFELLI, B.L. **A ciência forense em séries televisivas: como a ciência e o cientista são representados em Dexter, NCIS e CSI**. 2022. 131f. Dissertação (Mestrado em Divulgação da Ciência, Tecnologia e Saúde) – Fundação Oswaldo Cruz. Casa de Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022.
- BORDIN, D. C. M.; MONEDEIRO, F. F. S. S.; CAMPOS, E. G.; ALVES, M. N. R.; BUENO, L. H. P.; MARTINIS, B. S. Técnicas de preparo de amostras biológicas com interesse forense. **Scientia Chromatographica**, Instituto Internacional de Cromatografia, São Paulo, 2015. Acesso em: 24 out. 2023.
- BORGO, A.P. **Análise post-mortem de cocaína em cabelo utilizando a técnica de LC-MS/MS**. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas, área de concentração Ciências Biomédicas) - Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016.
- BOTELHO, E. D. **Desenvolvimento de uma nova metodologia analítica para identificação e quantificação de truxilinas em amostras de cocaína baseada em cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (CLAE-EM)**. Dissertação (Mestrado) –Universidade de Brasília, Instituto de Química, 2011. Acesso em: 07 nov. 2023.

BRASIL. Presidência da república. Secretaria - Geral. Subchefia para assuntos jurídicos. **Lei nº 11.343 de 23 de agosto de 2006. Lei de Drogas.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2006/lei/111343.htm#view> Acesso em: 15 set. 2022

BRONDANI, P.B. **Espectrometria de Massas - Métodos de ionização.** Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://patyqmc.paginas.ufsc.br/files/2019/07/Espectrometria-de-Massas_Outros-me%CC%81todos-de-ionizac%CC%A7a%CC%83o.pdf. Acesso em: 01 dez. 2023.

CARLINI, E. A.; GALDURÓZ, J. C. F.; NOTO, A. R.; NAPPO, S. A. **I Levantamento Domiciliar sobre o Uso de Drogas Psicotrópicas no Brasil: Estudo Envolvendo as 107 Maiores Cidades do País – 2001** –. Secretaria Nacional de Políticas Sobre Drogas (SENAD), São Paulo, 2002. Acesso em: 22 out. 2023.

CARLINI, E. A.; GALDURÓZ, J. C. F.; SILVA, A. A. B.; NOTO, A. R.; FONSECA, A. M.; CARLINI, C. M.; OLIVEIRA, L. G.; NAPPO, S. A.; MOURA, Y. G.; SANCHEZ, Z. M.; **II Levantamento Domiciliar Sobre o Uso de Drogas Psicotrópicas no Brasil: Estudo Envolvendo as 108 Maiores Cidades do País.** Secretaria Nacional de Políticas Sobre Drogas (SENAD), Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas (CEBRID), Departamento de Psicobiologia da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, 2005. Acesso em: 21 out. 2023.

CASALE, J. F.; KLEIN, R. F. X. Produção Ilícita de Cocaína. **Forensic Science.** Revista 5, 95, 1993. Acesso em: 07 nov. 2023.

CAVALCANTI, D.R.; BARROS, R.M. Escondendo Manchas de Sangue em Locais de Crime: Análise da Ação Antioxidante dos Chás Verde e Preto Sobre o Luminol. **Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics.** 6 (1): 47-60, 2016. Acesso em: 11 set. 2023.

CEBRID, Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas. **Livreto informativo sobre drogas psicotrópicas.** 2022. Acesso em: 14 out. 2023.

CHEMELLO, E. Ciência Forense: impressões digitais. **Química Virtual,** 2006. Acesso em: 22 jun. 2023.

CHIARADIA, M. C.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. **Química Nova,** v. 31, n. 3, São Paulo, 2008. Acesso em: 14 out. 2023.

COELHO, B. F. Histórico da Medicina Legal. **Revista da Faculdade de Direito,** Universidade de São Paulo, 2010. Acesso em: 07 jul. 23.

COGNARD, E. Analysis of cocaine and three of its metabolites in hair by gas chromatography-mass spectrometry using ion-trap detection for CI/MS/MS. **Journal of Chromatography B,** v. 826, p. 17-25, 2005.

COGNARD, E.; BOUCHONNET, S.; STAUB, C. Validation of a gas chromatography—Ion trap tandem mass spectrometry for simultaneous analyse of cocaine and its metabolites in saliva. **Journal of Pharmaceutical and Bionomedical Analysis**, v.41(3), p.925-934, 2006.

COLLINS, C. H. Pilares da cromatografia I. Michael Tswett e o "nascimento" da Cromatografia. **Scientia Chromatographica**, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, São Paulo, 2009. Acesso em: 05 ago. 2023.

COLLINS, C. H; BRAGA, G. L; BONATO, P. S. **Introdução a métodos cromatográficos**. 7ª ed. Editora da UNICAMP, 1997. Acesso em: 02 nov. 2023.

COSTA, M. A. F; BRITO, N. M. Requisições de rotina e testes colorimétricos empregados em Química Forense: do preparo das soluções à descrição dos fenômenos químicos. **Revista Brasileira de Criminalística**, v.9, n. 2, p. 105-112, 2020. Acesso em: 27 out. 2023.

COSTA, K.N.; CRUZ, R.A.P.; OSHIMA-FRANCO, Y. A contribuição da toxicologia analítica na aplicação da toxicologia forense: exemplos da cocaína e do álcool etílico. **Revista de Estudos Universitários - REU**, v. 36, n. 2, p. 19-30, 2010.

CMS Científica. **Cromatografia líquida preparativa, entenda a história e evolução**. 2019. Disponível em: <<https://cmscientifica.com.br/cromatografia-liquida-preparativa-entenda-a-historia-e-evolucao/>> Acesso em: 09 ago. 2023.

CRQ, Conselho Regional De Química IV Região. **Química forense**. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/qv_forense> Acesso em: 31 mai. 2023.

CRUZ, D. A macabra história da ciência forense. **OAV CRIME**, 2014. Disponível em: <<https://oavcrime.com.br/2014/11/09/a-macabra-historia-da-ciencia-forense/>> Acesso em: 27 jun. 2023.

CSIC-CIB, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Disponível em: <https://www.cib.csic.es/sites/default/files/inline-files/Generalidades_0.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

CUNHA, M.M. *et al.* Eficiência do método de espectrometria de massas em drogas de abuso. **Estudos (Goiânia)**, v. 42, n. 4, p. 409-423, 2015.

DÓREA, H.S. *et al.* Determinação de 11-nor-9-carboxi- Δ^9 -tetraidrocanabinol em urina humana por microextração líquido-líquido dispersiva com solidificação da gota orgânica flutuante e derivação online no sistema de injeção cromatográfico. **Scientia Plena**, v. 13, n.2, p. 1-12, 2017.

DRUMMOND, M. C. C. **Drogas, à busca de respostas**. 2ª ed. LOYOLA, 2004. 06 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=ZUxtFzxDXIsC&oi=fnd&pg=PA9&dq=A+presen%C3%A7a+e+os+efeitos+das+drogas+nos+indiv%C3%ADduos+%C3%A9+algo+que+diariamente+a+maioria+das+pessoas+conseguem+ver,+ainda+mais+para+quem+convive+com+quem+utiliza.&ots=JqS9toAf3c&sig=J2v1WYSEIYNdb0EQNn-nYaTF2I8#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 18 ago. 2022.

FARIAS, R. F. de. **Introdução à Química Forense**. 3ª ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. Acesso em: 30 ago. 2022

FARIAS, R. F. de. **Introdução à Química Forense**. 4ª ed. Campinas: Editora Átomo, 2017. Acesso em: 02 jun. 2023

FASSINA, V. *et al.* Avaliação dos resultados obtidos nos exames toxicológicos realizados pelo laboratório e perícias durante o ano de 2005. Setor de Toxicologia, Laboratório de Perícias, Instituto Geral de Perícias-SJS/RS. **Revista do IGP**. Ano 3, nº 03, p. 26-34, 2007. Acesso em: 30 ago. 2022.

FELTRACO, L.L.; ANTUNES, M.V.; LINDEN, R. Determinação de etanol e voláteis relacionados em sangue e fluido oral por microextração em fase sólida em headspace associada à cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. **Química Nova**, v. 32, n.9, p. 2401-2406, 2009.

GATES, P.J. **Quadrupole Mass Analysis**. University of Bristol. 2014. Disponível em: <https://www.chm.bris.ac.uk/ms/quadrupole.xhtml>. Acesso em: 01 dez. 2023.

GIUDICE, G.H. Parâmetros de uma validação analítica: uma revisão bibliográfica. **Acta de Ciências e Saúde**, v.1, n. 5, 2016.

GOMES, M. S. **Contributo da química forense na detecção de drogas de abuso**. Dissertação (Mestrado em Química), Faculdade de Ciências, Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, p. 112. 2013. Acesso em: 14 out. 2023.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001. Acesso em: 29 out. 2023.

HERNÁNDEZ, M; ROBLES, M. Á.; Televisión y cultura. **Grupo Comunicar**, n.4, 1995. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/158/15800419.pdf>> Acesso em: 04 set. 2023.

HETZEL, R.L.M.A. Detecting bloodstain evidence at crime scenes the use and photography of luminol. **FBI National Academy**, 1991. Acesso em: 06 jul. 23.

JOHANSEN, S. S.; BHATIA M. H. Quantitative analysis of cocaine and its metabolites in whole blood and urine by high-performance liquid Chromatography coupled with tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography B Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences**, v. 852, p. 338-344, 2007.

KINTZ, P.; LUDES, B.; MANGIN, P. Detection of drugs in human hair using Abbott ADx, with confirmation by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). **Journal of Forensic Sciences**, West Conshohocken, v. 37, n. 1, p. 328-331, 1992. Acesso em: 07 nov. 2023.

LANÇAS, F. M.A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: finalmente “compatíveis”? **Scientia Chromatographica**, Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7134917/mod_resource/content/0/A%20Cromatografia%20L%C3%ADquida%20Moderna%20-%20v1n2a4.pdf> Acesso em: 12 set. 2023

LAVAGNINI, I.; MAGNO, F.; SERAGLIA, R.; TRALDI, P. **Quantitative Applications of Mass Spectrometry**. England: John Wiley & Sons Ltd., 2006.

LIMA, A. S.; SANTOS, L. G. P.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P.; ZANIN, C. I. C. B. Química forense. **UNIFIA**, 2018. Acesso em: 06 jul. 23.

LOMBA *et al.* O uso de matrizes biológicas e testes analíticos presentes na Toxicologia Forense. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 12, n.4, p. 88-102, 2023.

MARTINIS *et al.* Determination of ethanol in human blood and urine by automated headspace solid-phase microextraction and capillary gas chromatography. **Analytica Chimica Acta**, v. 552 (2), p. 163-168, 2004.

MEIMARIDIS, M.; **“One Chicago”**: Instituições ficcionais *Comfort Series* na televisão estadunidense. 2021. 350 f. Tese (Doutorado em Comunicação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021. Disponível em:<<https://app.homologacao.uff.br/riuff/handle/1/22653>> Acesso em: 04 set. 2023.

MONTEFUSCO-PEREIRA, C.V.; PINTO, L.M.A. Humor vítreo como fluido biológico de importância clínica nas ciências forenses. **Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana**, v. 50 (1), p. 27-35, 2016.

MONTESANO, C. *et al.* A μ -SPE procedure for the determination of cannabinoids and their metabolites in urine by LC–MS/MS. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 91, p. 169-175, 2014.

MOTA, L.; DI VITTA, P.B.; Química forense: utilizando métodos analíticos em favor do poder judiciário. **Revista Acadêmica Faculdades Oswaldo Cruz**, ano 2, n.5, 2014. ISSN 2357-8173 (versão *on-line*). Disponível em:https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Leandro_Mota.pdf. Acesso em: 04 out. 2023.

NASCIMENTO, R. F; LIMA, A. C. A; BARBOSA, P. G. A; SILVA, V. P. A. **Cromatografia gasosa: Aspectos teóricos e práticos**. Imprensa Universitária UFC, Fortaleza, 2018. Acesso em: 28 out. 2023.

NETO, E. G. L.; ALBANO, D. F. L. Influência da prova pericial em sentenças judiciais de casos definidos na Lei de Drogas em Aracaju entre 2012 e 2018. **Revista Brasileira de Criminalística**, 2020. n. 02, v. 09, p. 114. Acesso em: 22 set. 2022.

OLIVEIRA, M. F. Química forense: a utilização da química na pesquisa de vestígios de crime. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 24, 2006. Acesso em: 04 out. 2023.

OMS (Organização Mundial de Saúde). **Classificação de Transtornos Mentais e de Comportamento da CID-10: Descrições Clínicas e Diretrizes Diagnósticas**. Tradução: Dorgival Caetano, 1ªed. Porto Alegre: Artes Médicas, 69-82, 1993. Acesso em: 22 set. 2022.

PASSAGLI, M. **Toxicologia Forense – Teoria e Prática**. 2ª ed, Campinas, 2009. Acesso em: 22 out. 2023

PERES, T. B. **Noções Básicas de Cromatografia**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Proteção Ambiental-Instituto Biológico, n. 02, v.64, p.227-229, São Paulo, 2002. Acesso em: 05 ago. 2023.

PACHECO, S.; BORGUINI, R. G.; SANTIAGO, M. C. P. A.; NASCIMENTO, L. S. M.; GODOY, R. L. O. História da Cromatografia Líquida. **Revista Virtual de Química**, n. 04, v. 07, 2014. Acesso em: 07 ago. 2023.

PAIXÃO, L. C. L.; PEREIRA, S. G.; MELO, H. C. S.; Técnicas de preparo de amostras biológicas para a identificação de drogas facilitadoras de crime. **Revista Acadêmica Multidisciplinar da Faculdade da Cidade de João Pinheiro**, v. 17, 2023. Acesso em: 07 nov. 2023.

RANG, H. P.; RITTER, J. M; FLOWER, R. J.; DALES, M. M. **Farmacologia**. Tradução da 6ª ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 21 out. 2023.

RANGEL, R. **Noções gerais sobre outras ciências forenses**. Medicina Legal, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, 2003/2004. Acesso em: 22 out. 2023.

REGO, F. X. J. **Dependência química: os efeitos da cocaína no Sistema Nervoso Central**. Instituto de Pesquisa e Ensino Médico, São Paulo, 2010. Acesso em: 22 out. 2023.

REGO, T. C. E. D. **Avaliação de um método de cromatografia em fase gasosa – headspace e estudo da estabilidade do etanol em amostras de sangue**. Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências da Saúde, 2008. Acesso em: 07 nov. 2023.

ROMÃO, W. *et al.* Forensic Chemistry: perspective of new analytical methods applied to documentoscopy, ballistic and drugs of abuse. **Química Nova**. nº 10, v. 34, São Paulo, 2011. Acesso em: 30 ago. 2022.

ROMÃO, W. **Novas aplicações da espectrometria de massas em química forense**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/779300>> Acesso em: 12 set. 2023.

SAKA, K. *et al.* Simple and simultaneous quantification of cyanide, ethanol, and 1-propanol in blood by headspace GC–MS/NPD with Deans switch dual detector system. **Science & Justice**, v. 62 (2), p. 193-202, 2022.

SANTOS, T. S.; RIBEIRO, N. C. G.; CSI: Investigação criminal no ensino de ciências – elaboração e aplicação. **Arquivos do Mudi**, v. 24, nº 2, p 7-21, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/53247/751375150701>> Acesso em: 04 set. 2023.

SANTOS, F. Dimensões e impactos da ficção científica forense: que efeitos CSI? Configurações. **Revista de Sociologia [Online]**, 2011. Disponível em: <<https://www.casadaciencia.com.br/o-efeito-csi-quanto-devo-confiar-em-evidencias-forenses/>> Acesso em: 04 set. 2023.

SANTOUCY, L. B.; CONCEIÇÃO, M. I. N; SUDBRACK, M. F. O. **A compreensão dos operadores de direito do Distrito Federal sobre o usuário de drogas na vigência da nova lei**. Universidade de Brasília, 2010. Acesso em: 18 ago. 2022.

- SENGIK, A. S.; SCORTEGAGNA, S. A. Consumo de drogas psicoativas em adolescentes escolares. **Psic**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 73-80, jun. 2008. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167673142008000100009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- SILVA, P. S.; ROSA, M. F. “Utilização da ciência forense do seriado CSI no ensino de química”. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, 6 (3), 2013. Acesso em: 31 mai. 2023.
- SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C.; **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Tradução por Ricardo Bicca Alecanstro, Guanabara Koogan, 5ª ed, 1994. Acesso em: 03 nov. 2023.
- SOUZA, J.; KANTORSKI, L. P. Embasamento político das concepções e práticas referentes às drogas no Brasil. **Revista Eletrônica Saúde Mental Álcool e Drogas**, São Paulo. Acesso em 25 ago. 2022.
- SOUZA, J. P.; BACH HI, E. M.; GONZALES, F. G.; Revisão de métodos analíticos para a determinação do consumo agudo de álcool em amostras biológicas. **Revista UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 11, n, 25,2014. Acesso em: 07 nov. 2023.
- TEIXEIRA, H.M.S.F. **Determinação de canabinoides em amostras biológicas por LC/MS- Aplicação em toxicologia forense**. Dissertação de candidatura ao Grau de Doutor em Ciências Biomédicas. Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2008. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/7505>. Acesso em: 07 nov. 2023.
- UNODC, United Nations Office on Drugs and Crime. **Global Study on Homicide 2013: Trends, Contexts, Data**. Viena, 2013. Acesso em: 21 out. 2023.
- UNODC, United Nations Office on Drugs and Crime. **Global Study on Homicide: Trends, Contents, data**. Viena, 2014. Acesso em: 08 nov. 2022.
- VASCONCELLOS, F.A.; PAULA, W.X. Aplicação forense do luminol – uma revisão. **Revista criminalística e medicina legal**. v. 1, n. 2, p. 28-36, 2017. Acesso em: 11 set. 2023
- WASFI, I.A. *et al.* Rapid and sensitive static headspace gas chromatography–mass spectrometry method for the analysis of ethanol and abused inhalants in blood. **Journal of Chromatography B**, v. 799 (2), p. 331-336, 2004.
- ZUCCO, C. Química para um mundo melhor. **Química Nova na Escola**, 34 (5), 2011. Acesso em: 31 mai. 2023.