

**UFSCar – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**DQ – DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
*Trabalho de Conclusão de Curso*

**JOÃO VITOR VELOSO SILVA**

**QUÍMICA FORENSE: A UTILIZAÇÃO DA QUÍMICA NA  
IDENTIFICAÇÃO DE ENTORPECENTES**

**SÃO CARLOS**

**2024**

**JOÃO VITOR VELOSO SILVA**

**QUÍMICA FORENSE: A UTILIZAÇÃO DA QUÍMICA NA  
IDENTIFICAÇÃO DE ENTORPECENTES**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao  
Departamento de Química da Universidade  
Federal de São Carlos, para obtenção do título de  
Bacharel em Química  
Orientador(a): Prof. Dr. Tiago Venâncio

**SÃO CARLOS**

**2024**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 29/2024/DQ/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO VITOR VELOSO SILVA

QUÍMICA FORENSE: A UTILIZAÇÃO DA QUÍMICA NA IDENTIFICAÇÃO DE ENTORPECENTES

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 06 de setembro de 2024

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Prof. Dr. Tiago Venancio
Membro da Banca 1	Dr. Gabriel Henrique Ribeiro
Membro da Banca 2	Dra. Jessica Cristina Amaral



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Samuel Schwab, Professor(a)**, em 09/09/2024, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1574825** e o código CRC **E7B884CB**.

**Referência:** Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.001933/2024-38

SEI nº 1574825

## **AGRADECIMENTO**

Dedico este trabalho à minha mãe,  
à minha irmã e todos meus amigos  
que estiveram ao meu lado nessa  
jornada.

## RESUMO

A Química Forense aplica conhecimentos científicos das ciências naturais para esclarecer questões de interesse jurídico, como furtos, homicídios e tráfico de drogas, auxiliando na elucidação de crimes. As drogas, que representam um grande problema social, de saúde pública e econômico, são foco de instituições públicas que, por meio de apreensões e análises químicas, obtêm informações cruciais sobre suas propriedades e as regiões com maior incidência de tráfico. A Quimiometria, nesse contexto, é uma ferramenta valiosa, pois permite determinar a composição química de entorpecentes, identificando impurezas e adulterantes que podem revelar a origem da droga e as rotas utilizadas no tráfico. Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar os principais métodos de identificação empregados por peritos criminais, destacando suas vantagens e limitações. Entre as técnicas analíticas utilizadas para essas análises, destacam-se a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier com refletância total atenuada (FTIR-ATR), a cromatografia em camada delgada (CCD) e a ressonância magnética nuclear (RMN). Cada uma dessas técnicas oferece vantagens específicas, como a alta sensibilidade, seletividade e a capacidade de identificar estruturas químicas desconhecidas em misturas complexas, mas também apresenta limitações, como o custo e a necessidade de equipamentos especializados.

**Palavras-chave:** Química Forense; Entorpecentes; Perito Criminal.

## ABSTRACT

Forensic chemistry applies scientific knowledge from the natural sciences to clarify issues of legal interest, such as theft, homicide and drug trafficking, helping to solve crimes. Drugs, which represent a major social, public health and economic problem, are the focus of public institutions which, through seizures and chemical analysis, obtain crucial information about their properties and the regions with the highest incidence of trafficking. Chemometrics, in this context, is a valuable tool, as it allows the chemical composition of narcotics to be determined, identifying impurities and adulterants that can reveal the origin of the drug and the routes used in trafficking. The aim of this paper is therefore to present the main identification methods used by criminal experts, highlighting their advantages and limitations. Among the analytical techniques used for these analyses are high performance liquid chromatography (HPLC), gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS), Fourier transform infrared spectroscopy with attenuated total reflectance (FTIR-ATR), thin layer chromatography (TLC) and nuclear magnetic resonance (NMR). Each of these techniques offers specific advantages, such as high sensitivity, selectivity and the ability to identify unknown chemical structures in complex mixtures, but also has limitations, such as cost and the need for specialized equipment.

**Key-words:** Forensic Chemistry; Narcotics; Forensics Expert.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estruturas químicas da Cocaína Base Livre e Cloridrato de Cocaína .....	6
Figura 2- Estrutura química do delta-9-tetrahydrocannabinol .....	7
Figura 3- Estruturas químicas dos Canabinoides Sintéticos .....	9
Figura 4- Estruturas químicas das Metilendioxi-fenilaminas.....	11
Figura 5- Reação química do teste Fast Blue B.....	14
Figura 6- Reação química do teste do Tiocianato de Cobalto .....	15
Figura 7- Reação química do teste de Marquis .....	15
Figura 8- Cromatografia em camada delgada.....	17
Figura 9- CCD de canabinoides.....	18
Figura 10-Esquema da cromatografia líquida de alta eficiência .....	20
Figura 11-Cromatograma de bebida misturada com diferentes anfetaminas .....	21
Figura 12-Esquema da cromatografia gasosa (CG).....	23
Figura 13-Tempo de retenção dos solventes presentes no lança perfume.....	24
Figura 14-Esquema espectrômetro de massas .....	26
Figura 15-Espectro de massa do tetrahydrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC) .....	28
Figura 16-Espectro do NBOME por DART-MS.....	29
Figura 17-Três modos típicos de FTIR.....	31
Figura 18-Espectro IR-ATR de Cocaína .....	32
Figura 19-Espectro IR-ATR de MDMA .....	33
Figura 20-Espectros ATR-FTIR de THC, CBD e CBN.....	34
Figura 21-O espectro de NMR de acetato de etila $^1\text{H}$ é mostrado como um exemplo .....	36
Figura 22-Comparação dos espectros de $^1\text{H}$ -RMN do 5F-ADB .....	38

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Características físicas e químicas da cocaína base e cloridrato de cocaína.....	6
Tabela 2– Categorias das Técnicas Analíticas .....	12
Tabela 3- Fatores de retenção de diferentes fases móveis.....	19
Tabela 4-Os sinais característicos de RMN de $^1\text{H}$ de campo alto (400 MHz) .....	37

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ATR - Reflexão Total Atenuada (Attenuated Total Reflectance)

AXN - Action Extreme Network (Rede de Ação Extrema)

CB1 - Receptor Canabinoide tipo 1

CB2 - Receptor Canabinoide tipo 2

CCD - Cromatografias em Camada Delgada

CG - Cromatografia Gasosa

CPP - Código de Processo Penal

CSI - Crime Scene Investigation (Investigação da Cena do Crime)

Da- Dalton

DART - Análise Direta em Tempo Real (Direct Analysis in Real Time)

EI - Ionização por Impacto de Elétrons

eV - Elétron-volt

FTIR-ATR - Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier acoplada à Reflexão Total Atenuada (Fourier Transform Infrared Spectroscopy with Attenuated Total Reflectance)

RMN-<sup>1</sup>H: Ressonância Magnética Nuclear de prótons de hidrogênio

HF- Campo Alto

HPLC - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

HRMS - Espectrometria de Massa de Alta Resolução

IR - Espectroscopia Infravermelha

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada

KBr - Brometo de Potássio

LC - Cromatografia Líquida

LF- Campo baixo

LSD - Dietilamida do Ácido Lisérgico

m/z - Relação massa-carga

M+ - Íon Molecular

MA – Metanfetamina

MDA - Metilenedioxianfetamina

MDEA - Metilenodioxietilamfetamina (Eve)

MDMA - Metilenedioximetanfetamina (Ecstasy)

MS - Espectrometria de Massa

NIDA - National Institute on Drug Abuse (Instituto Nacional de Abuso de Drogas)

NPS - Novas Substâncias Psicoativas

PFP - Pentafluorofenil

pH: Potencial Hidrogeniônico

Rf - Fator de Retenção

RF: Radiofrequência

RMN: Ressonância Magnética Nuclear

SCs - Canabinoides sintéticos

SNC - Sistema Nervoso Central

THC - Delta-9-tetrahydrocannabinol

TLC - Cromatografia em Camada Delgada

UV - Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>2</b>
3.1. A QUÍMICA FORENSE .....	2
3.2. TOXICOLOGIA FORENSE .....	3
3.3. DROGAS .....	4
3.4. COCAÍNA.....	5
3.5. CANABINOIDES E CANABINOIDES SINTÉTICOS .....	7
3.6. ANFETAMINAS.....	9
3.7. MÉTODOS ANALÍTICOS DE IDENTIFICAÇÃO DE ENTORPECENTES 11	
3.8. TESTES COLORIMÉTRICOS .....	13
3.8.1. <i>Teste do Fast Blue B</i> .....	13
3.8.2. <i>Teste do Tiocianato de Cobalto</i> .....	14
3.8.3. <i>Teste de Marquis</i> .....	15
3.9. CROMATOGRAFIA .....	16
3.9.1. <i>Cromatografia em Camada Delgada</i> .....	16
3.9.1.1. <i>CCD PARA CANABINOIDES</i> .....	17
3.9.1.2. <i>CCD PARA COCAÍNA</i> .....	18
3.9.2. <i>Cromatografia Líquida de Alta Eficiência</i> .....	19
3.9.3. <i>Cromatografia Gasosa</i> .....	22
3.10. ESPECTROMETRIA DE MASSAS .....	25
3.10.1. <i>Ionização Por Impacto de Elétrons</i> .....	26
3.10.2. <i>Análise Direta em Tempo Real</i> .....	28
3.11. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA.....	30
3.11.1. <i>Espectro de Cocaína</i> .....	32
3.11.2. <i>Espectro de MDMA</i> .....	33
3.11.3. <i>Espectro de Cannabis</i> .....	33
3.12. RESSONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.....	35
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>38</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Química Forense tem por objetivo realizar a identificação e quantificação dos entorpecentes que são apreendidos pelas polícias judiciárias e militares, cabendo ao perito realizar as análises e seguir a cadeia de custódia, para documentar a história cronológica da evidência, conforme escrito no artigo 158-A (Brasil, 2019, Lei nº 13.964) do Código de Processo Penal (CPP):

*Art. 158-A. Considera-se cadeia de custódia o conjunto de todos os procedimentos utilizados para manter e documentar a história cronológica do vestígio coletado em locais ou em vítimas de crimes, para rastrear sua posse e manuseio a partir de seu reconhecimento até o descarte.*

Entorpecentes são substâncias, naturais ou sintéticas, que causam alterações físicas e psicológicas em seus usuários, além de provocarem dependência química e emocional. O uso dessas substâncias pode comprometer significativamente a capacidade do indivíduo de viver de forma produtiva e integrada na sociedade. (OMS, 2006).

A Portaria nº 344/1998 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) é um regulamento brasileiro que estabelece o controle sanitário sobre substâncias e medicamentos que podem causar dependência. A portaria é um documento fundamental para a regulação de drogas no Brasil e classifica as substâncias em diferentes listas, de acordo com seu potencial de abuso e risco para a saúde. A portaria divide as substâncias controladas em várias listas:

- Lista A1: Substâncias de uso controlado que têm alto potencial de abuso e são proibidas para uso sem prescrição médica.
- Lista A2: Substâncias semelhantes às da Lista A1, mas com menor potencial de abuso.
- Lista B: Medicamentos com potencial de abuso menor que as substâncias das Listas A, mas ainda controlados.
- Lista C: Medicamentos que podem ser vendidos com receita médica e que têm potencial de causar dependência menor.
- Lista D: Substâncias que, apesar de regulamentadas, têm menor potencial de abuso e são utilizadas em situações específicas.

O uso e o tráfico de drogas têm aumentando nos últimos anos, segundo estatísticas das secretarias de segurança pública federal e estaduais. Isso mostra a necessidade de treinamento de pessoas que atuam nessas investigações para maior eficácia na identificação do material

apreendido (UNODC, 2023). De acordo com o general da reserva do Exército, Alberto Mendes Cardoso, o mercado de drogas ilegais é tão expressivo que movimenta cerca de 17 bilhões de reais exclusivamente com maconha e cocaína anualmente no Brasil (MILITÃO, 2018).

A maioria das drogas afetam o sistema nervoso central (SNC) interferindo na transmissão de sinais nervosos e afetando a função cerebral acarretando em perturbações emocionais, alterações de humor e comportamento. Trata-se de substâncias desencadeadoras de sensações agradáveis e/ou supressoras de sensações desagradáveis (ABRAMS, 2006).

A autoadministração dessas drogas tornou-se uma forma das pessoas encontrarem efeitos prazerosos, mas também representa grandes riscos para a sociedade. Pesquisas mostram que pessoas dependentes de substâncias químicas como a maconha e cocaína, são mais propensas à prática de crimes (SHBAIR e LHERMITTE, 2010).

A identificação de entorpecentes inicia-se, em um primeiro momento, com a realização de testes presuntivos, que são métodos preliminares mais simples, porém fundamentais para embasar a solicitação de análises confirmatórias de substâncias suspeitas. Esses testes, amplamente utilizados pela sua rapidez e praticidade, fornecem indícios sobre a presença de drogas ilícitas. Na sequência, realiza-se uma segunda fase de análises, com métodos mais sofisticados e precisos, que garantem a confirmação inequívoca da identidade do entorpecente. Tais análises incluem o uso de técnicas instrumentais avançadas, como a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) e a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), entre outras, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos.

## **2. OBJETIVOS**

Nesse sentido, o presente trabalho tem por finalidade apresentar os principais métodos analíticos utilizados na Química Forense para identificação dos entorpecentes, assim como as principais vantagens e desvantagens das técnicas utilizadas.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

### **3.1. A QUÍMICA FORENSE**

A química forense é a utilização dos conhecimentos científicos químicos para resolução de problemas criminais, ou seja, é parte da química dedicada à investigação forense,

considerando o emprego de técnicas e análises químicas específicas, a fim de atender aspectos de interesses jurídico (ALINE,2019).

O uso dos conhecimentos científicos para resolução de crimes começou com o surgimento da civilização. Na Roma antiga, eram habituais os casos de envenenamento de figuras importantes do mundo político, resultando em uma experiência prática em investigações de indícios típicos de envenenamento. Entretanto a prática dos conhecimentos científicos no esclarecimento de crimes é datada no final do século XVII por Bernardino Ramazzinni (1633-1714), que em sua obra “As doenças dos trabalhadores” citava os conhecimentos que se possuíam sobre as ações de substâncias químicas na fisiologia humana. A investigação policial é o aspecto mais divulgado da química forense, mas não se limita apenas aos casos policiais, o trabalho dos químicos forenses também pode ser crucial para perícias ambientais, industriais alimentícias, doping esportivo, médicas, financeiras, em artes e etc. A área forense tem ganhado grande destaque nos tempos atuais devido aos programas e séries de streaming, principalmente por conta de CSI (*Crime Scene Investigation*) e Perícia Lab, série brasileira do canal AXN (Action Extreme Network). Essa notoriedade da ciência forense, se dá ao fato de que somente ela pode desvendar os curiosos mistérios sobre um crime, algo que é extremamente interessante aos olhos da sociedade (FARIAS, 2017).

### 3.2. TOXICOLOGIA FORENSE

A toxicologia forense é o ramo da toxicologia aplicada aos interesses da lei, no qual estuda-se a presença de substâncias lícitas e ilícitas em seres vivos. As técnicas químicas são combinadas com os conhecimentos da toxicologia para tratar de assuntos relacionados a processos judiciais. Os testes toxicológicos envolvem uma série de processos analíticos que determinam a identidade e quantidade de substâncias tóxicas, a fim de diagnosticar intoxicações e esclarecer os fatos (GEROSTAMOULOS,2023).

A toxicologia forense é dividida em três grandes áreas: toxicologia *post mortem*, toxicologia *ante mortem*, e toxicologia ambiental. A *post mortem* é aplicada em causas de morte, na qual são analisadas as amostras biológicas coletadas no local de crime, dependendo dos tipos de matrizes disponíveis, a interpretação baseada nas evidências científicas pode ser muito difícil devido a ocorrência de alguns fenômenos após a morte. Entre eles, a autólise e a putrefação são particularmente desafiadoras. A autólise refere-se ao processo inicial de decomposição, no qual enzimas corporais começam a digerir as células e tecidos, resultando na alteração estrutural dos mesmos. Já a putrefação é uma fase avançada da decomposição em que

os tecidos se tornam altamente decompositivos. Esse processo é acompanhado pela produção de gases e fluidos que causam distensão do corpo e um odor característico. A *toxicologia ante mortem* é relacionada a crimes sem ocorrência de morte, apenas existe a suposição de que os suspeitos estavam sob efeito de alguma substância ilícita durante a ação criminosa. A toxicologia ambiental investiga as contaminações ambientais e seus respectivos causadores, produzidos por interação de substâncias químicas presentes na água, solo e no organismo de animais (FISHER, 2015).

No serviço da Toxicologia Forense são realizadas as perícias e exames laboratoriais, como por exemplo: a determinação de álcool etílico no corpo humano, composição de medicamentos, pesticidas, contaminações por monóxido de carbono e etc. Existem uma grande variedade de matrizes biológicas que podem ser analisadas, tais como órgãos específicos, cabelo e fluidos corporais obtidos do cadáver ou do vivo. Conforme a especificidade do caso, procede-se a coleta da amostra ou das amostras mais adequadas para o fato (GOMES, 2013).

### 3.3. DROGAS

O termo drogas refere-se a certas substâncias que impactam os aspectos físicos e psicológicos de um indivíduo, na maioria das vezes levando à sedação. Algumas dessas substâncias podem ser usadas positivamente para tratamentos médicos, como em cirurgias, mas negativamente em casos de tráfico e abuso. Um dos maiores problemas mundiais é o tráfico de drogas, que causa preocupação as sociedades e governos devido à sua ameaça em vários segmentos da sociedade, incluindo jovens e crianças, bem como o impacto na economia dos países (HANSON, 2017).

Segundo Dantas (DANTAS, 2011), existem vários tipos de drogas, drogas lícitas (tabacos, álcool e fármacos) e drogas ilícitas (maconha, cocaína, heroína, LSD (Dietilamida do Ácido Lisérgico)) as quais podem ser origem natural, semissintética ou sintética. Essas drogas possuem diferentes mecanismos de ação no sistema nervoso central (SNC), sendo depressoras, estimulantes e perturbadoras do SNC.

As depressoras diminuem a atividade cerebral, deixando o indivíduo sedado, reduzem a tensão emocional, a memória e a habilidade intelectual, são consideradas drogas depressoras: o álcool, barbitúricos(soníferos), os ansiolíticos, a morfina, etc. As estimulantes aumentam a atividade cerebral e deixam a pessoa em constante alerta (ou “ligada”, na linguagem popular), sendo que as principais são da classe das anfetaminas, a nicotina e a cocaína, que geralmente suprimem a fome, a fadiga e o sono e também podem causar sensações de prazer e estados de

ansiedade aumentados. As perturbadoras também chamadas de alucinógenas alteram a qualidade da atividade cerebral, fazendo com que funcione de maneira anormal, alterando a percepção, o pensamento e causando alucinações e delírios, as principais são a maconha, o ecstasy e o LSD (AGENCIA SENADO, 2006).

A relação entre drogas e criminalidade tem diversos fatores contribuintes: o uso de drogas ilícitas, o tráfico de drogas e o abuso de substâncias que levam a comportamentos criminais. Tais fatores contribuem com o furto, roubo e violência, que são motivados pela necessidade de manter o vício. A entrega das drogas que é realizada por organizações criminosas, está ligada diretamente com a criminalidade, leva à concorrência violenta entre os traficantes e disputas territoriais e que também contribuem para ocorrência de crimes relacionados com o uso e o contrabando de drogas. Ainda deve-se considerar que a criminalização do tráfico de drogas leva a detenções em massa e a superlotação carcerária (SOUZA E CARVALHO, 2023).

É importante ressaltar que a relação entre drogas e crime não é única e pode variar dependendo da cultura, das leis e das políticas de drogas de cada país. Alguns países optam por políticas mais liberais como a descriminalização ou a legalização da maconha, como forma de reduzir a criminalidade (SOUZA,2023).

No Brasil, o combate ao tráfico de drogas é uma batalha contínua das autoridades policiais. Entre as substâncias ilegais mais apreendidas estão cocaína, maconha, crack, LSD e outras drogas sintéticas. Estas apreensões refletem não só a continuidade do problema, mas também a diversidade de substâncias que circulam no mercado ilegal (MINISTÉRIO DA JUSTIÇA, 2024).

### 3.4. COCAÍNA

A cocaína é um alcaloide encontrado em *Erythroxylum coca*, uma planta que cresce principalmente no Andes, uma cordilheira da América do Sul. A substância era usada medicinalmente como anestésico local e seu mecanismo de ação principal reside na capacidade de bloquear a iniciação e a condução de impulsos nervosos, diminuindo a permeabilidade dos íons sódio na membrana axonal, aumentando o nível necessário para gerar um potencial de ação. E suas ações adicionais tem-se a capacidade de bloquear a recaptção dos neurotransmissores norepinefrina, dopamina e serotonina. A cocaína,  $C_{17}H_{21}NO_4$ , tem estruturalmente uma região hidrofóbica que contém um anel benzênico e uma região hidrofílica que consiste em uma amina terciária (LIMA,2022). A **Figura 1** ilustra as fórmulas estruturais



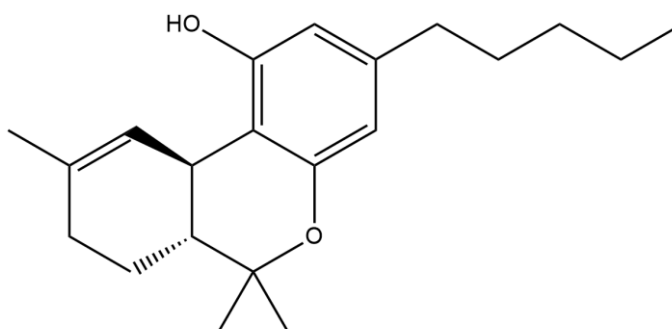
### 3.5. CANABINOIDES E CANABINOIDES SINTÉTICOS

Cannabis(maconha), haxixe (obtida a partir da resina das flores e folhas) e *skunk* (flores) são produtos psicoativos oriundos da planta *Cannabis sativa* que são consumidos pelas suas propriedades de alteração do humor, causando dependência e comprometimento psicológico reversível aos usuários. A maioria dos canabinoides são consumidos pelo fumo, como tabaco, mas também é possível ser consumido por ingestão.

O consumo de maconha é um grande problema para a saúde pública, pois dentre as drogas ilícitas, a maconha é a mais utilizada no Brasil e no mundo, principalmente por adolescentes, na qual resulta em conflitos com os familiares e a sociedade. De acordo com o NIDA (National Institute on Drug Abuse) 1 em cada 6 pessoas que começam a utilizar cannabis na adolescência entre 25% a 50% das pessoas que consomem todos os dias se tornam viciadas em maconha (NIDA, 2019).

O termo canabinoide geralmente se refere a qualquer substância química que esteja associada aos receptores canabinoides de mamíferos e provoque efeitos biológicos. Os canabinoides são divididos em dois grupos principais: fitocannabinoides oriundos de uma combinação de estruturas de policetídeos e unidades terpênicas, que são encontrados em plantas e os canabinoides sintéticos. Os sintéticos podem ou não estar estruturalmente relacionados com os fitocannabinoides que também produzem efeitos agonísticos nos receptores canabinoides. O fitocanabinoide mais conhecido, delta-9-tetrahidrocanabinol, ou  $\Delta^9$ -THC (**Figura 2**) é o composto responsável por causar os efeitos psicoativos induzidos pela *cannabis*, sendo encontrado na planta em grandes concentrações nas flores e nas folhas e não encontrados nas raízes (ARAÚJO,2023).

Figura 2- Estrutura química do delta-9-tetrahidrocanabinol



DELTA-9-TETRAHIDROCANABINOL

Fonte: Autorial Própria

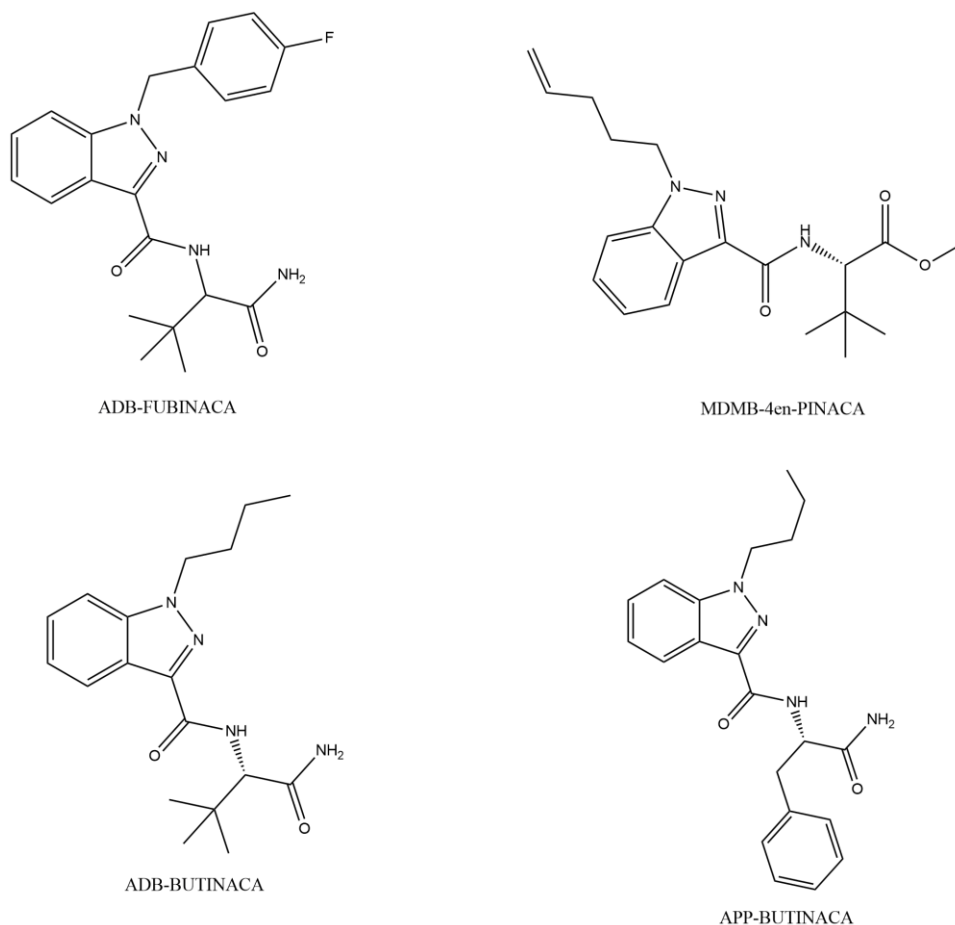
Os canabinoides sintéticos (SCs) são um grupo heterogêneo de compostos desenvolvidos para sondar o sistema de canabinoide endógeno ou como potencial terapêutico (CASTANETO et al. 2014). Posteriormente, laboratórios clandestinos utilizaram os dados públicos para desenvolver variações de canabinoides sintéticos que são comercializadas como drogas sintéticas.

Existem diversos tipos de SCs, cada um com uma afinidade de ligação única aos receptores canabinoides. Embora ambos o THC e SCs estimulem os mesmos receptores, CB1 e CB2, os sintéticos apresentam uma maior taxa de toxicidade e internações hospitalares do que a *cannabis* natural. Isso se dá ao fato de que os SCs são agonistas diretos dos receptores canabinoides, enquanto o THC é um agonista parcial. Segundo estudos que utilizam os registros do Texas Poison Control, os principais sintomas causados pelos SCs são taquicardia, agitação e irritabilidade, sonolência, alucinações, hipertensão, confusão, vertigem e dor no peito. (Forrester MB et, al., 2011).

De forma semelhante aos canabinoides naturais, os SCs podem ser consumidos por meio do fumo, inalados ou ingeridos e possuem efeitos psicoativos. O canabinoide sintético é primeiramente dissolvido em um solvente, como acetona ou etanol e depois pulverizado em ervas naturais, as ervas são então saturadas e secas, assim permitindo que o solvente evapore e o SCs permaneça no material vegetal (MILLS et, al., 2015).

A estrutura básica dos canabinoides sintéticos geralmente inclui um núcleo aromático, como um anel de dibenzofurano ou indol, que é a "espinha dorsal" da molécula. Esta estrutura é então modificada com grupos funcionais, como substituições alquil (cadeias de carbono) em posições específicas, que podem influenciar a afinidade do composto pelos receptores canabinoides e, portanto, seus efeitos farmacológicos (ARAÚJO,2023). Na **Figura 3** são apresentadas distintas estruturas de canabinoides sintéticos, ilustrando como há diversas modificações estruturais que podem interagir com os receptores canabinoides.

Figura 3- Estruturas química dos Canabinoides Sintéticos



Fonte: Autoria Própria

### 3.6. ANFETAMINAS

A anfetamina foi sintetizada pela primeira vez em 1877 pelo químico romeno Lazăr Edeleanu. Durante a década de 1930, as anfetaminas foram usadas clinicamente pela primeira vez como estimulantes do sistema nervoso central (SNC) para o tratamento de narcolepsia e da depressão. Desde então, a capacidade das anfetaminas para aliviar a fadiga, melhorar o desempenho físico e mental, elevar o humor, aumentar a confiança e produzir euforia levou ao seu abuso e uso indevido (PARSONS, 2009).

Desde o início da indústria farmacêutica, tem sido realizada pequenas alterações nas estruturas moleculares de vários compostos para contornar restrições de patentes. Essa abordagem não passou despercebido pelos químicos que fornecem materiais para o mercado de drogas ilícitas. Isso tem sido particularmente verdadeiro no caso dos “*drug designers*” de anfetaminas, especialmente o MDMA (Ecstasy), MDA (Metilenedioxianfetamina) e metilenedioxietilamfetamina (MDEA, *Eve*) (HEAL,2013).

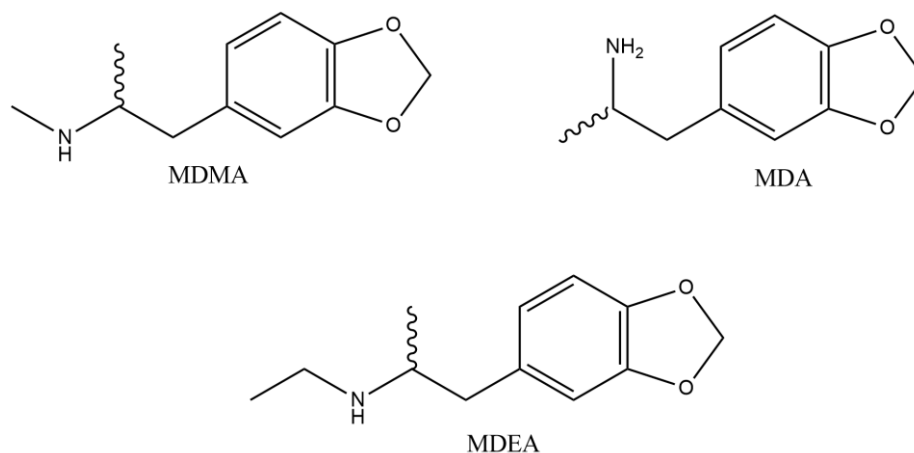
O *ecstasy* é normalmente vendido na forma de comprimidos, em diversas cores, formatos e tamanhos, impressos com diversos tipos de carimbos e logotipos. Tal como acontece com outras drogas comercializadas no mercado ilegal. Não há controle sobre a composição desses comprimidos e podem haver grandes variações quanto à quantidade do princípio ativo (MDMA) e à presença de adulterantes (COSTA et, al. 2009).

O MDMA e o MDA apresentam atividade simpatomimética acentuada, conforme demonstrado pela vasoconstrição periférica, taquicardia, dilatação pupilar e efeitos em outros músculos lisos. Os efeitos estimuladores do SNC também imitam os da anfetamina e, em casos de sobredosagem, podem ocorrer convulsões, hipertermia e alterações comportamentais (AGÊNCIA SENADO,2006).

De acordo com um estudo sobre as apreensões realizadas pela Polícia Federal no Brasil, observou-se que substâncias ilícitas frequentemente entram no país a partir de países europeus, como Holanda, Espanha e Portugal. Essas substâncias têm como destino principalmente estados brasileiros que sediem grandes festivais de música. Estes eventos representam um mercado significativo para o consumo de drogas sintéticas (WAYHS, 2016).

As estruturas químicas do MDMA, MDA e MDEA, apresentadas na **Figura 4**, compartilham uma estrutura química central que confere propriedades únicas a esses compostos. Essa estrutura é caracterizada por um anel heterocíclico de dois átomos de oxigênio que estão ligados a um átomo de carbono, conhecido como grupo metilenodioxí, que está ligado a uma estrutura de anfetamina. A estrutura de anfetamina, por sua vez, consiste em um esqueleto de feniletilamina, que é um grupo funcional encontrado em uma variedade de compostos bioativos. Essa estrutura única é fundamental para a atividade farmacológica das metilenodioxifenetilaminas e contribui para sua capacidade de induzir efeitos psicoativos específicos (HEAL,2013).

Figura 4- Estruturas químicas das Metilenodioxifenetilaminas.



Fonte: Autoria Própria

### 3.7. MÉTODOS ANALÍTICOS DE IDENTIFICAÇÃO DE ENTORPECENTES

A identificação precisa de entorpecentes é fundamental para compreender suas propriedades químicas, o que permite informar a sociedade sobre os danos potenciais, as tendências de uso e a composição das drogas, incluindo a presença de impurezas e adulterantes. Estudos quimiométricos podem, ainda, revelar a origem das substâncias e as rotas utilizadas no tráfico. Duas etapas são necessárias para verificar corretamente a natureza de uma substância: um teste presuntivo e um teste confirmatório.

Apesar da simplicidade e dos resultados falso-positivo e falso negativo, os testes presuntivos possuem uma grande importância. De acordo com a Lei nº 11.343, de 23 de agosto de 2006 (Brasil, 2006, Lei nº 11.343):

*Art. 50. Ocorrendo prisão em flagrante, a autoridade de polícia judiciária fará, imediatamente, comunicação ao juiz competente, remetendo-lhe cópia do auto lavrado, do qual será dada vista ao órgão do Ministério Público, em 24 (vinte e quatro) horas.*

*§ 1º Para efeito da lavratura do auto de prisão em flagrante e estabelecimento da materialidade do delito, é suficiente o laudo de constatação da natureza e quantidade da droga, firmado por perito oficial ou, na falta deste, por pessoa idônea.*

As análises preliminares têm papel fundamental para a solicitação da análise definitiva das substâncias suspeitas e a técnica a ser utilizada para a detecção final. Existem novas

tecnologias para realizar esses testes *in loco*, equipamentos portáteis que utilizam espectroscopia na região do infravermelho e Raman e espectrometria de massas, que são fáceis de utilizar e permitem uma análise rápida, pois não requer nenhuma preparação das amostras. Entretanto, os equipamentos portáteis possuem um alto custo e apenas algumas instituições no Brasil fazem seu uso (BRUNI, 2021).

Após o teste rápido, o material é encaminhado para a análise definitiva, nesta etapa, o uso de equipamento analítico confiável é imprescindível. Seguindo a recomendação do SWGDRUG (*Scientific Working Group for the Analysis of Seized Drugs*) há três categorias de técnicas agrupadas de acordo com o seu nível de seletividade. Na **Tabela 2**, estão descritas as categorias e as técnicas recomendadas. Em cada categoria de identificação, as técnicas são agrupadas de acordo com sua seletividade, para categoria A, a seletividade é baseada a partir das informações estruturais, a categoria B tem a seletividade baseada em propriedades químicas e físicas, enquanto a categoria C, a seletividade baseia-se em informações gerais e informação por classe.

*Tabela 2– Categorias das Técnicas Analíticas*

<b>Categoria</b>	<b>Técnicas</b>
Seletividade baseada em informações estruturais (A)	Espectroscopia Infravermelho Espectroscopia de Massas Ressonância Nuclear Magnética Espectroscopia Raman Difração de Raios-X
Seletividade baseada em propriedades químicas e físicas (B)	Eletroforese Capilar Cromatografia Gasosa Espectrometria de Mobilidade Iônica Cromatografia Líquida Teste Microcristalino Cromatografia em Camada Delgada
Seletividade baseada em informações gerais e por classe (C)	Teste Colorimétrico Espectroscopia de Fluorescência Ponto de fusão Imunoensaio Espectroscopia UV Vis

Fonte: Adaptado de SWGDRUG (Scientific Working Group for the Analysis of Seized Drugs)

Para o teste definitivo de uma substância suspeita é recomendado que, quando uma categoria A é utilizada, pelo menos outra técnica de categoria A, B ou C que explore diferentes propriedades do entorpecente seja usada para auxiliar a identificação. Quando uma técnica de

categoria A não é incorporada devem ser empregadas três técnicas diferentes, duas categorias B e a terceira técnica deve ser de categoria B ou C.

### 3.8. TESTES COLORIMÉTRICOS

Os testes colorimétricos são comumente usados como teste presuntivos para triagem de drogas apreendidas. Os resultados obtidos por esses processos são rápidos, sensíveis e baratos, podendo indicar a presença ou ausência de um determinado entorpecente. Devido a sua facilidade de aplicação pode-se utilizar pessoas sem experiências, como policiais ostensivos em procedimentos de rotina (HAFER, 2018).

Geralmente os testes de colorimétricos são projetados para reconhecer compostos e/ou grupos funcionais específicos, estas reações resultam da interação da molécula alvo com o reagente químico, que produz complexos metálicos coloridos ou espécies orgânicas carregadas.

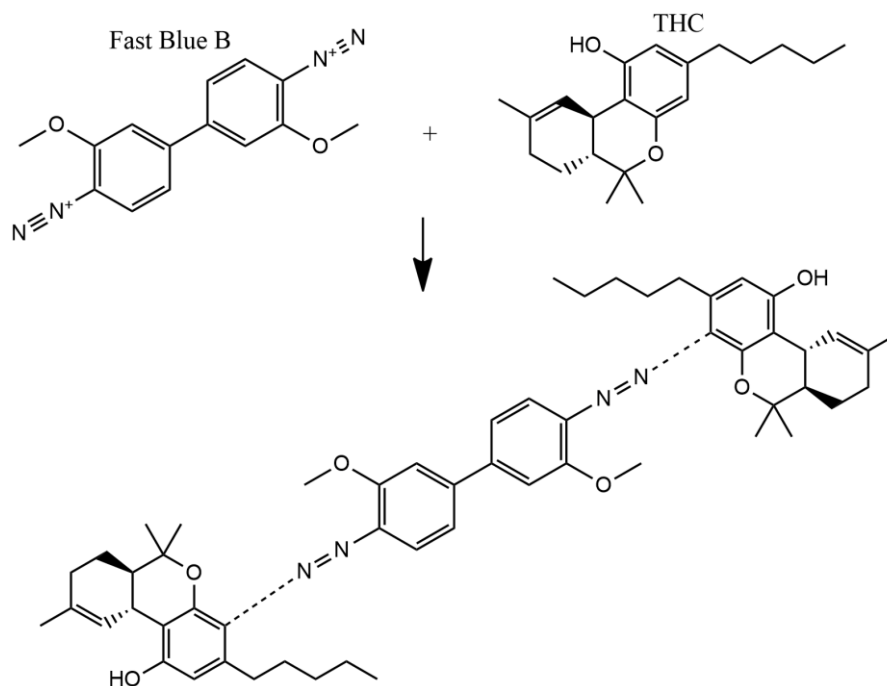
Um aspecto importante no efeito da cor produzida é o pH da solução teste, em alguns testes a intensidade da cor depende de como o pH é ajustado. Caso uma base fraca seja usada, a tonalidade será diferente do uso de uma base forte (PHILP, 2018).

Embora apenas uma pequena quantidade de amostra seja necessária para análise, os testes colorimétricos são de natureza destrutiva, consumindo e destruindo a amostra durante a análise. E manifestam um alto risco de interferência de outros elementos, por isso são considerados testes presuntivos.

#### 3.8.1. Teste do *Fast Blue B*

*Fast Blue B* é um corante da classe Azo com a fórmula molecular  $C_{14}H_{12}Cl_4N_4O_2Zn$  utilizado na detecção de compostos canabinoides. O mecanismo de detecção baseia-se na reação química entre o grupo fenol dos canabinoides e o grupo diazônio do *Fast Blue B*. Quando o grupo fenol dos canabinoides reage com o grupo diazônio do *Fast Blue B*, forma-se um composto azo de coloração vermelho escuro. Esta reação é um método colorimétrico que permite a identificação de canabinoides com base na mudança de cor resultante. A **Figura 5** retrata a reação química detalhada entre o *Fast Blue B* e o *THC*, evidenciando a formação do composto azo de coloração vermelho (DOS SANTOS, 2016).

Figura 5- Reação química do teste Fast Blue B

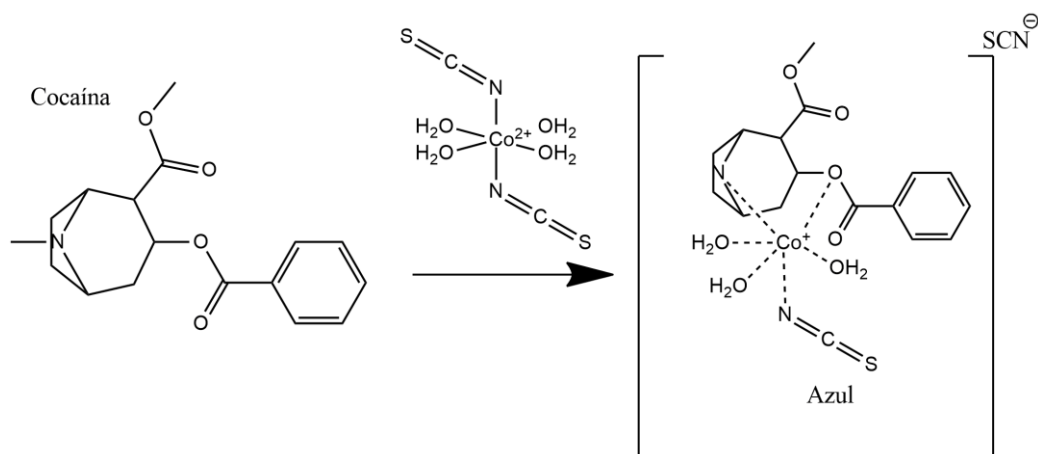


Fonte: Autoria Própria

### 3.8.2. Teste do Tiocianato de Cobalto

O teste de tiocianato de cobalto,  $\text{Co}(\text{SCN})_2$ , é um dos testes presuntivos colorimétricos mais utilizados para triagem de exposições à cocaína. O teste requer que a cocaína esteja em forma de cloridrato para ser eficaz. No caso da base de cocaína necessita-se da adição de ácido para poder detectar a presença de cocaína. A adição de um ácido à amostra altera a solubilidade da cocaína e permite que a base da cocaína se dissolva e reaja. Na **Figura 6** está ilustrada a reação do tiocianato de cobalto com a cocaína, mostrando a formação do precipitado azul que confirma a presença da substância. Este teste é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e eficácia na triagem inicial de amostras suspeitas (CONCEIÇÃO, 2014).

Figura 6- Reação química do teste do Tiocianato de Cobalto

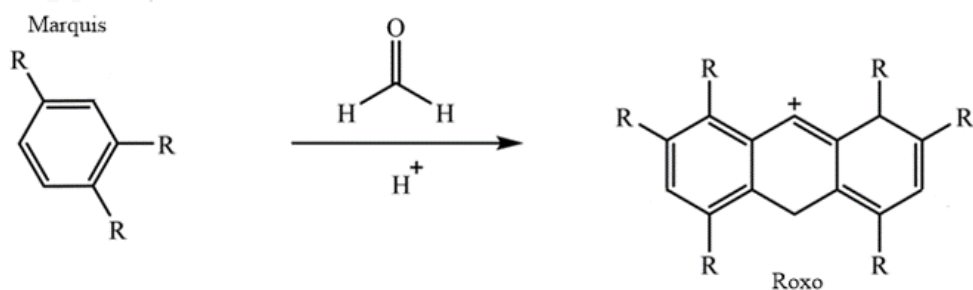


Fonte: Autoria Própria

### 3.8.3. Teste de Marquis

O teste de Marquis produz uma mudança de cor quando combinado com uma infinidade de substâncias, principalmente as anfetaminas. O reagente é constituído por uma mistura de formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) e ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). O MDA e o MDMA produzem uma cor roxa escura ou preto. O ácido sulfúrico concentrado, oxida a molécula de MDMA, formando intermediários altamente reativos que reagem com o formaldeído resultando em composto que exibem a coloração roxa ou preta (MARTÍNEZ, 2019). A **Figura 7** apresenta a reação do teste de Marquis com uma anfetamina genérica, mostrando a formação do produto de coloração roxa ou preta característica.

Figura 7- Reação química do teste de Marquis



Fonte: Autoria Própria

### 3.9. CROMATOGRAFIA

A cromatografia é uma técnica de separação poderosa, que abrange uma série de técnicas que podem separar rapidamente compostos de misturas complexas e dependendo da instrumentação utilizada, identificar os compostos separados (FARIAS,2017). A seguir serão discutidas as cromatografias em camada delgada (CCD), a cromatografia líquida (LC) e a cromatografia gasosas (CG), pois são as técnicas mais utilizadas na ciência forense, embora existam outras técnicas cromatográficas.

Pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), a cromatografia é um método físico de separação, no qual os componentes a serem separados são distribuídos entre duas fases, a fase estacionária e a fase móvel. A fase móvel pode ser um líquido (cromatografia líquida) ou um gás (cromatografia gasosa) e a fase estacionária pode ser um sólido, um gel ou um líquido (IUPAC 2009).

#### **3.9.1. Cromatografia em Camada Delgada**

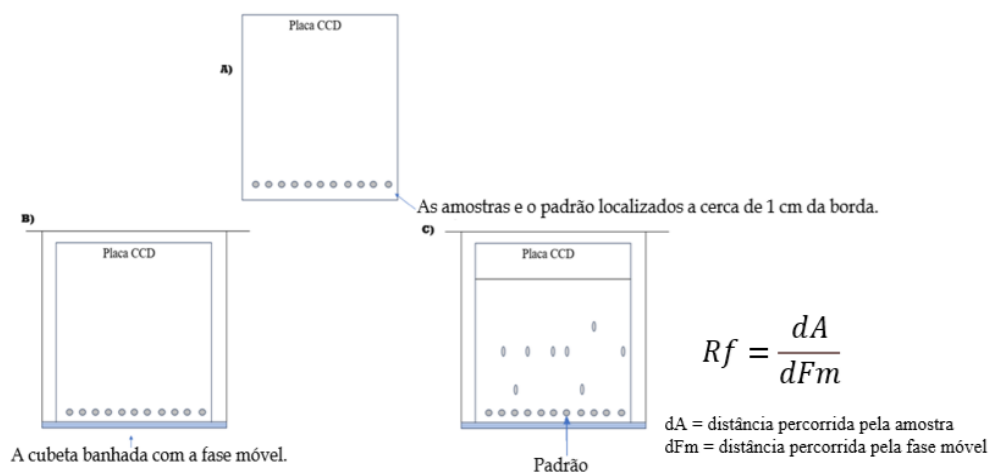
Na cromatografia em camada delgada, a fase estacionária está presente como um plano. O plano pode ser um papel ou uma camada de sílica espalhada sobre um suporte. CCD é a forma mais comum de cromatografia planar na ciência forense, e o formato mais comum utilizado é uma superfície plana, seja um quadrado ou retângulo de folha fina de alumínio com a fase estacionária revestida na superfície. A mistura da amostra, em solução, é aplicada à fase estacionária próxima a borda da placa como um ponto ou faixa. Em seguida, a placa é colocada verticalmente, com a borda inferior em uma camada rasa de fase móvel. A fase móvel move-se para cima percolando a fase estacionária por ação capilar, carregando consigo os componentes da amostra que possuem afinidade com a fase móvel.

Sendo a fase móvel e estacionária escolhidas corretamente, os componentes da mistura da amostra serão separados uns dos outros, por diferença de afinidade com a fase estacionária e móvel. Os componentes que tiverem maior afinidade pela fase móvel vão se mover mais rapidamente, enquanto aqueles que interagem mais fortemente com a fase estacionária se moverão mais lentamente, assim podendo ser separados na placa. Alguns dos componentes presentes nas amostras têm o mesmo valor de  $R_f$  (fator de retenção) que aqueles da substância padrão colocada ao lado, potencialmente indicando que as amostras contêm componentes presentes no padrão. O fator de retenção é uma medida que descreve a proporção da distância percorrida por um composto em relação à distância percorrida pelo solvente na placa. Esse valor

é calculado dividindo a distância percorrida pelo analito pela distância percorrida pelo solvente. A revelação da placa é geralmente realizada com reagentes colorimétricos, que podem ser aplicados de maneira pulverizada ou em um fluxo controlado para garantir uma cobertura uniforme da placa (JICKELLS,2021).

A **Figura 8** exibe uma representação de uma análise de CCD: (a) A placa CCD com extratos aplicados juntamente com uma amostra padrão para análise cromatográfica. (b) A placa CCD colocada na fase móvel mantida em uma cuba com tampa. (c) A placa revelada mostrando os componentes que estavam presentes nas amostras separados e a fórmula do Rf.

*Figura 8- Cromatografia em camada delgada.*



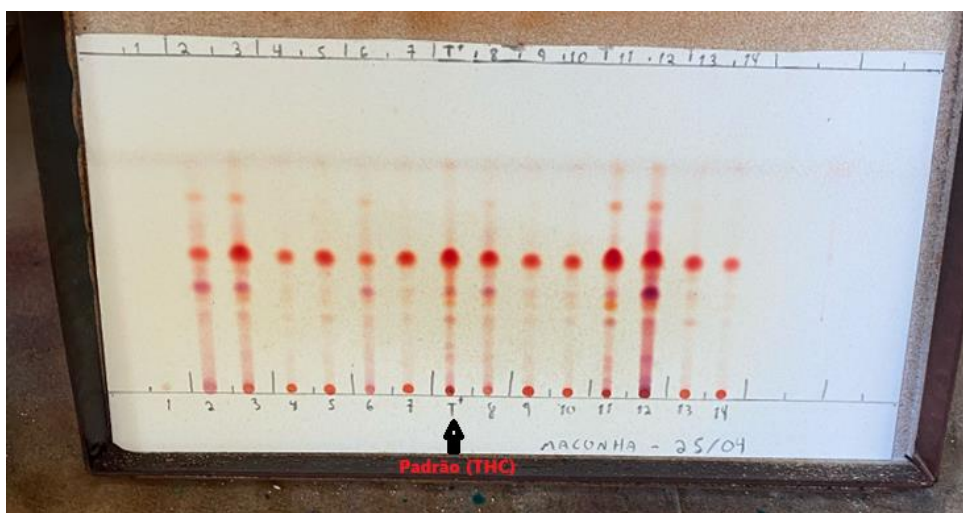
Fonte: Autorial Própria.

### 3.9.1.1. CCD PARA CANABINOIDES

Alguns métodos têm sido amplamente utilizados para análise de canabinoides, como cromatografia gasosa (CG) e cromatografia líquida (LC), no entanto, eles possuem um custo elevado. Nesse sentido, a cromatografia em camada delgada (CCD) se apresenta como uma boa técnica para avaliação de canabinoides. As principais vantagens da CCD são: a capacidade de detectar muitos dos compostos presentes e ao mesmo tempo avaliar várias amostras simultaneamente. O método CCD é a técnica de triagem preferida pela Polícia Forense Brasileira (DOS SANTOS, 2016).

Para identificação dos canabinoides são utilizadas placas de sílica gel polar e fase reversa C18. As placas de sílica gel 60 F da Merck foram relatadas por muitas análises como a fase estacionária ideal para a separação e detecção do THC, canabidiol (CBD) e canabinol (CBN). O revelador *Fast Blue B* fornece placas CCD com cores pontuais e brilhantes, que podem ser preservados por um longo período. Nas fases móveis mais utilizadas estão clorofórmio:hexano (80:20 v:v); hexano:éter etílico (80:20 v:v); clorofórmio:metanol com hidróxido de amônio concentrado (80:15:5 v:v:v). As fases móveis sem hidróxido de amônio apresentaram resultados similares, já a fase móvel com amônio concentrado apresentou melhor separação entre o THC e os canabinoides, devido a alteração da polaridade da fase móvel. A **Figura 9** ilustra uma análise de CCD para amostras de maconha com padrão de *THC*, na qual foi utilizada uma placa de sílica gel e uma fase móvel de clorofórmio:metanol:hidróxido de amônio (80:15:5 v:v:v) revelada com *Fast Blue B*.

Figura 9- CCD de canabinoides



Fonte: Autoria Própria

### 3.9.1.2. CCD PARA COCAÍNA

A cromatografia em camada delgada (CCD) é uma técnica útil para a identificação e análise de cocaína e crack em diversas amostras. A placa de sílica gel 60F é comumente usada como fase estacionária, e a escolha da fase móvel é crucial para obter uma boa separação da cocaína e de seus possíveis adulterantes ou derivados. Em diversos trabalhos há o teste de diferentes fases móveis, devido a sobreposição das diversas substâncias como benzocaína, lidocaína e

tetracaína. A CCD com acetona como fase móvel é menos utilizada, pois os Rf de benzocaína e lidocaína percorrem quase a mesma distância da cocaína. A fase móvel mais utilizada é metanol:clorofórmio:ácido acético (20:75:5 v:v), que traz pontos definidos e Rfs bem separados para diversos adulterantes. A **Tabela 3** apresenta a diferença dos valores de Rf dos adulterantes de acordo com a fase móvel utilizada.

*Tabela 3- Fatores de retenção de diferentes fases móveis*

<b>Composto</b>	<b>Acetona (Rf)</b>	<b>Metanol:Clorofórmio:Ácido Acético (Rf)</b>
Cafeína	0,75	0,47
Lidocaína	0,83	0,15
Cocaína	0,45	0,36
Procaína	0,36	0,89
Benzocaína	0,92	0,64
Cetamina	0,80	0,94

Fonte: Adaptado de SABINO,2011

O uso do complexo de cobalto (II) como revelador não tende ser muito usado, pois as placas tendem a ficar azul depois da impregnação da solução de cobalto, tornando impossível a discriminação do complexo cocaína-cobalto. Um ótimo revelador usado para cocaína e crack é o iodoplatinato de potássio que possui alta seletividade para os alcaloides e não é destrutivo podendo a amostra ser recuperada após a aplicação.

### **3.9.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência**

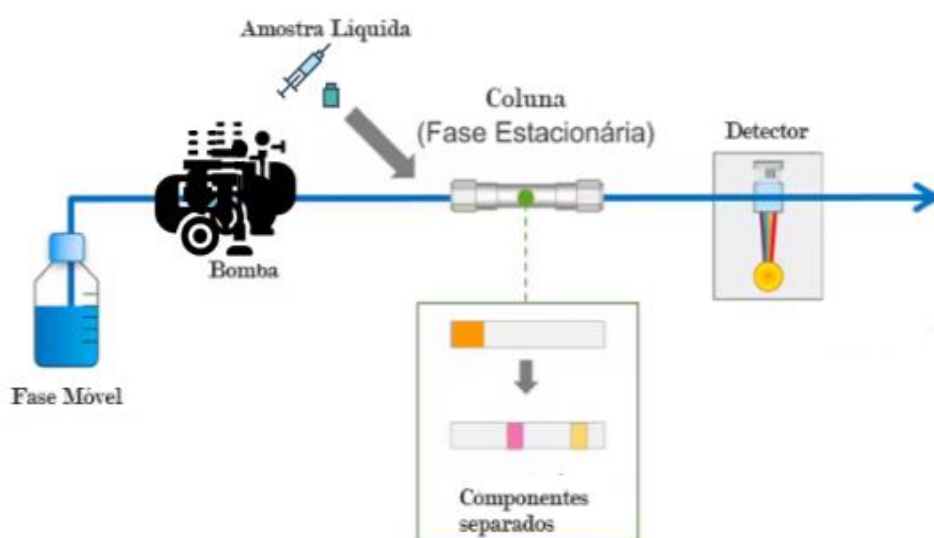
A cromatografia líquida com o uso de detectores adequados permite a identificação de substâncias desconhecidas em diversas matrizes, incluindo matéria não biológica (medicamentos, produtos químicos, etc) e biológica. É utilizada como uma alternativa quando os compostos de interesse não são passíveis de serem analisados por cromatografia gasosa. Os princípios da HPLC são semelhantes as todas cromatografias, embora a fase móvel seja sempre um líquido. A fase estacionária pode ser sólida (cromatografia líquido-sólido) ou uma camada de líquido imiscível com os solventes utilizados na fase móvel, ligada covalentemente a um suporte sólido (cromatografia líquido-líquido) (TURUFUS,2021).

A cromatografia de fase reversa é a mais frequentemente empregada em HPLC, onde a fase móvel é mais polar que a fase estacionária. No entanto, algumas aplicações empregam fases estacionárias polares, como a sílica, uma fase estacionária comum que foi popularizada pela cromatografia em coluna e em camada delgada. A fase estacionária mais usada na

cromatografia de fase reversa é a sílica modificada com grupos funcionais octadecil (C18) ou octil (C8) (TURUFUS,2021).

A **Figura 10** retrata uma visão geral do processo de cromatografia líquida, a fase móvel é bombeada pela bomba de entrega, que carrega a amostra através da coluna de separação. Após os componentes da amostra serem separados na coluna com base em suas interações com a fase estacionária e a fase móvel elas são detectadas, e assim é gerado o cromatograma com base em seus fatores de retenção.

*Figura 10-Esquema da cromatografia líquida de alta eficiência*



Fonte: Adaptado de <https://www.shimadzu.com>

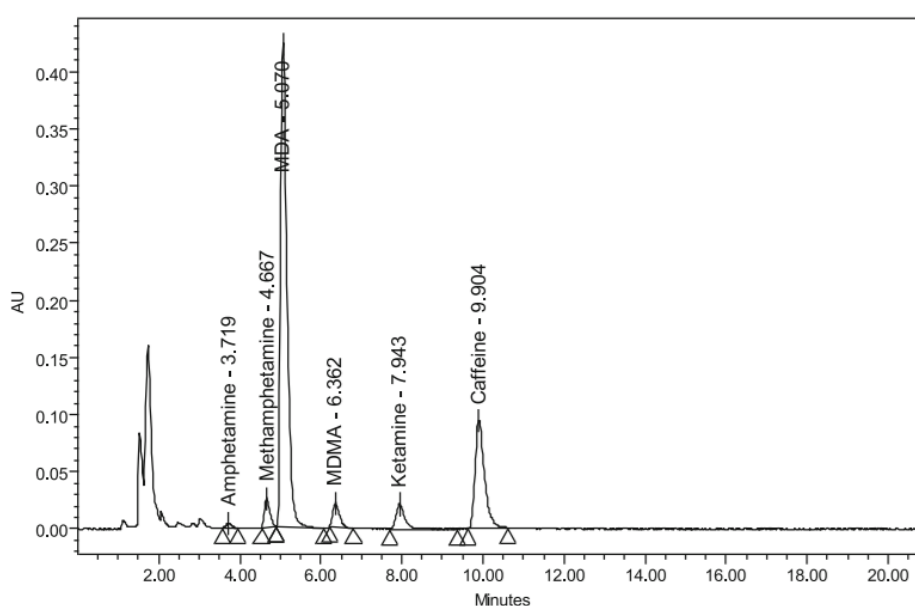
Os primeiros cromatógrafos líquidos foram equipados com detectores de ultravioleta (UV) e índice de refração. O poder superior da HPLC combinado com a espectrometria de massa (MS) foi observado há muito tempo com uma das primeiras tecnologias descritas por Ray Scott, que secou o eluente de HPLC em fios que foram posteriormente inseridos através de câmaras redutoras de pressão em um espectrômetro de massas. Desde então, a instrumentação de última geração tornou-se HPLC acoplada ao MS (CURRY, 1974).

Uma aplicação muito útil da HPLC envolve a análise de entorpecentes polares e ácidos, bem como de metabólitos polares de fármacos básicos em matrizes ricas em metabólitos, como a urina e o fígado. Por exemplo, através da monitorização dos produtos de metabolização, consegue-se um maior valor diagnóstico em comparação com o monitoramento apenas da

própria droga, particularmente para drogas que podem ser instáveis (por exemplo, antipsicóticos como a olanzapina) ou rapidamente metabolizadas (por exemplo, heroína). Além disso, a determinação das proporções de metabólitos pode ajudar na interpretação do uso crônico versus ocasional de uma determinada substância, ou do tempo decorrido desde a administração. Assim, as técnicas baseadas em HPLC são ideais para a análise de metabólitos polares, normalmente sem necessidade de derivatização ou hidrólise e com modificações sendo feitas na fase móvel para efetuar a separação e melhorar a sensibilidade.

Um estudo na Malásia (CHAN,2018) verificou o uso do HPLC para análise de bebidas contendo ecstasy. Foram utilizadas diferentes bebidas, misturadas com MA, MDMA, MDA e ketamina. Uma fase estacionaria C18 foi testada usando tampões preparados a partir de ácido fosfórico, acetato e sais de fosfato em diferentes valores de pH. A separação dos três compostos alvos foi observada com a utilização do tampão fosfato em pH 7,2, mas era ideal apenas para analitos em baixas concentrações (**Figura 11**). Quando há alta concentração dos analitos ocorre a perda de resolução, os picos de MA e MDA se coeluem. Para melhor a separação e obter resolução suficiente entre todos os picos, é recomendado o uso de uma coluna pentafluorofenil (PFP) e como fase móvel, o ácido fosfórico com adição de hexilamina. As preparações das amostras exigem apenas que cada amostra seja diluída com metanol, o que é ótimo para otimização de tempo nas análises forense.

*Figura 11-Cromatograma de bebida misturada com diferentes anfetaminas*



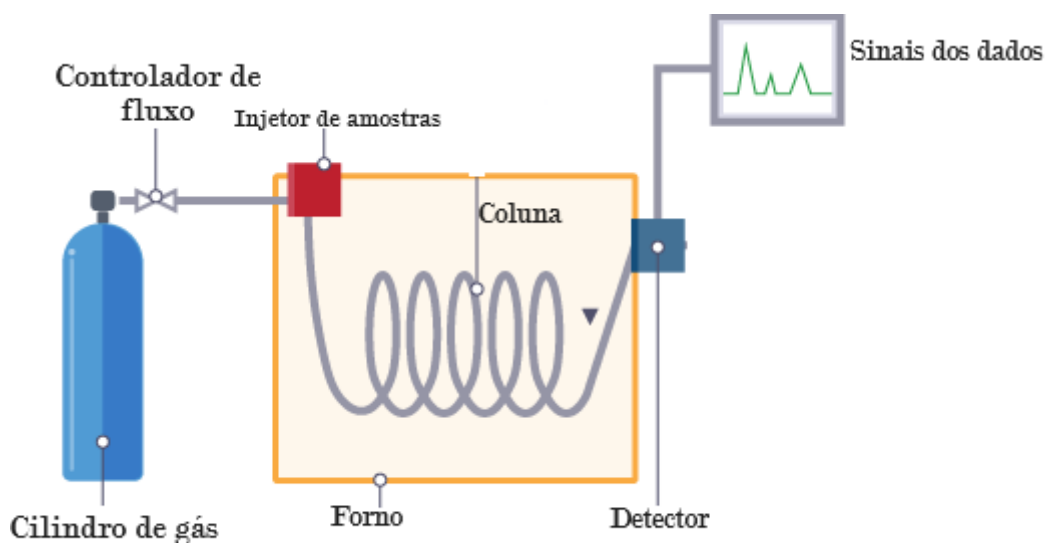
Fonte: CHAN,2018

### 3.9.3. Cromatografia Gasosa

Na cromatografia gasosa (CG) os componentes da amostra são separados com base na partição entre uma fase móvel gasosa e uma fase estacionária mantida em uma coluna tubular longa. A injeção da amostra requer que a amostra seja vaporizada e transferida para o início da coluna. Os componentes da amostra movem-se através da coluna com o auxílio da fase móvel gasosa. Ao contrário de outras técnicas cromatográficas, a fase móvel atua apenas como transportador e ocorre interação mínima entre a amostra e a fase móvel. As colunas de CG mais utilizadas são chamadas de colunas capilares. A CG é amplamente utilizada em laboratórios forenses para a análise de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, incluindo álcool, drogas, venenos, detritos de incêndio (incluindo líquidos inflamáveis), explosivos, e pesticidas (FORBES,2021).

Seguindo pela **Figura 12**, um gás de arraste inerte (fase móvel) flui consistentemente através da porta de injeção, coluna e detector. Na forma mais comum de análise por CG, a amostra é injetada e vaporizada na porta de injeção aquecida e transportada para a coluna pelo gás de arraste. A coluna é revestida com uma fina película de fase estacionária líquida de alto ponto de ebulição. Os analitos na amostra são separados entre a fase móvel e estacionária, separando-se assim em componentes individuais. Os analitos passam então da coluna para um detector, que gera um sinal elétrico que é registrado. Um sistema de dados integra o sinal em um cromatograma e normalmente inclui um relatório com área de pico, tempo de retenção e resultados quantitativos (FORBES,2021).

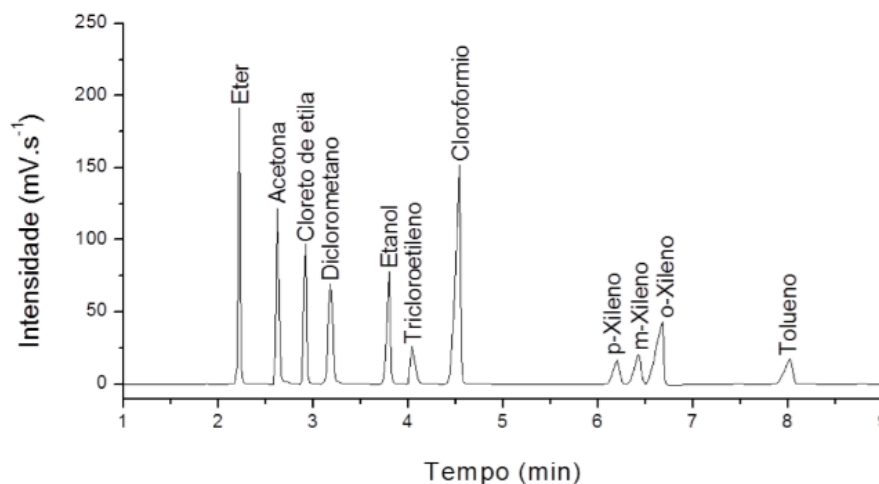
Figura 12-Esquema da cromatografia gasosa (CG)



Fonte: Autoria Própria

Como os líquidos se expandem quando vaporizados, pequenos volumes de amostras líquidas são desejáveis ao usar colunas capilares, volumes de 0,01- 3  $\mu\text{l}$ . A maioria das amostras terá sido submetida a algum tipo de procedimento de extração antes da análise por CG, de modo que a amostra injetada consista em uma baixa concentração dos compostos de interesse dissolvidos no solvente. No entanto, algumas amostras como o *lança perfume*, podem ser analisadas diretamente, porque são uma mistura de compostos orgânicos solúveis com alta volatilidade, na **Figura 13** está representando um cromatograma com os principais solventes utilizados no *lança perfume*. Essa é uma grande vantagem da CG, particularmente em comparação com a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), é que ela pode ser facilmente aplicada à análise de amostras que são voláteis à temperatura ambiente, ou que podem ser facilmente volatilizadas (ANTONIO,2015).

Figura 13-Tempo de retenção dos solventes presentes no lança perfume



Fonte: ANTONIO,2015

Para a análise de compostos voláteis, há a técnica de injeção *headspace*, que se baseia no princípio de que os componentes voláteis presentes em uma amostra líquida ou sólida também estarão presentes (ou podem ser forçados a entrar) na fase de vapor acima da amostra. Ao coletar o *headspace*, os componentes voláteis podem ser analisados por CG sem interferência de compostos não voláteis que possam estar presentes na amostra, proporcionando uma injeção limpa, resultando em menor gasto de consumíveis do cromatógrafo gasoso. Esta técnica pode ser usada para análise de componentes voláteis em água ou fluidos biológicos. Sendo comumente empregada em toxicologia forense para quantificar a concentração de álcool no sangue de um indivíduo. (BERNAL,2012).

Os cromatógrafos gasosos podem ser acoplados a vários detectores diferentes e a escolha do detector dependerá frequentemente do campo de aplicação. Tradicionalmente, o CG para análise de entorpecentes utiliza o espectrômetro de massas para permitir a detecção e identificação dos componentes. O acoplamento de CG com espectrometria de massa é conhecido comumente como CG-MS.

No laboratório forense, o CG-MS tem sido considerado o “padrão ouro” em termos de análise de amostras. Contudo, não é suficiente apenas analisar amostras. Brancos, controles, referências e padrões também devem ser analisados junto com a amostra para manter o controle e garantia de qualidade do método.

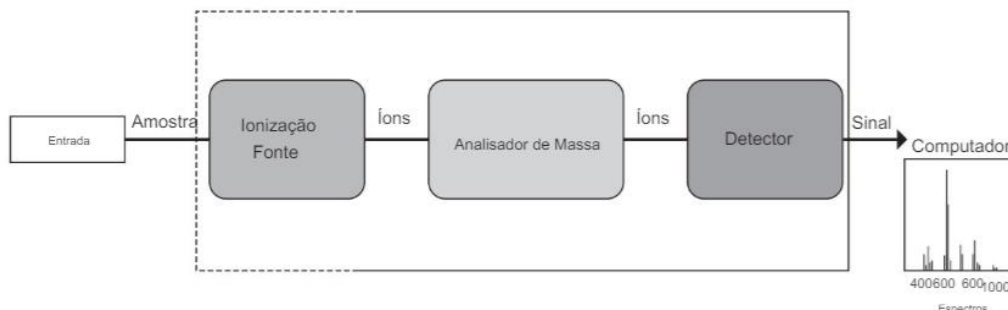
### 3.10. ESPECTROMETRIA DE MASSAS

A espectrometria de massa (MS, do inglês *Mass Spectrometry*) é uma das ferramentas analíticas mais poderosas disponíveis para o cientista forense. A instrumentação permite a medição seletiva da relação massa-carga ( $m/z$ ) a partir da qual podemos determinar o peso molecular de um composto e posteriormente informações sobre sua identidade. A técnica pode ser usada para determinar a composição elementar e a estrutura molecular. A análise é realizada convertendo átomos ou moléculas individuais em íons e medindo seu movimento e subsequente separação em um campo magnético ou elétrico. Em comum com a sua aplicação a outras áreas da ciência analítica e bioanalítica, a MS na ciência forense é frequentemente hifenizada como uma técnica cromatográfica, geralmente CG ou LC, que traz a separação dos componentes, facilitando a análise de matrizes mais complexas (PARKIN,2021).

Embora grande parte dos primeiros trabalhos em ciência forense envolvesse CG-MS, devido à maior disponibilidade comercial da instrumentação e à relativa facilidade de hifenação, os laboratórios modernos usam uma variedade de abordagens baseadas em MS, aproveitando as diferentes características de cada instrumento. Isso pode incluir LC-MS, espectrometria de massa em *tandem* (MS/MS) (em configurações triplo quadrupolo ou armadilha de íons), espectrometria de massa de alta resolução (HRMS) e espectrometria de massa de razão isotópica. Dentro das ciências forenses, a MS provavelmente encontrou sua aplicação mais ampla na área de detecção de drogas, seja em amostras biológicas (metabólitos de drogas) ou como droga em si (PARKIN,2021).

Os compostos são detectados e identificados no MS pela geração, separação e detecção de íons em fase gasosa com base nas razões massa/carga ( $m/z$ ) no espectrômetro de massa. Os principais componentes do instrumento são apresentados na **Figura 14**, a fonte de íons, o analisador de massa e o detector. Uma vez formados na fonte de íons, os íons são transportados ao redor do espectrômetro de massa por campos elétricos ou magnéticos de um local para outro na fase gasosa. Para evitar que os íons tenham sua trajetória desviada, sejam neutralizados ou fragmentados por sua colisão com moléculas atmosféricas, o instrumento é operado em baixa pressão sob alto vácuo.

Figura 14-Esquema espectrômetro de massas



Fonte: Adaptado de PARKIN,2021

Ao separar os íons, um espectro de massa é gerado mostrando os valores de  $m/z$  no eixo das abcissas do gráfico contra sua abundância relativa (intensidade de sinal) no eixo das ordenadas. A identificação envolve a interpretação cuidadosa dos espectros e muitas vezes a comparação com compostos de referência também executados na instrumentação. Em todos os casos, os espectros das substâncias são comparados com uma biblioteca de espectros de referência disponibilizada pela Polícia Científica.

O espectrômetro de massa, quando hifenado com técnicas cromatográficas, é um poderoso instrumento analítico para auxiliar na identificação de amostras de interesse forense. Nos espectrômetros de massa atuais, a introdução da amostra no instrumento é comumente realizada por hifenação em um sistema cromatográfico e, em alguns casos, após a separação por eletroforese capilar. O uso da cromatografia, para separar compostos antes da introdução no espectrômetro de massa, permite que esses componentes sejam analisados individualmente, caso possua resolução cromatográfica suficiente. Isto traz benefícios para os dados subsequentes adquiridos. Além disso, a etapa de ionização pode ser afetada pela complexidade da amostra. As misturas podem fazer com que o sinal do íon seja aumentado ou mais comumente suprimido, impactando negativamente na sensibilidade (RAMOO,2016).

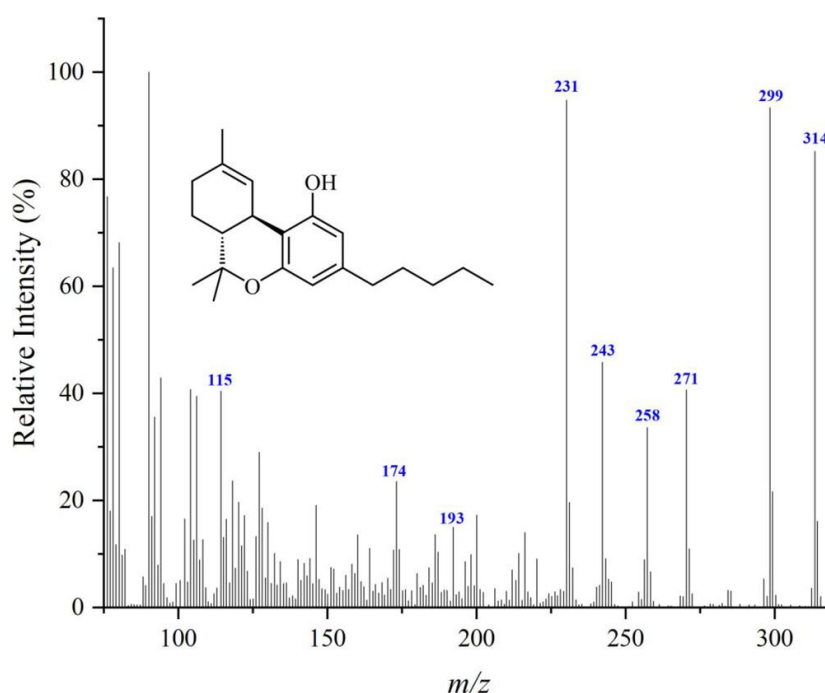
### 3.10.1. Ionização Por Impacto de Elétrons

A ionização por impacto de elétrons (EI) é um método em fase gasosa e um dos modos de ionização mais antigos e amplamente utilizados em espectrômetros de massa. A energia para que a ionização ocorra é fornecida pelo bombardeio da amostra com um feixe de elétrons de 70 eV emitidos por um filamento de tungstênio. Neste caso as moléculas que são

bombardeadas têm um elétron arrancado após a colisão levando a formação de um cátion radical, que contém um elétron desemparelhado e uma carga positiva. Este cátion radical é indicado como o íon molecular no espectro. É representado pelo símbolo  $M^+$  que tem a mesma massa da molécula original. Para a maior parte das moléculas, a energia necessária para remover um elétron é de 8 a 15 eV; entretanto, para que a ionização seja efetiva o feixe deve emitir uma energia muito maior, pois a probabilidade de contato com amostra é infinitamente pequena. Muitas classes de compostos podem ser ionizadas por EI, mas deve-se notar que seu uso é limitado a compostos termicamente estáveis e voláteis, tipicamente aqueles de peso molecular 1000 Da (Dalton). Embora muitos analitos sejam voláteis sob a pressão reduzida do vácuo do espectrômetro de massa, muitos devem ser vaporizados na fase de introdução da amostra. Este aspecto torna o acoplamento a um CG uma combinação ideal, uma vez que o CG envolve a separação de compostos com base, em parte, na sua volatilidade. A EI é normalmente referida como uma técnica de “ionização forte”. O grande grau de fragmentação provou ser muito útil, pois produz espectros de massa altamente diagnósticos com múltiplos sinais  $m/z$  ligados a fragmentos específicos. O poder de diagnóstico destes espectros fez com que fossem frequentemente referidos como “impressões digitais” e permitiu o desenvolvimento de grandes bibliotecas espectrais contra as quais os espectros adquiridos podem ser pesquisados e comparados para identificar substâncias desconhecidas (PATY,2019).

A **Figura 15** exibe o espectro de massas por impacto de elétrons do  $\Delta^9$ -THC. O pico do íon molecular é visível em 314  $m/z$  e pico de base em 299  $m/z$ . O fragmento do pico base em  $m/z$  299 provavelmente é formado através de rearranjo eletrônico e subsequente perda de 15 Da de um grupo metil. A perda de 13 Da do pico em 258  $m/z$  em relação ao íon em 271  $m/z$  indica a eliminação (-CH). No pico em 243  $m/z$  há uma perda de 15 Da do fragmento de 258  $m/z$ , sugerindo a eliminação de outro grupo metil (-CH<sub>3</sub>).

Figura 15-Espectro de massa do tetrahydrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC)



Fonte: LYNCH,2023

### 3.10.2. Análise Direta em Tempo Real

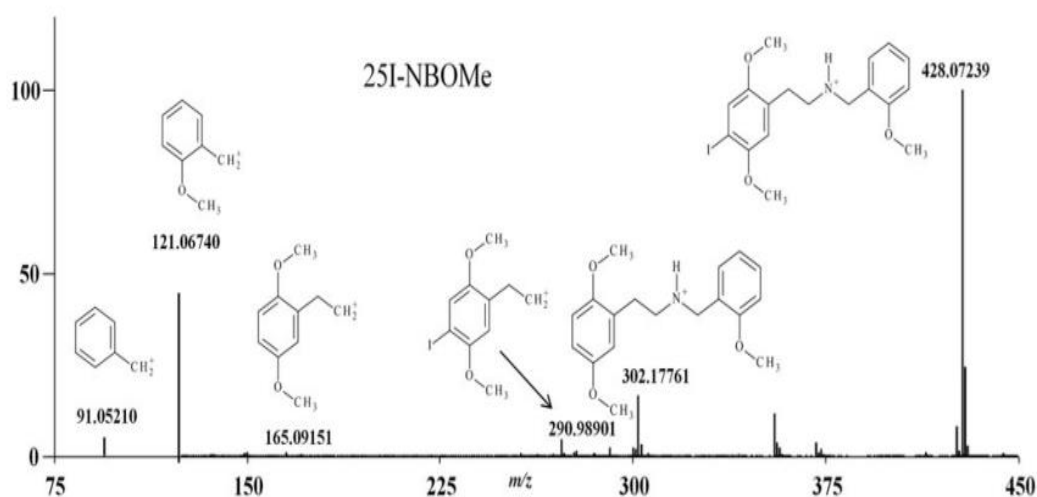
O método de ionização descrito acima pode ser acoplado a técnicas cromatográficas, no entanto existem vários outros modos de ionização em que se utilizam as chamadas fontes *off-line*, onde a amostra é processada sem qualquer separação cromatográfica e/ou preparação da amostra. Estas abordagens são geralmente métodos de dessorção que permitem a análise direta da amostra, geralmente *in situ* e na superfície, trazendo uma série de vantagens. Isso inclui a preservação da amostra, a limitação da quantidade necessária de preparação da amostra e a rapidez da análise.

A análise direta em tempo real (DART-MS, *Direct Analysis in Real Time Mass Spectrometry*) é uma técnica de ionização ambiente, onde a ionização ocorre fora do espectrômetro de massa e sem preparação ou separação da amostra. Moléculas de gás excitadas de hélio ou nitrogênio são usadas como fonte primária de partículas de ionização. A amostra é posicionada na frente do feixe de gás ionizante, quando o feixe de gás ionizante atinge a amostra, ele causa a dessorção (liberação) de moléculas neutras da superfície da amostra. Simultaneamente, alguns dos átomos ou moléculas da amostra podem perder ou ganhar

elétrons, formando íons. Devido à natureza ambiental da técnica, as amostras podem ser colocadas diretamente na fonte DART sem qualquer preparação adicional. A técnica provou ser útil em diversas aplicações forenses, desde a detecção de drogas em notas bancárias até a detecção de produtos farmacêuticos falsificados (CHEN,2017).

Os NPS (Novas Substâncias Psicoativas), que incluem classes como canabinoides sintéticos, opioides e alucinógenos sintéticos apresentam uma série de desafios analíticos, incluindo alta toxicidade, baixa concentração em amostras (em relação aos agentes adulterantes) e alterações nas estruturas químicas através da criação de novos análogos. Trabalhos recentes demonstram o uso do DART-MS para detecção desses compostos, Habala identificou 6 canabinoides sintéticos em matrizes herbais complexas (HABALA, 2016). Poklis detectou compostos N-metoxibenzil (NBOME), uma classe de NPS que consiste em poderosos alucinógenos sintéticos em papéis que podem ser consumidos por via oral e sublingual. A amostragem direta dos papéis foi capaz de detectar e diferenciar múltiplos derivados de metoxibenzil, a **Figura 16** ilustra um espectro de NBOME usando um DART-MS operado em modo de íon positivo e a energia de ionização de 20V e a fonte de gás hélio foi aquecida a 300°C para facilitar a ionização das moléculas na fase gasosa. (POKLIS, 2015).

*Figura 16-Espectro do NBOME por DART-MS*



Fonte:POLKIS,2015

Sendo assim, o DART-MS destaca-se como uma ferramenta poderosa na análise forense devido à sua capacidade de realizar a ionização ambiente diretamente na amostra, sem a necessidade de preparação, sendo uma alternativa viável ao CG-MS por não ter necessidade de pré-tratamento da amostra.

### 3.11. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA

A espectroscopia infravermelha (IR) é uma técnica baseada nas vibrações de uma molécula. Um espectro IR é obtido passando a radiação infravermelha através de uma amostra ou refletindo a radiação da superfície da amostra e então determinando qual fração da radiação incidente é absorvida em uma determinada energia. A energia na qual uma banda em um espectro de absorção aparece corresponde à frequência de vibração da parte de uma molécula. As propriedades estruturais de uma variedade de tipos de evidências forenses por espectroscopia IR pode fornecer informações fundamentais sobre a composição dos materiais apreendidos e coletados em uma cena de crime. Uma compreensão da composição molecular permite determinar a fonte da evidência. A disponibilidade de uma variedade de métodos de amostragem permite que amostras sólidas, líquidas e gasosas sejam investigadas (STUART, 2011).

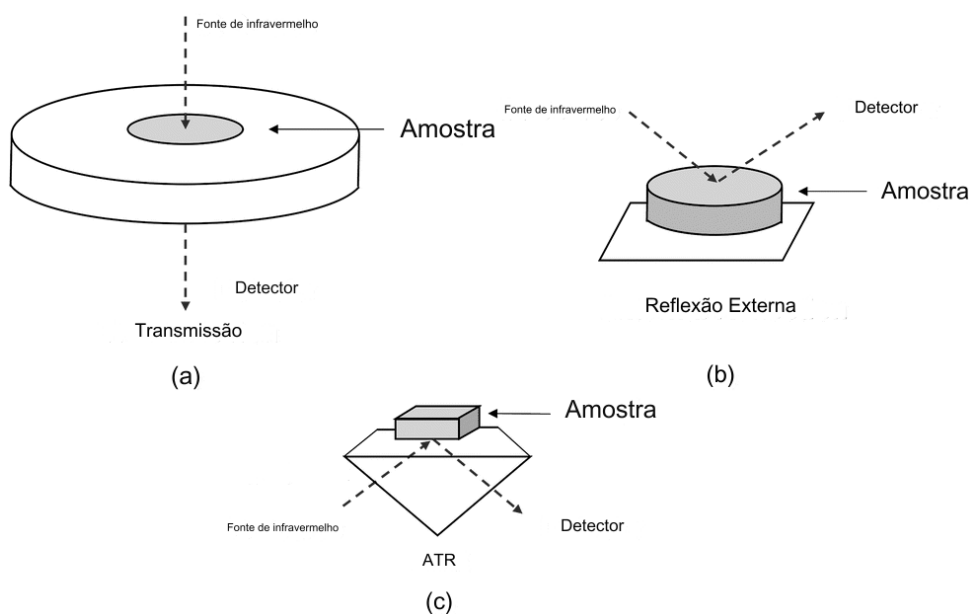
Cada uma das bandas que aparecem em um espectro IR pode ser atribuída aos modos vibracionais de grupos funcionais da molécula em estudo. Para que uma molécula apresente absorções IR ela deve possuir uma característica específica, conhecida como regra de seleção: um momento de dipolo elétrico da molécula deve mudar durante a vibração. Quanto maior for esta alteração, mais intensa será a banda de absorção. Uma molécula só pode absorver radiação quando a radiação infravermelha recebida tem a mesma frequência de um dos modos fundamentais de vibração da molécula. Isto significa que o movimento vibracional de uma pequena parte da molécula é aumentado enquanto o resto da molécula não é afetado (STUART, 2011).

Na **Figura 17** está explícito os três tipos modos típicos do FTIR: (a) transmissão, (b) reflexão externa e (c) modo ATR. Os espectrômetros infravermelhos com transformada de Fourier acoplada à reflexão total atenuada (FTIR-ATR) são os instrumentos muito usados para detecção de entorpecentes por polícias forenses. O tamanho e o custo de tais instrumentos reduziram gradativamente nas últimas décadas, tornando esta técnica mais acessível para as polícias forenses. O funcionamento do espectrômetro FTIR-ATR começa com a emissão de radiação infravermelha por uma fonte de radiação. Esta radiação é direcionada para um cristal ATR, que é feito de um material com alto índice de refração, como diamante, germânio ou seleneto de zinco. Quando a radiação infravermelha entra no cristal ATR e incide na interface

cristal-amostra em um ângulo específico, ocorre a reflexão interna total. A reflexão interna total cria uma onda evanescente que penetra na amostra em uma profundidade muito pequena, tipicamente de alguns micrômetros. A amostra em contato com o cristal ATR absorve parte da radiação infravermelha em frequências específicas, dependendo das suas ligações químicas e estrutura molecular. Essa absorção modifica a intensidade da onda evanescente refletida. A radiação refletida, contendo as informações de absorção da amostra, é então direcionada para o interferômetro de Michaelson, onde é processada de maneira semelhante ao FTIR convencional.

O interferômetro de Michaelson, composto por um divisor de feixe, um espelho fixo e um espelho móvel, gera um interferograma ao recombinar os feixes refletidos pelos espelhos. A posição do espelho móvel é continuamente ajustada, variando a diferença de caminho óptico entre os feixes e criando um padrão de interferência. O interferograma é registrado por um detector que captura a intensidade da radiação em função da posição do espelho móvel. Este sinal no domínio do tempo é submetido a uma transformada de Fourier, convertendo-o em um espectro de absorção no domínio da frequência. O espectro resultante exibe a intensidade da radiação absorvida em função do número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), permitindo a identificação das bandas correspondentes às vibrações moleculares da amostra (STUART,2021).

*Figura 17-Três modos típicos de FTIR*



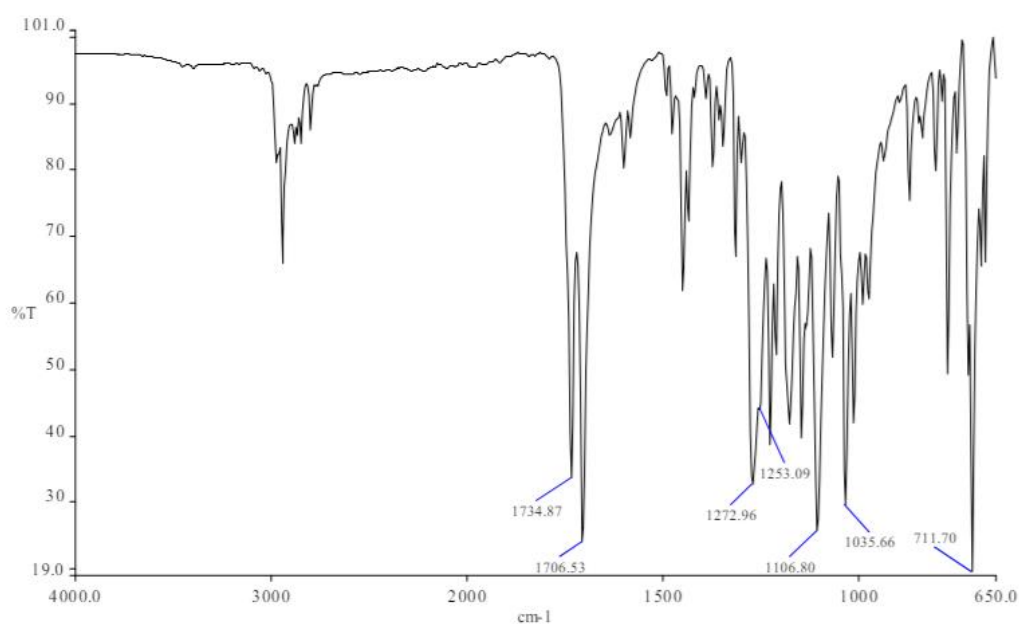
Fonte: Adaptado de LIU,2022

Em espectrometria IR convencional as amostras sólidas são geralmente preparadas como pastilha de KBr que fornecem bons espectros e compensam problemas de falta de homogeneidade. No entanto, requer muito tempo para a sua preparação e não são práticas em comparação com a preparação da amostra para ATR. Para amostras sólidas, a amostra é colocada diretamente sobre o cristal ATR. Caso a amostra seja um pó fino, pode ser espalhada uniformemente sobre a superfície do cristal. Um acessório de pressão é utilizado para garantir um bom contato entre a amostra e o cristal ATR. Isso é crucial para obter espectros de alta qualidade. Para amostras líquidas, algumas gotas da amostra são aplicadas diretamente sobre o cristal ATR, de modo que a superfície do cristal esteja completamente coberta pelo líquido.

### 3.11.1. *Espectro de Cocaína*

O espectro de cocaína apresentado na **Figura 18** tem picos de absorção em 1728 e 1711  $\text{cm}^{-1}$  (estiramento carbonila), 1264  $\text{cm}^{-1}$ , 1230 e 1105  $\text{cm}^{-1}$  (estiramento acetato CO), 1071  $\text{cm}^{-1}$ , 1025 e 729  $\text{cm}^{-1}$  (estiramento mono substituído de benzeno) e a formação de sal cloridrato também é idêntica devido às bandas de estiramento NH em torno de 2530  $\text{cm}^{-1}$ . Para base de cocaína, os picos principais são 1734  $\text{cm}^{-1}$ , 1706  $\text{cm}^{-1}$ , 1272  $\text{cm}^{-1}$ , 1253  $\text{cm}^{-1}$ , 1106  $\text{cm}^{-1}$ , 1035 e 711  $\text{cm}^{-1}$ .

*Figura 18-Espectro IR-ATR de Cocaína*

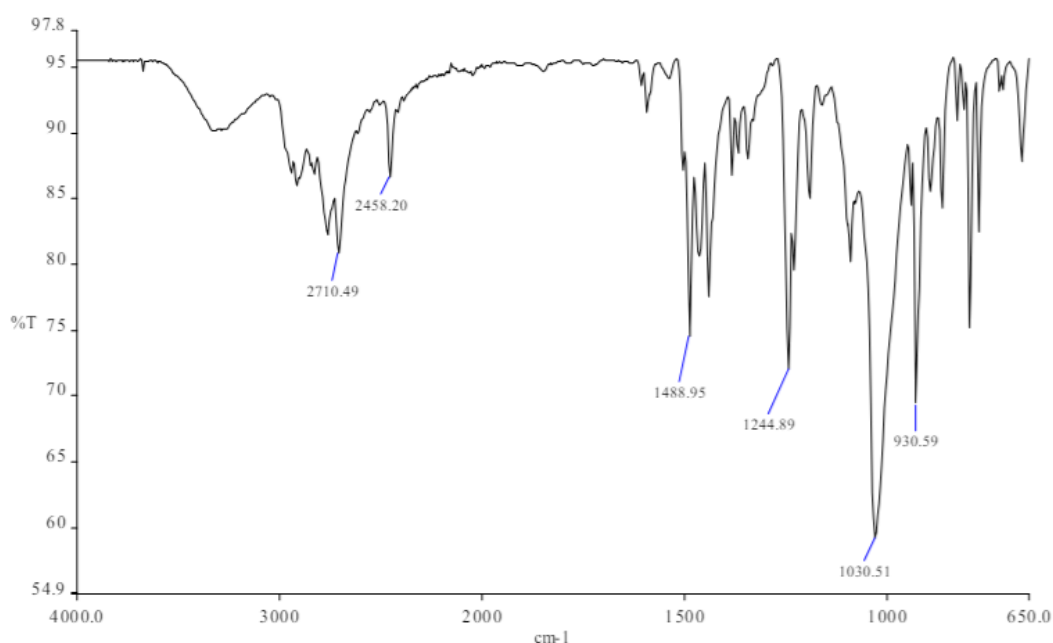


Fonte: BARAN,2005

### 3.11.2. Espectro de MDMA

O espectro do cloridrato de MDMA é ilustrado na **Figura 19**, os picos importantes são  $2710\text{ cm}^{-1}$  (estiramento N-H do sal de amina),  $2458\text{ cm}^{-1}$  (estiramento CH do grupo  $\text{CH}_3$ ),  $1488\text{ cm}^{-1}$  (estiramento CH),  $1244$  e  $1030\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C-O-C do grupo metóxi),  $930\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C-O).

Figura 19-Espectro IR-ATR de MDMA



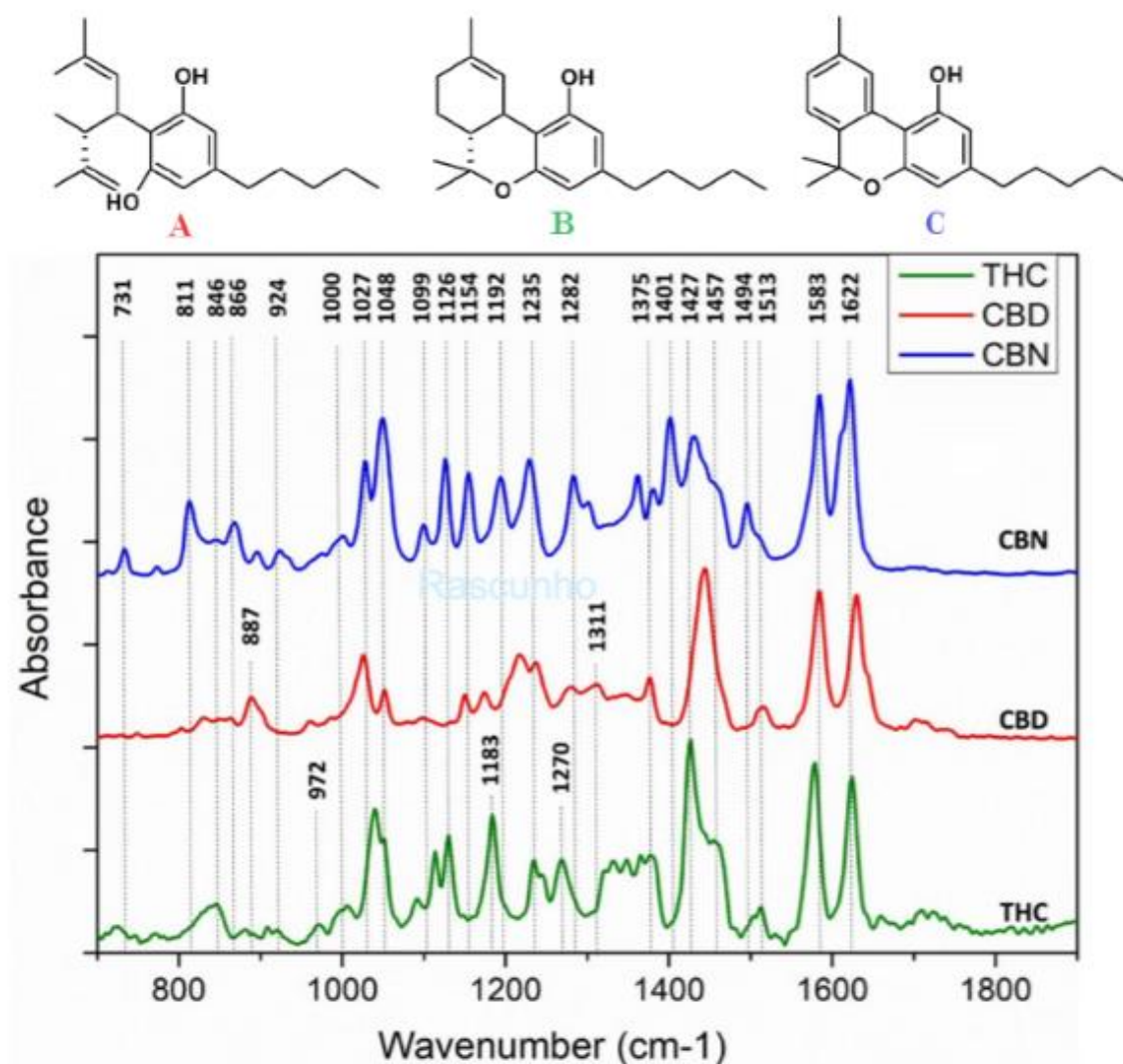
Fonte: BARAN,2005

### 3.11.3. Espectro de Cannabis

Os três compostos THC, CBD e CBN possuem espectros ATR-FTIR que compartilharam uma característica em comum de duplete espectral entre  $1548 - 1648\text{ cm}^{-1}$ , mas o centro do pico e a largura da banda diferem visivelmente para os três compostos, na **Figura 20** é possível observar essas distinções. Este duplete está centrado em  $1579$  e  $1624\text{ cm}^{-1}$  para THC;  $1585$  e  $1630\text{ cm}^{-1}$  para CBD;  $1585$  e  $1622\text{ cm}^{-1}$  para CBN. Estas bandas surgem da vibração de estiramento C=C no anel cicloexano. As bandas entre  $1400$  e  $1470\text{ cm}^{-1}$  surgem da deformação no plano dos grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  na cadeia alifática. As bandas  $1268$  e  $1280\text{ cm}^{-1}$  surgem do estiramento do C-O no anel aromático. Todos os três compostos possuem características espectrais ricas e bandas vibracionais sobrepostas, levando ao difícil

discernimento do conteúdo de uma mistura destas moléculas caso o analista levar em base apenas uma banda vibracional (LI-LIN, 2022).

Figura 20-Espectros ATR-FTIR de THC, CBD e CBN



Fonte: LI-LIN,2021

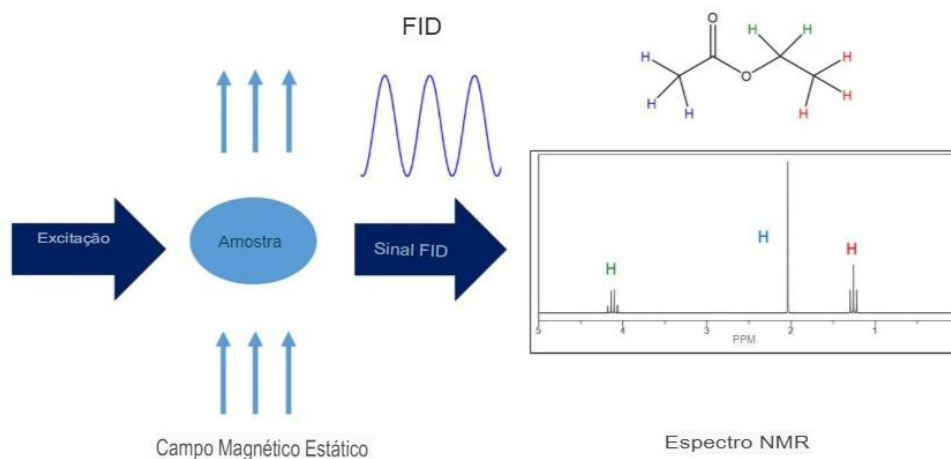
Logo, a técnica FTIR-ATR oferece várias vantagens, incluindo a capacidade de analisar amostras diretamente sem preparo extenso, minimizando a interferência, e a possibilidade de obter espectros de alta qualidade de substâncias sólidas e líquidas. No entanto, também apresenta algumas limitações, como a menor profundidade de penetração da onda evanescente, que pode não ser suficiente para analisar amostras muito espessas ou heterogêneas, e a dependência da qualidade do contato entre a amostra e o cristal ATR.

### 3.12. RESSONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Muito conhecida por seu poder de elucidação das estruturas de compostos químicos, a ressonância magnética nuclear (RMN) tornou-se uma das técnicas mais empregadas em diferentes áreas como química, bioquímica, medicina, biologia e geologia. A característica básica da RMN reside no fato de que ela detecta indutivamente a frequência de precessão de Larmor de núcleos individuais (ou seja, spins) que variam devido a diferentes ambientes atômicos, eletrônicos e químicos (ou seja, relações atômicas estruturais). Inicialmente, a amostra é colocada em um campo magnético forte, estático e homogêneo. Como os spins contêm momento angular, eles exibem precessões de Larmor em torno desse campo magnético estático. Uma magnetização líquida se acumula ao longo do tempo à medida que a população de spins (representada por diferentes níveis de energia) é minuciosamente diferenciada na presença do campo magnético (EMWAS, 2020).

Esses níveis são ditados pelo número quântico de spin e podem ser considerados, a grosso modo, como diferentes orientações com relação ao campo estático. Posteriormente, campos eletromagnéticos induzidos em radiofrequências (chamados de pulsos de RF) são aplicados transversalmente ao plano do campo magnético estático, e a magnetização líquida ou em massa sofre uma rotação efetiva. A coerência do volume se move para o plano transversal e os vetores de magnetização subsequentes, que precessam de forma coerente, induzem uma tensão alternada detectável na bobina do receptor de RMN. Essa pequena tensão alternada é amplificada e convertida de um sinal analógico de domínio de tempo para uma leitura de frequência por meio da transformação de Fourier. Esses sinais são registrados em resposta aos pulsos de ondas de rádio induzidos e são representativos das frequências Larmor que são convertidas em valores normalizados, denominados desvios químicos para serem independentes do campo. Essa é a assinatura espectroscópica final e representativa do ambiente químico e magnético do átomo e fornece informações detalhadas de resolução atômica sobre a estrutura molecular (**Figura 21**). Uma grande quantidade de informações pode ser derivada do sinal de RMN, contido por componentes como: a posição do deslocamento químico, a largura da linha do sinal e os acoplamentos observados (EMWAS, 2020).

Figura 21-O espectro de NMR de acetato de etila 1H é mostrado como um exemplo



Fonte: Adaptado de EMWAS,2020

Entre as técnicas disponíveis para cientistas forenses, a RMN é a menos utilizada. O generalizado uso de RMN em química forense é amplamente inibido devido ao enorme custo pela complicação dos instrumentos de alto campo que usam tecnologia de ímã supercondutor. A entrada no mercado de espectrômetros de RMN de bancada (40-100 MHz) representa uma boa oportunidade para os químicos forenses obterem acesso à capacidade do RMN e atenderem à necessidade de métodos aprimorados de análise. Os instrumentos modernos de RMN de campo magnético mais baixo operam com ímãs permanentes, o que permitem que o instrumento não necessite de um amplo espaço para a sua instalação e nem a utilização de líquidos criogênicos, necessários nos magnetos supercondutores de alto campo.

Embora às vezes seja difícil de analisar em um sentido tradicional devido à alta probabilidade de sobreposição de picos, os espectros de RMN de campo baixo  $^1\text{H}$  produz espectros semelhantes a impressões digitais, adequados para comparações estruturais entre isômeros e análogos muito semelhantes. Antonides (ANTONIDES, 2019), conseguiu identificar diferentes entorpecentes como, cocaína, MDMA, canabinoides sintéticos, etc. A análise de RMN de hidrogênio foi capaz de diferenciar a cocaína em forma de base livre da forma em sal (cloridrato de cocaína), sendo que o CG-MS relata apenas a presença de cocaína. Foi usada uma abordagem totalmente automatizada na qual os espectros de RMN de hidrogênio foram registrados usando um sistema de 60 MHz, e desenvolveram um algoritmo de reconhecimento de padrões para comparar o espectro com uma biblioteca de referência de mais de 300 espectros de RMN- $^1\text{H}$ , dividindo os espectros em uma "região de classe" (0,46-1,54

ppm), que é geralmente consistente dentro de uma classe, e uma "região de impressão digital" (3,90-12,50 ppm) para identificar características distintas dentro da classe, a fim de simplificar o reconhecimento de padrões.

A automação da análise oferece a oportunidade de um fluxo de trabalho totalmente automatizado, sem intervenção do usuário após a preparação da amostra. Isso foi reconhecido pelos fornecedores de NMR de bancada, com Magritek, Nanalysis e Bruker que oferecem o recurso de amostrador automático para seus instrumentos. Os amostradores automáticos aumentam muito o número de análises, permitindo que os instrumentos funcionem sem supervisão, mesmo fora do horário de trabalho da equipe, e alinhem a RMN de bancada com outras análises familiares aos químicos forenses, como HPLC, etc.

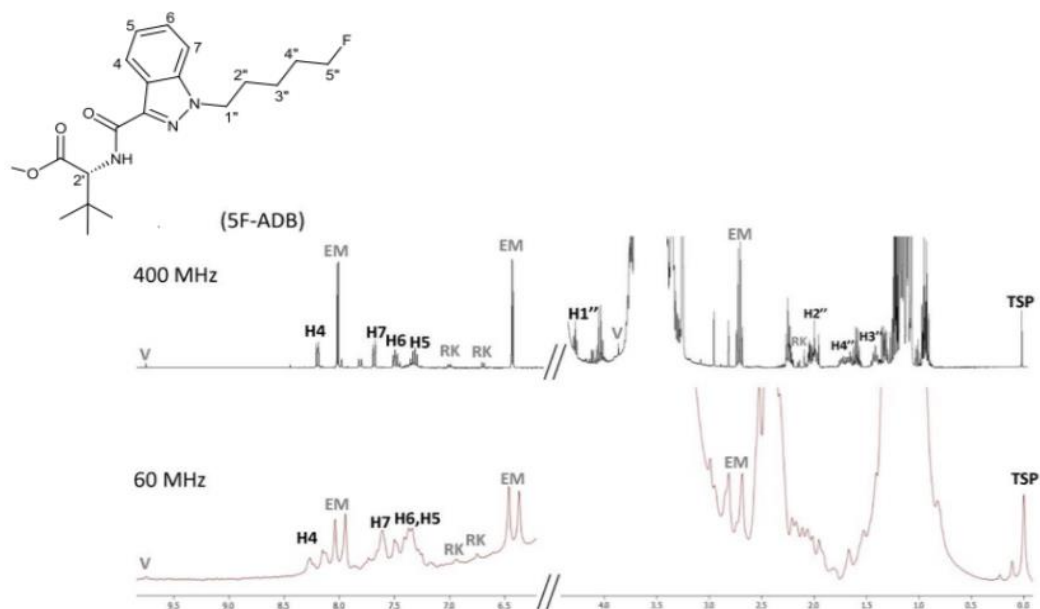
Com a crescente popularidade dos cigarros eletrônicos, facilitada pela compra online, os líquidos utilizados nos *vapes* (cigarro eletrônico) estão passando a incluir canabinoides sintéticos. Nao Wu (NAO WU,2020) detectou com um RMN de campo mais baixo diferentes canabinoides sintéticos presentes em *e-liquids* (líquidos usados em cigarros eletrônicos). A **Figura 22** compara os espectros de campo alto (HF) e campo mais baixo (LF) e a **Tabela 4** mostra os sinais característicos dos hidrogênios do canabinoide sintético 5F-ADB, é possível verificar que os sinais LF são mais amplos, com uma maior quantidade de sinais sobrepostos devido à resolução mais baixa. Os sinais estão especialmente aglomerados na região de baixa frequência (0,5-4,5ppm), onde os sinais são sobrepostos por intensos sinais de matriz, mas algumas dicas ainda podem ser obtidas na região aromática (acima da região de 5,6 ppm).

*Tabela 4-Os sinais característicos de RMN de 1H de campo alto (400 MHz)*

$^1\text{H}$	$\delta \text{ } ^1\text{H/ppm}$	M	(J, Hz)
4	8,20	d	8.2
5	7,31	m	-
6	7,48	m	-
7	7,68	d	8.6
1''	4,54	t	7.0
2''	2,01	qt	7.5
3''	1,43	m	-
4''	1,72	m	-
5''	4,39	dt	47.5/6.0
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1,08	s	-

Fonte: Adaptado de NAO WU,2020

Figura 22-Comparação dos espectros de  $^1\text{H}$ -RMN do 5F-ADB



Fonte: Adaptado de NAO WU,2020

De acordo com os resultados de Nao Wu, em análises de RMN- $^1\text{H}$  de campo mais baixo aplicadas a *e-liquids* contendo canabinoides sintéticos (SCs), é possível identificar sinais característicos desses compostos, mesmo com a interferência dos sinais da matriz, contudo, essa detecção depende da concentração dos SCs ser suficientemente alta para superar o ruído da matriz.

Embora o campo magnético mais baixo dos instrumentos de bancada possa tornar a especificação mais complicada e reduzir a sensibilidade, foi demonstrado que isso geralmente não é um fator inibidor. No futuro, as perspectivas da RMN de bancada podem se aproximar da espectrometria de massa, com a criação de bancos de dados semelhantes à biblioteca de espectros de massa da SWGDRUG, mas com um custo mais acessível.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, constatou-se que o abuso de drogas na população, principalmente de maconha e cocaína continuam a ser um grave problema social e de saúde pública, pois representam um aumento da criminalidade, da violência e do tráfico.

Atualmente existe diversos métodos analíticos para a identificação de entorpecentes como testes colorimétricos, CCD, HPLC, CG-MS, DART-MS, FTIR-ATR e RMN. Todavia, cada método possui suas particularidades, na qual as vantagens e desvantagens estão ligadas ao tipo de substância a ser analisada, suas propriedades físicas e químicas e principalmente ao custo e o tempo que a análise será concluída. A cromatografia gasosa acoplada ao massas possui um alto poder de resolução e alta sensibilidade. Entretanto, as amostras analisadas têm de ser voláteis e termicamente estáveis, o que é perfeito para drogas inalantes como o *lança perfume*. A HPLC possibilita a análise de diversas substâncias através de metabólitos em matrizes biológicas, como a urina, a saliva e o sangue, sendo muito utilizada em casos de *post-mortem*. As técnicas de DART-MS, FTIR-ATR e RMN possuem uma grande vantagem em relação ao preparo das amostras, que geram otimização de tempo e baixo custo em relação aos reagentes. Além de deter a capacidade de elucidação estrutural, principalmente nos tempos atuais que estão surgindo diversos tipos de substâncias sintéticas. Em um futuro promissor, podemos ter mais equipamentos portáteis de Raman e FTIR nas polícias científicas no Brasil que são promissores para a identificação rápida e não destrutiva de drogas em campo. Além destas, a evolução de espectrômetros de RMN compactos e acessíveis que permite análises estruturais detalhadas em campo, pode tornar-se uma ferramenta preciosa para a identificação de novas substâncias psicoativas.

Portanto, por meio dos estudos levantados neste trabalho é visível a importância da Química Forense na identificação de entorpecentes, tendo em vista o controle e a conscientização do uso e abuso de drogas ilícitas visando o bem da sociedade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.L. DEAKIN, 'A STUDY OF ACIDS USED FOR THE ACIDIFIED COBALT THIOCYANATE TEST FOR COCAINE BASE', MICROGRAM J., 1(1-2), 40-43 (2003)

ABRAMS, A. C. FARMACOTERAPIA CLÍNICA. 7. ED. RIO DE JANEIRO: GUANABARA KOOGAN, 2006.

AGÊNCIA SENADO-EFEITOS DAS SUBSTÂNCIAS NO SISTEMA NERVOSO. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW12.SENADO.LEG.BR/NOTICIAS/ESPECIAIS/ESPECIAL/CIDADANIA/DROGAS/EFEITOS-DAS-SUBSTANCIAS-NO-SISTEMA-NERVOSO](https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial/cidadania/drogas/efeitos-das-substancias-no-sistema-nervoso)>.

ALINE THAÍS BRUNI; JESUS ANTONIO VELHO; MARCELO FIRMINO DE OLIVEIRA. FUNDAMENTOS DE QUÍMICA FORENSE - UMA ANÁLISE PRÁTICA DA QUÍMICA QUE SOLUCIONA CRIMES. [MILLENNIUM], 2019 ISBN 8576253658.

ANTONIDES, L. H., BRIGNALL, R. M., COSTELLO, A., ELLISON, J., FIRTH, S. E., GILBERT, N., GROOM, B. J., HUDSON, S. J., HULME, M. C., MARRON, J., PULLEN, Z. A., ROBERTSON, T. B. R., SCHOFIELD, C. J., WILLIAMSON, D. C., KEMSLEY, E. K., SUTCLIFFE, O. B., & MEWIS, R. E. (2019). RAPID IDENTIFICATION OF NOVEL PSYCHOACTIVE AND OTHER CONTROLLED SUBSTANCES USING LOW-FIELD <sup>1</sup>H NMR SPECTROSCOPY. ACS OMEGA, 4(4), 7103–7112. [HTTPS://DOI.ORG/10.1021/ACSOMEGA.9B00302](https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00302)

ANTONIO GOMES DE CASTRO NETO, & BEATE SAEGESSER SANTOS. (2015). PERFIL QUÍMICO DOS INALANTES APREENDIDOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO. BRAZILIAN JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES, MEDICAL LAW AND BIOETHICS, 4(2), 184–198. [HTTPS://DOI.ORG/10.17063/BJFS4\(2\)Y2015184](https://doi.org/10.17063/bjfs4(2)y2015184)

ARAÚJO, M.; ALMEIDA, M. B.; ARAÚJO, L. L. N. THE CANNABINOIDS MECHANISM OF ACTION: AN OVERVIEW. BRAZILIAN JOURNAL OF PAIN, V. 6, P. 109–113, 2023.

BARAN, Ö.P. (2005). DETERMINATION OF NARCOTIC AND PSYCHOTROPIC SUBSTANCES BY USING INFRARED SPECTROSCOPY.

BERNAL, ERNESTO. (2012). DETERMINATION OF VOLATILE SUBSTANCES IN FORENSIC SAMPLES BY STATIC HEADSPACE GAS CHROMATOGRAPHY. 10.5772/31758.

BRUNI, A. T.; RODRIGUES, C. H. P.; DOS SANTOS, C.; DE CASTRO, J. S.; MARIOTTO, L. S.; SINHORINI, L. F. C. ANALYTICAL CHALLENGES FOR IDENTIFICATION OF NEW PSYCHOACTIVE SUBSTANCES: A LITERATURE-BASED STUDY FOR SEIZED DRUGS. BRAZ. J. ANAL. CHEM., 2022, 9 (34), PP 52-78. DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.30744/BRJAC.2179-3425.RV-41-2021](http://dx.doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.rv-41-2021)

CALIGIORN, SORDAINI & MARINHO, PABLO. (2017). COCAÍNA: ASPECTOS HISTÓRICOS, TOXICOLÓGICOS E ANALÍTICOS – UMA REVISÃO. 1. 34-45.

CAPPELLE, D., YEGLES, M., NEELS, H. ET AL. (2015). NAIL ANALYSIS FOR THE DETECTION OF DRUGS OF ABUSE AND PHARMACEUTICALS: A REVIEW. FORENSIC TOXICOL. 33 (1): 12–36.

CARDOSO-PALACIOS, C. AND LANEKOFF, I. (2016). DIRECT ANALYSIS OF PHARMACEUTICAL DRUGS USING NANO-DESI MS. J. ANAL. METHODS CHEM. 2016: 3591908.

CHAN, KW., RAMLI, S.H. DEVELOPMENT OF AN IN-HOUSE HPLC METHOD FOR THE ANALYSIS OF ECSTASY-LACED BEVERAGES. *EGYPT J FORENSIC SCI* 8, 18 (2018). [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/s41935-018-0048-8](https://doi.org/10.1186/s41935-018-0048-8)

CHEN, T.H. AND WU, S.P. (2017). FORENSIC APPLICATIONS OF DIRECT ANALYSIS IN REAL TIME (DART) COUPLED TO Q-ORBITRAP TANDEM MASS SPECTROMETRY FOR THE IN SITU ANALYSIS OF PIGMENTS FROM PAINT EVIDENCE. *FORENSIC SCI. INT.* 277: 179–187

CONCEIÇÃO, V. N., SOUZA, L. M., MERLO, B. B., FILGUEIRAS, P. R., POPPI, R. J., & ROMÃO, W.. (2014). ESTUDO DO TESTE DE SCOTT VIA TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS: UM MÉTODO ALTERNATIVO PARA DIFERENCIAR CLORIDRATO DE COCAÍNA E SEUS ADULTERANTES. *QUÍMICA NOVA*, 37(9), 1538–1544. [HTTPS://DOI.ORG/10.5935/0100-4042.20140240](https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140240)

COSTA, J. L. DA ., PINTAO, E. R., CORRIGLIANO, C. M. C., & NEGRINI NETO, O.. (2009). DETERMINAÇÃO DE 3,4-METILENODIOXIMETANFETAMINA (MDMA) EM COMPRIMIDOS DE ECSTASY POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA COM DETECÇÃO POR FLUORESCÊNCIA (CLAE-DF). *QUÍMICA NOVA*, 32(4), 965–969. [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/s0100-40422009000400026](https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000400026)

CURRY, A.S. (1974). CHROMATOGRAPHY AND FORENSIC CHEMISTRY. *J. CHROMATOGR. SCI.* 12 (10): 529–534

DANTAS, TIAGO. DROGAS LÍCITAS E ILÍCITAS. MUNDO EDUCAÇÃO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://MUNDOEDUCACAO.UOL.COM.BR/DROGAS/DROGAS-LICITAS-ILICITAS.HTM](https://mundoeducacao.uol.com.br/drogas/drogas-licitas-ilicitas.htm).

DARLING, S., JICKELLS, S., AND NEGRUSZ, A. (2013). GAS CHROMATOGRAPHY. IN: CLARKE'S ANALYTICAL FORENSIC TOXICOLOGY (EDS. A. NEGRUSZ AND G. COOPER). LONDON: PHARMACEUTICAL PRESS.

DE LIMA FELTRACO LIZOT, L., DA SILVA, A. C. C., BASTIANI, M. F., HAHN, R. Z., BULCÃO, R., PERASSOLO, M. S., ANTUNES, M. V., & LINDEN, R. (2019). SIMULTANEOUS DETERMINATION OF COCAINE, ECGONINE METHYL ESTER, BENZOYLECGONINE, COCAETHYLENE AND NORCOCAINE IN DRIED BLOOD SPOTS BY ULTRA-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY COUPLED TO TANDEM MASS SPECTROMETRY. *FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL*, 298, 408–416. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORSCIINT.2019.03.026](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.03.026)

DOS SANTOS NA, SOUZA LM, DOMINGOS E, FRANÇA HS, LACERDA V, BEATRIZ A, ET AL. EVALUATING THE SELECTIVITY OF COLORIMETRIC TEST (FAST BLUE BB SALT) FOR THE CANNABINOIDS IDENTIFICATION IN MARIJUANA STREET SAMPLES BY UV–VIS, TLC, ESI(+)-FT-ICR MS AND ESI(+) MS/MS. *FORENSIC CHEM.* 2016;1:13–21. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORC.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.forc.2016.07.001).

DUFFY, A. URBAS, M. NIEMITZ, K. LIPPA, I. MARGINEAN, ANAL. CHIM. ACTA 2019, 1049, 161.

EMWAS, A. H., SZCZEPSKI, K., POULSON, B. G., CHANDRA, K., MCKAY, R. T., DHAHRI, M., ALAHMARI, F., JAREMKO, L., LACHOWICZ, J. I., & JAREMKO, M. (2020). NMR AS A "GOLD STANDARD" METHOD IN DRUG DESIGN AND DISCOVERY. MOLECULES (BASEL, SWITZERLAND), 25(20), 4597. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/MOLECULES25204597](https://doi.org/10.3390/molecules25204597)

EVALUATING THE SELECTIVITY OF COLORIMETRIC TEST (FAST BLUE BB SALT) FOR THE CANNABINOIDS IDENTIFICATION IN MARIJUANA STREET SAMPLES BY UV–VIS, TLC, ESI(+)FTICR MS AND ESI(+)MS/MS, FORENSIC CHEM. 1 (2016) 13–21, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORC.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.forc.2016.07.001).

EVERS, RICHARD. (2014). DEVELOPMENT OF A LIQUID CHROMATOGRAPHY ION TRAP MASS SPECTROMETER METHOD FOR CLINICAL DRUGS OF ABUSE TESTING WITH AUTOMATED ON-LINE EXTRACTION USING TURBULENT FLOW CHROMATOGRAPHY. 10.13140/2.1.2125.1367.

FARIAS, ROBSON. INTRODUÇÃO À QUÍMICA FORENSE. 1. ED. SÃO PAULO: [ÁTOMO], 2017. ISBN 8576702797.

FARRAR, T.C. PRINCIPLES OF PULSE NMR SPECTROSCOPY. IN NMR: PRINCIPLES AND APPLICATIONS TO BIOMEDICAL RESEARCH; PETTEGREW, J.W., ED.; SPRINGER: NEW YORK, NY, USA, 1990; PP. 1–36. ISBN 978-1-4612-3300-8

FERNÁNDEZ P., REGENJO M., BERMEJO A. M., FERNÁNDEZ A. M., LORENZO R. A., AND CARRO A. M. (2015), ANALYSIS OF DRUGS OF ABUSE IN HUMAN PLASMA BY DISPERSIVE LIQUID–LIQUID MICROEXTRACTION AND HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY, J. APPL. TOXICOL., 35, PAGES 418-425, DOI: 10.1002/JAT.3035

FISHER, C. S. FUNDAMENTALS OF FORENSIC SCIENCE. [ACADEMIC PRESS], [2015]. ISBN [0128000376].

FORBES, S. GAS CHROMATOGRAPHY. ANALYTICAL TECHNIQUES IN FORENSIC SCIENCEWILEY, , 5 JAN. 2021. DISPONÍVEL EM<[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1002/9781119373421.CH13](http://dx.doi.org/10.1002/9781119373421.ch13)>

FORRESTER MB, KLEINSCHMIDT K, SCHWARZ E, YOUNG A. SYNTHETIC CANNABINOID EXPOSURES REPORTED TO TEXAS POISON CENTERS. *J ADDICT DIS.* 2011 OCT;30(4):351-8. DOI: 10.1080/10550887.2011.609807. PMID: 22026527.

FRYSINGER, G.S. AND GAINES, R.B. (2002). FORENSIC ANALYSIS OF IGNITABLE LIQUIDS IN FIRE DEBRIS BY COMPREHENSIVE TWO-DIMENSIONAL GAS CHROMATOGRAPHY. *JOURNAL OF FORENSIC SCIENCE* 47 (3): 471–482.

FUKUSHIMA, ANDRÉ RINALDI. PERFIL DA COCAÍNA COMERCIALIZADA COMO CRACK NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO EM PERÍODO DE VINTE MESES (2008-2009). 2010. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM TOXICOLOGIA E ANÁLISES TOXICOLÓGICAS) - FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, 2010. DOI:10.11606/D.9.2011.TDE-27012011-082843. ACESSO EM: 2024-05-26

GEROSTAMOULOS, DIMITRI, E JENNIFER SCHUMANN. “FORENSIC TOXICOLOGY: OVERVIEW AND APPLICATIONS”. EM *ENCYCLOPEDIA OF FORENSIC SCIENCES, THIRD EDITION (THIRD EDITION)*, ORGANIZADO POR MAX M. HOUCK, THIRD EDITION., 712–19. OXFORD: ELSEVIER, 2023. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/B978-0-12-823677-2.00272-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00272-5).

GOMES, MIRIAN SILVA. CONTRIBUTO DA QUÍMICA FORENSE NA DETECÇÃO DE DROGAS DE ABUSO. DISSERTAÇÃO, UNIVERSIDADE DE LISBOA, FACULDADE DE CIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA, LISBOA, 2013

HABALA L, VALENTOVÁ J, PECHOVÁ I, FUKNOVÁ M, DEVÍNSKY F, DART – LTQ ORBITRAP AS AN EXPEDIENT TOOL FOR THE IDENTIFICATION OF SYNTHETIC CANNABINOIDS, *LEGAL MEDICINE.* 20 (2016) 27–31, 10.1016/J.LEGALMED.2016.03.006. [PUBMED: 27161918]

HADDOUB, ROSE & FERRY, DANIEL & MARSAL, PHILIPPE & SIRI, OLIVIER. (2011). COBALT THIOCYANATE REAGENT REVISITED FOR COCAINE IDENTIFICATION ON TLC. *NEW J. CHEM.* 35. 1351-1354. 10.1039/C1NJ20234K.

HAFER, K.E. AND BRETTELL, T.A. (2018). PRESUMPTIVE COLOR TESTS OF SEIZED DRUGS. IN *ENCYCLOPEDIA OF ANALYTICAL CHEMISTRY*, R.A. MEYERS (ED.). [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/9780470027318.A9445](https://doi.org/10.1002/9780470027318.A9445)

HANSON, G. R.; VENTURELLI, P. J.; FLECKENSTEIN, A. E. *DRUGS AND SOCIETY (ENGLISH EDITION)*. 13. ED. JONES & BARTLETT LEARNING, 26 JANEIRO 2017

HASSAN, SAAD & KAMEL, AYMAN & AWWAD, NASSER & ABOTERIKA, AWAAD. (2023). CHARACTERIZATION OF SOME “HASHISH” SAMPLES IN THE EGYPTIAN ILLICIT TRAFFICKING

MARKET USING A THERMAL SEPARATION PROBE AND GAS CHROMATOGRAPHY–MASS SPECTROMETRY. ACS OMEGA. 8. 10.1021/ACSOMEGA.3C02809.

HEAL, D. J., SMITH, S. L., GOSDEN, J., & NUTT, D. J. (2013). AMPHETAMINE, PAST AND PRESENT--A PHARMACOLOGICAL AND CLINICAL PERSPECTIVE. JOURNAL OF PSYCHOPHARMACOLOGY (OXFORD, ENGLAND), 27(6), 479–496. [HTTPS://DOI.ORG/10.1177/0269881113482532](https://doi.org/10.1177/0269881113482532)

HEMMERSBACH, P. (2008). HISTORY OF MASS SPECTROMETRY AT THE OLYMPIC GAMES. J. MASS SPECTROM. 43 (7): 839–853.

HOFFMANN, W.D. AND JACKSON, G.P. (2015). FORENSIC MASS SPECTROMETRY. ANNU. REV. ANAL. CHEM. (PALO ALTO, CALIF) 8: 419–440

JICKELLS, S.; FORBES, S. CHROMATOGRAPHIC SEPARATION AND THEORY. ANALYTICAL TECHNIQUES IN FORENSIC SCIENCE WILEY, , 5 JAN. 2021. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1002/9781119373421.CH12](http://dx.doi.org/10.1002/9781119373421.ch12)>

JORNET-MARTÍNEZ, N., HERRÁEZ-HERNÁNDEZ, R., & CAMPÍNS-FALCÓ, P. (2019). STABILIZATION OF FORMALDEHYDE INTO POLYDIMETHYLSILOXANE COMPOSITE: APPLICATION TO THE IN SITU DETERMINATION OF ILLICIT DRUGS. ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY, 411(10), 2141–2148. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01644-1>

JOSEPH SHERMA & FRED RABEL (2019) THIN LAYER CHROMATOGRAPHY IN THE ANALYSIS OF CANNABIS AND ITS COMPONENTS AND SYNTHETIC CANNABINOIDS, JOURNAL OF LIQUID CHROMATOGRAPHY & RELATED TECHNOLOGIES, 42:19-20, 613-628, DOI: 10.1080/10826076.2019.1663529

LAI, H., CORBIN, I., & ALMIRALL, J. R. (2008). HEADSPACE SAMPLING AND DETECTION OF COCAINE, MDMA, AND MARIJUANA VIA VOLATILE MARKERS IN THE PRESENCE OF POTENTIAL INTERFERENCES BY SOLID PHASE MICROEXTRACTION-ION MOBILITY SPECTROMETRY (SPME-IMS). ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY, 392(1-2), 105–113. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s00216-008-2229-z](https://doi.org/10.1007/s00216-008-2229-z).

LIMA, I. S. DE; GOMES, C. M.; SALAZAR, V. C. R. ASPECTOS FARMACOLÓGICOS E TOXICOLÓGICOS DA ERYTHROXYLUM COCA: UMA REVISÃO. REVISTA BRASILEIRA MILITAR DE CIÊNCIAS, [S. L.], V. 8, N. 22, 2022. DOI: 10.36414/RBMC.V8I22.145. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://RBMC.EMNUVENS.COM.BR/RBMC/ARTICLE/VIEW/145](https://rbmc.emnuvens.com.br/rbmc/article/view/145).

LI-LIN TAY, JOHN HULSE, AND RALPH M. PAROLI. 2022. FTIR AND RAMAN SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF CANNABINOID. CANADIAN JOURNAL OF CHEMISTRY. 100(10): 751-758. [HTTPS://DOI.ORG/10.1139/CJC-2021-0352](https://doi.org/10.1139/cjc-2021-0352)

LIU, G.-L.; KAZARIAN, S.G. RECENT ADVANCES AND APPLICATIONS TO CULTURAL HERITAGE USING ATR-FTIR SPECTROSCOPY AND ATR-FTIR

LIU, G.-L.; KAZARIAN, S.G. RECENT ADVANCES AND APPLICATIONS TO CULTURAL HERITAGE USING ATR-FTIR SPECTROSCOPY AND ATR-FTIR SPECTROSCOPIC IMAGING. ANALYST 2022, 147, 1777–1797.

LYNCH, H. N. ET AL. GAS CHROMATOGRAPHY–MASS SPECTROMETRY ANALYSIS OF CANNABIS: UNDERGRADUATE ORGANIC CHEMISTRY LABORATORY EXERCISE. JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION, V. 100, N. 3, P. 1303–1312, 2023.

MAGALHÃES, E.J.; NASCENTES, C.C.; PEREIRA, L.S.A.; GUEDES, M.L.O.; LORDEIRO, R.A.; AULER, L.M.L.A.; AUGUSTI, R.; DE QUEIROZ, M.E.L.R. EVALUATION OF THE COMPOSITION OF STREET

MILITÃO, E. TRÁFICO DE DROGA MOVE R\$ 17 BI POR ANO, DIZ GENERAL QUE DEFENDE LEGALIZAÇÃO. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://NOTICIAS.UOL.COM.BR/COTIDIANO/ULTIMAS-NOTICIAS/2018/12/21/TRAFICO-DE-DROGA-MOVE-R-17-BI-POR-ANO-DIZ-GENERAL-QUE-DEFENDE-LEGALIZACAO.HTM](https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2018/12/21/trafico-de-droga-move-r-17-bi-por-ano-diz-general-que-defende-legalizacao.htm)>.

MILLS, B., YEPES, A., & NUGENT, K. (2015). SYNTHETIC CANNABINOIDS. THE AMERICAN JOURNAL OF THE MEDICAL SCIENCES, 350(1), 59–62. [HTTPS://DOI.ORG/10.1097/MAJ.0000000000000466](https://doi.org/10.1097/MAJ.0000000000000466)

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICOS. (2024). A POLÍCIA JUDICIÁRIA E O ENFRENTAMENTO DAS DROGAS ILEGAIS. RECUPERADO DE [HTTPS://WWW.GOV.BR/MJ/PT-BR/ASSUNTOS/SUA-SEGURANCA/SEGURANCA-PUBLICA/ANALISE-E-PESQUISA/DOWNLOAD/POP/A\\_POLICIA\\_JUDICIARIA\\_ENFRENTAMENTO\\_DROGAS\\_ILEGAIS.PDF](https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/analise-e-pesquisa/download/pop/a_policia_judiciaria_enfrentamento_drogas_ilegais.pdf)

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DISPONÍVEL EM:

<[HTTPS://BVSMS.SAUDE.GOV.BR/BVS/SAUDELEGIS/SVS/1998/PRT0344\\_12\\_05\\_1998\\_REP.HTML](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1998/prt0344_12_05_1998_rep.html)>.

MOGOLLÓN, NOROSKA GABRIELA SALAZAR, QUIROZ-MORENO, CRISTIAN DANIEL, PRATA, PALOMA SANTANA, DE ALMEIDA, JOSE RAFAEL, CEVALLOS, AMANDA SOFÍA, TORRES-GUIÉRREZ, ROLDÁN, AUGUSTO, FABIO, NEW ADVANCES IN TOXICOLOGICAL FORENSIC ANALYSIS USING MASS SPECTROMETRY TECHNIQUES, JOURNAL OF ANALYTICAL METHODS IN CHEMISTRY, 2018, 4142527, 17 PAGES, 2018. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2018/4142527](https://doi.org/10.1155/2018/4142527)

N.A. DOS SANTOS, L.M. SOUZA, E. DOMINGOS, H.S. FRANÇA, V. LACERDA, A. BEATRIZ, B. G. VAZ, R.R.T. RODRIGUES, V.V. CARVALHO, B.B. MERLO, R.M. KUSTER, W. ROMAO, ~

NAO WU. LOW-FIELD NMR FOR QUALITY CONTROL AND FRAUD DETECTION : APPLICATION TO THE ANALYSIS OF DIETARY SUPPLEMENTS AND E-LIQUIDS. FOOD ENGINEERING. UNIVERSITÉ PAUL SABATIER - TOULOUSE III, 2020. ENGLISH. FFNNT : 2020TOU30044FF. FFTEL-02979720F

NIDA. 2019, DECEMBER 24. CANNABIS (MARIJUANA) DRUGFACTS. RETRIEVED FROM [HTTPS://NIDA.NIH.GOV/PUBLICATIONS/DRUGFACTS/CANNABIS-MARIJUANA](https://nida.nih.gov/publications/drugfacts/cannabis-marijuana) ON 2024, JULY 9

OJANPERA, I., KOLMONEN, M., AND PELANDER, A. (2012). CURRENT USE OF HIGH-RESOLUTION MASS SPECTROMETRY IN DRUG SCREENING RELEVANT TO CLINICAL AND FORENSIC TOXICOLOGY AND DOPING CONTROL. ANAL. BIOANAL. CHEM. 403 (5): 1203–1220

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. WORLD HEALTH REPORT, WORKING TOGETHER FOR HEALTH. GENEBRA: ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2006

PARKIN, M. AND BRAILSFORD, A. (2021). MASS SPECTROMETRY. IN ANALYTICAL TECHNIQUES IN FORENSIC SCIENCE (EDS R. WOLSTENHOLME, S. JICKELLS AND S. FORBES). [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/9781119373421.CH1](https://doi.org/10.1002/9781119373421.ch1)

PARSONS, J. T., GROV, C., & KELLY, B. C. (2009). CLUB DRUG USE AND DEPENDENCE AMONG YOUNG ADULTS RECRUITED THROUGH TIME-SPACE SAMPLING. PUBLIC HEALTH REPORTS (WASHINGTON, D.C. : 1974), 124(2), 246–254. [HTTPS://DOI.ORG/10.1177/003335490912400212](https://doi.org/10.1177/003335490912400212)

PATY BULEGON BRONDANI, M. **ESPECTROMETRIA DE MASSAS**. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://PATYQMC.PAGINAS.UFSC.BR/FILES/2019/07/ESPECTROMETRIA-DE-MASSAS\\_OUTROS-ME%CC%81TODOS-DE-IONIZAC%CC%A7A%CC%83O.PDF](https://patyqmc.paginas.ufsc.br/files/2019/07/espectrometria-de-massas_outros-me%CC%81todos-de-ionizac%CC%A7a%CC%83o.pdf)>.

PHILP, M., & FU, S. (2018). A REVIEW OF CHEMICAL 'SPOT' TESTS: A PRESUMPTIVE ILLICIT DRUG IDENTIFICATION TECHNIQUE. DRUG TESTING AND ANALYSIS, 10(1), 95–108. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/dta.2300](https://doi.org/10.1002/dta.2300)

POKLIS JL, RASO SA, ALFORD KN, POKLIS A, PEACE MR, ANALYSIS OF 25I-NBOME, 25BNBOME, 25C-NBOME AND OTHER DIMETHOXYPHENYL-N-[(2-METHOXYPHENYL) METHYL]ETHANAMINE DERIVATIVES ON BLOTTER PAPER, J ANAL TOXICOL. 39 (2015) 617–623, 10.1093/jat/bkv073. [PUBMED: 26378135]

RAMOO, B. ET AL. COMPREHENSIVE URINE DRUG SCREEN BY GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY (GC/MS). EM: METHODS IN MOLECULAR BIOLOGY. NEW YORK, NY: SPRINGER NEW YORK, 2016. v. 1383p. 125–131.

REINSTADLER, V.; GUTMANN, R.; PITTLERL, F.; WINKLER, K.; OBERACHER, H. GAS CHROMATOGRAPHY—HIGH-TEMPERATURE PROTON-TRANSFER REACTION MASS SPECTROMETRY AS A NOVEL TOOL FOR FORENSIC DRUG TESTING. SEPARATIONS 2022, 9, 328. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SEPARATIONS9110328](https://doi.org/10.3390/separations9110328)

RELATÓRIO MUNDIAL SOBRE DROGAS 2023-UNODC ALERTA PARA A CONVERGÊNCIA DE CRISES E CONTÍNUA EXPANSÃO DOS MERCADOS DE DROGAS ILÍCITAS. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.UNODC.ORG/LPO-BRAZIL/PT/FRONTPAGE/2023/06/RELATRIO-MUNDIAL-SOBRE-DROGAS-2023-DO-UNODC-ALERTA-PARA-A-CONVERGNCIA-DE-CRISES-E-CONTNUA-EXPANSO-DOS-MERCADOS-DE-DROGAS-ILCITAS.HTML](https://www.unodc.org/lpo-brazil/pt/frontpage/2023/06/relatorio-mundial-sobre-drogas-2023-do-unodc-alerta-para-a-convergencia-de-criSES-e-contnua-expanso-dos-mercados-de-drogas-ilcitas.html)>.

REVIEW: THE APPLICATION OF LIQUID CHROMATOGRAPHY ELECTROCHEMICAL DETECTION FOR THE DETERMINATION OF DRUGS OF ABUSE. (N.D.). REVIEW: THE APPLICATION OF LIQUID CHROMATOGRAPHY ELECTROCHEMICAL DETECTION FOR THE DETERMINATION OF DRUGS OF ABUSE. SEPARATIONS. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2297-8739/3/4/28](https://www.mdpi.com/2297-8739/3/4/28)

S. L. DRAPER, E. R. MCCARNEY, MAGN RESON CHEM 2021, 1. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/MRC.5197](https://doi.org/10.1002/mrc.5197)

SABINO, B.D., O, W.R., SODRÉ, M.L., CORREA, D.N., PINTO, D.B., ALONSO, F.O., & EBERLIN, M.N. (2011). ANALYSIS OF COCAINE AND CRACK COCAINE VIA THIN LAYER CHROMATOGRAPHY COUPLED TO EASY AMBIENT SONIC-SPRAY IONIZATION MASS SPECTROMETRY. AMERICAN JOURNAL OF ANALYTICAL CHEMISTRY, 02, 658-664.

SHBAIR, M. K. S., ELJABOUR, S., & LHERMITTE, M. (2010). DRUGS INVOLVED IN DRUG-FACILITATED CRIMES: PART I: ALCOHOL, SEDATIVE-HYPNOTIC DRUGS, GAMMA-HYDROXYBUTYRATE AND KETAMINE. A REVIEW. ANNALES PHARMACEUTIQUES FRANÇAISES, 68, 275-285. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PHARMA.2010.05.002](https://doi.org/10.1016/j.pharma.2010.05.002)

SOUZA, S. M. E CARVALHO, M. (2023). A RELAÇÃO ENTRE AS DROGAS E A CRIMINALIDADE: DO PONTO DE VISTA JURÍDICO E CRIMIOLOGICO. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://REVISTAFT.COM.BR/A-RELACAO-ENTRE-AS-DROGAS-E-A-CRIMINALIDADE-DO-PONTO-DE-VISTA-JURIDICO-E-CRIMIOLOGICO/](https://revistaft.com.br/a-relacao-entre-as-drogas-e-a-criminalidade-do-ponto-de-vista-juridico-e-crimioologico/)>.

SPECTROSCOPIC IMAGING. ANALYST 2022, 147, 1777–1797

STUART, B. INFRARED SPECTROSCOPY. ANALYTICAL TECHNIQUES IN FORENSIC SCIENCEWILEY, , 5 JAN. 2021. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1002/9781119373421.CH7](http://dx.doi.org/10.1002/9781119373421.ch7)>

SUZUKI, Y., ISHIZAWA, F., AND HONDA, K. (2017). SEMIQUANTITATIVE SCREENING OF TRACE COMBUSTION-DERIVED VOLATILE SUBSTANCES IN THE BLOOD OF FIRE VICTIMS USING NEEDLEX® HEADSPACE GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY. FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL 278: 228–239.

SWGDRUG, A BIBLIOTECA DE ESPECTROS DE MASSA SWGDRUG PODE SER ENCONTRADA EM [WWW.SWGDRUG.ORG/MS.HTM](http://WWW.SWGDRUG.ORG/MS.HTM), 2020.

VREE T. B. (1977). MASS SPECTROMETRY OF CANNABINOIDS. JOURNAL OF PHARMACEUTICAL SCIENCES, 66(10), 1444–1450. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/JPS.2600661025](https://doi.org/10.1002/jps.2600661025)

WAYHS, C. A. Y.; REIS, M. DOS; MARIOTTI, K. DE C.; ROMÃO, W.; VAZ, B. G.; ORTIZ, R. S.; LIMBERGER, R. P. NBOME: PERFIL DE APREENSÕES DA POLÍCIA FEDERAL NO BRASIL. REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA, [S. L.], V. 5, N. 3, P. 22–29, 2016. DOI: 10.15260/RBC.V5I3.136

WHAT IS HPLC (HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY). SHIMADZU. RETRIEVED JUNE 25, 2024, FROM [HTTPS://WWW.SHIMADZU.COM/AN/SERVICE-SUPPORT/TECHNICAL-SUPPORT/ANALYSIS-BASICS/BASIC/WHAT\\_IS\\_HPLC.HTML](https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/basic/what_is_hplc.html)

ZIAREK, J.J.; PETERSON, F.C.; LYTLE, B.L.; VOLKMAN, B.F. CHAPTER TEN—BINDING SITE IDENTIFICATION AND STRUCTURE DETERMINATION OF PROTEIN–LIGAND COMPLEXES BY NMR: A SEMIAUTOMATED APPROACH. IN METHODS IN ENZYMOLOGY; FRAGMENT-BASED DRUG DESIGN; KUO, L.C., ED.; ACADEMIC PRESS: SAN DIEGO, CA, USA, 2011; VOLUME 493, PP. 241–275. ISBN 978-0-12-381274-2.

