

**UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO**

**NAYARA ANTONIA ROSSI DIAS**

**QUÍMICA FORENSE: MÉTODOS INSTRUMENTAIS  
UTILIZADOS NA CRIMINALÍSTICA**

BAURU  
2011

**NAYARA ANTONIA ROSSI DIAS**

**QUÍMICA FORENSE: MÉTODOS INSTRUMENTAIS  
UTILIZADOS NA CRIMINALÍSTICA**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação do Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues.

BAURU  
2011

D541q

Dias, Nayara Antonia Rossi

Química forense: métodos instrumentais utilizados na criminalística / Nayara Antonia Rossi Dias -- 2011.  
58f. : il.

Orientador: Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Química) - Universidade Sagrado Coração - Bauru - SP.

1. Química forense. 2. Técnicas instrumentais. 3. Investigações criminais. 4. Criminalística. I. Rodrigues, Dorival Roberto. II. Título.

**NAYARA ANTONIA ROSSI DIAS**

**QUÍMICA FORENSE: MÉTODOS INSTRUMENTAIS UTILIZADOS NA  
CRIMINALÍSTICA**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação do Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues.

Banca examinadora:

---

Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues (orientador)  
Universidade Sagrado Coração

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Aparecida Zeferino Garcia  
Universidade Sagrado Coração

---

Prof.<sup>a</sup> Ms. Setsuko Sato  
Universidade Sagrado Coração

Bauru, 28 de junho de 2011.

Dedico este trabalho às pessoas que sempre acreditaram em meus sonhos, em especial aos meus pais, Nestor e Teresa, pelo amor, apoio, confiança e incentivo que sempre me deram em qualquer situação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela fé que o dedico, por atender às minhas preces e ter me ajudado a não desistir diante das barreiras.

Aos meus pais pela oportunidade de ter uma graduação, pelo apoio e por permanecerem em todos os momentos de minha vida, sempre me incentivando a nunca desistir e me ajudando a ultrapassar todas as dificuldades. A minha irmã Bárbara, que também fez parte desta trajetória. Obrigada pelo carinho, ajuda e compreensão.

Ao meu orientador Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues, por toda essencial dedicação, paciência, respeito, atenção, além de tudo, por toda confiança em mim depositada, por acreditar em minha capacidade, além dos preciosos ensinamentos e incentivos, os quais me indicaram sempre qual melhor caminho seguir e contribuíram de forma inestimável para o início, desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Foi, para mim, um orgulho trabalhar sobre a sua orientação.

A todos os professores do Centro de Exatas da Universidade Sagrado Coração, que contribuíram para o meu crescimento ao longo dos estudos. Obrigada pelo conhecimento transmitido e por estarem sempre dispostos a ajudar. Em especial a coordenadora do curso de Química, Prof<sup>a</sup>. Ms. Setsuko Sato.

A todos os amigos que fiz durante a faculdade. A vocês em especial, Cristiane e Breno, que são muito mais que amigos e preencheram mais um capítulo que compõe minha vida. Agradeço por todos os momentos de descontração, diversão, pela compreensão e amizade ao longo desse período. Sentirei saudades!

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa importante etapa de minha vida e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, expresso meu carinho e sincera gratidão.

“Os restos microscópicos que cobrem nossas roupas e nossos corpos são testemunhas mudas, seguras e fiéis de nossos movimentos e nossos encontros.”  
(Edmond Locard)

## RESUMO

O presente trabalho propicia noções sobre a Química Forense, evidenciando a grande utilidade e importância desta área do conhecimento na determinação e resolução de casos de interesse judicial. Todas as técnicas instrumentais e suas aplicações no campo da Química Forense apresentadas nesta revisão bibliográfica, dentre elas a cromatografia, espectroscopia, espectrometria de massas e microscopia, podem ser de fundamental importância para a elucidação de um crime, contribuindo assim para o sucesso de investigações criminais. Uma apresentação de técnicas referentes à papiloscopia, e algumas considerações sobre incêndios e explosivos encerram esta pesquisa. Sendo assim, espera-se que, através deste trabalho, haja uma maior compreensão e valorização da área da química forense como uma poderosa ferramenta para a preservação e disseminação da justiça, do bem estar e da cidadania, uma vez que a mesma contribui para a resolução de situações criminais.

**Palavras-chave:** Química forense. Técnicas instrumentais. Investigações criminais.



## ABSTRACT

This study provides some knowledge about forensic chemistry, demonstrating the usefulness and importance of this area in determining and resolving cases of judicial interest.

All instrumental techniques and their applications in the field of forensic chemistry presented in this review, among them the chromatography, spectroscopy, mass spectrometry and microscopy may be of fundamental importance for the elucidation of a crime, contributing to the success of criminal investigations. A presentation of techniques relating to papiloscropy, and some considerations of fire and explosives is also part of this research. Therefore, it is hoped that through this work, a greater understanding and appreciation of the area of forensic chemistry as a powerful tool for the preservation and dissemination of justice, welfare and citizenship, since it contributes to the resolution of criminal cases.

**Keywords:** Forensic chemistry. Chemistry. Instrumental techniques. Criminal investigations.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Relação entre as glândulas e os compostos excretados no suor humano. ....	41
Tabela 2 - Pós utilizados na revelação de IPL.....	43

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da química forense. ....	15
Figura 2 - Modelo de Cromatograma. ....	16
Figura 3 - Cromatógrafo de fase gasosa. ....	17
Figura 4 - Aparelho de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). ....	17
Figura 5 - Fórmula da efedrina. ....	19
Figura 6 - Perfil cromatográfico: análise de amostra de referência negativa. ....	21
Figura 7 - Perfil cromatográfico: análise de uma amostra de urina de referência negativa adicionada com padrões. ....	21
Figura 8 - Perfil cromatográfico: análise de uma amostra de urina de voluntário. ....	21
Figura 9 - Fórmula estrutural da cocaína. ....	25
Figura 10 - Amostra de cloridrato de cocaína. ....	26
Figura 11 - Produtos de biotransformação, transesterificação e pirólise da cocaína. ....	28
Figura 12 - Espectro de infravermelho da cocaína. ....	29
Figura 13 - Grupo tropano da molécula de cocaína. ....	29
Figura 14 - Estrutura química da piperazina e seus derivados. ....	31
Figura 15 - Espectro de massas obtido do material encaminhado para análise pericial. ....	32
Figura 16 - Estrutura da CPP. ....	32
Figura 17 - Microscópio eletrônico de varredura. ....	34
Figura 18 - Nuvem de fumaça formada durante o disparo de arma de fogo. ....	35
Figura 19 - Etapas do exame residuográfico. ....	36
Figura 20 - Fórmula estrutural do rodizonato de sódio. ....	36
Figura 21 - Reação de complexação de íons chumbo. ....	37
Figura 22 - Imagem de elétrons secundários de um resíduo de arma de fogo. ....	38
Figura 23 - Princípio de formação de raios-X. ....	39
Figura 24 - Espectro de partícula encontrada em uma amostra de barril de uma pistola. ....	39
Figura 25 - Técnica do pó na revelação de IPL. ....	42
Figura 26 - Reação entre o nitrato de prata e íons cloreto presentes na IPL. ....	45
Figura 27 - Molécula de ninidrina. ....	46
Figura 28 - Mecanismo de reação de um aminoácido com a ninidrina. ....	46
Figura 29 - Impressões digitais reveladas com solução de ninidrina em papel. ....	47
Figura 30 - Tetraedro do fogo. ....	48
Figura 31 - Classificação de incêndios. ....	49
Figura 32 - Estrutura do TNT. ....	50
Figura 33 - Estrutura do TNC. ....	51
Figura 34 - Estrutura da nitroglicerina. ....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>HISTÓRICO</b> .....	14
<b>3</b>	<b>CROMATOGRAFIA</b> .....	16
3.1	CONFIRMAÇÃO DO USO DE SUBSTÂNCIAS PROIBIDAS PELOS ATLETAS ( <i>ANTIDOPING</i> ).....	18
3.1.1	<b>Determinação de efedrinas em urina por cromatografia em fase gasosa</b> .....	19
3.2	ANÁLISE DE CARBAMATOS POR CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA .....	22
<b>4</b>	<b>ESPECTROSCOPIA</b> .....	24
4.1	DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE COCAÍNA POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO.....	25
<b>5</b>	<b>ESPECTROMETRIA DE MASSAS (MS)</b> .....	30
5.1	IDENTIFICAÇÃO DE CLOROFENILPIPERAZINA (CPP) EM COMPRIMIDOS APREENDIDOS .....	31
<b>6</b>	<b>MICROSCOPIA</b> .....	34
6.1	ANÁLISE RESIDUOGRÁFICA EM BALÍSTICA .....	34
<b>7</b>	<b>PAPILOSCOPIA</b> .....	40
7.1	TÉCNICA DO PÓ.....	41
7.2	VAPOR DE IODO .....	44
7.3	NITRATO DE PRATA .....	45
7.4	NINIDRINA.....	45
<b>8</b>	<b>INCÊNDIOS</b> .....	48
<b>9</b>	<b>EXPLOSIVOS</b> .....	50
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	53
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico verificado nas últimas décadas proporcionou ferramentas necessárias para a evolução das investigações criminais em nossos dias. A utilização de técnicas de análise instrumental aplicadas na identificação ou constatação da presença de substâncias tem contribuído de forma valiosa na investigação pericial (BRANCO, 2006).

A criminalística, uma das áreas mais privilegiadas pelo avanço científico e tecnológico, utiliza a ciência, suas metodologias e técnicas no reconhecimento e interpretação de evidências provenientes de supostos crimes ou relativas à identidade de um criminoso. Os resultados obtidos fazem a correspondência com a narrativa dos fatos ocorridos, proporcionando a elucidação de crimes ou, em muitos casos, colocando em questão a veracidade de uma acusação.

As técnicas de investigação com recursos científicos iniciaram-se no século I, quando o romano Quintiliano descobriu que um homem assassinou a própria mãe depois de analisar vestígios de sangue nas mãos do culpado. Desde então, os avanços no conhecimento científico deram suporte às investigações das mais diversas evidências (CHEMELLO, 2007).

Exemplos de como as técnicas de Química Forense podem elucidar situações com as quais lidam diariamente peritos criminais vão das mais simples até aquelas de grande repercussão nos meios de comunicação, como recentemente o Caso Nardoni.

Por exemplo, em 1960, a hipótese de que Napoleão teria morrido envenenado ganhou força devido a uma análise química, que constatou uma quantidade anormal de arsênio em um fio de cabelo, o único vestígio passível da investigação que restara. Em sua forma elementar, o arsênio não é tóxico, porém, o óxido arsênico sim. É um composto sólido, branco e solúvel em água. Ele produz soluções incolores e sem sabor e é difícil de ser encontrado por análises químicas simples (FARIAS, 2010).

Nos anos 90, surgiu outra hipótese de que o envenenamento de Napoleão por arsênio teria sido acidental. Um papel de parede presente em um dos aposentos apresentava uma coloração verde devido ao uso de um composto de arsênio, o arsenato de cobre  $[Cu_3(AsO_4)_2]$ . O clima úmido teria proporcionado a formação de mofo no papel de parede e os microorganismos converteram a substância em trimetil arsênio, altamente volátil, que teria sido facilmente inalada por Napoleão em grande quantidade (FARIAS, 2010).

A ciência forense ganhou destaque nos últimos anos, principalmente por ter desvendado ou ter fornecido subsídios essenciais para o esclarecimento de crimes de grande repercussão (HERNANDES, 2008). Além disso, vários programas de televisão tratam do assunto e pode-se dizer que são em parte responsáveis pela popularização do tema.

A química forense pode ser definida como a parte da ciência que utiliza os conhecimentos da química e áreas afins com a finalidade de esclarecer questões de interesse judiciário, atendendo basicamente às áreas de estudo da criminalística e da medicina legal (FACHONE; VELHO, 2008). Resumindo, esta ciência fornece apoio científico para as investigações de danos, mortes e crimes, através da análise, classificação e determinação de elementos ou substâncias encontradas nos locais de ocorrência de um delito, ou que podem estar relacionadas a este (BRANCO, 2006).

O foco principal da investigação é a confirmação da autoria do crime ou descarte do envolvimento de um suspeito. As técnicas empregadas permitem a possível identificação com relativa precisão, se uma pessoa, por exemplo, esteve ou não presente na cena do crime a partir de impressões digitais deixadas em algum lugar, ou então através de um fio de cabelo encontrado (CHEMELLO, 2006).

Um princípio básico da química forense é o fato evidente de que todo e qualquer tipo de contato deixa um rastro (Princípio da Troca de Locard). Através de técnicas analíticas, é possível determinar se uma pessoa atirou ou não com uma arma de fogo, devido a resíduos que podem impregnar na pele. É possível analisar fluidos do corpo a fim de encontrar traços de intoxicação, comumente na forma de envenenamento (FACHONE; VELHO, 2008).

A rotina de trabalho de um perito em Química Forense envolve uma série de técnicas e procedimentos que devem ser adotados em seqüências previamente estabelecidas e rigorosamente obedecidas. Por exemplo, uma investigação criminal inicia-se no local do crime, onde poderão ser encontrados vestígios que constituem informações importantes sobre a ocorrência e o modo como foi efetuado o fato (FARIAS, 2010).

A preservação de um local de ocorrência policial e o acondicionamento adequado do material que será periciado é de fundamental importância para a elucidação de um crime, pois qualquer alteração que seja ali introduzida modificará as informações inerentes ao fato. Através do uso de equipamentos associados é possível detectar e analisar pequenas quantidades de materiais, mesmo quando presentes em misturas.

As investigações forenses têm como objetivo a análise de evidências encontradas em cenas de crime, que serão em seguida levadas ao laboratório para análise pericial. A partir de meados do século XX houve uma substituição de alguns métodos clássicos de análise, por

métodos instrumentais, os quais apresentam como vantagem maior exatidão dos resultados, e possibilidade de análise com porções menores de amostra (FACHONE; VELHO, 2008).

Todas as técnicas e métodos clássicos ou instrumentais são importantes para elucidação de um crime, sendo que a utilização de um ou outro dependerá da adequação do método ao problema em questão e a disponibilidade dos recursos necessários (BRANCO, 2006).

O presente trabalho tem como objetivo descrever o uso analítico de técnicas instrumentais mais utilizadas na química forense como cromatografia, espectroscopia, papiloscopia, e outras que podem ser essenciais para analisar evidências, tais como drogas, resíduos de tiro, dentre tantas possíveis de serem encontradas na cena de um crime.

## 2 HISTÓRICO

A utilização da ciência para a análise de provas relacionadas a crimes teve início com o surgimento da civilização. Na antiga Roma, casos de envenenamento de políticos eram comuns e resultavam em investigações de indícios desses possíveis delitos. (FARIAS, 2010).

O quadro abaixo descreve alguns fatos que tiveram grande importância para a evolução da ciência forense.

Ano	Acontecimentos históricos
1700	Bernardino Ramazzini (1633-1714), fundador da medicina ocupacional, publica a obra <i>As doenças dos trabalhadores</i> <sup>1</sup> , abrangendo os conhecimentos da época sobre as ações de substâncias químicas na fisiologia humana.
1836	James Marsh (1794-1846) desenvolveu o método para detecção de arsênio, que consiste em colocar um pedaço de papel ou uma amostra de sangue da vítima de possível envenenamento por arsênio em contato com zinco e ácido sulfúrico sob aquecimento (Teste de Marsh).
1840	Mathieu Joseph Bonaventure Orfila (1787-1853), considerado por muitos historiadores como o pai da toxicologia forense, detectou a presença de arsênio ao analisar amostras do corpo exumado de Charles Lafarge <sup>2</sup> , demonstrando que o mesmo não era proveniente do solo no qual o corpo fora enterrado e evidenciando uma possível suspeita de envenenamento de Charles, por sua esposa Marie Capelle <sup>3</sup> . Orfila deixou um <i>Tratado de Medicina Legal</i> que teve grande contribuição para a ciência forense.
1860	William James Herschel (1833-1917) iniciou a aplicação de impressões digitais na identificação de criminosos.
1892	Sir Francis Galton (1822-1911) publica o livro <i>Finger Prints</i> <sup>4</sup> , obra de referência quanto à classificação e identificação de impressões digitais.
1893	Hans Gross (1847-1915), conhecido como fundador da criminologia e criminalística, publica a obra <i>Manual para Juizes de Instrução</i> , que correspondia a um manual de criminologia científica. Foi um dos primeiros a perceber a importância que a ciência poderia ter na resolução de crimes.
1902	José Félix Alves Pacheco (1879 – 1935) convenceu o presidente Rodrigues Alves da necessidade da introdução da datiloscopia nos sistemas de identificação civis e criminais no Brasil.
1910	Siegfried Ruhemann (1859-1943) descobriu a ninidrina e verificou que este composto, ao reagir com polipeptídios e proteínas, dava origem a compostos coloridos.

<sup>1</sup> Em 2000 foi publicada uma tradução para o português da obra de Ramazzini pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de segurança e medicina do trabalho, São Paulo.

<sup>2</sup> Homem de meia-idade, dono de uma fundição em Le Glandier, na França.

<sup>3</sup> Francesa condenada por suspeita de envenenar seu marido, Charles Lafarge, com arsênio. Seu caso se tornou notável por ser um dos primeiros ensaios a ser seguido pelo público através de notícias diárias nos jornais e por Marie ter sido a primeira pessoa a ser condenada através de provas toxicológicas.

<sup>4</sup> GALTON, F. *Finger Prints*. London: Macmillan and Co., 1892.



1910	Criação do Laboratório de Polícia Técnica de Lyon, na França, devido aos esforços de Edmond Locard (1877-1966), que se dedicava aos temas ligados à medicina legal e coleta de vestígios deixados por criminosos em locais de crime.
1928	H.O. Albrecht descreve a luminescência do luminol, ao estudar a oxidação do mesmo com peróxido de hidrogênio.
1937	Introdução do luminol em análises de manchas de sangue em locais de crime. Até hoje esta substância é bastante empregada para identificação de vestígios de sangue, pois pequenas quantidades de amostra deixadas, mesmo que o local tenha sido lavado, podem ser identificadas através da reação deste com o luminol, formando um composto azul fosforescente.
1954	Oden e Von Hoffsten <sup>5</sup> desenvolvem um trabalho utilizando a ninidrina como reagente para revelação de impressões digitais por reagir com aminoácidos secretados pelas glândulas sudoríparas, tornando o seu uso de grande importância para a química forense.

Figura 1 - Evolução da química forense.

Fonte: Farias (2010, p. 18-27).

Nota: Adaptado pela autora.

Atualmente, diversos métodos de análises químicas, biológicas e toxicológicas, com uso de aparelhagens sofisticadas, são utilizados para ajudar a compreender a face complexa dos crimes, sejam assassinatos, roubos, envenenamentos, adulterações de produtos e processos que estejam fora da lei.

A seguir serão descritas as principais técnicas utilizadas nos laboratórios de análises forenses bem como alguns exemplos de suas aplicações.

---

<sup>5</sup> ODEN, S; VON HOFSTEN B. Detection of fingerprints by the ninhydrin reaction. Nature, 1954, marc 6; 173 (44101):449-450.

### 3 CROMATOGRAFIA

Cromatografia é definida como um método analítico utilizado para a separação, determinação quantitativa e identificação dos componentes químicos que constituem uma mistura, mesmo as complexas, como sangue, conteúdo gástrico, vísceras, entre outros (DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998).

A amostra é injetada em uma coluna e seus componentes são carregados, através de uma fase estacionária, por um fluxo gasoso ou líquido de uma fase móvel e a separação é baseada nas diferentes velocidades de migração dos componentes da amostra. Os componentes que apresentarem menor força de atração pela fase estacionária passam a ser conduzidos com maior facilidade pela fase móvel, enquanto que os componentes que apresentarem maior afinidade pela fase estacionária serão transportados posteriormente. Cada um dos componentes, ao chegar ao final da coluna, passa por um sistema de detecção, que emitirá um sinal que será traduzido e registrado através do cromatograma (Figura 2) (BRANCO, 2006). A comparação com padrões previamente analisados permite a identificação dos componentes da amostra.

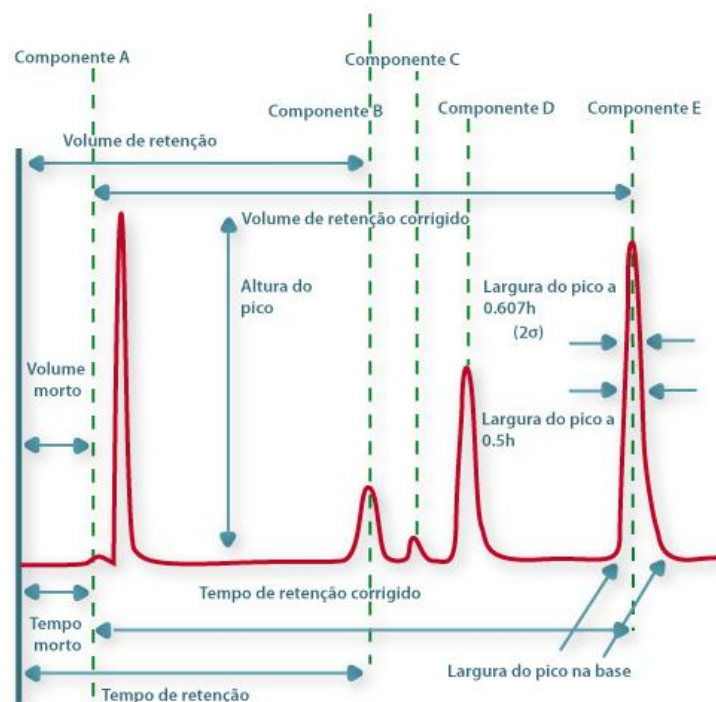


Figura 2 - Modelo de Cromatograma.

Fonte: Universidade de Coimbra (c2007).

Essa técnica instrumental está entre as mais utilizadas na química forense, destacando-se a cromatografia em camada delgada, cromatografia gasosa (Figura 3) e cromatografia líquida de alta eficiência – HPLC (Figura 4). Podem ser utilizadas na identificação de drogas, em teste *antidoping*, entre outros (FARIAS, 2010).



Figura 3 - Cromatógrafo de fase gasosa.  
Fonte: Universidade Federal de Santa Maria ([200-]).



Figura 4 - Aparelho de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).  
Fonte: Universidade Estadual de Campinas (c1994-2011).

Abaixo serão relacionadas algumas aplicações da cromatografia na área forense.

### 3.1 CONFIRMAÇÃO DO USO DE SUBSTÂNCIAS PROIBIDAS PELOS ATLETAS (ANTIDOPING)

O conceito de *doping* apresentado no Código *Antidoping* do Movimento Olímpico é o uso de uma substância ou método capaz de aumentar artificialmente o rendimento do atleta em competições, podendo ser potencialmente prejudicial à saúde e sendo contrário aos valores do esporte. (YONAMINE; MARCOURAKIS, 2010).

Cardoso e Rossi (2010) afirmam que os exames *antidoping* também estão sendo largamente utilizados em todas as modalidades de esportes equestres, tendo grande importância para que a competição prevaleça em condições de igualdade, sem que determinados animais tenham algum tipo de vantagem por estar correndo com a atuação de algum fármaco, assim como para manutenção da saúde do cavalo.

A maioria das drogas utilizadas por atletas em competições esportivas pode ser detectada através de amostras de urina, sangue ou cabelo, sendo preferida a primeira, pois a coleta não é um método invasivo, além de gerar um volume suficiente para permitir a análise de variadas classes de substâncias (VALIATI, 2007).

Os testes de *doping* usualmente implicam na coleta de amostras, normalmente de urina, que serão analisadas para verificação da presença de vestígios de drogas proibidas pelo Comitê Olímpico Internacional<sup>6</sup> (DÂMASO, 2001). O método mais comum de análise química utiliza um cromatógrafo, que pode ou não ser acoplado a um espectrômetro de massa. Mais detalhes sobre a espectrometria de massa serão descritos na página 30.

As análises de um laboratório de controle de dopagem são divididas em dois grupos: as que são realizadas a partir de procedimentos de triagem (a maioria das análises) e as que são feitas seguindo procedimentos descritos nos métodos de confirmação. Os métodos de triagem foram desenvolvidos a fim de rastrear a maior gama possível de compostos dentro de uma classe específica de agentes considerados proibidos. Como as classes de compostos diferem quimicamente entre si, nenhum procedimento é idêntico ao outro. Quando há presença de um composto proibido, a amostra suspeita deve ser reextraída e reanalisada para confirmação (VALIATI, 2007).

Segundo a Agência Mundial *Antidoping* (2003), dentre as substâncias dopantes podem ser encontrados os estimulantes (diminuem a sensação de fadiga); narcóticos analgésicos (aliviam a dor); diuréticos (auxiliam na perda de peso); esteróides anabolizantes (aumentam a

---

<sup>6</sup> O Comitê Olímpico Internacional (COI) é uma organização não-governamental cujo objetivo é administrar e legislar sobre os Jogos Olímpicos.

massa muscular); hormônios peptídicos e análogos (fixam a proteína no organismo) e os betabloqueadores (diminuem os batimentos cardíacos). Além disso, as chamadas “drogas de abuso”, como maconha, cocaína entre outras, também são proibidas (VALIATI, 2007).

Dentre os estimulantes, a efedrina (Figura 5) é uma das substâncias que despertou interesse dos atletas.

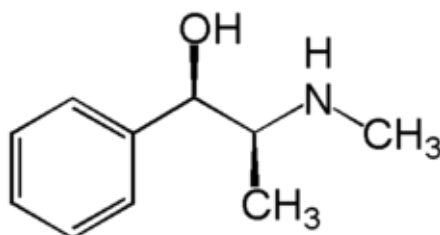


Figura 5 - Fórmula da efedrina.  
Fonte: DROGAS... (c2006-2011).

### 3.1.1 Determinação de efedrinas em urina por cromatografia em fase gasosa

Efedrinas são aminas simpatomiméticas<sup>7</sup> presentes em diversas especialidades farmacêuticas utilizadas no tratamento de doenças respiratórias devido à sua ação descongestionante e broncodilatadora (GARCIA; YONAMINE; MOREAU, 2005).

A fenilpropanolamina, muito utilizada em formulações de descongestionantes nasais, foi retirada do mercado brasileiro pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), devido à correlação de seu uso com casos de acidente vascular encéfalo (BRASIL, 2000).

Atualmente, as efedrinas estão presentes em diversos produtos comercializados como suplementos nutricionais, na forma de Ma-Huang (*Ephedra*) sua fonte natural, e são amplamente utilizados pelos atletas no meio esportivo, com o objetivo de facilitar a queima de gordura e melhorar o desempenho, por apresentar um efeito estimulante no SNC<sup>8</sup>. Alcalóides da *Ephedra* incluem: efedrina (EPH), pseudoefedrina (PEPH), metilefedrina (MEPH), norefedrina (NEPH) (fenilpropanolamina), norpseudoefedrina (catina) e metilpseudoefedrina. (GARCIA; YONAMINE; MOREAU, 2005). Como forma de controlar o seu abuso em atividades esportivas, o Comitê Olímpico Internacional classificou as efedrinas como substâncias proibidas e estabeleceu limites de concentração urinária para o controle de dopagem (Tabela 1).

<sup>7</sup> Drogas simpaticomiméticas são substâncias que imitam os efeitos do hormônio epinefrina (adrenalina) e do hormônio/neurotransmissor norepinefrina (noradrenalina). Estas drogas aumentam a pressão sanguínea e são bases fracas.

<sup>8</sup> Sistema nervoso central.

Tabela 1 - Limites de concentração urinária de efedrinas.

Substâncias	Limites de concentração urinária ( $\mu\text{g/mL}$ )
Efedrina	10
Metilefedrina	
Pseudoefedrina	25
Norefedrina	

Fonte: Garcia, Yonamine e Moreau (2005).

Garcia, Yonamine e Moreau (2005) descrevem um método analítico para quantificação de efedrina em urina aplicado em programas de controle de dopagem no esporte, no qual se utiliza extração líquido-líquido com o solvente éter *terc*-butilmetílico e posterior derivação do extrato com anidrido trifluoroacético (ATFA). Ácido acético glacial foi acrescentado ao extrato para que as amins fossem convertidas em sua forma ionizada e desta forma evitar perdas dos analitos advindas da evaporação, etapa crítica do processo de extração das efedrinas.

A reação com o anidrido trifluoroacético deu origem a derivados com boa resolução cromatográfica, possibilitando a separação dos isômeros efedrina e pseudoefedrina através da técnica de cromatografia em fase gasosa acoplada a detector de nitrogênio/fósforo (CG/DNP). Os resultados obtidos por Garcia, Yonamine e Moreau (2005) estão descritos nas figuras 6, 7 e 8. O cromatograma de uma amostra de referência negativa adicionada com o padrão interno<sup>9</sup> (MDMA) é apresentado na figura 6. A figura 7 demonstra o cromatograma de uma amostra de urina de referência negativa adicionada com 15  $\mu\text{g/mL}$  de norefedrina (1), 6  $\mu\text{g/mL}$  de efedrina (2), 6  $\mu\text{g/mL}$  de metilefedrina (3) e 15  $\mu\text{g/mL}$  de pseudoefedrina (4), concentrações relativas ao controle de qualidade médio. Na figura 8 é indicado o perfil cromatográfico obtido com a análise de uma amostra de urina de voluntário contendo 3,31  $\mu\text{g/mL}$  de norefedrina (1); 14,86  $\mu\text{g/mL}$  de efedrina (2) e 0,87  $\mu\text{g/mL}$  de pseudoefedrina (3).

<sup>9</sup> Solução-padrão de 3,4-metilenodioximetanfetamina na concentração de 0,1 mg/mL.

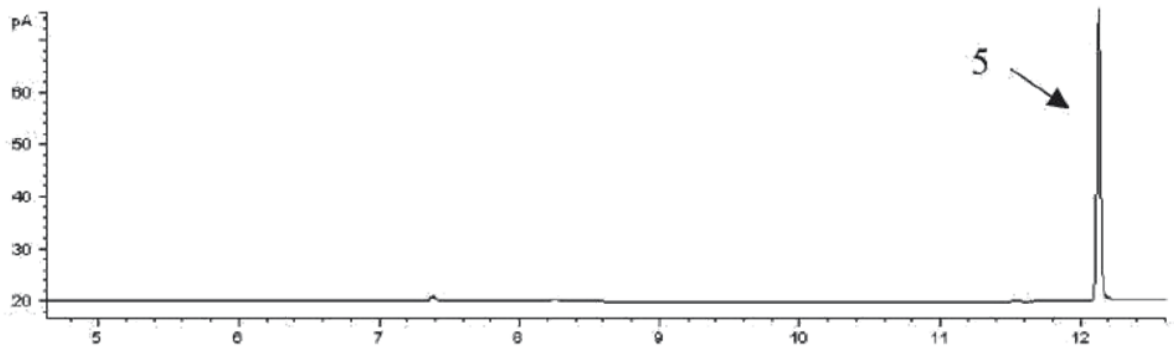


Figura 6 - Perfil cromatográfico: análise de amostra de referência negativa.

Fonte: Garcia, Yonamine e Moreau (2005).

Nota: padrão interno = MDMA (5).

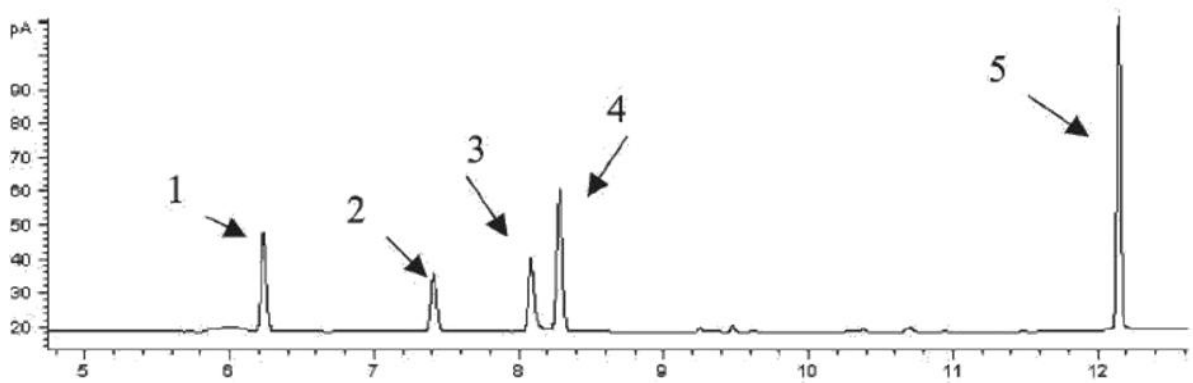


Figura 7 - Perfil cromatográfico: análise de uma amostra de urina de referência negativa adicionada com padrões.

Fonte: Garcia, Yonamine e Moreau (2005).

Nota: padrão interno = MDMA (5).

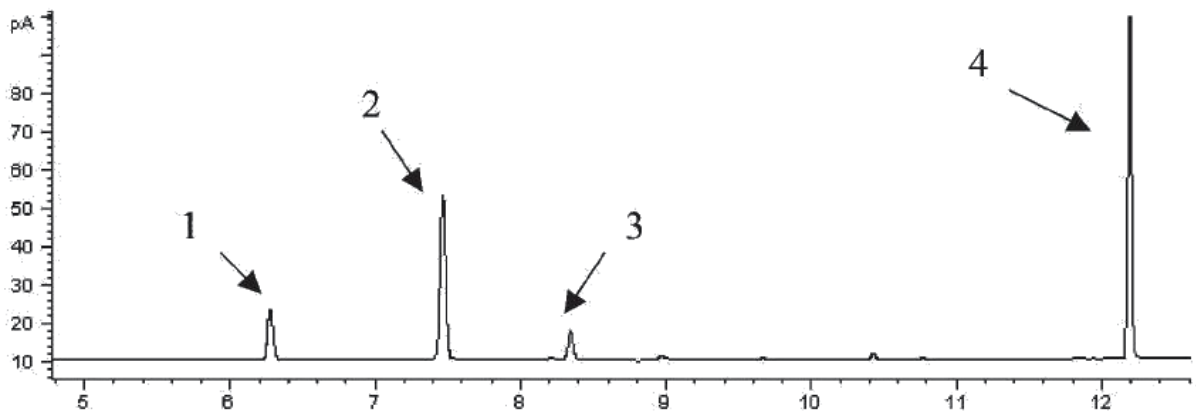


Figura 8 - Perfil cromatográfico: análise de uma amostra de urina de voluntário.

Fonte: Garcia, Yonamine e Moreau (2005).

Nota: padrão interno = MDMA (4).

Conforme verificado na figura 7, o tempo de retenção da metilefedrina (3) e pseudoefedrina (4) são muito próximos, portanto, para uma melhor identificação de qual destas substâncias estaria presente na urina do voluntário, indicado na figura 8 (3), seria ideal a realização de uma co-cromatografia, processo no qual o extrato é dividido em duas partes, onde uma delas é submetida à cromatografia sem qualquer tratamento prévio e a outra é misturada com o padrão da substância a analisar e procede-se à cromatografia desta mistura.

### 3.2 ANÁLISE DE CARBAMATOS POR CROMATOLOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

Os carbamatos representam um grupo de compostos orgânicos que compartilham um mesmo grupo funcional cuja estrutura é representada por  $\text{-NH(CO)O-}$ . É um agente químico utilizado, desde 1947, como princípio ativo de diversos inseticidas comerciais, tanto para uso doméstico como na agricultura (SCHVARTSMAN, 1971). Seu efeito tóxico está associado com o bloqueio da enzima acetilcolinesterase<sup>10</sup>, que desempenha papel importante na função das junções neuromusculares periféricas, no SNC (QUÍMICA..., 2007). A inibição da acetilcolinesterase determina o acúmulo de acetilcolina, neuro-hormônio responsável pelo aumento do peristaltismo<sup>11</sup>, insônia e memória, além de ser essencial para a transmissão nervosa (LARINI, 1979).

Exibindo alta toxicidade, os carbamatos são descritos como causadores de envenenamentos, tanto por ingestão acidental, como em tentativas de suicídio ou homicídio, o que faz deste um produto de grande interesse na química forense (VALIATI, 2007).

A presença de carbamato em uma amostra pode ser determinada através da cromatografia em camada delgada, empregando-se diclorometano como solvente (extração), acetato de etila 1% em hexano como eluente, e p-nitroanilina ou vapor de iodo para revelação (FARIAS, 2010).

---

<sup>10</sup> Enzima responsável em catalisar a hidrólise (destruição) do neurotransmissor acetilcolina, encontrado no cérebro e responsável pelos impulsos nervosos, em colina e ácido acético, reação necessária para permitir que o neurônio colinérgico retorne ao seu estado de repouso após a ativação, evitando assim uma transmissão excessiva de acetilcolina, que produziria uma sobre-estimulação do músculo e, como consequência, debilidade e cansaço.

<sup>11</sup> Série de contrações musculares normais, rítmicas e coordenadas que ocorrem automaticamente para movimentar o alimento pelo trato digestivo, a urina que vai dos rins passando pelos ureteres para dentro da bexiga e a bile da vesícula biliar para o duodeno.



De acordo com Farias (2010), esta análise representa uma técnica analítica eficiente e adequada por ser relativamente rápida, de baixo custo e sofrer pouca interferência de componentes da matriz.

## 4 ESPECTROSCOPIA

O termo espectroscopia é utilizado para designar métodos analíticos em que se estuda a interação de radiações eletromagnéticas com moléculas ou partículas. O efeito da interação da radiação eletromagnética com a matéria fornece informações a respeito de sua estrutura, porque as radiações, assim como as moléculas, possuem energias características, sendo que as moléculas apresentam a propriedade de absorver energia proveniente de uma radiação (BRANCO, 2006).

Entre as espectroscopias, as mais utilizadas são a espectroscopia na região do ultravioleta visível (UV-Vis) e espectroscopia na região do infravermelho. (FARIAS, 2010).

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho é uma técnica analítica que permite a determinação da estrutura molecular identificando grupos funcionais presentes e tipos de ligações químicas (BRUICE, 2006).

Os compostos orgânicos absorvem energia eletromagnética na região do infravermelho (IV) do espectro (entre  $4000\text{ cm}^{-1}$  até  $400\text{ cm}^{-1}$ ). Esta radiação não tem energia suficiente para provocar a excitação eletrônica, mas faz com que os átomos, ou grupo de átomos, dos compostos orgânicos vibrem com maior rapidez e amplitude em torno das ligações covalentes que os unem. Estas vibrações são quantizadas e, quando ocorrem, absorvem energia IV em certas regiões do espectro eletromagnético (SILVERSTEIN, 1994).

Todas as moléculas apresentam certa quantidade de energia distribuída por sua estrutura, que causa deformações lineares e angulares das ligações e outras vibrações moleculares. Estas vibrações ocorrem com frequências características, ou seja, a energia da molécula não varia continuamente, sendo, portanto, uma condição energética quantizada (BRUICE, 2006).

Quando a frequência da radiação IV emitida coincidir com o valor da frequência da vibração da ligação entre os átomos, esta vibração aumenta de amplitude e se este aumento de amplitude alterar o momento dipolar da molécula ocorrerá a absorção do comprimento de onda com a referida frequência. Como cada frequência absorvida pela molécula corresponde a uma determinada deformação, podem-se identificar os diferentes tipos de ligações (grupos funcionais) de uma molécula, analisando o seu espectro de absorção de infravermelho. Sabendo-se onde ocorrem as absorções características dos grupos funcionais, é possível obter informações estruturais dos espectros de IV (MC MURRY, 1997).

Na química forense, a espectroscopia na região do infravermelho pode ser empregada, por exemplo, para a determinação quantitativa de cocaína e heroína.

#### 4.1 DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE COCAÍNA POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Os alcalóides<sup>12</sup> estão entre os grupos de substâncias de origem vegetal de grande interesse para a química forense (FARIAS, 2010).

Entre os alcalóides ilícitos, o mais conhecido é a cocaína<sup>13</sup> (Figura 9), um alcalóide tropânico<sup>14</sup> extraído das folhas do vegetal *Erythroxylum coca Lamarck*<sup>15</sup>, arbusto ramificado originário da zona tropical dos Andes e que se desenvolve preferencialmente em regiões de clima úmido (PASSAGLI, 2008).

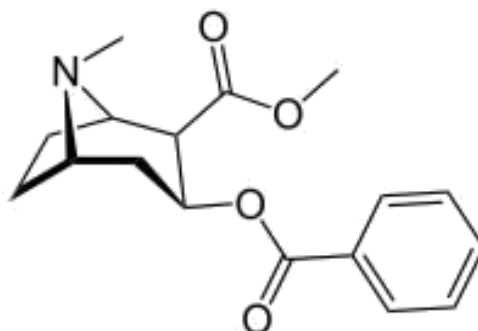


Figura 9 - Fórmula estrutural da cocaína.  
Fonte: Alves (c2006-2011).

As folhas após maceração são convertidas em pasta de coca, que constitui a forma de tráfico. A cocaína ilícita é mais frequentemente encontrada como pó branco e cristalino, cloridrato de cocaína (COC.HCl) (Figura 10), obtida através do tratamento da pasta de coca purificada com ácido clorídrico. Sob a forma ácida, não é possível fumar a cocaína, pois além de não volatilizar, decompõe-se em altas temperaturas. Comumente, é auto-administrada por aspiração nasal, por via oral ou intravenosamente, sendo bem absorvida na corrente sanguínea

<sup>12</sup> A origem da palavra é a mesma de álcali (base) e deriva do árabe *al-quali*, que era a denominação vulgar para a planta da qual a soda (carbonato de sódio) foi originalmente obtida. Uma definição de alcalóides é: substâncias orgânicas, de origem natural, cíclicas, contendo um átomo de nitrogênio em estado de oxidação negativo e cuja distribuição é limitada entre os organismos vivos.

<sup>13</sup> Benzoilmetilecgonina (C<sub>17</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>4</sub>).

<sup>14</sup> Os alcalóides formam um grupo heterogêneo de substâncias orgânicas, cuja similaridade molecular mais significativa é a presença de nitrogênio na forma de amina (raramente amida). Os alcalóides tropânicos são agentes anticolinérgicos, ou seja, inibem a ação da acetilcolina em efetores autônomos e na musculatura.

<sup>15</sup> O conteúdo de cocaína nas folhas de coca varia de 0,5 a 2,0%.

através da mucosa nasal (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008). Se ingerida, é absorvida no trato intestinal, podendo, em função de hidrólise, perder parte de sua atividade (FARIAS, 2010).



Figura 10 - Amostra de cloridrato de cocaína.  
Fonte: Avila e Ortiz (2005).

A cocaína na forma base-livre (COC-base), conhecida como *crack*, pode ser inalada em cigarros ou cachimbos, tendo em vista que esta forma apresenta baixo ponto de fusão (96 a 98°C contra os 197°C do cloridrato de cocaína); volatiliza-se a aproximadamente 90°C e, quando aquecida, permite que seus vapores sejam inalados no ato de fumar (PASSAGLI, 2008).

A base livre é preparada através do aquecimento da solução aquosa de cloridrato com substâncias básicas, geralmente bicarbonato ou hidróxido de sódio. Aquece-se até a obtenção de substância oleosa, e resfria-se posteriormente em banho de gelo até a precipitação da base livre. O aspecto resultante é o de cristais irregulares em formas de “pedras”, nome pelo qual é vulgarmente referido (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Como os demais alcalóides tropânicos, a cocaína, em doses elevadas, tem como ação principal a estimulação, seguida de depressão. Possui acentuadas propriedades anestésicas locais e estimulantes do sistema nervoso central. Segundo Ávila e Ortiz (2005, p. 15) “sua toxicidade e elevado potencial para abuso constituem grave problema de saúde pública e, além disso, o tráfico, o comércio ilícito e o consumo desta substância contribuem significativamente para as altas taxas de criminalidade verificadas nos locais de circulação da droga”.

Os primeiros estudos científicos da cocaína iniciaram-se com o pedagogo e químico alemão Friedrich Wöhler (1800-1882), que extraía a cocaína das folhas de coca junto com outros alcalóides presentes. Em 1860, outro químico alemão, Albert Niemann (1824-1884), isolou e caracterizou a cocaína das folhas de coca, que na época passou a ser conhecida como “Pó Niemann”. No final do século XIX, o psicanalista Sigmund Freud (1856-1939) receitava essa droga aos seus pacientes, para o tratamento de depressão e dependência à morfina. Mais tarde, após a morte de um amigo em decorrência do uso abusivo e após observar seus efeitos adversos, tais como a dependência, Freud em seus últimos escritos, passou a chamar a cocaína de “terceiro flagelo”, após o álcool e a heroína. Na mesma época, nos Estados Unidos, a cocaína fazia parte de diversas formulações farmacêuticas de uso livre, além de, até o ano de 1903, ser ingrediente de bebidas como a Coca-Cola (PASSAGLI, 2008). O aumento do uso levou, em 1891, aos primeiros relatos de intoxicações relacionados à cocaína, o que eventualmente contribuiu para sua proibição em 1914.

A maior parte da cocaína consumida é degradada no fígado, podendo certa quantidade ser excretada inalterada na urina e saliva em uma concentração que varia de 2 a 14%, podendo ser detectada até duas horas após o consumo. Neste caso, uma análise da urina ou saliva confirmaria o uso da droga, podendo-se utilizar, por exemplo, a cromatografia gasosa (FARIAS, 2010).

De acordo com Farias (2010, p. 37), “as concentrações letais estão entre 1,0 e 2,5  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (micrograma da droga por  $\text{cm}^3$  de sangue) ou, aproximadamente 200 mg”.

Uma das substâncias mais comumente associada à cocaína é o etanol. Desta interação, resulta o aparecimento de um terceiro produto, o cocaetileno, homólogo etílico da cocaína (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Para a química forense, deve-se considerar não apenas a presença da cocaína em si, mas também de seus produtos após a biotransformação (Figura 11). A etapa de biotransformação tem como objetivo alterar a estrutura química de um composto através de reações químicas, modificando as características físico-químicas como solubilidade, peso molecular e polaridade, através de processos complexos de interação entre a droga e o organismo, resultando na formação de metabólitos. Assim, os principais produtos originados da biotransformação da cocaína são: metilecgonina (35 a 48%), obtida pela hidrólise do grupo benzoato de cocaína pela ação das colinesterases plasmática e hepática; benzoilecgonina (30 a 45%), resultante da hidrólise espontânea da cocaína ou por reação catalisada por

carboxilesterases; norcocaína (2 a 6%), resultante da N-desmetilação direta das enzimas do sistema citocromo P-450<sup>16</sup> (PASSAGLI, 2008).

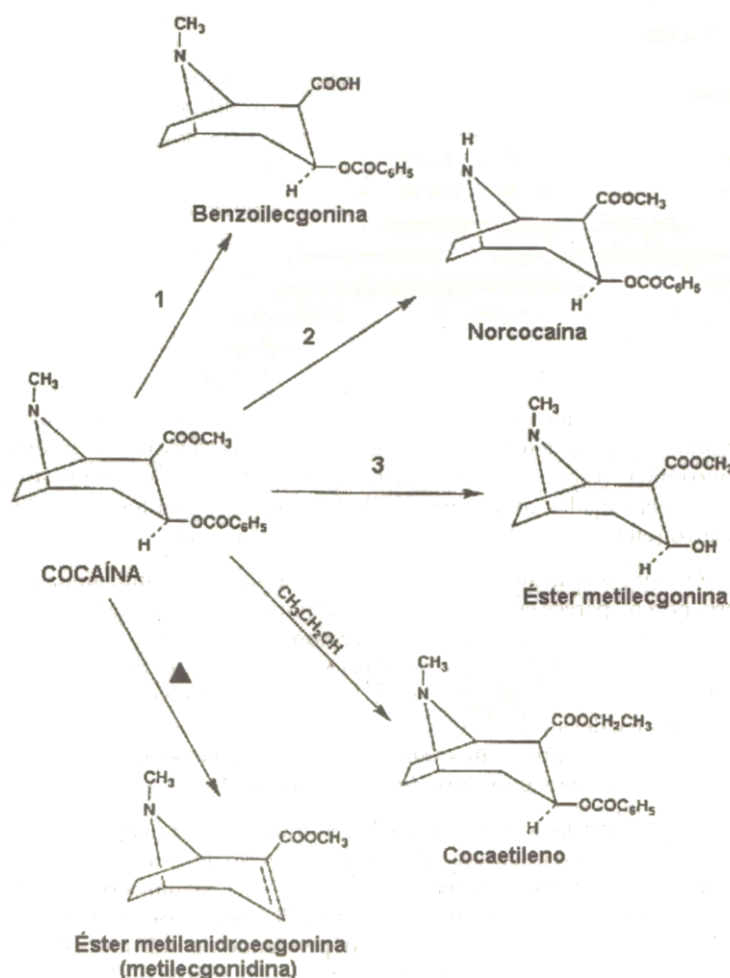


Figura 11 - Produtos de biotransformação, transesterificação e pirólise da cocaína.  
Fonte: Passagli (2008, p. 133).

Nota: (1- carboxilesterases; 2 – enzimas do citocromo P450; 3 – colinesterases;  $\Delta$  aquecimento).

Quando o *crack* é fumado, além dos produtos de biotransformação da cocaína, também é encontrado no organismo o éster metilandroecgonina (metilecgonidina), que é resultante da pirólise da cocaína, no ato de fumar. A metilecgonidina já tem sido identificada na urina de usuários de *crack* e é considerada como marcador desta forma de uso (PASSAGLI, 2008).

<sup>16</sup> O termo citocromo P450 refere-se a uma família de heme proteínas presentes em bactérias, fungos, insetos, plantas, peixes e mamíferos, que podem ser consideradas como oxigenases (enzimas que utilizam oxigênio) universais, devido à variedade de reações que catalisam e aos compostos estruturalmente diversos que servem de substrato. Citocromos P450 metabolizam uma variedade de compostos lipofílicos (com afinidade com os lipídeos) de origem endógena (do próprio corpo), como colesterol, hormônios esteróides e ácidos graxos, bem como compostos de origem exógena, como drogas, aditivos de alimentos, componentes de cigarros, pesticidas e produtos químicos que penetram no organismo pelas formas alimentares, inalação ou absorção pela pele.

Segundo Passagli (2008), urina, cabelo, saliva e sangue são amostras biológicas que podem ser utilizadas para análises forenses da cocaína e de seus metabólitos. Na urina, os metabólitos podem ainda ser detectados de 2 a 3 dias após a exposição, e no cabelo de 2 a 3 meses. Para análises *post-mortem*<sup>17</sup>, concentrações muito maiores aparecem no cérebro e no fígado; no entanto, as análises podem ser dificultadas por processos químicos que ocorrem durante a fase de decomposição do cadáver.

De acordo com Garcia et al. (2008), os espectros de infravermelho do crack apresentam bandas em regiões específicas, que podem ser atribuídos como sendo:  $1716\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{CO}$ ) e  $1278$  e  $1455\text{ cm}^{-1}$  específicos do grupo tropano. Os espectros da cocaína (o sal puro do crack) apresentam bandas um pouco deslocadas, mas com o mesmo perfil, em  $1720\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{CO}$ ) e em  $1275$  e  $1450\text{ cm}^{-1}$  (Figura 12) para o grupo tropano, conforme indicado na figura 13.

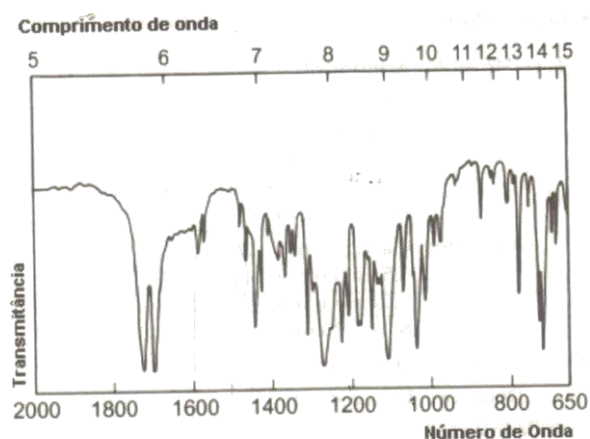


Figura 12 - Espectro de infravermelho da cocaína.  
Fonte: Passagli (2008, p. 150).

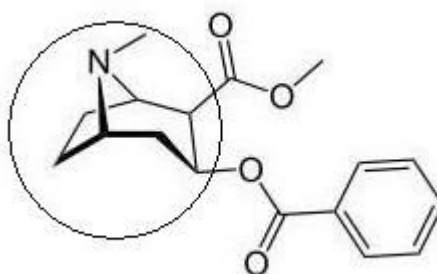


Figura 13 - Grupo tropano da molécula de cocaína.  
Fonte: Alves (c2006-2011).  
Nota: Adaptado pela autora.

<sup>17</sup> Em latim significa depois da morte. Pode ser descrito como o tempo decorrido após a morte de uma pessoa.

## 5 ESPECTROMETRIA DE MASSAS (MS)

O fundamento principal da técnica de Espectrometria de Massas é a medida da relação massa/carga das moléculas do analito, ou seja, há o controle da trajetória de íons em fase gasosa podendo estes serem manipulados através do uso de campos elétricos e magnéticos (PASSAGLI, 2008).

Na espectrometria de massas, uma pequena amostra de substância é introduzida em um instrumento chamado espectrômetro de massas, onde é volatilizada e depois ionizada como resultado da remoção de um elétron de cada molécula. O método mais comum de ionização consiste no bombardeio das moléculas volatilizadas com um feixe de elétrons de alta energia. Quando um feixe de elétrons atinge a molécula, ele retira um elétron, produzindo um íon molecular, que representa um cátion radical<sup>18</sup> (BRUICE, 2006).

A perda de um elétron da molécula enfraquece as ligações moleculares. Portanto, muitos dos íons moleculares se fragmentam em cátions, radicais, moléculas neutras e outros radicais catiônicos. Todos os fragmentos carregados positivamente da molécula passam entre duas placas carregadas negativamente, as quais aceleram os fragmentos dentro de um tubo analisador. Os fragmentos neutros não são atraídos pelas placas carregadas negativamente e, portanto, não são acelerados. (BRUICE, 2006).

O tubo analisador é revestido por um ímã, cujo campo magnético desvia os fragmentos carregados positivamente por um caminho curvado. O campo magnético faz com que os íons em movimento sigam uma trajetória que pode ser representada por um arco de círculo. Dependendo da intensidade do campo, da razão massa/carga dos íons e da voltagem de aceleração, os fragmentos farão curvas com perfis diferentes (mais abertas ou fechadas) (BRUICE, 2006).

O resultado do impacto dos elétrons é registrado como um espectro de íons separados segundo a razão massa/carga ( $m/z$ ) dos fragmentos (VOGEL, 2008).

O espectro de massa pode fornecer o peso molecular exato; indicar a fórmula molecular ou indicar a presença de certas unidades estruturais na molécula para ajudar a elucidar a estrutura de um novo composto (PASSAGLI, 2008).

---

<sup>18</sup> Estrutura química com elétron desemparelhado e com carga positiva.



## 5.1 IDENTIFICAÇÃO DE CLOROFENILPIPERAZINA (CPP) EM COMPRIMIDOS APREENDIDOS

O consumo de drogas sintéticas de abuso, conhecidas como *designer drugs*, teve um grande aumento nos últimos anos. Estas drogas são produzidas em laboratórios clandestinos e muitas vezes sintetizadas a partir de outras substâncias químicas que já possuam atividade biológica conhecida (ONU..., 2009). Segundo Lanaro et al. (2010) o principal representante desta classe de drogas é a 3,4-metilenodioximetanfetamina, mais conhecida como *Ecstasy*, porém, outras substâncias têm sido apreendidas por serem usadas com finalidade recreativa, como é o caso de derivados de piperazina.

Esses compostos representam uma ampla classe química de substâncias de estrutura cíclica de seis átomos, sendo dois do elemento nitrogênio em posições opostas, como pode ser observado na Figura 14.

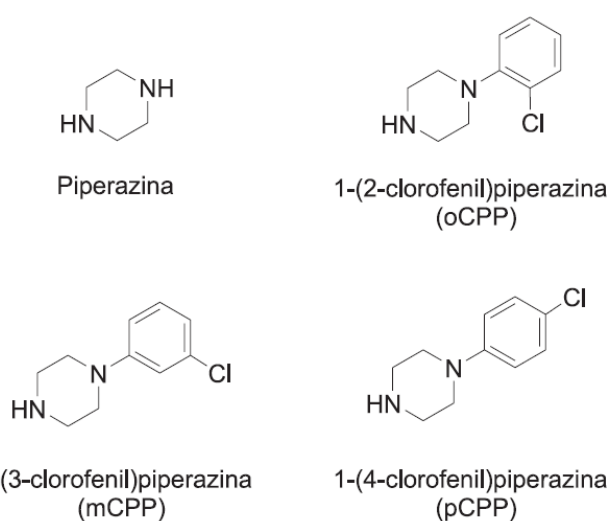


Figura 14 - Estrutura química da piperazina e seus derivados.  
Fonte: Lanaro et al. (2009).

A 1-(3-clorofenil)piperazina (mCPP) é uma nova droga sintética, consumida normalmente na forma de comprimidos que apresentam aspecto físico semelhante aos comprimidos de *Ecstasy*. A quantidade de substância ativa nestes comprimidos pode variar entre 22 a 80mg e em alguns casos podem conter diluentes e adulterantes, como cocaína (CAZENAVE, 2010).

Lanaro et al. (2010) apresentou e discutiu a espectrometria de massas como ensaio analítico utilizado para caracterizar a substância presente em comprimidos de diferentes cores, tamanhos e formatos, que foram apreendidos em Campinas, em 2008, pela polícia civil do

Estado de São Paulo e encaminhados para o Laboratório de Toxicologia Forense do Núcleo de Perícias Criminalística de Campinas para exame pericial.

Os resultados obtidos por espectrometria de massas forneceram informações sobre o peso molecular do composto investigado, assim como seu perfil de fragmentação. Como pode ser observado na Figura 15, o espectro obtido apresentou dois picos abundantes de relações massa/carga ( $m/z$ ) iguais a 197,1 e 199,1.

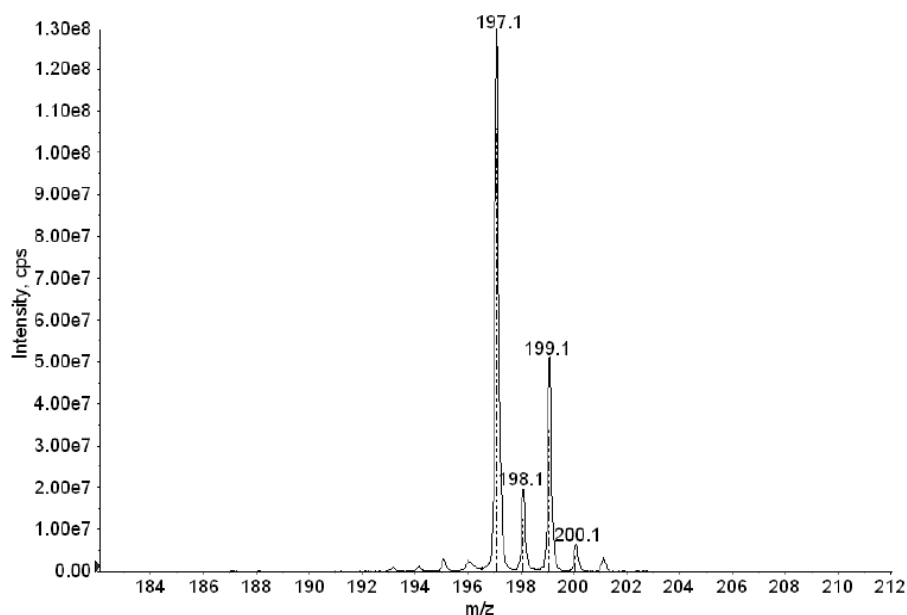


Figura 15 - Espectro de massas obtido do material encaminhado para análise pericial.  
Fonte: Lanaro et al. (2010).

Esta informação apresenta-se coerente com a estrutura da clorofenilpiperazina (CPP) (Figura 16), que possui massa molar exata de 196,08 g/mol, com um isótopo de massa molar de 198,08 g/mol.

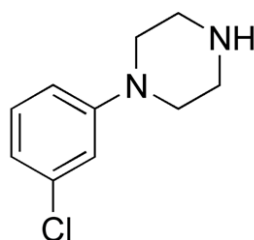


Figura 16 - Estrutura da CPP.  
Fonte: Cazenave (2010).

De acordo com Lanaro et al. (2010), os picos se apresentam condizentes com a distribuição isotópica de substâncias que apresentam um átomo de cloro em sua estrutura. Os

resultados obtidos permitiram concluir que a substância presente nos comprimidos investigados era a clorofenilpiperazina, porém não foi possível afirmar se nos comprimidos havia um único isômero ou uma mistura destes (oCPP, mCPP ou pCPP).

## 6 MICROSCOPIA

A microscopia consiste em uma técnica largamente utilizada na química forense, desde a óptica tradicional ou com luz polarizada, até a microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 17).



Figura 17 - Microscópio eletrônico de varredura.  
Fonte: Universidade de São Paulo (c1997-2011).

As vantagens da utilização desta última são permitir a visualização microscópica da amostra estudada e, mediante o uso de uma sonda para realização de análise de dispersão de raios-X, permitir a análise qualitativa e quantitativa dos elementos químicos presentes na mesma (PASSAGLI, 2008).

A principal utilização da microscopia para a química forense é na análise de vestígios de disparo de armas de fogo, chamada de análises residuográficas.

### 6.1 ANÁLISE RESIDUOGRÁFICA EM BALÍSTICA

Segundo Negrini Neto (2009) testes residuográficos são exames destinados ao diagnóstico de disparos de armas de fogo através da pesquisa de partículas de chumbo e/ou bário em material colhido das mãos do suspeito atirador ou alvos próximos (teste de Feigl-Sutter).

Quando se realiza o disparo de uma arma de fogo, são produzidos vestígios, proveniente da combustão da carga explosiva presente nos cartuchos que compõem a munição da arma, os quais são expelidos pela expansão gasosa, sob alta pressão e elevada temperatura. O fluxo de massa gasosa (Figura 18) é expelido, preferencialmente pela região anterior do cano da arma, orientada para frente; porém, uma parte desse fluxo é também expelida pela região posterior da arma, devido à presença de orifícios (FACHONE; VELHO, 2008).



Figura 18 - Nuvem de fumaça formada durante o disparo de arma de fogo.  
Fonte: Chemello (2007).

A composição do fluxo gasoso corresponde a gases provenientes da combustão (monóxido e dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, entre outros), bem como uma ampla quantidade de compostos inorgânicos, como nitrito, nitrato, cátions de metais como bário (Ba), chumbo (Pb), antimônio (Sb) e micro partículas metálicas oriundas do atrito e fragmentação dos projéteis metálicos disparados (CHEMELLO, 2007).

Após o disparo, as substâncias expelidas pela região posterior da arma atingem e se depositam na superfície da mão do atirador, deixando também resíduos em objetos próximos (OLIVEIRA, 2006).

Dependendo do tipo de resíduo deixado pelo disparo, a constatação pode ser apenas física, com o auxílio de uma lupa. Se não for possível realizá-la, podem ser utilizados exames químicos (FACHONE; VELHO, 2008).

Os nitritos podem ser detectados através do reativo de Griess (ácido parasulfanílico). Porém, os nitritos sofrem oxidação pelo oxigênio do ar, passando gradualmente a nitratos ou volatilizando-se como ácido nitroso. Por este motivo, este exame deve ser realizado o mais rápido possível após o suposto disparo. Além disso, o reativo de Griess é utilizado para

identificação da presença de nitritos de qualquer natureza, não sendo um reativo específico para nitritos provenientes de um disparo de arma de fogo (FACHONE; VELHO, 2008).

Um resultado negativo para esta análise não significa que não houve disparo, visto que a transformação de nitritos em nitratos é relativamente rápida. Já uma constatação positiva não garante, necessariamente, que tais nitritos sejam oriundos de um disparo. Por estes motivos, a verificação com reativo de Griess não vem sendo mais utilizada pelos peritos forenses, pois estes alegam pouca confiabilidade neste exame como prova pericial, devido a diversos fatores que podem interferir no resultado (CHEMELLO, 2007).

Outro teste químico utilizado para detecção de vestígios de disparo consiste na pesquisa de íons ou fragmentos metálicos de chumbo, devido à maior quantidade desta espécie metálica em relação às demais (OLIVEIRA, 2006).

De acordo com Fachone e Velho (2008), o chumbo pode apresentar-se na forma de trinitroresorcinato de chumbo, estifinato de chumbo (2,4,5-trinitroresorcinato de chumbo ou tricinato), como também pode ser gerado pelo atrito do corpo dos projéteis de chumbo com as paredes internas do cano da arma .

Como indica a figura 19, a análise química de chumbo, também chamada de exame residuográfico, consiste na coleta prévia de amostras das mãos do suspeito, mediante fixação em tiras de papel, e em seguida, revelação com solução acidificada de rodizonato de sódio (Figura 20). A presença de pontos de coloração avermelhada indica resultado positivo para a presença de chumbo, o que sugere a possibilidade de um disparo de arma de fogo (OLIVEIRA, 2006).



Figura 19 - Etapas do exame residuográfico.  
Fonte: Oliveira (2006).

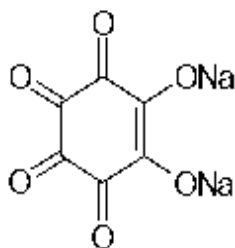


Figura 20 - Fórmula estrutural do rodizonato de sódio.  
Fonte: Escola Superior do Ministério Público de São Paulo ([200-]).

A reação química envolvida no processo consiste na complexação de íons chumbo pelos íons rodizonato (Figura 21).

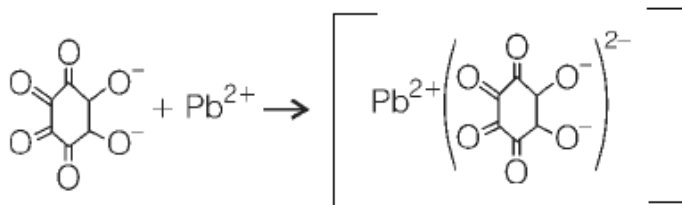


Figura 21 - Reação de complexação de íons chumbo.

Fonte: Oliveira (2006).

Esses testes podem ser utilizados para indicar a possibilidade de um disparo, porém, um método confiável de análise das partículas provenientes de tiros deve ser capaz de identificar a presença de chumbo, bário e antimônio, além da análise morfológica das partículas. A presença de apenas dois destes elementos pode ser somente um indicativo de disparo, não sendo uma prova concreta (FARIAS, 2010). As partículas de chumbo podem estar associadas à profissão do suspeito, como mecânico, soldador, laboratorista, etc. O bário pode ser encontrado em produtos de maquiagem, além de detergentes. E o antimônio é utilizado em fibras, como as de poliéster (CHEMELLO, 2007).

Basicamente, os resíduos de um disparo de arma de fogo são formados em condições específicas de temperatura e pressão, permitindo vaporização e rápida condensação de elementos, como chumbo, bário e antimônio, em partículas de formato esférico e diâmetro variando entre 1-10  $\mu\text{m}$ , dependendo do tipo de arma empregada. A composição também pode variar, dependendo dos explosivos utilizados (CHEMELLO, 2007).

A fim de promover respostas mais confiáveis, técnicas como a Microscopia Eletrônica de Varredura vêm sendo utilizadas nos grandes laboratórios forenses, para a identificação de partículas oriundas de resíduos de tiros (FARIAS, 2010).

Farias (2010) descreve o microscópio eletrônico de varredura (MEV) como um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Ao investigar se um determinado suspeito efetuou disparo com arma de fogo ou não, são utilizados pequenos cilindros de metal chamados de “stabs”, que contém um adesivo que é friccionado na pele do suspeito em pontos específicos como a palma e dorso da mão. Se houver presença de resíduos de disparo de arma, estes irão aderir ao adesivo.

O cilindro é então levado para o laboratório de análise forense, onde será colocado no MEV, e a superfície do adesivo será varrida por um feixe de elétrons. Este feixe eletrônico é

então demagnificado<sup>19</sup> por várias lentes eletromagnéticas, cuja finalidade é produzir um feixe de pequeno diâmetro e focalizá-lo em uma região específica da superfície analisada (FARIAS, 2010).

Durante a análise por microscopia eletrônica de varredura, os elétrons provenientes do canhão de MEV incidem sobre o átomo da amostra. Este elétron tem energia suficiente para arrancar os elétrons existentes nas camadas mais internas da eletrosfera dos átomos do resíduo analisado, e alguns são deslocados de seu orbital durante esse processo, gerando elétrons secundários (Figura 22), de baixa energia. Esses elétrons são responsáveis pela formação de imagens de topografia da superfície das partículas existentes na amostra e são responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução (GALINDO, 2010).

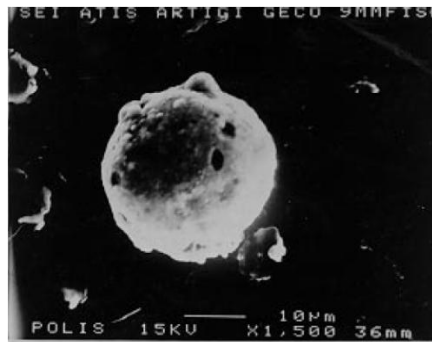


Figura 22 - Imagem de elétrons secundários de um resíduo de arma de fogo.  
Fonte: Chemello (2007).

Após os elétrons serem retirados, pelo elétron do microscópio, da camada mais interna do átomo da amostra, os elétrons mais afastados do núcleo passam a ocupar a lacuna gerada, a fim de recuperar a sua estabilidade atômica (CHEMELLO, 2007).

Durante esta transição, ocorre a emissão de radiação com comprimento de onda na faixa dos raios-X (Figura 23), que será característica, pois a transição eletrônica de cada elemento é diferente

---

<sup>19</sup> Desvio do feixe eletrônico causado por lentes.



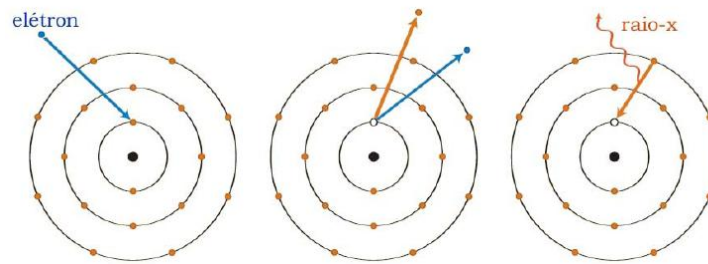


Figura 23 - Princípio de formação de raios-X.

Fonte: Chemello (2007).

Nota: Optou-se pelo modelo planetário de átomo para a melhor compreensão do fenômeno.

A medida de energia presente nos raios-X gerados durante a transferência de camadas em um átomo de uma amostra durante o bombardeamento permitirá a identificação do elemento que emitiu esses raios-X. O resultado é gerado na forma de um espectro com picos correspondentes aos níveis de energia. Os espectros são característicos e correspondem a um elemento químico, e a altura dos picos pode ser correlacionada com a concentração do elemento químico presente na amostra (GALINDO, 2010). Assim, segundo Chemello (2007), é possível realizar uma análise tanto qualitativa quanto quantitativa através da observação do espectro gerado (Figura 24).

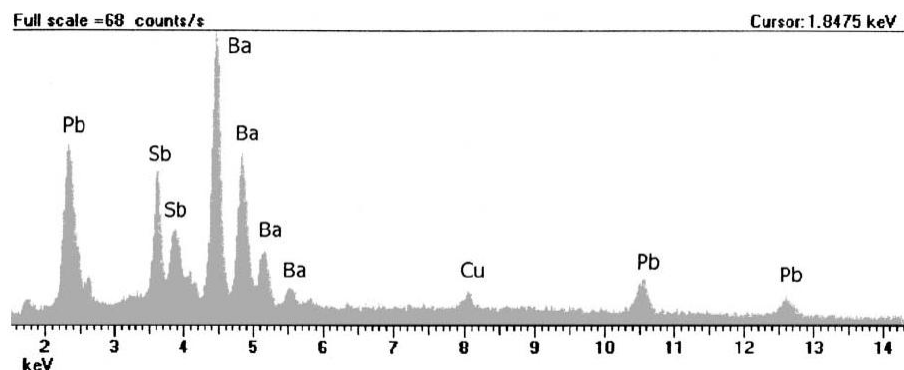


Figura 24 - Espectro de partícula encontrada em uma amostra de barril de uma pistola.

Fonte: Chemello (2007).

## 7 PAPILOSCOPIA

A papiloscopia tem como objetivo a revelação de impressões digitais que possibilitam a identificação de um indivíduo. Os métodos para identificação humana tiveram grande evolução ao longo do tempo. Em 2.000 a.C. os babilônios já utilizavam os padrões de impressões digitais em barro para acompanhar documentos, a fim de prevenir falsificações (CHEMELLO, 2006).

Para a química forense, o interesse é a identificação de pessoas através das digitais presentes nas pontas dos dedos das mãos, indicadas em inquéritos ou acusadas em processos, o que é chamado de datiloscopia criminal.

Os princípios básicos nos quais a datiloscopia se baseia são:

- a) Perenidade, a qual diz que os desenhos datiloscópicos em cada ser humano são definitivamente formados a partir do sexto mês de gestação.
- b) Imutabilidade, que diz que os desenhos formados não se alteram ao longo dos anos, com exceção de algumas alterações que podem ocorrer devido a agentes externos, como queimaduras, doenças na pele, cortes, etc.
- c) Variabilidade, a qual descreve que os desenhos das digitais são diferentes, tanto entre os indivíduos, como entre os dedos da mesma pessoa.

A identificação de um indivíduo através de sua impressão digital baseia-se no fato de que nunca foram encontradas pessoas com impressões digitais idênticas (FACHONE; VELHO, 2008).

A confiabilidade quanto à identificação humana através das impressões digitais vem do fato que as cristas papilares são as mesmas no indivíduo desde o sexto mês de gestação até a sua destruição pela putrefação do corpo. (FARIAS, 2010).

Em uma cena de crime, a observação de objetos deslocados de sua posição original pode revelar vestígios papilares nos objetos que apresentam superfície lisa ou polida. Estes vestígios são chamados de Impressões Papilares Latentes (IPL), que podem confirmar ou descartar a hipótese de quem esteve presente ou não na cena do crime (CHEMELLO, 2006).

Existem dois tipos de IPL: visíveis e ocultas. As visíveis são aquelas deixadas pela transferência de sangue, tinta, ou outro fluido sobre uma superfície lisa o suficiente para deter uma impressão digital, visível a olho nu. Já as ocultas são resultado dos vestígios de suor, que

é responsável pela formação de impressões digitais, não visíveis a olho nu, quando determinado objeto é tocado (LAYTON, 2005).

O suor das mãos é composto basicamente de água (99%) e materiais sólidos (1%), podendo ser compostos orgânicos e inorgânicos (Tabela 1). Para análises de natureza forense, os compostos orgânicos apresentam grande importância na revelação de uma impressão digital para identificação humana.

Tabela 1 - Relação entre as glândulas e os compostos excretados no suor humano.

Glândulas	Compostos Inorgânicos	Compostos Orgânicos
Sudoríparas	Cloretos Íons metálicos Amônia Sulfatos Fosfatos Água	Aminoácidos Uréia Ácido láctico Açúcares Creatinina Colina Ácido úrico
Sebáceas		Ácidos graxos Glicerídeos Hidrocarbonetos Álcoois
Apócrinas	Ferro	Proteínas Carboidratos Colesterol

Fonte: Chemello (2006).

Existem diversas técnicas para coleta de fragmentos papilares no local do crime e posterior revelação. Saber escolher a técnica correta é de extrema importância, já que esta pode ser ineficiente ou até destruir uma IPL. Portanto, a técnica empregada dependerá do local onde a impressão se encontra, bem como os recursos disponíveis ao perito. Os métodos apropriados para recuperar uma impressão digital latente estão descritas a seguir.

## 7.1 TÉCNICA DO PÓ

Representa a técnica mais utilizada e é usada quando as IPL<sup>20</sup> localizam-se em superfícies que possibilitam o decalque<sup>21</sup> da impressão digital, ou seja, superfícies lisas, não rugosas e não adsorventes<sup>22</sup> (FACHONE; VELHO, 2008).

<sup>20</sup> Impressão Papilar Latente.

<sup>21</sup> Processo pelo qual se faz uma cópia e transferência de uma impressão digital de algum objeto. Ação de decalcar, fazer uma cópia.

Tal método baseia-se na aplicação e aderência de uma fina camada de determinado pó sobre o local onde pode haver impressões digitais (Figura 25). A técnica do pó não é eficiente quando as impressões digitais não são recentes, uma vez que, a água é o componente responsável pela aderência do pó, e este é encontrado em maiores quantidades quando a impressão digital é recente. Portanto, se as impressões foram deixadas há muito tempo, outras técnicas devem ser utilizadas (CHEMELLO, 2006).



Figura 25 - Técnica do pó na revelação de IPL.  
Fonte: Chemello (2006).

A tabela a seguir (Tabela 2) relaciona a composição de alguns pós que são utilizados na revelação de IPL.

---

<sup>22</sup> A adsorção é um fenômeno caracterizado pela fixação de moléculas de uma substância (o adsorvato) na superfície de outra (o adsorvente).

Tabela 2 - Pós utilizados na revelação de IPL.

<b>Pós Pretos</b>		
Pó Óxido de Ferro	Óxido de ferro	50%
	Resina	25%
	Negro-de-fumo	25%
Pó dióxido de manganês	Dióxido de manganês	45%
	Óxido de ferro	25%
	Negro-de-fumo	25%
	Resina	5%
<b>Pós Brancos</b>		
Pó óxido de titânio	Dióxido de titânio	60%
	Talco	20%
	Caulim	20%
Pó carbonato de chumbo	Carbonato de chumbo	80%
	Goma arábica	15%
	Alumínio em pó	3%
	Negro-de-fumo	2%

Fonte: Farias (2010).

Além dos pós descritos na tabela acima, podem ser utilizados também os seguintes:

- a. Pós fluorescente: antraceno finamente pulverizado (branco), eosina (vermelho), fluoresceína (marrom), etc.;
- b. Pós metálicos (usualmente uma mistura de metais e óxidos metálicos): pó prateado (flocos de alumínio); pó dourado (flocos de bronze, pós de quartzo);
- c. Pós magnéticos (particularmente úteis para revelação de impressões em superfícies como plásticos e pele humana).

Os pós fluorescentes requerem a utilização de uma fonte de luz ultravioleta, para excitar os elétrons do composto fluorescente que, ao retornarem para seus estados de origem, emitirão luz na região visível do espectro. Esses pós são indicados para superfícies multicoloridas, de padronagem confusa, nas quais os reveladores convencionais não dariam bons resultados (FARIAS, 2010).

A técnica do pó apresenta as vantagens de ser um método de baixo custo e ter simplicidade na aplicação. A escolha do pó se deve, principalmente, em virtude da superfície em que se encontram as IPL e das condições climáticas, principalmente a umidade, pois as mesmas podem interferir no sucesso da técnica (FARIAS, 2010).

## 7.2 VAPOR DE IODO

Uma das características do iodo é a sublimação, ou seja, a passagem do estado sólido diretamente para o estado vapor, quando ocorre a absorção de calor. (CHEMELLO, 2006).

A técnica de vapor de iodo para revelação de impressões digitais baseia-se na absorção do vapor de iodo pelos compostos gordurosos do suor (LAYTON, 2005).

Segundo Farias (2010, p. 75), “acreditava-se que tal fato ocorria em função da reação do iodo com gorduras insaturadas contidas na impressão digital. Contudo, acredita-se, atualmente, tratar-se, em verdade, de um simples fenômeno de fisissorção<sup>23</sup>”.

Os compostos gordurosos com os quais o vapor de iodo irá interagir não são excretados pelas mãos, mas sim agregados ao suor das mesmas através do contato prévio das mãos com partes do corpo, tais como maçãs do rosto e couro cabeludo, onde há presença de glândulas sebáceas, com a conseqüente liberação de compostos gordurosos. (FARIAS, 2010).

Ao serem aquecidos, ou mesmo à temperatura ambiente, os cristais de iodo sublimam, tendo-se iodo sob forma de vapor, o qual se adere ao composto gorduroso da impressão digital. De acordo com Farias (2010), o vapor de iodo apresenta uma coloração castanha e, quando em contato com a IPL, forma um produto de coloração marrom amarelada. Uma vez que o vapor de iodo, bem como a impressão revelada por sua adsorção, apresentam coloração escura, o uso desta técnica limita-se às superfícies claras, com as quais a impressão revelada possa exibir uma boa revelação de contraste (FARIAS, 2010).

Uma vantagem desta técnica em relação às demais é que pode ser utilizada antes de outras sem danificar a IPL. O inconveniente da revelação de impressões papilares com vapores de iodo é que a impressão digital revelada deve ser rapidamente fotografada, pois o vapor de iodo é volátil e desprende-se da impressão digital com o tempo, tornando-a invisível novamente. Por esta razão, fixadores de iodo são empregados para evitar que os cristais de iodo sublimem novamente da impressão digital, porém, após o uso dos mesmos, pode ocorrer

---

<sup>23</sup> Na fisissorção, ou também chamada de adsorção física, as moléculas do adsorvente e do adsorvato interagem por interações de van der Waals, que apesar de serem interações de longo alcance, são fracas e não formam ligação química.

a destruição da IPL. Além disso, esta técnica não é sensível a impressões digitais mais antigas, pois os componentes gordurosos desintegram-se rapidamente, e o método de iodo reage apenas com estes componentes. (ZARZUELA, 2009).

Após a revelação de uma IPL, com o auxílio de programas de computador, pode-se determinar se esta pertence, ou não, a determinado indivíduo (FARIAS, 2010).

### 7.3 NITRATO DE PRATA

Farias (2010) afirma que a técnica baseia-se na reação entre nitrato de prata ( $AgNO_{3(aq)}$ ) com os íons cloreto presentes nas impressões digitais. A superfície de interesse é imersa em uma cuba contendo solução 5% de nitrato de prata e o produto desta reação, cloreto de prata, é insolúvel em água à temperatura ambiente (CHEMELLO, 2006). A equação que descreve a reação pode ser descrita na Figura 26.

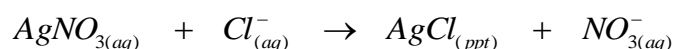


Figura 26 - Reação entre o nitrato de prata e íons cloreto presentes na IPL.  
Fonte: Chemello (2006).

Esta técnica não é adequada na revelação de impressões que não sejam recentes, uma vez que os cloretos permanecem por pouco tempo nas impressões. Ao ser exposto à luz, o cloreto de prata adquire uma coloração cinza escuro, devido à redução do íon prata ( $Ag^+$ ) à prata metálica ( $Ag^0$ ) por ação da radiação ultravioleta, portanto, a impressão revelada deve ser rapidamente fotografada (FARIAS, 2010).

### 7.4 NINIDRINA

Em 1913, Ruhemann constatou que os alfa aminoácidos, os polipeptídios e as proteínas formavam produtos coloridos ao reagirem com a ninidrina (Figura 27). Ao longo dos anos, a ninidrina tornou-se um reagente comum em testes clínicos e, com a introdução das técnicas cromatográficas nos anos 40, passou a ser usada para localizar aminoácidos nos cromatogramas. Contudo, somente nos anos 50 que seu potencial forense foi descoberto (CHEMELLO, 2006).

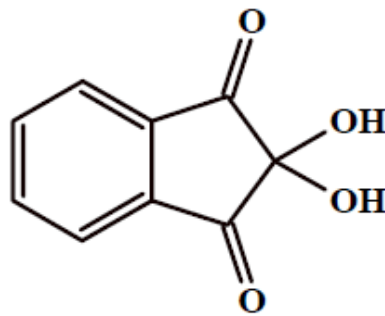


Figura 27 - Molécula de ninidrina.  
Fonte: Chemello (2006).

Ao reagir com os aminoácidos (alguns dos principais compostos excretados pelas mãos), a ninidrina produz uma coloração púrpura, a qual revela a IPL (FARIAS, 2010). O mecanismo genérico a seguir descreve a formação do produto cor púrpura (Figura 28).

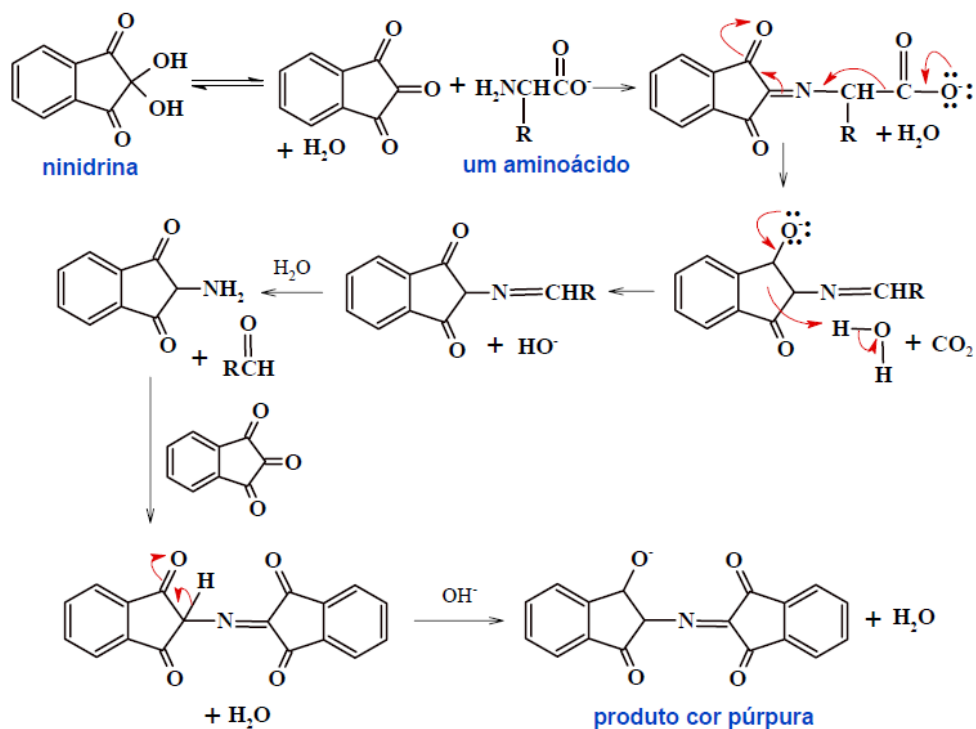


Figura 28 - Mecanismo de reação de um aminoácido com a ninidrina.  
Fonte: Chemello (2006).

Geralmente a proporção da solução utilizada é de 0,5 g de ninidrina para 30 mL de etanol. Posteriormente, a mistura é armazenada em um recipiente que permite a pulverização sobre a IPL. O líquido é então borrifado, e o desenho da impressão digital somente aparecerá quando a superfície ficar totalmente seca. Na figura 29, podemos ver um exemplo de revelação de IPL em papel.



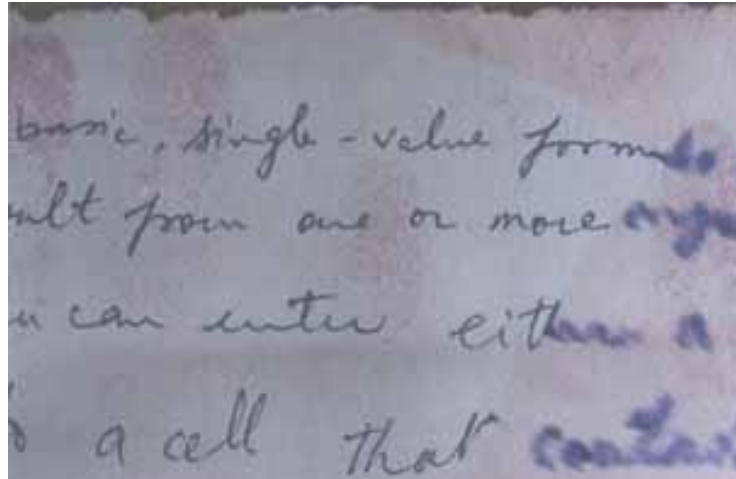


Figura 29 - Impressões digitais reveladas com solução de ninidrina em papel.  
Fonte: Chemello (2006).

## 8 INCÊNDIOS

A definição de incêndio, segundo Farias (2010), pode ser descrita como uma propagação do fogo capaz de provocar danos à integridade física dos indivíduos e dos patrimônios.

O surgimento e a propagação do fogo são fenômenos que ocorrem devido a reações químicas e dependem, assim como qualquer reação de combustão, da existência de quatro fatores: presença de uma substância que será queimada (combustível); de uma substância que alimentará a combustão (comburente), normalmente o oxigênio; de um elemento deflagrador, por exemplo, a chama de um fósforo, descarga elétrica, etc. e da reação em cadeia. Esses quatro fatores associados constituem o “tetraedro do fogo” (Figura 30), sendo que na ausência de um deles, não haverá surgimento do fogo (UNIVERSIDADE..., c2008-2011).

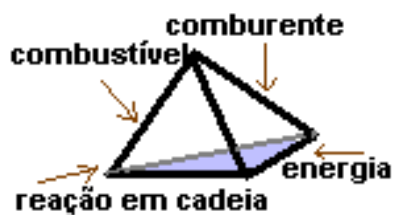


Figura 30 - Tetraedro do fogo.  
Fonte: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (c2008-2011).

Os incêndios podem ser classificados como naturais ou artificiais. Os naturais são aqueles em que não há intervenção, direta ou indiretamente, do homem; já os artificiais, que são de interesse para a química forense, são aqueles provenientes da ação antrópica (FARIAS, 2010).

Devido à natureza do combustível, os incêndios podem ser classificados de acordo com a tabela a seguir (Figura 31).

<b>Classe</b>	<b>Classificação</b>
A	Envolve combustíveis sólidos, tais como madeira, papel, tecidos, etc., que se caracterizam por deixar após a queima, resíduos como carvão e cinza.
B	Envolve combustíveis líquidos e gases inflamáveis, como etanol, gasolina, etc., que se caracterizam por não deixar resíduos após a queima.
C	Caracteriza-se por fogo em materiais energizados, geralmente equipamentos elétricos, tais como motores, geradores, cabos, etc.
D	Ocorre em ligas metálicas combustíveis, como as ligas de magnésio, titânio, potássio, zinco, sódio, etc.
F	Constitui-se da união dos incêndios das classes A, B e C.

Figura 31 - Classificação de incêndios.

Fonte: Farias (2010, p. 86).

Do ponto de vista da química forense, os propósitos de uma perícia do incêndio são:

- a. Encontrar o ponto de origem do fogo;
- b. Encontrar a fonte de calor que deu origem ao fogo;
- c. Determinar a causa do incêndio e
- d. Classificar o tipo de incêndio.

A coleta de material no local de um incêndio para posterior análise das possíveis causas é de fundamental importância, já que uma análise química dos resíduos encontrados no local poderá determinar se certa substância combustível foi utilizada, fato que indicará a existência de um ato criminoso.

Em relação à perícia em incêndios com a ocorrência de óbitos, cabe ao perito estabelecer: a identidade da vítima, a causa aparente da morte, a maneira como a morte ocorreu e a cronologia da morte.

## 9 EXPLOSIVOS

Explosivos constituem determinadas substâncias puras ou misturas que podem sofrer brusca decomposição química quando sujeitas a estímulos térmicos, elétricos ou mecânicos, liberando grandes quantidades de gases, a uma elevada temperatura, e calor em curto espaço de tempo. Com o calor, os gases se expandem e, se estiverem em um espaço pequeno, a pressão exercida é elevada até chegar ao ponto de ruptura, com grande onda de choque (PINHEIRO, 2008). De acordo com Farias (2010), os explosivos podem ser sólidos, líquidos ou gasosos e podem ser classificados em:

- a. Físicos: constituídos por matérias que, separadas, não têm características explosivas, por exemplo, a pólvora, constituída de salitre (74,64%), enxofre (11,64%) e carvão vegetal (13,51%).
- b. Químicos: constituídos por um composto químico com fórmula definida e auto-suficiente do ponto de vista da reação, como exemplo o trinitrotolueno, conhecido como TNT (Figura 31).
- c. Mistos: explosivos químicos com adição de outros compostos que melhoram ou alteram as suas propriedades, por exemplo, a dinamite, constituída de nitroglicerina e dióxido de silício em pó.
- d.

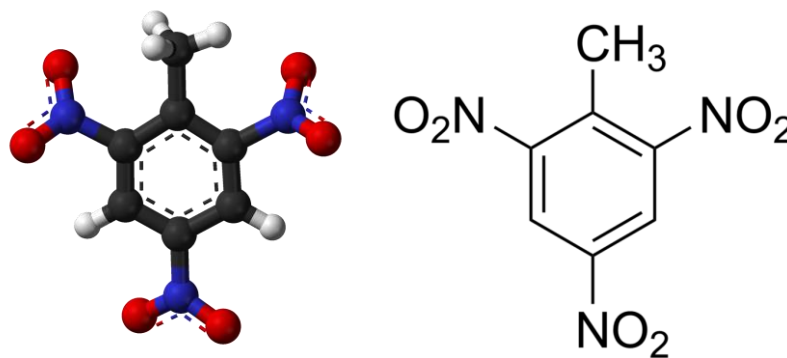


Figura 32 - Estrutura do TNT.  
Fonte: Wikipedia (2011).

Alguns exemplos de explosivos serão descritos a seguir:

## Pólvora Negra

A pólvora foi o primeiro passo para o desenvolvimento dos produtos conhecidos hoje como explosivos. Ela é constituída de 75% de nitrato de potássio, 15% de carvão vegetal e 10% de enxofre (PINHEIRO, 2008).



A reação descrita anteriormente refere-se à combustão da pólvora negra ao ar. Quando queimada em sistema fechado, identificam-se nitrito, nitrato, sulfato, carbonato, cianato, tiocianato, tiosulfato, etc. Logo, a presença desses compostos pode ser utilizada como indicativo da combustão de pólvora negra (em uma bomba caseira, por exemplo, ou como resultado do disparo de uma arma de fogo) (FARIAS, 2010).

## Trinitrato de celulose (TNC)

Obtido a partir da nitração da celulose. Quando a nitração é de 13,4%, a denominação “algodão pólvora” costuma ser usada. Já para um grau de nitração entre 10,5% e 12,3%, tem-se a piroxilina. Uma característica do TNC (Figura 31) é que sua combustão é quase instantânea, deixando uma quantidade muito pequena de resíduos sólidos (FARIAS, 2010).

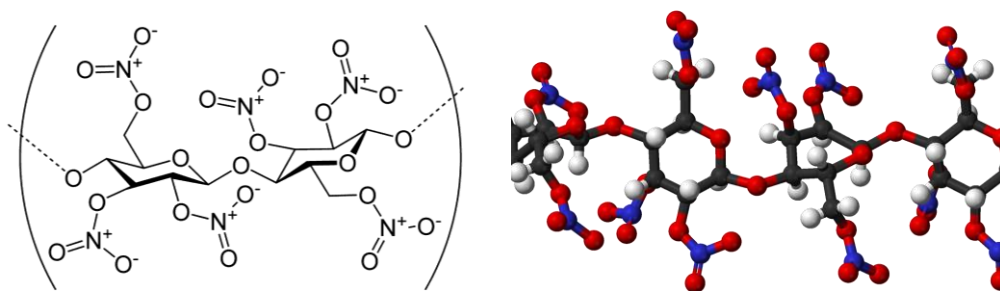


Figura 33 - Estrutura do TNC.  
Fonte: Wikipedia (2011).

## Trinitrato de glicerina (TNG)

Também denominado nitroglicerina (Figura 32), é o éster trinitrato do propanotriol, obtido mediante reação do propanotriol com ácido nítrico. O TNG é um líquido oleoso,

insolúvel em água e extremamente sensível, não apenas à temperatura, mas também ao choque mecânico, motivo pelo qual deve ser manuseado com extremo cuidado.

Sua combustão ao ar gera  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . O tratamento do TNG com um agente estabilizante ou gelatinizante é utilizado para produzir dinamite.

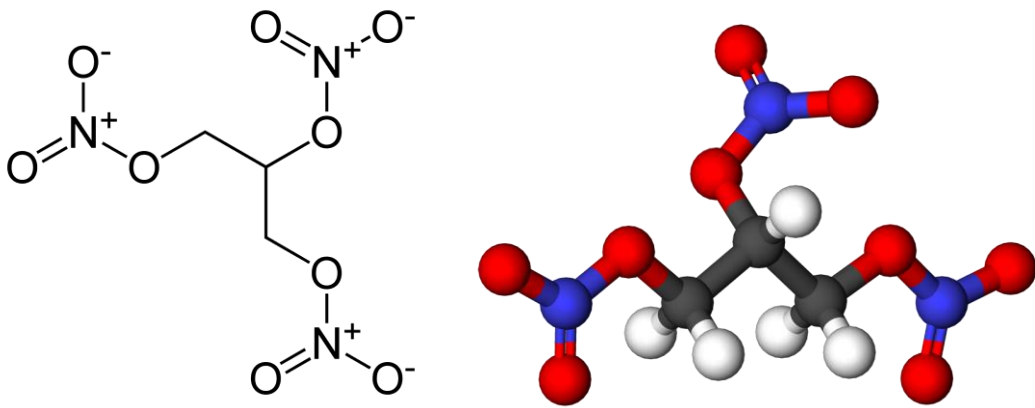


Figura 34 - Estrutura da nitroglicerina.  
Fonte: Wikipedia (2011).

## 10 CONCLUSÃO

Os avanços científicos verificados na área da química constituem uma importante ferramenta a ser utilizada no campo das ciências forenses para a elucidação de questões judiciais, proporcionando explicações de crimes, não só em razão da materialização de provas e comprovação de autoria, mas também para consignação da inocência.

Cientistas partem do princípio de que qualquer tipo de contato deixará um vestígio e de posse das pistas, é possível o início de análises, que devem dispor de equipamentos com sensibilidade e exatidão apropriadas para cada caso a ser analisado.

A química forense traz benefícios à sociedade dispondo da ciência e tecnologia não apenas ao sistema de segurança pública e justiça criminal, ou seja, a química forense não está vinculada apenas a ocorrências policiais como assassinatos, envenenamento, etc., mas também a serviço dos direitos humanos, como perícias industriais, perícias ambientais, *doping* desportivo, etc.

Diante disso, pode-se concluir que a química forense apresenta grande importância na área da criminalística, para a preservação da justiça, visto que ela proporciona a leitura da realidade investigada, apresentando resultados exatos e precisos que levam a solução de um crime.

O presente trabalho enfatizou o uso de métodos instrumentais, por acreditar que estes são de fundamental importância no contexto de investigações da área criminalística.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA MUNDIAL ANTI-DOPING. **Código Mundial Antidopagem**. 2003. 58p. Disponível em: < [http://www.wada-ama.org/static/PDF/OtherLanguages/world\\_anti-doping\\_code\\_version3\\_port.pdf](http://www.wada-ama.org/static/PDF/OtherLanguages/world_anti-doping_code_version3_port.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2011.

ALVES, L. Alunos online. Aminas estimulantes, c2006-2011. Disponível em: < <http://www.alunosonline.com.br/quimica/aminas-estimulantes-/>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

ÁVILA, E. F.; ORTIZ, R. S. Identificação de cocaína. **Perícia Federal**, Brasília, ano VI, n. 20, jan./abr. 2005. Disponível em: <<http://www.apcf.org.br/LinkClick.aspx?fileticket=algIAOGQxGA%3D&tabid=81>> Acesso em: 14 fev. 2011.

BRANCO, R. P. O. **Química forense sob olhares eletrônicos**. Campinas, SP: Millennium Editora, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº 96, de 08 de novembro de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 nov. 2000. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2000/96\\_00rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2000/96_00rdc.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2011.

BRUCE, P. Y. **Química Orgânica**: volume 1. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CARDOSO, H. I.; ROSSI, R. O doping em cavalos e seus efeitos tóxicos. **Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Quarto de Milha**, c2010. Disponível em: <<http://www.abqm.com.br/secaotecnica/Antidoping.htm>>. Acesso em: 02 jun 2011.

CAZENAVE, S. O. S. Intoxicações por drogas sintéticas. In: CONGRESSO DA FEDERAÇÃO FARMACÊUTICA SUL – AMERICANA, 14., Porto Alegre: PUCRS, 2010. **Anais eletrônicos...**, Porto Alegre: PUCRS, 2010. Disponível em: < [http://www.cfrs.org.br/cfrs/dados/INTOXICACOES\\_POR\\_DROGAS\\_SINTETICAS.pdf](http://www.cfrs.org.br/cfrs/dados/INTOXICACOES_POR_DROGAS_SINTETICAS.pdf)>. Acesso em: 2 maio 2011.

CHEMELLO, E. Ciência forense: balística. **Química virtual**, fev. 2007. Disponível em: <[http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2007fev\\_forense3.pdf](http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2007fev_forense3.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2009.

CHEMELLO, E. Ciência forense: impressões digitais. **Química virtual**, dez. 2006. Disponível em: < [http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2006dez\\_forense1.pdf](http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2006dez_forense1.pdf)>. Acesso em: 8 dez. 2009.



CHEMELLO, E. Ciência forense: manchas de sangue. **Química virtual**, jan. 2007.

Disponível em: <[http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2007jan\\_forense2.pdf](http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2007jan_forense2.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2010.

DÂMASO, A. **Nutrição e exercício na prevenção de doenças**. Rio de Janeiro: Medsi, 2001.

DEGANI, A. L.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia: um breve ensaio. **Química Nova na Escola**, São Carlos, n. 7, maio 1998. Seção Atualidades em Química. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc07/actual.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

DROGAS dopaminérgicas-noradrenérgicas. **Psicofarmacos.info**, c2006-2011. Disponível em: <<http://www.psicofarmacos.info/?contenido=drogas&farma=Efedrina>>. Acesso em: 19 set. 2010.

ESCOLA SUPERIOR DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE SÃO PAULO. Exame residuográfico. **Centro de estudos e aperfeiçoamento funcional**, [200-]. Disponível em: <[http://www.esmp.sp.gov.br/estagiarios/material\\_apoio/quimica\\_forense.pdf](http://www.esmp.sp.gov.br/estagiarios/material_apoio/quimica_forense.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2010.

FACHONE, P. VELHO, L. Ciência forense: interseção justiça, ciência e tecnologia. **Revista tecnologia e sociedade**, Curitiba, n. 4, dez. 2008. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/ct/tecnologiasociedade/index.php/000/article/viewArticle/56>>. Acesso em: 7 ago. 2010.

FARIAS, R.F. **Introdução à química forense**. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

GALINDO, C. T. **A aplicação da química no contexto da perícia criminal**. Natal: Faculdade Câmara Cascudo, 2010. Disponível em: <<http://www.segurancacidade.org.br/index.php>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

GARCIA, P. R.; YONAMINE, M.; MOREAU, R. L. M. Determinação de efedrinas em urina por cromatografia em fase gasosa (CG/DNP) para o controle da dopagem no esporte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 3, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v41n3/a08v41n3.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

GARCIA, H. C.; JÚNIOR, A. M. S.; SANTOS, H. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Caracterização qualitativa de drogas ilícitas utilizando espectroscopia vibracional (Infravermelho e Raman). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 31., 2008, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...**, Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Química, 2008. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T0043-1.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

HERNANDES, N. A verdade por A + B. A química que desvenda crimes. **Jornal do conselho regional de química IV região**, São Paulo, ano 17, n. 93, set./out. 2008. Disponível em: <[www.crq4.org.br/sms/includes/download.php?file=files/info93.pdf](http://www.crq4.org.br/sms/includes/download.php?file=files/info93.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2009.

LANARO, R.; COSTA, J. L.; FILHO, L. A. Z.; CAZENAVE, S. O. S. Identificação química da clorofenilpiperazina (CPP) em comprimidos apreendidos. **Química Nova**, Campinas, n. 3, vol. 33, 2010. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2010/vol33n3/41-NT09174.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2011.

LARINI, L. **Toxicologia dos inseticidas**. São Paulo: Sarvier, 1979.

LAYTON, J. HowStuffWorks Brasil. **Como funcionam as investigações de cena do crime**. 2005. Disponível em: <<http://pessoas.hsw.uol.com.br/investigacoes-da-cena-do-crime7.htm>>.

MC MURRY, J. **Química Orgânica**. 4. ed. Rio de Janeiro: L.T.C. Editora Ltda, 1997.

NEGRINI NETO, O. **Os laboratórios criminalísticos na moderna investigação policial**. 2009. Disponível em: <<http://www.perito.blog.br/perito.php?ind=laboratorios-criminalisticos-na-moderna-investigacao>>. Acesso em: 10 set. 2010.

OGA, S; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.

OLIVEIRA, M. F. Química forense: a utilização da química na pesquisa de vestígios de crime. **Química nova na escola**, n. 24, nov. 2006. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/ccd2.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2009.

ONU: cresce o mercado mundial de drogas sintéticas. **Correio do Brasil**, Rio de Janeiro, 24 jun. 2009. Disponível em: <<http://correiodobrasil.com.br/onu-cresce-o-mercado-mundial-de-drogas-sinteticas/151617/>>. Acesso em: 2 maio 2011.

PASSAGLI, M. **Toxicologia forense: teoria e prática**. Campinas: Millennium Editora, 2008.

PINHEIRO, R. **Explosivos**. Santa Maria: UFSM, 2008. 28p. Material didático. Disponível em: <[http://www.ufsm.br/engcivil/Material\\_Didatico/TRP1002\\_Mat\\_para\\_infraestrutura\\_de\\_trasp/notas\\_de\\_aula/Explosivos.pdf](http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1002_Mat_para_infraestrutura_de_trasp/notas_de_aula/Explosivos.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2011.

QUÍMICA a serviço da investigação. **Química hoje: revista da federação nacional dos profissionais da química**, n. 9, ago. 2007. Disponível em:  
<<http://www.ageventos.com.br/downloads/qh09.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2009.

SCHVARTSMAN, S. **Intoxicações agudas**: volume III. São Paulo: Sarvier, 1971.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRIL, T. C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: L.T.C. Editora Ltda, 1994.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Faculdade de ciência e tecnologia. Fundamentos. **Labvirtual**, c2007. Disponível em:  
<[http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=103&Itemid=451](http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=103&Itemid=451)>. Acesso em: 24 fev. 2011.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Laboratório de engenharia eletroquímica. Faculdade de engenharia mecânica. Aparelho para cromatografia líquida de alta eficiência - HPLC. **Unicamp.br**, c1994-2011. Disponível em:  
<<http://www.fem.unicamp.br/~lee/hplc.htm>> Acesso em: 12 maio 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Núcleo de análises e pesquisas orgânicas. **NAPO – Equipamentos**. [200-]. Disponível em:  
<<http://www.ufsm.br/napo/NapoEQUIPM.html>>. Acesso em: 24 fev. 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Riscos de Incêndios. **Ufrj.br**, c2008-2011. Disponível em:  
<<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/fogo.htm>>. Acesso em: 12 maio 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Central de análises químicas. Instituto de química de São Carlos. Sala de Microscopia Eletrônica de Varredura. **Usp.br**, c1997-2011. Disponível em: <<http://caqi.iqsc.usp.br/sala-de-microscopia-eletronica-de-varredura/>>. Acesso em: 16 abr 2011.

VALIATI, V. Doping: a química vai ao Pan. **Revista da Federação Nacional dos Profissionais da Química**, Brasília, n. 7, jan./mar. 2007, p. 14.

VOGEL, A. I. **Análise química quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: L.T.C. Editora Ltda, 2008.

ZARZUELA, J. L. **Impressão digital: reveladores.** [2009?]. Disponível em:  
<<http://www.peritocriminal.com.br/jlzarzuela.htm>> Acesso em: 08 dez. 2009.

YONAMINE, M; MARCOURAKIS. **A faculdade de ciências farmacêuticas da USP e o controle antidoping no esporte.** 2010. Disponível em:  
<<http://www.olimpiadas2016.usp.br/?p=89>>. Acesso em 24 fev. 2011.

WIKIPEDIA. Trinitrotolueno. 2011. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/TNT>>.  
Acesso em: 12 maio 2011.

WIKIPEDIA. Trinitrocelulose. 2011. Disponível em:  
<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Trinitrato\\_de\\_celulose](http://pt.wikipedia.org/wiki/Trinitrato_de_celulose)>. Acesso em: 12 maio 2011.

WIKIPEDIA. Nitroglicerina. 2011. Disponível em:  
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nitroglicerina>>. Acesso em: 12 maio 2011.