

Campus Realengo

Graduação em Farmácia

**Pâmela Mônica Chalfun Marinho**

O cabelo como matriz biológica nas  
análises toxicológicas forenses: uma  
revisão na literatura.

Rio de Janeiro

2022

PÂMELA MÔNICA CHALFUN MARINHO

**O CABELO COMO MATRIZ BIOLÓGICA NAS ANÁLISES TOXICOLÓGICAS  
FORENSES: UMA REVISÃO NA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal do Rio de  
Janeiro, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Bacharel em  
Farmácia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mariana Martins  
Gomes Pinheiro

Rio de Janeiro

2022

CIP - Catalogação na Publicação

M337c Marinho, Pâmela Mônica Chalfun

O cabelo como matriz biológica nas análises toxicológicas forenses: uma revisão na literatura / Pâmela Mônica Chalfun Marinho - Rio de Janeiro, 2022.  
33 f. 30 cm.

Orientação: Mariana Martins Gomes Pinheiros.

Trabalho de conclusão de curso (graduação), Bacharelado em Farmácia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Realengo, 2022.

1. Cabelo como matriz biológica.. 2. Toxicologia Forense.. 3. Cabelo para análise toxicológica. I. Pinheiros, Mariana Martins Gomes, **orient.** II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. III. Título

Elaborado pelo Módulo Ficha Catalográfica do Sistema Intranet do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - Campus Volta Redonda e Modificado pelo Campus Nilópolis/LAC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecária: Viviane Araujo da Silva - CRB7 4577

PÂMELA MÔNICA CHALFUN MARINHO

**O CABELO COMO MATRIZ BIOLÓGICA NAS ANÁLISES TOXICOLÓGICAS  
FORENSES: UMA REVISÃO NA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto Federal do Rio de Janeiro, como  
requisito parcial para a obtenção do grau de  
Bacharel em Farmácia.

Aprovado em: 10/08/2022.

Banca Examinadora:



---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mariana Martins Gomes Pinheiro  
(Orientadora – IFRJ / *Campus* Realengo)



---

Prof. Msc. Diego Rissi Cavallhosa  
(Membro Externo – Perito Legista Toxicologista – Secretaria de Polícia Civil do  
Estado do Rio de Janeiro / PCRJ)



---

Prof<sup>a</sup>. MSc. Silvana Machareth Santiago  
(Membro Interno - IFRJ / *Campus* Realengo)

Rio de Janeiro  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

“Deem graças em todas as circunstâncias, pois esta é a vontade de Deus para vocês em Cristo Jesus”.

I Tessalonicenses 5:18.

Aprendi que os agradecimentos da vida devem ser feitos independentemente de não termos gostado de determinado fato. A produção deste trabalho e a conclusão de mais um ciclo de aprendizado é um fato que agradeço com felicidade e certo sentimento de alívio por mais um dever cumprido. Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de passar mais esta experiência que será de grande valor para minha vida profissional.

Também agradeço a minha mãe, Mônica Marinho, ao meu pai, Wagner Marinho, e irmãos, Wagner Junior e Lázaro Marinho, pelo apoio e compreensão durante todos os anos no curso de Farmácia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

*“A fé é a certeza das coisas que se esperam,  
e a prova das coisas que não se veem.”*

Hebreus 11:1

MARINHO, P. M. C. O cabelo como matriz biológica nas análises toxicológicas forenses: uma revisão na literatura. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Farmácia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Realengo, Rio de Janeiro, RJ, 2022.

## RESUMO

A Toxicologia Forense tem por objetivo verificar o envolvimento de substâncias tóxicas em casos de envenenamento e até morte, algumas consideradas suspeitas como violenta ou por suicídio. É muito empregada no meio criminal para auxiliar no esclarecimento de fatos que apresentam interesse médico-legal em serviços da Justiça. Visando detectar, quantificar e/ou interpretar os achados de agentes tóxicos relacionadas a determinadas investigações criminais utiliza uma ampla variedade de amostras biológicas. Após revisão bibliográfica sobre a Toxicologia Forense e o emprego do cabelo como matriz biológica para análise e identificação de substâncias encontradas na fibra capilar em condições normais. O presente estudo busca apresentar as vantagens e desvantagens da matriz capilar, dentre as outras possíveis amostras biológicas utilizadas nas análises toxicológicas forense. O cabelo é apontado pelas pesquisas como uma amostra biológica capaz de fornecer informações temporais do uso de drogas e/ou medicamentos, dentre outros tóxicos relacionados à casos de exposição voluntária, acidentais ou mesmo criminosos. Os estudos e pesquisas na área demonstram que a natureza da fibra do cabelo está diretamente relacionada com a capacidade da droga de se fixar no fio de cabelo; o que ocasiona uma das principais dificuldades na utilização desta amostra biológica em alguns casos específicos, a depender das características físico-químicas quanto a compatibilidade aos componentes naturais da fibra capilar, o que afetaria os testes toxicológicos. Dessa forma, o resultado dessa breve revisão na literatura trouxe novas abordagens toxicológicas e suas contribuições para a Toxicologia Forense.

Palavras-chave: Cabelo como matriz biológica. Toxicologia forense. Cabelo para análise toxicológica.

MARINHO, P. M. C. Hair as a biological matrix in forensic toxicological analyses: a review in the literature. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Farmácia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Realengo, Rio de Janeiro, RJ, 2022.

### **ABSTRACT**

Forensic Toxicology aims to verify the involvement of toxic substances in cases of poisoning and even death, some considered suspected as violent or by suicide. It is widely used in the criminal environment to assist in clarifying facts that present medical-legal interest in justice services. In order to detect, quantify and/or interpret the findings of toxic agents related to certain criminal investigations, it uses a wide variety of biological samples. After a literature review on Forensic Toxicology and the use of hair as a biological matrix for analysis and identification of substances found in hair fiber under normal conditions. The present study seeks to present the advantages and disadvantages of the capillary matrix among the other possible biological samples used in forensic toxicological analyses. Hair is pointed out by research as a biological sample capable of providing time information on the use of drugs and/or medications, among other toxicants related to cases of voluntary, accidental, or even criminal exposure. Studies and research in the field show that the nature of hair fiber is directly related to the drug's ability to attach itself to the hair, which causes one of the main difficulties in the use of this biological sample in some specific cases, depending on the physicochemical characteristics regarding compatibility with the natural components of the hair fiber, which would affect toxicological tests. Thus, the results of this brief review in the literature brought the new toxicological approaches and their contributions to Forensic Toxicology.

Keywords: Hair as biological matrix. Forensic toxicology. Hair for toxicological analysis.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBN	Canabinol
CG-EM	Cromatografia em fase gasosa acoplada a espectroscopia de massa
cm	centímetro
DFC	Drogas Facilitadoras de Crime
GHB	Ácido Gama-Hidroxitirato
ISO/IEC	International Organization of Standardization em conjunto com a International Electrotechnical Commission
LLE	Extração Líquido-Líquido
LSD	Dietilamida do Ácido Lisérgico
MDMA	3,4- metilendioximetanfetamina
MEKC	Cromatografia capilar eletrocínética micelar
RIA	Radioimunoensaio
SPE	Extração em Fase Sólida
THC	Tetrahidrocanabinol

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1	MATRIZ CAPILAR NA TOXICOLOGIA FORENSE .....	10
1.2	OBJETIVO .....	12
1.2.1	Objetivo geral .....	12
1.2.2	Objetivos específicos .....	12
1.3	METODOLOGIA .....	13
<b>2.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	14
2.1	RESULTADO E DISCUSSÃO .....	14
<b>3.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MATRIZ CAPILAR NA TOXICOLOGIA FORENSE

A toxicologia é a ciência que estuda os efeitos nocivos de substâncias químicas em organismos vivos, busca prevenir intoxicações e os seus efeitos adversos, em que, uma vez instaurada a intoxicação, passa a ter como objetivo identificar, diagnosticar, tratar e/ou atenuar os efeitos nocivos e estabelecer o prognóstico (SILVA, 2020). Segundo Pritsch (2020), a intoxicação pode ser entendida como o resultado de um desequilíbrio fisiológico provocado pela exposição a um ou mais xenobióticos. A identificação de uma intoxicação pode ser difícil, uma vez que os sinais e sintomas relacionados em sua maioria não são específicos ou devido a presença de toxicantes que são capazes de produzir efeitos maléficos em baixa concentração no organismo. Essa falta de especificidade e/ou necessidade de técnicas mais complexas torna a identificação do toxicante mais dificultosa. Assim, para determinação dos agentes tóxicos através da análise toxicológica são aplicadas técnicas e métodos analíticos, em que se faz necessária a escolha de uma matriz biológica que permita identificar o toxicante (SILVA, 2020; PRITSCH, 2020).

O médico espanhol e Doutor pela Universidade de Paris Mateu Josep Bonaventura Orfila Rotger (1787-1853), conhecido apenas como Orfila, foi o primeiro toxicologista voltado para o esclarecimento de mortes relacionadas a substâncias químicas, e para isso associava material colhido em autópsia com análise química sistemática para compreensão de casos de envenenamento de interesse legal. Os trabalhos de Orfila resultaram na obra conhecida como *“Traité des poisons”* ou *“Tratado dos Venenos”*, que norteia a toxicologia analítica conhecida atualmente. A partir de observações anatômicas, feitas durante autópsias, obteve informações sobre os sintomas de venenos e os possíveis antídotos, bem como, a introdução de métodos de análises químicas voltadas para prática forense (CARVALHO; FONTES; LIMA; FUZINATO, 2014).

Assim, a toxicologia forense, um campo de atuação da Toxicologia, tem por objetivo verificar a administração de substâncias químicas em casos de morte classificada como violenta ou com suspeitas de violência, auxiliando no esclarecimento de fato que apresentam interesse médico-legal. É considerada uma

ciência interdisciplinar, que demanda por conhecimentos de diferentes áreas científicas e experimentais, como a química analítica, a toxicologia analítica e a farmacologia, visando detectar, quantificar e/ou interpretar os achados de agentes tóxicos em uma ampla variedade de amostras biológicas que estejam relacionadas às investigações criminais, de modo a auxiliar aos serviços da justiça (PRITSCH, 2020).

A prática forense é de suma importância para alcançar a materialização de um crime, já que seus achados podem auxiliar na elucidação de eventos relacionados aos fatos investigados. De forma direta, é a aplicação da toxicologia para os propósitos da lei, que pode ser subdividida em outras 3 áreas de atuação: toxicologia para teste de drogas de interesse forense, toxicologia para avaliação de desempenho humano e toxicologia post mortem. Esta última é empregada para identificar a presença de álcool, drogas ou substâncias tóxicas que podem ter causado ou contribuído para a morte de um indivíduo (DORTA, 2018). Atualmente, há uma demanda da aplicação dessa ciência tendo em vista a crescente tendência do consumo de drogas e/ou medicamentos não-medicinais (ARAÚJO, 2016). Também para avaliar alteração do desempenho psicomotor em motoristas, com o advento da Lei seca (Lei 11.705 de 19 de junho de 2008) e Lei dos caminhoneiros (Lei 13.103 de 2 de março de 2015).

Para que a análise toxicológica na prática forense aconteça é necessário a coleta de uma amostra biológica, também chamada de matriz biológica, que pode ser classificada em convencional ou não convencional. As matrizes biológicas convencionais são urina e sangue. Já as não convencionais também denominadas de amostras alternativas são o ar exalado, saliva, cabelo, pelos, unhas, suor, conteúdo gástrico, mecônio, humor vítreo, fígado, cérebro, entre outros órgãos ou tecidos (LANGER, 2019).

Dentro das amostras não convencionais o cabelo tem mostrado crescente utilidade na prática forense. A análise do cabelo teve seu primeiro estudo publicado em 1858 por Hoppe, que conseguiu identificar arsênio a partir da amostra de cabelo de um cadáver exumado de 11 anos. Tal fato deu início a análise de cabelo para a identificação de metais pesados, sendo os principais xenobióticos o arsênio, chumbo e mercúrio. Apenas na década de 80, com advento de técnicas mais específicas e sensíveis, como radioimunoensaio (RIA) e a cromatografia gasosa acoplada a

espectroscopia de massa (CG-EM), as substâncias orgânicas puderam ser identificadas (GORDO, 2013; MORENO, 2021).

O primeiro estudo publicado demonstrando a identificação de uma substância orgânica ocorreu em 1979, quando o pesquisador Baumgartner e colaboradores através do método de RIA detectaram a molécula da morfina a partir de amostras de cabelo provenientes de usuários de heroína. Os pesquisadores na época conseguiram correlacionar os resultados com a exposição dos indivíduos à heroína em determinados períodos, por detectarem diferentes concentrações do xenobióticos ao longo do comprimento do cabelo (MORENO, 2021).

Com maiores avanços tecnológicos na identificação de substâncias orgânicas a partir de amostras biológicas de cabelo tem ganhado espaço dentro da Toxicologia Forense. Nos últimos anos, o cabelo se tornou uma relevante matriz para análise toxicológica capaz de determinar a exposição ocupacional e ambiental a substâncias tóxicas, bem como servir de indicativo do estado nutricional de um indivíduo ou, quando na falta de algum mineral e na presença de doenças, auxiliando no diagnóstico precoce (WOLOWIEC *et al.*, 2013).

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso do cabelo como matriz biológica aplicada na Toxicologia Forense.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer os principais parâmetros que constituem o cabelo como matriz biológica adequada e eficaz na identificação de agentes toxicantes;
- Apontar os principais testes toxicológicos realizados com matriz capilar;
- Identificar as limitações da análise toxicológica com tal material biológico;
- Apresentar as vantagens e desvantagens no emprego da matriz capilar nas análises toxicológicas.

### 1.3 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão da literatura científica com o objetivo de abordar sobre o uso do cabelo como amostra biológica em toxicologia forense.

O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses de novembro de 2021 a junho de 2022 nas seguintes bases de dados científicas Lilacs, Scielo, PubMed e Google Acadêmico. As palavras-chaves toxicologia, toxicologia forense, cabelo como amostras biológicas e cabelo como matriz biológica foram pesquisadas de forma isolada e em diferentes combinações fazendo uso do operador booleano AND. Como critérios de inclusão foram considerados relevantes artigos em idiomas português, espanhol e inglês. A partir de uma leitura exploratória com base no título e no resumo, de 40 artigos encontrados foram selecionados 25 artigos para o desenvolvimento deste trabalho de acordo com os critérios de inclusão.

## 2. DESENVOLVIMENTO

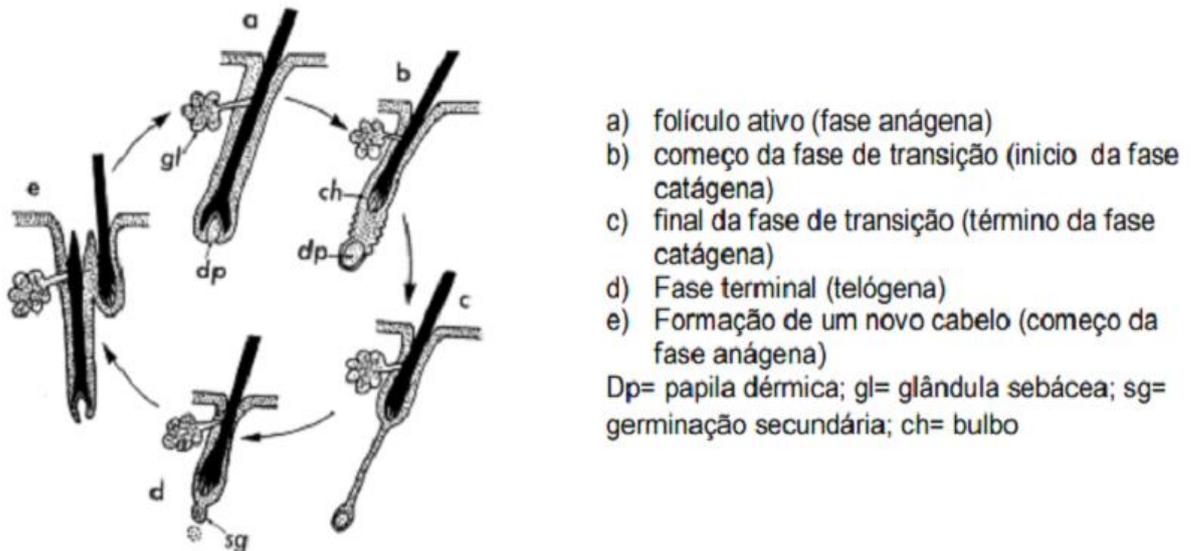
### 2.1 RESULTADO E DISCUSSÃO

A composição e a forma como a fibra capilar é nutrida se relaciona diretamente à incorporação de determinados xenobióticos nesta matriz biológica. A depender da característica físico-química das substâncias presentes na fibra pode-se observar maior ou menor interação e incorporação de determinadas substâncias tóxicas, fazendo com que algumas substâncias sejam mais facilmente identificadas que outras, estabelecendo os limites de detecção. Desta forma, o toxicologista terá um indicativo sobre qual o toxicante pode ser identificado e detectado na matriz capilar coletada e aplicando a técnica apropriada ao caso.

O cabelo possui três fases: anágena, catágena e telógena. O período de crescimento dos fios de cabelo, corresponde a fase anágena e dura de três a seis anos, com taxa média de crescimento de 0,3-0,4 mm/dia (0,9 – 1,2 cm/mês). Na fase catágena ocorre a transição entre o crescimento ativo e o estágio estacionário. Já o repouso, ou período estacionário ocorre na fase chamada de telógena, que pode durar de dois a três meses (PRAGST e BALIKOVA, 2006; KÖHLER, 2011; DOMINGUES, 2015; OLIVEIRA, 2021).

Na fase anágena há o desenvolvimento e crescimento do cabelo, onde a papila do folículo está em íntimo contato com os vasos sanguíneos permitindo que substâncias presentes nos fluidos circulares sejam absorvidas pelo cabelo. Em sequência a fase catágena, uma transição na produção mais lenta de células e retração do folículo resultando na formação na superfície inferior de uma estrutura tipo de “saco” contendo células potenciais da papila dérmica, do qual o bulbo fica ligeiramente ligado. A duração é rápida, cerca de semanas, por ser uma fase transitória. Na fase terminal do ciclo, telógena, o folículo piloso é completamente retraído, ficando a base fica mais próxima da superfície da pele, processo que dura cerca de 100 dias. Se esse fio de cabelo, com a base mais próxima da pele, não cair será possível notar o nascimento de outro fio saindo de um mesmo folículo pela germinação secundária (Figura 1) (MELLO, 2011).

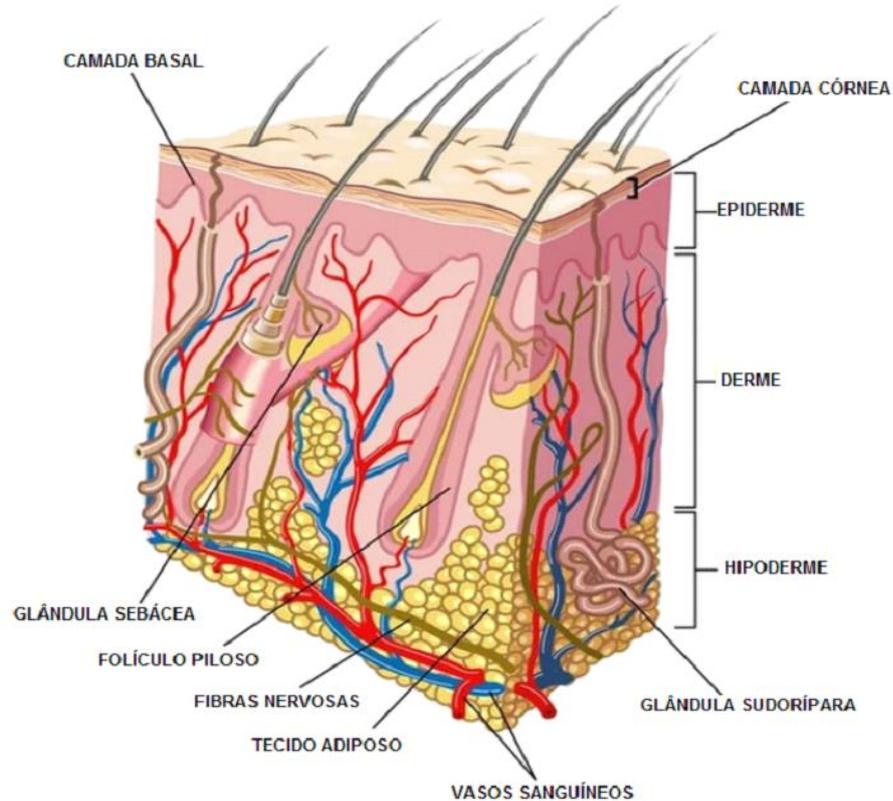
Figura 1 - Ciclo do folículo piloso.



Fonte: Mello, 2011.

O couro cabeludo é uma estrutura de mais de 100.000 folículos pilosos, que em cada um desses cresce aproximadamente 20 novas fibras de cabelo durante toda a vida de um indivíduo (FERNANDES, 2013).

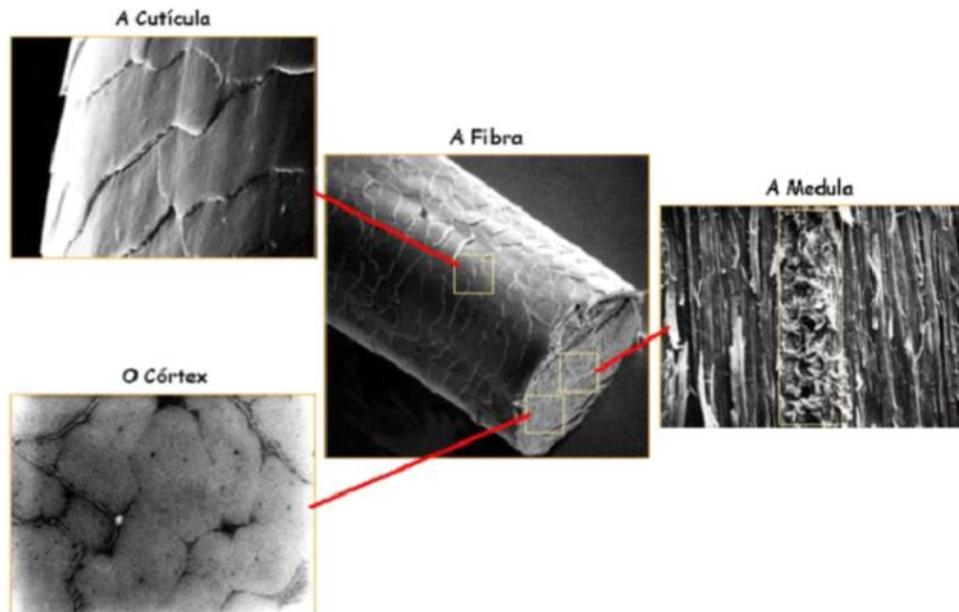
A pele do couro cabeludo pode ser dividida em três camadas, hipoderme, derme e epiderme. A hipoderme é a mais profunda e fica debaixo da derme, possui como principal função a regulação térmica do corpo. A derme situa-se abaixo da epiderme, apresenta folículos pilosos, músculos eretores do pelo, glândulas sudoríparas e sebáceas, vasos sanguíneos e nervos. As células da derme sintetizam colágeno e elastina. Já a epiderme é a camada mais externa e dividida em outras cinco subcamadas: camada basal, camada espinhal, camada granular, estrato lúcido e estrato córneo. Na epiderme, 95% correspondem aos queratinócitos, enquanto os outros 5% correspondem aos melanócitos, células de Langerhans e células de Merkel. É abaixo da superfície da estrutura da pele que se encontram os folículos pilosos, onde se origina o fio de cabelo (Figura 2) (MICHALUN, 2009).



Fonte: Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, 2015.

O cabelo pode ser dividido em haste, parte da fibra capilar que fica exposta, e em raiz, porção interna do cabelo que fica abaixo da superfície da pele. A raiz parte do folículo piloso envolto por uma estrutura côncava chamada de papila dérmica envolta por vasos sanguíneos que fornecem nutrientes fundamentais para o crescimento capilar. Na porção mais interna do folículo piloso encontram-se as células germinativas, que promovem a formação da queratina, da melanina e demais estruturas necessárias à formação do cabelo (Figura 3) (DOMINGUES, 2015).

Figura 3 – Micrografia das camadas da fibra capilar.



Fonte: Kohler, 2011.

O cabelo possui suas estruturas formadas pelas células queratinizadas, em forma de camadas e é possível encontrar as regiões da cutícula, córtex e medula (CARNEIRO; JUNQUEIRA, 2013). Quanto às proteínas presentes nas estruturas do cabelo tem-se a queratina, a elastina e o colágeno. A queratina proporciona à fibra capilar resistência, elasticidade e impermeabilidade à água. A elastina é uma proteína fibrilar elástica que junto ao colágeno forma uma importante ligação capaz de manter os cabelos saudáveis. Já o colágeno funciona promovendo a união das células que dão a forma do cabelo e também são responsáveis por promover elasticidade e resistência aos fios (KÖHLER, 2011).

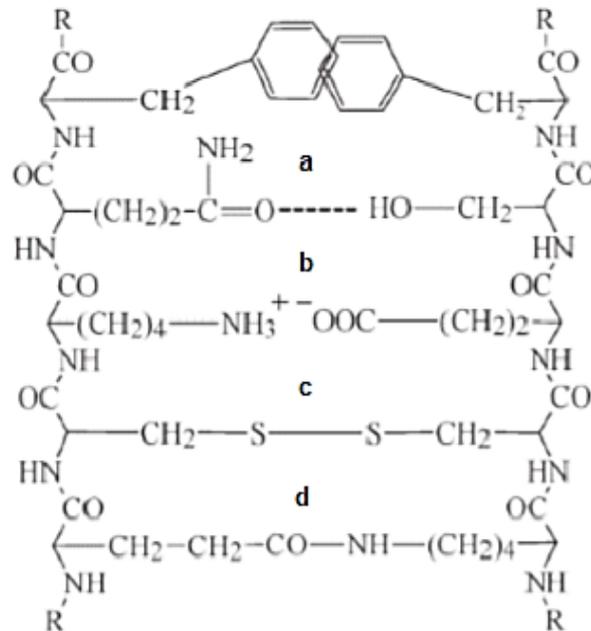
Na parte mais externa da fibra capilar fica a região da cutícula, é o revestimento externo. São as células que formam as “escamas”, células pequenas e sem cor unidas por material lipídico, que se sobrepõem formando camadas de três a dez células. Essas células têm função de proteger o córtex, por estarem mais exposta é a que sofre com mais agressões externas, como raios solares, poluição, chuva; ações mecânicas, ato de pentear o cabelo; e transformações químicas, alisamentos e colorações (PRAGST e BALIKOVA, 2006; KÖHLER, 2011). Abaixo da cutícula encontra-se o córtex, essa camada pode ser dita como a parte principal da fibra capilar representando cerca de 65 a 95% do peso da fibra capilar, formado por células

cilíndricas compostas por queratina. A capacidade de resistência do fio e a elasticidade dependem do córtex, também apresenta os chamados grãos de melanina responsáveis pela cor do cabelo (PRAGST e BALIKOVA, 2006). Já a camada mais interna, na parte central do cabelo, encontra-se a medula, ou o canal medular. Geralmente a medula é descontínua ou ausente, pois as células que a compõem se degeneram rapidamente e deixam espaço para bolhas de ar (PRAGST e BALIKOVA, 2006; KÖHLER, 2011).

As chamadas  $\alpha$ -queratinas se entrelaçam de modo que ocorra uma interação capaz de formar filamento. Esses se alinham em paralelo, ao comprimento do fio, e formam microfibrilas, que são envolvidas por uma matriz amorfa. Assim, tem-se a formação da maior parte de um fio de cabelo, com cerca de 80% da massa do fio e é denominada córtex. Nele encontra-se água, lipídeos, grânulos de melanina e traços de metais, possui um revestimento de 6 a 10 camadas de células sobrepostas, com formato de escamas, essas são ditas cutícula. As cutículas promovem uma barreira externa transparente com função protetora, ou seja, as cutículas protegem o córtex e controlam a entrada e a saída de água do fio de cabelo (OLIVEIRA, 2013).

As interações químicas encontradas no córtex da fibra capilar são ligação de dissulfeto, ligação de hidrogênio e ligação iônica. As ligações de dissulfeto são formadas entre dois grupos tiol (-SH), provenientes de duas moléculas do aminoácido cisteína. Tais grupos tióis formam uma ligação covalente de dissulfeto (-S-S-), característica da molécula cistina. As ligações de hidrogênio ocorrem entre um átomo de hidrogênio de um grupo hidroxila (-OH) e outro átomo de oxigênio de grupo carbonila, ambos provenientes de aminoácidos. Já as ligações iônicas são formadas por atração eletrostática e são rompidas facilmente pela ação da água quando o cabelo é umedecido (KÖHLER, 2011). Também estão presentes as ligações peptídicas, que promovem interações entre aminoácidos. Assim, considera-se a fibra de cabelo como um polímero biológico composto de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. Na Figura 4, é possível observar as interações evidenciadas entre as cadeias laterais de aminoácidos (OLIVEIRA, 2013).

Figura 4 - Interações entre cadeias laterais de aminoácidos.

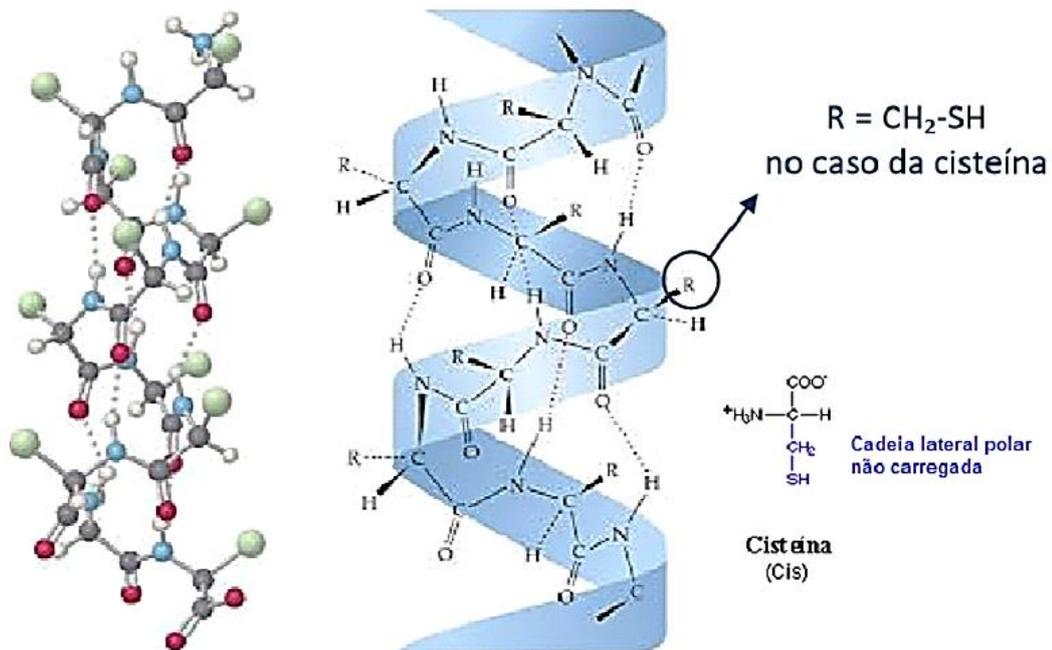


a – Ligação de hidrogênio; b – Interação eletrostática (ligação iônica); c – Ligações dissulfeto; d – Ligações peptídicas.

Fonte: OLIVEIRA, 2013.

A parte da fibra capilar visível é constituída por uma proteína com forma de hélice, a  $\alpha$ -queratina, unida por ligações dissulfeto. A  $\alpha$ -queratina apresenta estrutura espiralada devido às ligações de hidrogênio formadas entre o hidrogênio e o oxigênio dos grupos N-H e C=O. Essas interações conferem estabilidade, resistência mecânica e forma ao fio de cabelo (Figura 5) (KÖHLER, 2011; OLIVEIRA, 2013).

Figura 5 - Estrutura da queratina.



Fonte: Oliveira, 2013.

A nutrição do cabelo se dá pela relação existente entre as glândulas sebáceas, sudoríparas e apócrinas, são denominadas de glândulas secretoras, que permitem a transferência e incorporação de substâncias presentes na circulação sanguínea para a estrutura capilar. Nesse sentido, presume-se que, à medida que os fios crescem, as substâncias são transportadas e fixadas ao longo do fio. A composição química natural do cabelo inclui água (15-35%), lipídios (19%), minerais (<1%) e proteínas ricas em glicina (65-95%), treonina, ácido aspártico, ácido glutâmico, lisina e cisteína. Sendo a queratina, a proteína mais abundante, rica em cisteína, aminoácido rico em enxofre (OLIVEIRA, 2021). Dentre os demais elementos que constituem a química do cabelo estão o carbono (43,72%), oxigênio (29,93%), nitrogênio (15,60%), hidrogênio (6,34%) e enxofre (4,85%). Podem também estar presentes no cabelo o ferro, cobre, zinco, iodo, cobalto e alumínio (KÖHLER, 2011).

Os estudos científicos a respeito da incorporação de xenobióticos na fibra capilar, descrevem o modelo multicompartmentado como o mais aceito. Neste modelo

as substâncias se incorporam ao cabelo de três maneiras diferentes: pela circulação sanguínea durante a formação da fibra capilar, a partir da glândula sudorípara e do ambiente externo, sendo estas últimas após a formação do cabelo. Quanto à incorporação de xenobióticos no cabelo após ele já ter sido formado, os estudos indicam que a deposição não é tão efetiva, já que pode ser removida facilmente (USMAN *et al.*, 2019).

A compreensão do processo de incorporação de xenobióticos na matriz capilar está baseada em aspectos toxicocinéticos de distribuição e/ou armazenamento dos xenobióticos, processo que pode influenciar na deposição de determinadas substâncias no cabelo. As moléculas orgânicas lipofílicas, não carregadas, apresentam uma facilidade para permear as membranas celulares e se difundem em favor do gradiente de concentração. Enquanto moléculas hidrofílicas ou íons orgânicos de massa molecular média, por não possuírem essa facilidade, tem as membranas celulares como barreira impermeável que impede sua passagem. A característica de maior acidez ou alcalinidade de uma substância ionizadas em pH fisiológico apenas pode atingir a célula matriz após a desoneração (para as básicas) ou protonação (para as ácidas) a um estado neutro. Alguns estudos ainda apontam que algumas substâncias podem ser depositadas com um tempo de atraso por via sanguínea ou a partir de compartimentos profundos da pele durante a formação do eixo capilar (PRAGST e BALIKOVA, 2006).

Na incorporação por meio da glândula de suor e sebo após a formação do cabelo, os poros existentes no cabelo permitem a absorção de líquidos, o que facilita a transferência de xenobióticos do suor para o cabelo. Isso proporciona um aumento de cerca de 18% no peso do cabelo (GORDO, 2013). Alguns estudos corroboram com esse dado. Em um estudo utilizando um modelo de transferência de xenobióticos por meio do suor verificou ser possível detectar droga de abuso 2 horas depois e seguido de lavagem no cabelo ausente de drogas que fora exposto as mãos de um usuário de cocaína. Outros achados citam as análises *post mortem* que associam a presença de metilenodioximetanfetamina (MDMA) e morfina em cabelo devido suor excessivo fruto da hipertermia e a processos anafiláticos, o que deixa evidente a transferência destes compostos através do suor para o cabelo (GORDO, 2013).

A incorporação de xenobióticos a partir do ambiente externo está relacionada a contaminação externa seja por deposição de substâncias na superfície do cabelo, inalação passiva na forma de material particulado no ar e/ou fumaça, por meio da água, tratamentos cosméticos ou mesmo mãos contaminadas (GORDO, 2013; OLIVEIRA, 2021). Gordo em seu estudo (2013) observou que a exposição mesmo que por períodos curtos da fumaça da maconha é capaz de atingir valores detectáveis de canabinoides, tetrahydrocannabinol (THC) e canabinol (CBN) em cabelo humano.

O entendimento incompleto acerca da incorporação de xenobióticos ao cabelo traz algumas limitações ao uso dessa matriz nas análises toxicológicas. A natureza dos xenobióticos, como sua acidez/basicidade e hidrofiliabilidade/lipofiliabilidade e as características interindividuais podem influenciar o processo de incorporação a fibra capilar (PRAGST e BALIKOVA, 2006). Dentre as variáveis interindividuais, podemos destacar as características físicas e fisiológicas de um indivíduo, como etnia, teor de melanina no cabelo, taxa de crescimento capilar e duração do período de inatividade e até estar sob tratamento medicamentoso e/ou cosmético. Assim, alguns toxicantes podem não estar presentes no cabelo a níveis detectáveis mesmo o indivíduo tendo sido exposto a eles (PRAGST e BALIKOVA, 2006; LANDIM, 2019).

A literatura científica aponta que os testes e as análises toxicológicas feitas utilizando o cabelo como matriz biológica possui diversas aplicações. Atualmente as áreas de aplicação são Toxicologia Forense, Toxicologia Clínica, Medicina Ocupacional e controle de doping (USMAN, 2019). Landim e colaboradores (2019) reportaram a utilidade da análise capilar em complemento a outros testes convencionais de toxicantes em amostras de urina e sangue. Além disso, os autores destacam a obtenção a partir da análise capilar de um histórico mais preciso do uso, indicando dados de abuso e/ou uso indevido de drogas e elementos que possam compreender as circunstâncias do óbito (LANDIM, 2019).

De acordo com os estudos científicos os testes de identificação em matriz capilar e os objetivos de análise podem ser agrupados e definidos da seguinte forma, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Testes de identificação em matriz capilar e aplicação da análise.

Testes de identificação	Aplicação
Drogas Facilitadoras de Crimes (DFC)	Substâncias que devido sua atividade neuro depressora alteram a percepção e o comportamento da vítima que se torna vulnerável a atuação dos criminosos, como nos crimes de estupro, pedofilia, roubo e sequestros. Por meio da amostra capilar busca-se as substâncias utilizadas no ato criminoso. As drogas frequentemente utilizadas pelos criminosos são medicamentos hipnótico e sedativo, anestésicos, etanol e drogas recreativas, como maconha, dietilamina do ácido lisérgico (LSD), ácido hidroxibutirato (GHB) e ectasy (YAN <i>et al.</i> , 2021).
Desempenho Humano	Avaliação de amostras de cabelo que refletem o histórico de ingestão de drogas e/ou medicamentos pelos indivíduos a fim de aprimorar sua performance. Prática comum entre atletas, motoristas e estudantes. Dentro da chamada toxicologia do desempenho humano os testes podem ser especificados em: teste antidoping, teste de drogas no local de trabalho e teste de drogas no contexto do exame da capacidade de condução, sendo possível identificar algumas irregularidades e/ou constatar a regularidades quanto ao desempenho de atletas profissionais. Também permite verificar substâncias que interferem no desempenho físico e/ou psicológico humano, ocasionando consequências negativas para muitas atividades rotineiras (PRAGST, BALIKOVA, 2006; YAN <i>et al.</i> , 2021).
<i>Post mortem</i>	A partir das amostras de cabelo coletadas no cadáver durante a autópsia são realizados testes toxicológicos que visam identificar por exemplo, substâncias que resultam em prejuízos de saúde decorrente adição ou overdose, associação de drogas de abuso e álcool ou mesmo medicamentos, intoxicação acidental e homicídio por envenenamento. As análises post mortem contribuem para esclarecimento de mortes suspeitas e resolução de crimes (PRAGST, BALIKOVA, 2006; YAN <i>et al.</i> , 2021). Importante ressaltar que nem sempre as amostras capilares poderão ser utilizadas para identificar a causa da morte, tendo em vista o tempo necessário para incorporação de determinada droga na fibra capilar.

<p>Dependência química e responsabilidade criminal</p>	<p>A toxicodependência e a responsabilidade criminal são aspectos considerados em casos criminais quando se investiga se o acusado consumia drogas regularmente na época do crime. Nesse contexto, é essencial a avaliação do acusado por psiquiatra forense e a análise toxicológica em amostra de fibra capilar. A relevância de tal investigação se justifica, pois, a dependência ou estar sob efeito de drogas durante o crime pode ser um atenuante, comumente utilizado pela defesa do réu para reduzir a pena. As análises são úteis para indicar o diagnóstico de abuso de drogas e intoxicação crônica, detecção clínica de abuso de drogas, exposição gestacional a drogas em neonatos e elucidação de outras intoxicações crônicas. Ainda dentro da toxicodependência são realizados testes específicos que indiquem o histórico de abuso de drogas e controle de abstinência, comportamento do tabagismo e intoxicação crônica por poluição ambiental ou adulteração de alimentos (PRAGST, BALIKOVA, 2006).</p>
<p>Controle de Terapia Farmacológica</p>	<p>Controle de adesão a terapia com o objetivo de estabelecer métodos padronizados de análise na amostra capilar para produtos farmacêuticos recém-introduzidos, não sendo adequado para ajuste individual da dosagem de determinados medicamentos (PRAGST, BALIKOVA, 2006).</p>

Oliveira e Silva (2021) destaca a cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS), cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a espectrometria de massa (HPLC-MS) e eletroforese capilar (EC) como as principais técnicas atualmente utilizadas para análise capilar (USMAN *et al.*, 2019; OLIVEIRA e SILVA, 2021). A cromatografia é uma técnica que tem o objetivo de separar, quantificar e identificar os diversos constituintes em uma mistura. Dessa forma, é possível obter substâncias puras com segurança por ser um método com excelente grau de confiabilidade (ARAUJO, 2016).

Como um dos principais métodos, a cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS) é o método mais amplamente usado para analisar metabólitos no cabelo. Para a identificação, a amostra é injetada no capilar do cromatógrafo, e seus componentes são separados em uma coluna capilar. Através do

acoplamento com a espectrometria de massa é possível identificar amostras muito pequenas, sendo um método empregado para confirmação de diversas drogas (USMAN *et al.*, 2019; OLIVEIRA e SILVA, 2021). Anfetamina, cocaína e seus metabólitos (benzoilecgonina, norcocaína), metabólitos canabinoides, opioides (codeína, metadona, morfina) são exemplos de compostos identificados pela técnica GC-MS em amostras de cabelo. A utilização desta técnica é importante para análise qualitativa de drogas na ciência forense, mesmo envolvendo algumas etapas complexas e limitantes, como preparo da amostra por extração e derivatização de amostras, deixando-as mais adequadas para análise cromatográfica (USMAN *et al.*, 2019).

A técnica de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a espectrometria de massa (HPLC-MS), também une duas tecnologias muito eficientes, que podem desempenhar um papel importante na análise do cabelo. Essa técnica é indicada para análises que encontram limitações pelo método CG-EM, ou seja, uma escolha mais adequada para analisar substâncias que apresentam variações quanto à volatilidade, à estabilidade de alta temperatura e problemas de derivatização. A HPLC-MS é uma técnica amplamente utilizada para análise de cabelos, apontada como a mais vantajosa, por ser altamente sensível e capaz de detectar uma pequena quantidade de droga na amostra capilar sem a necessidade de derivatização (USMAN *et al.*, 2019). Em resumo, a técnica de HPLC-MS se destaca pela análise realizada de forma mais rápida, eficaz e econômica (OLIVEIRA e SILVA, 2021).

A técnica de eletroforese capilar (EC) dentre as técnicas mais amplamente utilizada para separar e identificar xenobióticos na matriz capilar pode ser realizada por eletroforese de zona capilar (CZE) e cromatografia capilar eletrocínética micelar (MEKC). Estudos apontam a sensibilidade como uma limitação do método. Tal problema pode ser findado com a pré-concentração da amostra, que vão reduzir as limitações de detecção permitir uma quantificação adequada (OLIVEIRA e SILVA, 2021). Usman e colaboradores (2019) destaca a utilidade da eletroforese de zona capilar na identificação e quantificação de morfina e cocaína em amostras de cabelo de usuários destas drogas.

Para análise de amostra biológica de cabelo, fatores como o laboratório de análise, coleta da amostra e preparação da amostra também são pontos relevantes

de análise. No Brasil, devido às repercussões legais da toxicologia forense, há um sistema chamado de cadeia de custódia. Nele todas as evidências associadas a determinado caso precisam ser documentadas e mantidas em segurança para garantir a idoneidade do processo. Também é usada para manter e documentar a história cronológica da evidência (coleta, identificação, acondicionamento, manuseio, transporte, recebimento, armazenamento, análise e novamente armazenamento) para uma possível contraprova, rastreabilidade e ampla defesa, conforme o Código Penal Brasileiro estabelece. Isso porque as evidências são capazes de interligar pessoas, lugares e ações sobre determinados eventos, nos quais os indivíduos são legalmente responsabilizados (PRITSCH, 2020).

Quanto aos laboratórios que realizam a análise do cabelo, é determinado que devem ser acreditados, preferencialmente, conforme a norma ISO/IEC 17025 ou de acordo com normas equivalentes que tenham como base a ISO/IEC 17025. Essas precisam abordar todo o processo de análise, do recebimento da amostra até a emissão dos resultados. Além da ISO/IEC 17025 as diretrizes e os procedimentos recomendados pela SoHT (Society of Hair Testing) também devem ser consideradas (SBTox, 2015).

Já a coleta de amostras de cabelo, de ser realizada por um indivíduo competente em um ambiente seguro, livre de contaminação e com restrições de acesso. Para tal é recomendado um kit de coleta de cabelo, que deve possuir: formulário de cadeia de custódia, folha e envelope de coleta, selo de segurança, bolsa de provas, envelope de transporte e instruções para a coleta de uma amostra de cabelo. Já na preparação de amostras de cabelo algumas etapas são envolvidas como, lavagem, segmentação (opcional) e obtenção de uma amostra representativa do material disponível. Em seguida é feito o chamado procedimento de teste, em que a etapa inicial é a de pré-tratamento para liberar as drogas de dentro da matriz capilar, então o extrato resultante pode ser analisado diretamente usando técnicas de triagem ou exigirá limpeza adicional usando extração líquido-líquido (LLE) ou extração em fase sólida (SPE) antes dos procedimentos de confirmação (COOPER, 2012).

Uma importante missão da Toxicologia Forense é a busca por matrizes biológicas científicas de grande valor probatório, capazes de fornecer informações detalhadas sobre determinado aspecto investigativo e/ou histórico de exposição de

um indivíduo a determinadas drogas após administração de crônica ou isolada. Os estudos apontam que quando comparada a outras amostras biológicas frequentemente utilizadas, como sangue e urina, a amostra capilar possui as vantagens de maior estabilidade, coleta não invasiva e ampla janela de detecção, já que é possível a identificação de diferentes substâncias meses e até anos após a exposição, a depender do comprimento da haste do cabelo a ser analisada (GORDO, 2013; LANDIM, 2019; USMAN, 2019; YAN *et al.*, 2021).

O uso do cabelo como amostra biológica tem ganhado importância nos últimos anos pois além de fornecer informações sobre o uso de drogas por um amplo período, possibilita a identificação de substâncias mesmo após a morte. Tal característica garante uma investigação segura e eficiente na determinação de substâncias lícitas ou ilícitas e até mesmo sobre o padrão de uso (LANDIM, 2019).

Usman (2019) destaca que a amostra capilar pode fornecer resultado preciso para substâncias como anfetamina e cocaína, indicando se essas drogas foram consumidas de modo abusivo semanalmente. Entretanto, não se mostra útil para precisar ou mesmo identificar o abuso diário de maconha. Outros pesquisadores, relatam ser uma amostra que permite a identificação de substâncias que não estão mais presentes na circulação sanguínea (LANDIM, 2019).

Yan e colaboradores (2021) relataram que já no ano de 1999 foi possível detectar a presença de meperidina em uma fibra capilar de 22 cm de comprimento recolhida de uma mulher de 34 anos; realizada a análise segmentar capilar foi verificado o histórico de abuso a esse opioide a partir da sua incorporação a essa matriz. Outro relato do autor, diz respeito a evidência de uma pequena quantidade de monoacetilmorfina e morfina detectada no cabelo de um bebê de 18 meses e 2 semanas mesmo após um teste de urina negativo, provavelmente intoxicada através de leite materno. Através da amostra capilar foram detectadas metanfetamina e anfetamina em usuários de drogas em variadas quantidades, sendo possível a identificação mesmo em baixas concentrações. Assim, a detecção de drogas e seus metabólitos no cabelo pode fornecer evidências indiscutíveis da ingestão de drogas (YAN *et al.*, 2021). Quanto a sensibilidade para identificação de substâncias, a partir de amostras capilares é possível verificar a presença de anfetamina, cocaína,

opiáceos, canabinoides, metadona, tramadol, amitriptilina, nortriptilina, butalbital, propifenazona e morfina (LANDIM, 2019).

Apesar do avanço na aplicação da matriz biológica capilar nas análises toxicológicas, existem algumas desvantagens que limitam sua utilização. O maior custo na análise do que em amostras biológicas como urina e sangue. Outra desvantagem se dá pela imprecisão na estimativa do tempo e modo de exposição aos toxicantes. Mesmo fornecendo evidências sobre a ingestão de drogas, uso crônico ou dose única, há uma margem de erro na estimativa da ingestão. A análise segmentar do cabelo é afetada pelo ciclo de crescimento do cabelo, pelo mecanismo de incorporação e por erro de amostragem (USMAN, 2019).

Determinada substância é distribuída no cabelo por diferentes distâncias da raiz refletindo a variação na taxa de crescimento dos fios de cabelo, que crescem em períodos cíclicos (fases anágena, catágena e telógena). A análise realizada com segmentos de cabelo em centímetros não captura efetivamente o pico de concentração de determinada substância no cabelo, o que resulta em uma certa difusão do pico de concentração, ocasionando um grande desvio na correspondência com o tempo de ingestão da substância que está sendo analisada (YAN *et al.*, 2021).

Na prática laboratorial, a janela de detecção oferecida pelo teste de urina e cabelo são complementares. Ou seja, enquanto a análise de urina fornece informações de curto prazo sobre o uso de drogas por um indivíduo, a história de uso por longo prazo é observada por meio da análise capilar. Há um consenso razoável de que os resultados qualitativos da análise do cabelo são válidos, porém a interpretação dos resultados ainda levanta divergências no meio científico. Essas questões também denotam as desvantagens do uso do cabelo como amostra biológica, por poder mostrar falsos positivos ou negativos devido a influência de contaminação externa, tratamento cosmético e possíveis diferenças genéticas (USMAN, 2019).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente estudo foi evidenciar como o cabelo pode ser uma matriz biológica relevante para análises toxicológicas. O histórico da utilização dessa matriz indica que com o passar do tempo, novas tecnologias surgiram e permitiram um rol maior de substâncias químicas identificáveis a parti do cabelo. Se no início era possível ou mais eficiente descobrir a exposição por matéria metálica, atualmente as orgânicas também são passíveis de identificação quando submetidas a análise toxicológica forense.

A importância e as descobertas quanto a possibilidade de identificação de uma janela de consumo de determinada substância é algo fundamental em alguns casos específicos, como o histórico medicamentoso e/ou toxicológico em determinado indivíduo. A possibilidade em identificar a quanto tempo um indivíduo é exposto a determinadas drogas sem que o próprio tenha conhecimento do fato, podendo ou não evidenciar e caracterizar como um fato criminoso ou acidental de exposição à agentes tóxicos.

A abordagem quanto ao crescimento capilar e a forma como os xenobióticos são incorporados na matriz capilar indicam também as vantagens e desvantagens de tal uso. As limitações identificadas estão diretamente relacionadas tanto com as circunstâncias naturais, biológicas e fisiológicas humanas, quanto com as características físico-químicas das substâncias tóxicas. Ou seja, foi observado que as características químicas de determinadas substâncias podem torná-la de difícil incorporação na fibra capilar, mesmo estando em quantidades significativas na corrente sanguínea de um indivíduo, pois ela pode não se fixar na matriz capilar. Aquelas mais lipofílicas possuem maior chances de serem identificadas que as hidrofílicas, tendo em vista que a fibra capilar é composta por material lipofílico, facilitando outras substâncias também lipofílicas a se prenderem a matriz. Enquanto as substâncias com caráter mais hidrofílico não se fixarão tão facilmente, sendo de difícil detecção nas análises de Toxicologia Forense.

No Brasil a carreira de perito criminal ou perito toxicologista não é exclusiva de uma determinada categoria profissional. Na Toxicologia Forense, a figura do farmacêutico é imprescindível dada a sua abrangente e completa formação no campo

das químicas e das ciências biológicas. A contribuição do perito farmacêutico pode se dá em laboratórios de ocorre desde laboratórios de análises biológicas, ambientais e clínicas, bem como em instituições de segurança pública, como laboratórios e centros de pesquisa das polícias civil e federal. Seja em locais de infração penal, em laboratórios na quantificação de drogas e/ou substâncias entorpecentes, na perícia em cadáveres, na investigação de fraudes ou adulterações de produtos para saúde e de acidentes químicos em massa, o perito criminal através das análises toxicológicas devolve a sociedade uma resposta pautada na ciência e na justiça.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, William Oliveira de. **Utilização de métodos analíticos a serviço da investigação criminal**. ACTA de Ciência e Saúde. v. 2. - n. 5. p. 256 - 273, 2016. Disponível em:<<https://www2.ls.edu.br/actacs/index.php/ACTA/article/view/164/146>>. Acesso em: 15 de Março de 2022.
- CARVALHO, Virginia; FONTES, Luiz; LIMA, Irene; FUZINATO, Daniela. **Toxicologia post mortem**. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/272142840\\_Toxicologia\\_post\\_mortem](https://www.researchgate.net/publication/272142840_Toxicologia_post_mortem)>. Acesso em: 02 março 2022.
- COOPER, Gail AA. KRONSTRAND, Robert. KINTZ, Pascal. Society of Hair Testing guidelines for drug testing in hair. **Society of Hair Testing – Société d'Analyse des Cheveux**. Forensic Science International 218 (2012) 20-24. Disponível em:<<https://www.soht.org/statements?view=article&id=85&catid=9>>. Acesso em:17 Ago de 2022.
- DOMINGUES, Marina Isabel Silva. **Análise de cabelo – procedimentos e aplicações**. 2015. 128 f. Dissertação (mestre em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2015.
- DORTA, Daniel Junqueira; YONAMINE, Mauricio; COSTA, José Luiz da; MARTINIS, Bruno Spinosa de (org.) **Toxicologia Forense**. São Paulo : Blucher, 2018.
- FERNANDES, Dulce Maria Ferreira. **Cosmética capilar: Estratégias de veiculação de ingredientes ativos**. 2013. 84 f. Dissertação (Mestre em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2013.
- GORDO, José Miguel de Oliveira. **O cabelo como amostra biológica em toxicologia forense: colheita, análise e áreas de aplicação**. Repositório Institucional da Universidade Fernando Pessoa - Porto 2013. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/10284/3987>>. Acesso em: 28 Dez 2021.
- Instituto Federal do Rio de Janeiro. **Manual de apresentação de trabalhos acadêmicos / Instituto Federal do Rio de Janeiro**. 2. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: IFRJ, 2019. p. 111-112. ISBN 978-85-64089-36-5
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos; CARNEIRO, José. **Histologia Básica**. 12. ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 2013. 113f.
- KHAJURIA H, NAYAK BP, BADIYE A. Toxicological hair analysis: Pre-analytical, analytical and interpretive aspects. **Med Sci Law**. 2018 Jul;58(3):137-146. doi: 10.1177/0025802418768305. Epub 2018 Apr 22. PMID: 29683043.
- KÖHLER, Rita de Cassia Oliveira. **A química da estética capilar como temática no ensino de química e na capacitação dos profissionais da beleza**. 2011. Dissertação (mestre em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

LANDIM, Barbara Lourenço Saraiva; LANDIM, Débora Olegário Saraiva; MARQUES, Ana Emilia Formiga. O cabelo como amostra biológica em toxicologia forense: uma revisão integrativa. **Revista UNILUS Ensino e Pesquisa** v. 16, n. 45, out./dez.2019ISSN 2318-2083 (eletrônico). Disponível em <<http://revista.unilus.edu.br/index.php/ruep/article/view/1211>>. Acesso em: 27 Dez 2021.

LANGE, Sacha Testoni; PAZZIM, Renan de Santi; GABRIEL, Maria Madalena; WAGNER, Ricardo. O cabelo como matriz analítica para o exame toxicológico de motoristas profissionais na Lei n° 13.103/15. **Repositório Digital Institucional UFPR**, Biblioteca Digital de Periódicos, v. 20, n. 2, p. 77-88, jul. 2019. ISSN 1518-8361. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v20i2.66044>. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/66044>>. Acesso em: 29 dez. 2021.

LISBOA, Márcia Passadouro. **Matrizes biológicas de interesse forense**. 2016. Dissertação (mestre em Ciências Farmacêuticas) - Universidade de Coimbra. Coimbra, 14 se setembro de 2016.

MELLO, Mariana dos Santos. **A evolução dos tratamentos capilares para ondulações e alisamentos permanentes**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Farmácia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Junho de 2010.

MICHALUN, N. *Milady's skin care and cosmetic ingredients dictionary*. 2009. v3. Milady Cengage Learning. Belmont, CA, 2009.

MORENO, Thyeli Ellen dos Santos *et al.* Análise de elementos químicos em cabelos humanos nos agricultores do assentamento Natuba – Vitória de Santo Antão/PE **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.7, p. 65783-65795 jul. 2021. DOI:10.34117/bjdv7n7-043 Disponível em:< <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/32327> >. Acesso em: 02 Jan 2022.

OLIVEIRA, Jéssica Ponciano; SILVA, Franciele Cascaes da. Toxicologia Forense: Uso do cabelo como amostra biológica para detecção de drogas de abuso. **Repositório Universitário da Anima Educação**. Santa Catarina, 23 Jul. 2021. Disponível em:<<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/17182>>. Acesso em: 15 Jan 2022.

OLIVEIRA, Vicente Gomes. **Cabelo: uma contextualização no Ensino de Química**. 2013. 11f. PIBID UNICAMP – Programa Institucional de Bolsas de Incentivo à Docência Subprojeto química. 2013.

PRAGST, Fritz; BALIKOVA, Marie A. State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. **Science Direct. Clinica Chimica Acta**, 370, 17-49, 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/7156621\\_Pragst\\_F\\_Balikova\\_MA\\_State\\_of\\_the\\_art\\_in\\_hair\\_analysis\\_for\\_detection\\_of\\_drug\\_and\\_alcohol\\_abuse\\_Clin\\_Chim\\_Acta\\_370\\_17-49](https://www.researchgate.net/publication/7156621_Pragst_F_Balikova_MA_State_of_the_art_in_hair_analysis_for_detection_of_drug_and_alcohol_abuse_Clin_Chim_Acta_370_17-49)>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PRITSCH, Izanara Cristine. "Toxicologia Forense: O Estudo Dos Agentes Tóxicos Nas Ciências Forenses." **REVISTA CRIMINALÍSTICA E MEDICINA LEGAL** V.5 | N.1 | 2020 | P. 19 A 26 | ISSN 2526-0596 DOI: 10.51147/RCML039.2020 Disponível em: <[https://redib.org/Record/oai\\_articulo3038237-toxicologia-forense-o-estudo-dos-agentes-t%C3%B3xicos-nas-ci%C3%A2ncias-forenses](https://redib.org/Record/oai_articulo3038237-toxicologia-forense-o-estudo-dos-agentes-t%C3%B3xicos-nas-ci%C3%A2ncias-forenses)>. Acesso em: 27 Dez 2021.

Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada. **Permeação cutânea: desafio e oportunidades**. 2015; 36(3); 337-348 ISSN 1808-4532. Disponível em: <<https://www.dctech.com.br/estrategias-para-aumentar-penetracao-de-farmacos-ou-cosmeticos/>>. Acesso em: 23 mar. de 2022.

SILVA, Eva Catarina Tomé. **As drogas de abuso em contexto forense**. Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses 10 Dez. 2020. Dissertação (Mestrado em Medicina Legal e Ciências Forenses) - Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316/94258>>. Acesso em: 30 dez 2021.

DIRETRIZES SOBRE O EXAME DE SUBSTÂNCIAS PSICOATIVAS EM CABELOS E PELOS: Coleta e Análise. **Sociedade Brasileira de Toxicologia- SBTox**. Versão 2 - atualizada e corrigida em Dezembro de 2015. Disponível em: <[https://docs.wixstatic.com/ugd/b2f6ca\\_ed7e371222154e5ea5cd0d947e729bab.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/b2f6ca_ed7e371222154e5ea5cd0d947e729bab.pdf)>. Acesso em: 17 de ago de 2022.

USMAN, Muhammad; NASEER, Abid; BAING, Yawar; JAMSHAD, Tahir; SHAHWAR, Muhammad; KHURSHID, Shazia. Forensic toxicological analysis of hair: a review. **Egyptian Journal of Forensic Sciences**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41935-019-0119-5> Disponível em: <<https://ejfs.springeropen.com/articles/10.1186/s41935-019-0119-5> >. Acesso em: 30 mar. 2022.

WOLOWIEC, Paulina; MICHALAK, Izabela; CHOJNACKA, Katarzyna; MIKULEWICZ, Marcin. Hair analysis in health assessment. **Clin Chim Acta** 2013 Apr 18; 419:139-71. DOI : 10.1016/j.cca.2013.02.001. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23415695/>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

YAN, Hui; XIANG, Ping; SHEN, Min. Current status of hair analysis in forensic toxicology in China. **Forensic Sciences Research** 2021, vol. 6, n3, 240-249 <https://doi.org/10.1080/20961790.2021.1921945> Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/epub/10.1080/20961790.2021.1921945?needAccess=true>>. Acesso em: 01 abr. de 2022.