

Genética forense: A importância das etapas da cadeia de custódia e das estratégias de processamento das amostras para o êxito das análises moleculares.

M.C. Santiago ^{a*}

^a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO), Goiânia (GO), Brasil

*Endereço de e-mail para correspondência: matheuscavalcante@gmail.com. Tel.: +55(62)984752611.

Recebido em 10/06/2022; Revisado em 05/04/2025; Aceito em 16/06/2025

Resumo

A genética forense é uma importante ferramenta forense se destacando pelo seu grande poder de individualização de pessoas. Através das técnicas de biologia molecular, esta área presta enorme auxílio às investigações, contribuindo, principalmente, para a descoberta da autoria. Seu objeto de trabalho são as amostras biológicas, fazendo com que os peritos criminais determinem as melhores estratégias para seu manuseio e processamento, além de se sujeitarem as etapas da cadeia de custódia. O objetivo deste trabalho é fomentar a importância das etapas da cadeia de custódia e das estratégias de processamento das amostras biológicas destinadas à análise de seu DNA, além disso, expor algumas problemáticas dentro do cenário criminalístico brasileiro no que tange à genética forense. Para isso, foram compilados vários documentos obtidos em acervos bibliográficos, como artigos de periódicos, dissertações, livros, revistas, portarias, POPs e dispositivos legais. Dessa forma, salienta-se que a eficácia das análises moleculares dependem de como são manuseadas as amostras biológicas durante os procedimentos de coleta, acondicionamento, transporte; e das estratégias utilizadas durante o processamento laboratorial. Vale ressaltar que é crucial obedecer às etapas da cadeia de custódia, garantindo a idoneidade das amostras e munindo as provas de transparência, autenticidade e confiança. Por fim, no que diz respeito à genética forense no Brasil, observa-se que há um incessante crescimento, sobretudo, devido aos esforços de profissionais, recentes alterações legais e investimentos públicos. Entretanto, para que esta área seja ainda mais significativa dentro da perícia criminal, é necessário um reconhecimento mais efetivo por parte dos gestores públicos.

Palavras-Chave: Genética forense; Vestígios biológicos; Cadeia de custódia; Perícia criminal; Análises moleculares.

Abstract

Forensic genetics is an important forensic tool standing out for its great power to individualize people. Through molecular biology techniques, this area provides large assistance to investigations, mainly contributing to the discovery of authorship. Its labor object is biological samples, making criminal experts determine the best strategies for their handling and processing, in addition to subjecting themselves to the steps of the chain of custody. The objective of this work is to promote the importance of the stages of the chain of custody and the processing strategies of biological samples intended for the analysis of their DNA, and in addition, to expose some problems within the Brazilian criminal scenario regarding forensic genetics. For this, several documents obtained from bibliographic collections were compiled, such as periodical articles, dissertations, books, journals, ordinances, SOP's and laws. Thus, it is emphasized that the effectiveness of molecular analyzes depends on how biological samples are handled during the procedures of collection, packaging, transport; and also the strategies used during laboratory processing. It is worth mentioning that it is crucial to follow the steps of the chain of custody, guaranteeing the suitability of the samples and providing evidence of transparency, authenticity and trust. Finally, with regard to forensic genetics in Brazil, it is observed that there is an incessant growth, mainly due to the efforts of professionals, recent legal changes and public investments. However, in order for this field to become even more significant within criminal forensics, a more effective recognition by public administrator is required.

Keywords: Forensic genetics; Biological traces; Chain of custody; Criminal expertise; Molecular analysis.

1. INTRODUÇÃO

A perícia criminal é uma importante ferramenta dentro da segurança pública brasileira. A partir dela é possível apurar informações sobre autoria e materialidade dos delitos, contribuindo para as investigações criminais. Para isso, este órgão conta com profissionais qualificados com conhecimentos técnico-científicos para lidar com as mais diversas situações. [1]

Neste sentido, destaca-se a genética forense, que é uma das áreas mais importantes e exploradas dentro da perícia criminal. No entanto, esta área é bastante recente, vindo à tona somente por volta da década de noventa por meio de descobertas científicas como a reação em cadeia da polimerase (PCR) e o DNA *fingerprinting*, que instauraram a aplicação da biologia molecular para fins forenses. [2,3]

O diferencial da genética forense nas investigações criminais está no seu amplo poder de discriminação de indivíduos através da distinção dos perfis genéticos obtidos por meio do estudo do DNA. Por conseguinte, esta área forense, aliada ao avanço tecnológico, entrou em ascensão e vem se tornando indispensável dentro dos órgãos periciais, no qual são desenvolvidas técnicas cada vez mais eficazes e fidedignas para robustecer as análises forenses. [4]

As análises moleculares são realizadas em amostras biológicas oriundas de diversos tipos de tecidos e de espécies. Entretanto, independente da amostra, os profissionais devem se atentar aos corretos procedimentos de coleta e manuseio para evitar a degradação e contaminações que podem prejudicar a análise. Dessa forma, cabe aos peritos criminais, providos de conhecimentos específicos da área, realizar todas as etapas de manipulação destas amostras de forma meticulosa desde a coleta até a entrega do resultado da análise. [5,6]

Além disso, é fundamental que as amostras estejam em conformidade com as disposições legais da cadeia de custódia, descritas no Código de Processo Penal (CPP) a partir do Art. 158-A. A cadeia de custódia da prova penal é uma ferramenta do sistema processual brasileiro que possibilita o acompanhamento de forma cronológica das etapas de manipulação dos vestígios, objetivando proporcionar transparência e confiabilidade às provas periciais. [7]

Assim, este artigo objetiva destacar a importância das etapas da cadeia de custódia para os vestígios analisados no âmbito da genética forense. Também, ressaltar a importância do correto manuseio das amostras biológicas e as consequências de sua inobservância. Além disso, expor algumas das estratégias utilizadas pelos peritos criminais para melhorar a qualidade de seus resultados analíticos diante de amostras críticas. E por fim, destacar de forma sucinta o cenário em que vive a genética forense brasileira.

2. METODOLOGIA

Esta obra possui caráter bibliográfico e para cumprir seus objetivos e compilar suas informações, foram pesquisados vários artigos científicos, dissertações, livros, periódicos, revistas, portarias, procedimentos operacionais padrão (POP) e leis disponibilizadas principalmente em bibliotecas virtuais e sites da rede mundial de computadores. As principais *tags* pesquisadas foram: "biologia molecular", "genética forense", "cadeia de custódia", "perícia criminal", "vestígios biológicos", "criminalística", além de suas versões em inglês.

3. CADEIA DE CUSTÓDIA DOS VESTÍGIOS BIOLÓGICOS

A cadeia de custódia da prova penal ganhou bastante repercussão com a sua incorporação no CPP, sendo uma decorrência da adição do dispositivo legal *Pacote Anticrime* em 2019. Tal alteração deu força de lei e aprimorou alguns conceitos já expressos na Portaria da Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) nº 82 de 2014. [7-9]

O conceito de cadeia de custódia possui sua essência no rastreio e na cronologia das etapas de manipulação dos vestígios. Existem vários conceitos elaborados por autores e especialistas, no entanto, após a inclusão legal, prevalece o conceito expresso no Caput do Art. 158-A do CPP “*Considera-se cadeia de custódia o conjunto de todos os procedimentos utilizados para manter e documentar a história cronológica do vestígio coletado em locais ou em vítimas de crimes, para rastrear sua posse e manuseio a partir de seu reconhecimento até o descarte*”. [7-9]

Junto ao conceito, o dispositivo legal também expôs uma série de etapas de forma ordenada e indispensáveis, descritas como: Reconhecimento, Isolamento, Fixação, Coleta, Acondicionamento, Transporte, Recebimento, Processamento, Armazenamento e Descarte. Todas elas devem ser rigorosamente adotadas no intuito de proporcionar transparência e confiabilidade para prova pericial. [7-9]

Dessa forma, a cadeia de custódia reflete um dos pilares da criminalística, o Princípio da Documentação, articulado como “*Toda amostra deve ser documentada desde seu nascimento no local de crime até a análise e descrição final, de forma se estabelecer um histórico completo e fiel de sua origem*”, sendo um elemento fundamental dentro da perícia criminal que, lamentavelmente, demorou ser instituído na legislação brasileira. [10]

Perante o exposto, é evidente a indispensabilidade da cadeia de custódia para qualquer tipo de vestígio. Entretanto, se tratando de vestígios de natureza biológica para fins de análise molecular, requer uma atenção especial em razão da fragilidade das amostras. A obediência das etapas da cadeia é determinante para valoração do vestígio

como prova pericial legal, situação que pode influir no curso das investigações e nas decisões judiciais, afinal, qual magistrado confiaria em uma prova não documentada e irratreável? [11]

A primeira etapa, denominada reconhecimento é descrita no Art. 158-B do CPP como “*Ato de distinguir um elemento como de potencial interesse para a produção da prova pericial*”. Ela refere-se ao momento em que um agente público tem seu primeiro contato com um objeto ou material bruto, o qual se presume ser um vestígio. [7,12]

Sendo assim, é profícuo que seja disseminados conhecimentos aos agentes públicos que trabalham de forma ostensiva, pois geralmente são os primeiros a chegar aos locais com vestígios. Sendo conveniente para o êxito das diligências que tais agentes fossem esclarecidos sobre os principais vestígios biológicos encontrados nos locais de crime, suas propriedades e as formas adequadas para realizar a preservação e o isolamento do local. [7,12]

Em seguida procede a etapa de isolamento, definida no Art. 158-B do CPP como “*Ato de evitar que se altere o estado das coisas, devendo isolar e preservar o ambiente imediato, mediato e relacionado aos vestígios e o local de crime*”. Ela possui finalidade de impedir o trânsito de pessoas não autorizadas nas adjacências dos vestígios, sendo primordial para garantir sua idoneidade. Ou seja, visa deixar o local intacto, da mesma forma que o criminoso abandonou, preservando quaisquer marcas deixadas ali. [7,13,14]

Para isso, é crucial que os agentes envolvidos nesta etapa realizem treinamentos e detenham conhecimentos para que possam realizar uma delimitação eficaz do perímetro e não contribuir para as alterações do local. Entretanto, infelizmente é comum os peritos encontrarem alterações provocadas pelos próprios agentes, muitas vezes por falta de preparo técnico ou mesmo por desconhecem o quanto importante é garantir a idoneidade do local de crime para o êxito da perícia. [12-14]

Se tratando de amostras biológicas destinadas a análise molecular, a fiel execução dessa etapa é determinante para a obtenção de resultados analíticos fidedignos, uma vez que a molécula de DNA é bastante sensível à degradação e à contaminação. O acesso de pessoas não autorizadas, além de alterarem o estado das coisas prejudicando a investigação da dinâmica dos fatos que foram praticados no local, pode também contribuir para a destruição dos vestígios por meio de pisoteio ou manipulação contaminando-os com outro material genético. [12]

Além disso, algumas pessoas podem tentar alterar a disposição destes vestígios na finalidade de ludibriar as investigações, tal prática é tipificada como crime no Art. 158-C §2º do CPP: “*É proibida a entrada em locais isolados bem como a remoção de quaisquer vestígios de locais de crime antes da liberação por parte do perito responsável, sendo tipificada como fraude processual a sua realização*” [7,13]

Neste contexto, é possível afirmar que no Brasil infelizmente ainda não existe uma cultura de preservação de locais de crime, fazendo com que a maioria das pessoas desconheçam sua importância e sem grandes preocupações, acabam os adentrando. Assim, quando os peritos criminais chegam para realizar seu trabalho, é comum que o local já esteja alterado, as amostras biológicas já foram contaminadas e, conseqüentemente, os vestígios destruídos... Desta maneira, a perícia criminal terá dificuldades em realizar seu trabalho e poderá ficar impossibilitada de auxiliar nas investigações. [13,14]

A terceira etapa descrita na cadeia de custódia é a fixação, descrita no Art. 158-B do CPP como “*Descrição detalhada do vestígio conforme se encontra no local de crime ou no corpo de delito, e a sua posição na área de exames, podendo ser ilustrada por fotografias, filmagens ou croqui, sendo indispensável a sua descrição no laudo pericial produzido pelo perito responsável pelo atendimento*”. Nesta etapa o perito criminal irá descrever como se encontram os vestígios, utilizando dos recursos tecnológicos disponíveis para transpor em seus laudos da forma mais clara e compreensível possível. Estas informações além de colaborar na edificação dos laudos de locais de crime, irão auxiliar os peritos de laboratório com a interpretação de suas análises e também os policiais responsáveis pelas investigações. [7,13]

Ademais, a etapa de fixação é o momento mais oportuno para o perito criminal registrar tudo aquilo que ele julga ser importante antes de iniciar os procedimentos de coleta, o que acarretará na modificação do estado original dos vestígios presentes no local. Portanto, é primordial que os profissionais realizem de forma primorosa o levantamento descritivo, topográfico e fotográfico do local de crime antes de prosseguir para a coleta. [15]

Sucedendo a fixação, advêm as etapas de coleta e acondicionamento dos vestígios, respectivamente, estão dispostas no Art. 158-B do CPP como: “*Ato de recolher o vestígio que será submetido à análise pericial, respeitando suas características e natureza*” e “*Procedimento por meio do qual cada vestígio coletado é embalado de forma individualizada, de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, para posterior análise, com anotação da data, hora e nome de quem realizou a coleta e o acondicionamento*”. [7]

Antes mesmo de realizar a coleta dos vestígios é crucial identificar o tipo do material. Isso é determinante para escolha do método de coleta e acondicionamento, visto que cada situação e material possuem suas particularidades. Desta forma, os peritos utilizam ferramentas para confirmar se os vestígios são de fato materiais biológicos e, se sim, qual o tipo do material e se é proveniente da espécie humana. [15-16]

Para o procedimento de coleta, existem diversos protocolos estabelecidos para cada tipo de material em

conformidade com suas características biológicas, disposição no local e estado de degradação. Uma estratégia utilizada é evitar ao máximo a manipulação destes vestígios até que esteja em ambiente laboratorial apropriado. [14-16]

Para as análises moleculares, os procedimentos de coleta se voltam, em princípio, para preservar a idoneidade do material genético contido na amostra. Assim, os profissionais deverão estar sempre equipados com equipamentos de proteção individual (EPIs) para não se contaminarem e também não contaminar as amostras com seu material genético, sendo essencial utilizarem materiais descartáveis e esterilizados, sempre trocando os instrumentos e suas luvas ao manusearem outros vestígios evitando a contaminação cruzada. [16,18,19]

Os instrumentos utilizados na coleta vão variar de acordo com o tipo de vestígio e a situação em que ele se encontra. À título de exemplo: para amostras úmidas poderão ser utilizados *swabs* ou gazes, que posteriormente serão secados em temperatura ambiente e ao abrigo do sol para o acondicionamento. Já as amostras fluidas, sangue líquido por exemplo, poderão ser recolhidas com pipetas ou seringas e acondicionadas em tubos com anticoagulantes. E para sangue disposto em crostas, poderão ser empregues lâminas como bisturis para o recolhimento e frascos estéreis para acondicionamento. [16,18,19]

Fios de cabelos ou pelos podem ser recolhidos com pinças ou mesmo com mão, claramente, com utilização de luvas descartáveis. Assim, são inúmeras as situações e as possibilidades, demandando da expertise do perito criminal para escolher a técnica mais viável para cada circunstância, pois posteriormente isso poderá impactar no procedimento analítico. [16,18,19]

O acondicionamento também é significativo para a preservação da amostra. Nesta etapa os profissionais deverão conhecer as propriedades biológicas de suas amostras para escolher a melhor forma de armazená-las, preservando a integridade do material genético até que seja feito as análises. [16,18,19]

Dessa forma, é recomendado sempre secar as amostras úmidas em temperatura ambiente e ao abrigo do sol antes de acondicioná-las para evitar a proliferação de micro-organismos. Outra estratégia é acondicioná-las sob refrigeração, o que geralmente é feito utilizando caixas térmicas apropriadas. Além disso, os vestígios devem ser acondicionados individualmente e os invólucros, obrigatoriamente, devem constar identificações e serem lacrados. [16,18,19]

Em seguida, a etapa de transporte, descrita no Art. 158-B do CPP como: “*Ato de transferir o vestígio de um local para o outro, utilizando as condições adequadas (embalagens, veículos, temperatura, entre outras), de modo a garantir a manutenção de suas características originais, bem como o controle de sua posse*”. Para

amostras biológicas, o transporte deve obedecer aos padrões de acondicionamento e temperatura adequados para cada vestígio, e também ser realizado de forma célere, pois se trata de amostras perecíveis que podem se degradar caso delongue para processá-las ou acondicioná-las em ambiente laboratorial apropriado. [7,18,19]

O recebimento, por sua vez, se conceitua como “*Ato formal de transferência da posse do vestígio, que deve ser documentado com, no mínimo, informações referentes ao número de procedimento e unidade de polícia judiciária relacionada, local de origem, nome de quem transportou o vestígio, código de rastreamento, natureza do exame, tipo do vestígio, protocolo, assinatura e identificação de quem o recebeu*” e introduz a etapa interna da cadeia de custódia, na qual, a posse dos vestígios fica sob tutela dos órgãos de perícia. [7,8]

A próxima etapa é o processamento das amostras, definida no Art. 158-B do CPP como “*Exame pericial em si, manipulação do vestígio de acordo com a metodologia adequada às suas características biológicas, físicas e químicas, a fim de se obter o resultado desejado, que deverá ser formalizado em laudo produzido por perito*”. Dessa forma, esta é uma das etapas mais importantes da perícia criminal, pois aqui provirá o resultado da análise, que posteriormente será formalizado em laudo oficial. Por conseguinte, a prova pericial será oficialmente produzida e poderá servir de base para as condutas policiais ou judiciais. [7,17]

O processamento das amostras é realizado em conformidade com um dos pilares da criminalística moderna, o Princípio da Análise, dito como: “*A análise pericial deve sempre seguir o método científico*”. Assim, nos laboratórios de genética forense o processamento deve ser realizado por meio de métodos cientificamente comprovados e eficazes, além de se submeter a rigorosos controles de qualidade, contar com equipamentos sofisticados e profissionais bem qualificados para operá-los e interpretar seus dados. [10]

O nono passo da cadeia de custódia é denominado armazenamento. Sua função é garantir que os vestígios analisados fiquem guardados nas centrais de custódia em condições adequadas e sob proteção do Estado, para que estejam viáveis para contraperícia, se solicitado. No Art. 158-B do CPP, esta etapa é expressa como “*Procedimento referente à guarda, em condições adequadas, do material a ser processado, guardado para realização de contraperícia, descartado ou transportado, com vinculação ao número do laudo correspondente*”. [7,14]

Existem diversas particularidades ao se tratar do armazenamento de amostras biológicas. Elas, por sua vez, são perecíveis, suscetíveis a contaminação e deterioração. Dessa forma, são exigidas condições especiais para cada tipo de amostra, assunto abordado adiante. Contudo, vale frisar que algumas amostras poderão ser inviáveis para o

armazenamento, seja em razão de sua ínfima quantidade, seja em razão de deterioração. [14,20]

Finalmente a última etapa da cadeia de custódia, o descarte: “*Procedimento referente à liberação do vestígio, respeitando a legislação vigente e, quando pertinente, mediante autorização judicial*”. O despojamento dos vestígios acontece quando finda o interesse estatal neles. Além do mais, destaca-se que amostras biológicas devem ser descartadas adequadamente e em conformidade com as legislações sanitárias. [7,14]

Assim, vale destacar que a cadeia de custódia é uma ferramenta muito benéfica para as decisões judiciais, munindo as provas periciais de transparência, autenticidade e confiança. Entretanto, apesar dessa profícua inovação no cenário criminalístico brasileiro, o legislador, ao inserir esta ferramenta na lei, falhou em não esmiuçar sobre o formulário de cadeia de custódia, isto é, a ficha de informações que irá acompanhar o vestígio em todas as suas etapas. Por conseguinte, compete aos próprios órgãos de perícia desenvolvê-los por sua conta e sem seguir um padrão nacional descrito na lei. [9,21]

Além disso, o legislador também não manifestou a respeito da ruptura da cadeia de custódia e suas consequências, deixando em aberto uma grande discussão doutrinária. Logo, seguindo esta problemática, alguns especialistas defendem que o descumprimento da cadeia de custódia torna a prova inadmissível ou mesmo ilícita no processo penal. Já outra fração, sustenta que se trata apenas de uma questão de valoração probatória e não de validade, alicerçando ao princípio do livre convencimento motivado do juiz, disposto no Caput do Art. 155 do CPP. [9,21]

Além do mais, quando houver a quebra da cadeia de custódia e for a única forma de inocentar alguém, a doutrina majoritária defende a admissibilidade da prova penal. Não obstante, essa questão seria descomplicada se o legislador incrementasse algum dispositivo legal determinando as condutas a serem seguidas e as consequências em caso de ruptura da cadeia de custódia, evitando, dessa forma, abordagens subjetivas e disparidades nas decisões judiciais quanto à valoração da prova. [9,21]

4. ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO NOS LABORATÓRIOS DE GENÉTICA FORENSE

As amostras destinadas à análise genética podem ser oriundas de vestígios em locais de crime, corpos de delito e através de coletas em doadores voluntários ou compulsórios. A forma como estas foram manipuladas antes da chegada ao ambiente de análise tem potencial influência no resultado. [22]

Com isso, os peritos criminais lotados nos laboratórios enfrentam uma série de obstáculos, necessitando traçar estratégias para melhorar as condições analíticas, contornar situações laboriosas, evitar perdas de amostra e esquivar-

se de resultados dubitáveis ou errôneos. Afinal, muitas das vezes as amostras analisadas são escassas, podem estar contaminadas ou serem impossíveis de serem obtidas novamente. [20]

Dessa forma, em ambiente laboratorial, o perito responsável por receber as amostras deverá conferir sua identificação, numeração, a integridade do lacre e da embalagem e verificar se atende as condições indicadas de temperatura e umidade de acordo com a característica de cada material. Ademais, este ato de recebimento dá início à fase interna da cadeia de custódia, no qual o profissional deverá preencher e assinar o formulário de cadeia de custódia do vestígio e se houver inconformidades, o registrará em documento próprio. [8,14]

Todas as amostras biológicas que chegam aos laboratórios devem ser tratadas como potencialmente infectantes, demandando dos profissionais o uso de EPIs e demais critérios de biossegurança. Além disso, tais condutas também evitam a contaminação das amostras, especialmente se tratando de análise molecular, onde qualquer material biológico estranho que entrar em contato, poderá comprometê-las. [6,14]

Segundo o POP Perícia Criminal elaborado pela SENASP em 2013, o armazenamento dos vestígios biológicos deverá ser feito em local seguro, com acesso restrito e controlado, geralmente em ambiente próprio no laboratório ou nas centrais de custódia instituídas nos órgãos de perícia. Para aquelas amostras destinadas à análise imediata, por exemplo, sangue fluido, *swabs* úmidos com diferentes tipos de materiais e pelos com bulbo é recomendado sua refrigeração na temperatura de 0°C a 7°C. As peças anatômicas e tecidos biológicos moles deverão ser submetidos à congelamento em temperatura menor que -18°C. Já materiais secos em embalagens de papel podem ser armazenados em temperatura menor ou igual a 25°C, desde que em local isento de umidade. [7,14]

No entanto, tais informações se trata de instruções. Os procedimentos adotados podem sofrer variações conforme as particularidades de cada amostra e a realidade de cada órgão de perícia. Também, vale apontar que existem grandes possibilidades destas amostras, uma vez analisadas, se tornarem inviáveis para possíveis repetições analíticas, seja por conta de sua quantidade exígua, reagentes empregados, perecibilidade dos tecidos biológicos, contaminações, dentre outros fatores. [14,20]

Conforme preconiza no Caput do Art. 170 do CPP “*Nas perícias de laboratório, os peritos guardarão material suficiente para a eventualidade de nova perícia. [...]*” e no parágrafo 6º do Art. 159 do CPP “*Havendo requerimento das partes, o material que serviu de base à perícia disponibilizado no ambiente do órgão oficial, que manterá sempre sua guarda, e na presença de perito oficial, para exame pelos assistentes, salvo se for impossível a sua conservação.*”, as amostras biológicas após analisadas pelos peritos criminais, deverão ser armazenadas de forma

que conserve suas propriedades analíticas para que futuramente, se solicitado e viável, possa ser realizada uma contraperícia. Logo, são exigidas condições de armazenamento que mantenha a viabilidade e integridade destas amostras por tempo indefinido até que sejam consideradas irrelevantes e autorizada o seu descarte. [7,14]

Para que um vestígio biológico seja eficiente para as análises moleculares e deem resultados satisfatórios, os peritos criminais devem se ater a uma série de procedimentos envolvendo o tratamento das amostras. Assim, à princípio, é pertinente expor a ordem das etapas de processamento laboratorial: extração, purificação, quantificação, amplificação, eletroforese, análise estatística e interpretação dos dados obtidos. [24]

As etapas de extração e purificação geralmente são desenvolvidas em conjunto. Elas objetivam extrair o DNA contido nas células por meio de tratamentos químicos e depurá-lo com lavagens, no intuito de fornecer amostras com quantidade suficiente de material genético e de boa qualidade para as análises. Todavia, este procedimento é aplicado de forma diversa para cada situação, onde o tratamento e os reagentes utilizados serão escolhidos conforme o tipo e a forma em que se encontra a amostra. [25,26]

O método orgânico com utilização de fenol/clorofórmio é uma das alternativas mais utilizadas nos laboratórios de genética forense no país, pois é considerada uma técnica barata e eficiente. Ademais, a partir dela, também é possível realizar a extração diferencial, onde se isola o material genético masculino do feminino utilizando reagentes e procedimentos que separam as células espermáticas das células não espermáticas presentes na amostra. Tática bastante útil em casos com crimes de violência sexual em que há mistura de material biológico. [25]

Existem várias outras técnicas de extração que os peritos criminais poderão utilizar de acordo com as peculiaridades e exigências de cada amostra, por exemplo: emprego de resinas quelantes como *Chelex*, técnica de *Salting-out*, papeis FTA e a utilização de métodos automáticos como a extração por coluna de sílica. [14,25]

Na genética forense um dos grandes desafios enfrentados nas etapas de extração e purificação é trabalhar com amostras críticas, ou seja, materiais que possuem quantidades exíguas de DNA ou fatores degradantes e contaminantes. Estas amostras, comumente, pertencem à vestígios *post mortem* antigos como ossos, dentes e outros tecidos. [25]

Para tal, são traçadas estratégias no intento de contornar tais problemas e propiciar amostras satisfatórias para as análises. Além disso, ressalta-se que muitas destas adversidades podem ser evitadas se os peritos responsáveis pela coleta e acondicionamento lograrem das formas corretas de manuseio das amostras. Isso evidencia a

importância da fase pré-analítica no âmbito da perícia criminal. [25]

A presença de sujeira e contaminantes biológicos pode causar interferência nas análises, visto que as técnicas de amplificação podem interagir com o material genético microbiano, que geralmente e nestas circunstâncias, prevalece sobre o do humano, assim, inviabilizando a amostra. Ademais, estas amostras antigas costumam ter uma série de elementos que podem inibir e interferir no resultado da amplificação, como: compostos fenólicos, glicogênio, metais pesados, heparina, colágeno, íons Ca^{++} , ureia, hemoglobina, e principalmente ácido húmico. E além destes, alguns reagentes utilizados no laboratório como KCl, SDS, etanol, isopropanol, fenol, entre outros, também podem se tornar inibidores da PCR. [25]

Como este tipo de empecilho já é esperado nas análises dentro da genética forense, foram desenvolvidas várias táticas para tentar minimizar as interferências causadas por estes inibidores. Por exemplo, utilizar enzimas Taq polimerase aperfeiçoadas e adjuvantes da PCR como albumina sérica bovina e betaína. Além destes, outra forma de ludibriar os efeitos da inibição é realizando a diluição do DNA, no entanto, para que esta tática seja significativa, é necessária uma quantidade considerável de material genético, se tornando inviável para amostras escassas. [20]

Dessa forma, como existem limitações em toda análise laboratorial, é necessário expertise e experiência dos peritos criminais para escolher a técnica de extração e purificação adequada para cada particularidade, pois isso impactará diretamente na qualidade da amostra e, consequentemente, no resultado da análise. [20]

No atual cenário forense do país, a técnica de PCR agregada à eletroforese capilar é considerada padrão-ouro para análises moleculares de identificação humana. A partir desta combinação é possível amplificar vários *loci* de STR de forma simultânea utilizando pouca quantidade de material genético, de forma rápida, precisa e com pouca manipulação das amostras, sendo eficaz para traçar seus perfis genéticos. Os resultados são expressos em dados informatizados dispostos em um gráfico chamado eletroferograma, que será interpretado pelos peritos criminais para elaboração do laudo. [27-29]

Entretanto, mesmo diante de tanta tecnologia, há vestígios biológicos que podem proporcionar artefatos que dificultam a interpretação do resultado, ou mesmo, inviabilizar a análise. Bandas fantasmas, *spikes*, alelos nulos, fluoróforos dissociados, ruído de fundo, produtos de PCR não adenilados, entre outros, são exemplos destes artefatos, nos quais sua maioria está relacionada à degradação e contaminação das amostras. Sendo assim, uma das estratégias utilizadas para conferir a viabilidade do material a ser amplificado é realizando sua quantificação e avaliação de pureza, assim, determinando parâmetros como quantidade de DNA (se dá para amplificar), pureza (se há contaminantes) e integridade (se

há degradação). [20,27]

Os laudos periciais geralmente possuem grande peso nas decisões judiciais. Dessa forma, para que sejam confiáveis, eles não podem gerar dúvidas, resultados inconclusivos, ou na pior das hipóteses, resultados errôneos. Diante disso, os peritos que lidam com amostras críticas de DNA devem tomar decisões importantes que irão impactar na qualidade de seu resultado. Uma delas é a escolha do método analítico mais adequado para cada particularidade. [27]

Por exemplo, para amplificar amostras com material genético exíguo, ou mesmo com indícios de degradação, é profícuo utilizar metodologias que amplificam regiões mais curtas no DNA através marcadores miniSTRs, SNPs ou INDELs, ou mesmo, se possível, lograr das técnicas de sequenciamento de nova geração. Além destes, também é cabível empregar marcadores específicos para DNA mitocondrial, que devido à sua conformação circular e o grande número de cópias, é vantajoso para as análises de amostras críticas. Contudo, a interpretação dos resultados deve ser feita por profissionais qualificados e de forma minuciosa, visto que as amostras críticas podem fornecer dados imprecisos e confusos. [27,29]

Perante o exposto, é fundamental que os peritos, tanto aqueles que realizam a coleta das amostras, quanto aqueles que laboram as análises, tenham competência e expertise na área, trabalhem sob condições adequadas e com suporte tecnológico necessário, além de realizarem controles de qualidade e seguir fielmente os protocolos adotados pelos seus órgãos periciais. Tudo isso objetivando promover um resultado transparente, imparcial e fidedigno para as investigações, exercendo com credibilidade seu papel de auxiliar da justiça. [27]

5. GENÉTICA FORENSE E O CENÁRIO CRIMINALÍSTICO BRASILEIRO

A perícia criminal é uma área que vem se desenvolvendo de forma incessante e demasiada, acompanhando as inovações tecnológicas e a dinâmica criminal. Suas técnicas se atualizam constantemente para se adequar a realidade de cada ambiente e época, fazendo com que instrumentos, técnicas e profissionais necessitem estar sempre atualizados para poderem ser proficientes em sua função. [30,31]

Esta concepção se aplica na genética forense de forma acentuada, onde, progressivamente, estão surgindo metodologias mais eficazes para ampliar o leque de atividade desta área, e com isso as minimizar as brechas e situações inexequíveis, exaurindo qualquer hipótese de crime perfeito. Afinal, qualquer contato pode ser fonte de DNA e os peritos criminais precisam explorar isso. [30,31]

A título de exemplo destaca-se o desuso das técnicas manuais de PCR e de alguns marcadores como VNTR, que muito ajudaram no passado, mas atualmente foram

substituídos por metodologias mais eficazes como as técnicas automáticas de PCR quantitativa e eletroforese capilar. Dessa forma, outras tecnologias ainda mais convenientes já estão sendo introduzidas e em breve tomarão conta das análises em genética forense, como o Sequenciamento de Nova Geração e o *Rapid DNA*. [30-32]

Tais técnicas, por enquanto, ainda não fazem parte da realidade das análises em genética forense no Brasil. Neste sentido, o país ainda se encontra atrasado em relação outros em que a perícia criminal é tratada com mais importância. Por exemplo, nos Estados Unidos da América já estão sendo utilizados dispositivos portáteis de análise de perfis genéticos denominados *RapidHit DNA*. Estes dispositivos proporcionam a facilidade da análise em qualquer lugar e resultados muito rápidos, em menos de duas horas, ou seja, alguns casos poderiam ser elucidados sem a morosidade da análise laboratorial. [30-34]

Diante disso, é possível afirmar que a perícia criminal brasileira carece de investimentos governamentais, faltando incentivos para adquirir profissionais devidamente treinados e equipamentos sofisticados, que na maioria das vezes são caros. Além do mais, a legislação brasileira é arcaica e ainda está se adequando às práticas periciais, necessitando de mais incrementações legais. [30-34]

Em contrapartida, há de se notar que nos últimos anos o governo federal está aumentando a atenção para esta esfera, apoiando os estados com investimentos dentro da segurança pública, em especial, na perícia criminal. Tal crédito, sem dúvidas, é decorrente dos resultados positivos que perícia proporciona para segurança pública e para justiça do país, e em virtude dos esforços de profissionais da área em demonstrar a importância de seu trabalho por meio de associações, congressos, seminários, trabalhos científicos e artigos como este, onde todos concorrem para fortificar esta incrível área. [33,35]

No que tange a aspectos legais, ressalta-se um desleixo dos legisladores em relação à perícia criminal, uma vez que esta, ainda não foi incluída no rol de órgãos de segurança pública disposto no Art. 144 da Constituição Federal. Em contraste, foi editada a lei nº 12.030 de 2009 que assegurou autonomia técnica, científica e funcional para perícia e determinou condições de provimento profissional, no entanto, se trata de um minúsculo dispositivo legal que poderia ser mais bem elaborado. [36,37]

Neste sentido, vale frisar que não existe um padrão legal e nacional para perícia, ficando à disposição dos estados determinarem o grau de importância e as normas profissionais, proporcionando uma grande disparidade interestadual. Esta discrepância entre os órgãos estaduais de perícia criminal é preocupante, pois no Brasil existem alguns estados mais ricos e outros mais carentes, impactando diretamente na eficácia do serviço. [38]

Enquanto alguns órgãos possuem tecnologias de ponta, equipamentos de última geração, profissionais bem

qualificados e remunerados; outros "se viram" com problemas crônicos como falta de insumos, equipamentos, técnicas ultrapassadas e desvalorização profissional. Para tal, a SENASP está buscando nivelar, ou mesmo minorar esta discrepância por meio da padronização de normas, técnicas, treinamentos profissionais e demais investimentos. [38]

Há poucos anos, o legislador brasileiro instituiu a lei nº 12.654 de 2012. A partir dela foram estabelecidos novos critérios de coleta de material genético e a criação de um banco de dados nacional para armazenar perfis genéticos: a Rede Integrada de Banco de Perfis Genéticos (RIBPG). Esta inovação foi de extrema importância para perícia criminal brasileira, abrindo bastante o leque da genética forense no país. [39-42]

Sucintamente a RIBPG foi criada com o objetivo de contribuir para identificação de pessoas desaparecidas e auxiliar na apuração criminal, ajudando nas elucidações de crimes, averiguando reincidências e evitando condenações equivocadas. Dessa forma, passados alguns anos, quase todos os estados brasileiros já integram à rede e a SENASP está trabalhando para que em breve aconteça uma integração total do país. [40-42]

No banco de dados da RIBPG podem ser inseridos perfis genéticos oriundos de vestígios de locais de crime, de amostras de condenados por determinados delitos, amostras advindas de determinações judiciais, de restos mortais não identificados, de amostras referência direta de pessoas desaparecidas e de seus familiares. O acesso a este banco de dados é de caráter sigiloso e restrito a seus operantes, respondendo civil, penal e administrativamente os agentes que utilizá-lo para fins diversos. [40-42]

Desde a criação da rede, a SENASP, semestralmente, emite relatórios que permitem avaliar o desempenho desta ferramenta. Eles expõem uma série de resultados positivos que a RIBPG proporciona dentro da segurança pública, sendo possível ratificar sua real contribuição para elucidação de crimes e para identificação de pessoas desaparecidas. [40-42]

Também, vale destacar que tais resultados estão diretamente relacionados ao aumento de perfis genéticos inseridos na rede, refletindo o empenho das equipes periciais. Além disso, por meio da RIBPG se torna possível resolver delitos que, sem sua existência, seriam impossíveis; fazendo desta ferramenta, imprescindível para elucidação de alguns crimes. [40-42]

Mesmo em face de toda a vantagem que esta ferramenta proporciona, o Brasil ainda enfrenta empecilhos em sua utilização. Como exemplo, vale destacar que existem grandes atrasos no processamento de amostras em alguns laboratórios de genética forense do país, retratando uma possível falta de profissionais qualificados ou técnicas de processamento adequadas para demanda. Além disso, mesmo após uma década da instituição da RIBPG, ainda existem estados brasileiros não pertencentes, gerando um

grande questionamento sobre o motivo: é falta de recursos financeiros ou de interesse dos governantes? [36,42,43]

Dessa forma, ressalta-se que para ampliar tais serviços periciais e exercê-los com eficácia, se faz necessário aperfeiçoar melhor a legislação e conquistar um melhor reconhecimento dos governantes, para que estes invistam em qualidade dos laboratórios e recrutamento de profissionais, bem como sua qualificação. [36,40-43]

Embora haja uma evolução da genética forense brasileira nos últimos anos, ao se comparar a países de primeiro mundo, nota-se um certo atraso. A valoração desta esfera demorou acontecer no país e ainda não está sendo suficiente para motivar os investimentos necessários, fazendo de seu desenvolvimento um tanto quanto moroso. Logo, é evidente que tais investimentos dentro da perícia criminal estão adstritos ao interesse do Estado, e dependem do grau de importância que os administradores dão para esta área. Ou seja, seu crescimento advém de reconhecimentos obtidos por meio de resultados positivos para segurança pública. [36,40-43]

Apesar dos atuais índices de resolução de crime no Brasil ainda serem preocupantes, os relatórios da RIBPG demonstram excelentes resultados. Isso advém, principalmente, em razão da integração nacional dos perfis genéticos proporcionada pela rede, no qual seus dados são compartilhados com todos os estados nacionais que estão integrados, intensificando a capacidade de elucidar os crimes. Perante o exposto, é evidente que tais relatórios são, indubitavelmente, uma ótima ferramenta para exteriorizar a contribuição e importância da genética forense no cenário criminalístico brasileiro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cadeia de custódia é uma ferramenta essencial nas investigações criminais e no processo penal. O cumprimento das suas etapas, além de ser determinante para o êxito das análises, mune as provas periciais de transparência, autenticidade e confiança.

Ao lidar com amostras biológicas destinadas à análise genética, os peritos criminais devem se ater a diversas peculiaridades para cada etapa da cadeia de custódia, sobretudo, objetivando a preservação do material genético, pois o DNA é uma molécula extremamente sensível e suscetível à contaminação e degradação. Dessa forma, estes profissionais necessitam traçar estratégias diferentes para cada particularidade, pois as formas adequadas de manuseio podem divergir de acordo com a situação, local, tempo e modo em que estas amostras se encontram, demandando expertise e experiência profissional.

O objetivo principal do manuseio das amostras biológicas é garantir sua idoneidade desde seu reconhecimento até a realização das análises, evitando deterioração e contaminações que podem atrapalhar os resultados. Deste modo, salienta-se a importância de seguir

corretamente os protocolos adotados pelos órgãos periciais para obter resultados fidedignos.

Além disso, é crucial valer-se das estratégias analíticas para contornar adversidades, minimizando interferências e evitando resultados imprecisos, duvidosos ou incorretos. A escolha do melhor método analítico sempre irá depender da circunstância em que as amostras se encontram, impactando diretamente no resultado. Ademais, vale destacar que a qualificação profissional, os investimentos em tecnologia e o apoio dos governantes são determinantes para o crescimento e para o trabalho da perícia.

No Brasil, a genética forense ainda se encontra sucinta, necessitando maiores atenções. Em alguns locais do país, esta área forense carece de profissionais qualificados, tecnologias atualizadas e investimentos por parte dos governantes, inviabilizando elucidações de crimes, consequentemente, contribuindo para a impunidade.

O reconhecimento da importância desta esfera forense para a segurança pública do país é a chave para conquistar investimentos, que serão convertidos em recrutamentos profissionais e aquisição equipamentos e técnicas eficazes. Assim, é satisfatório dizer que as recentes inovações legislativas e os constantes incentivos governamentais, aos poucos, estão impulsionando seu desenvolvimento.

Com os bons resultados advindos da RIBPG, a genética forense está mostrando ainda mais sua magnitude dentro da perícia criminal. Além disso, é meritório a contribuição de especialistas e profissionais da área ao exteriorizar sua importância por meio de associações, congressos, cursos, livros e publicações em periódicos, como este, tonificando o aprendizado de estudantes e profissionais; e, também, despertando maiores atenções de políticos e autoridades para a genética forense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V.P. Stumvoll. *Criminalística 7ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2019). 11-54.
- [2] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 1-13
- [3] University of Leicester. The history of genetic fingerprinting. *University of Leicester*. Retirado em 20/03/2022, de <https://le.ac.uk/dna-fingerprinting/history>
- [4] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 13-39
- [5] V.P. Stumvoll. *Criminalística 7ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2019). 81-151.
- [6] C.R. Dias Filho; P.A.C. Francez. *Introdução à biologia forense 2ª Edição*. Millennium Editora. (2018) 385-410
- [7] Brasil. Decreto-Lei nº 3.689, 3 de outubro de 1941 Código de Processo Penal. Retirado em 10/04/2022, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del3689compilado.htm
- [8] Ministério da Justiça - Secretaria Nacional de Segurança Pública. Portaria SENASP nº 82, de 16 de julho de 2014. Retirado em 29/03/2022, de <https://diariofiscal.com.br/ZpNbw3dk20XgIKXVGacL5NS8haIoH5PqbJKZaawfaDwCm/legislacao/federal/portaria/2014/senasp82.htm>
- [9] L.E. Magno; M. Comploier, Cadeia de custódia da prova penal, *Cadernos Jurídicos* 57: 195-219 (2021).
- [10] V.P. Stumvoll. *Criminalística 7ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2019). 1-11.
- [11] M.M. Machado. Importância da cadeia de custódia para prova pericial. *RCML* 1: 8-12 (2017).
- [12] A.M. Silveira; A. Pereira. Isolamento e Preservação de Local de Crime - Procedimento Substancial à Integridade do Trabalho Pericial. *Rev. Bras. Crimin.* 9: 56-61 (2020).
- [13] V.P. Stumvoll. *Criminalística 7ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2019). 55-68.
- [14] Brasil. Ministério da Justiça - Secretaria Nacional de Segurança Pública. Procedimento Operacional Padrão Perícia Criminal. (2013)
- [15] D. Tocchetto; A. Espindula. *Criminalística Procedimentos e Metodologias 5ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2022). 21-132.
- [16] M. C. Santiago. Vestígios biológicos como prova pericial: sua importância e as peculiaridades de sua manipulação para a genética forense. *Revista Criminalística e Medicina legal.* 7: 10-20 (2022).
- [17] V.P. Stumvoll. *Criminalística 7ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2019). 81-151.
- [18] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 41-65.
- [19] H.N. Singh. Collection, preservation and transportation of biological evidence for forensic DNA analysis. *IJARESM.* 9:1124-1130 (2021).
- [20] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 277-300.
- [21] R.R.E. Santo; I.A. Barbosa; O.R. Silva. A repercussão da quebra da cadeia de custódia da prova no processo penal. *Vertentes do Direito* 8: 392-409 (2021).
- [22] P.A.C. Francez; A.M.L. Pombo; R.S. Silva. Risco de contaminação por DNA de alto peso molecular e por amplicons em Laboratório de Genética Forense no Brasil. *Rev. Bras. Crimin.* 9:85-94 (2020)

- [23] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 277-300.
- [24] C.R. Dias Filho; P.A.C. Francez. *Introdução à biologia forense 2ª Edição*. Millennium Editora. (2018) 261-309
- [25] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 123-161.
- [26] N.S. Bonaccorso. Aplicação do exame de DNA na elucidação de crimes. "*Dissertação de Mestrado*", Medicina Forense, Universidade de São Paulo. (2005).
- [27] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 191-216
- [28] F. Corte-Real; D.N. Vieira. *Princípios de genética forense*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Portugal. (2015). 41-47.
- [29] A.P. Machado; A. Ehrhardt. Análise comparativa entre marcadores microssatélites STR e polimorfismo de nucleotídeo único SNP usados na área forense. *Revista Saúde e Desenvolvimento Humano*. **6**: 49-56 (2018).
- [30] C.R. Dias Filho; et al. *Introdução à genética forense 2ª Edição*, Millennium Editora, Brasil (2020). 523-534
- [31] A. K. Rana. The Future of Forensic Biology. *Journal of Biomedicine*. **3**: 13-18 (2018).
- [32] J.M. Butler; S. Willis. Interpol review of forensic biology and forensic DNA typing 2016-2019. *Forensic Science International: Synergy*. **2**: 352-367 (2020).
- [33] D. Ramos; T. Figueiredo. Os avanços das ciências forenses no Brasil - Passado, presente e futuro. *Perícia Federal*. **36**: 8-15 (2015)
- [34] I.R. Beiras; D. Hammerschmidt. A Constitucionalidade da Identificação e Armazenamento do Banco de Dados de Perfis Genéticos de Condenados por Crimes Violentos ou Hediondos no Brasil. *Revista Internacional Consinter de Direito*. **5** :354-360 (2017)
- [35] T. Figueiredo. Semana de Ciência e Tecnologia. *Perícia Federal*. **36**: 34-38 (2015)
- [36] Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Retirado em 15/04/2022, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- [37] Brasil. Lei nº 12.030, de 17 de setembro de 2009. Retirado em 15/04/2022, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112030.htm
- [38] Brasil. Ministério da Justiça - Secretaria Nacional de Segurança Pública. Diagnóstico da Perícia Criminal no Brasil. (2013)
- [39] Brasil. Lei 12.654, de 28 de maio de 2012. Retirado em 20/04/2022, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112654.htm.
- [40] M.C. Santiago; B.O. Siqueira; R.S.S. Barcelos. Uso e benefícios da Biologia Molecular nas Ciências Forenses e sua Aplicação no Banco de Perfis Genéticos. *Rev. Bras. Crimin.* **9**: 95-104 (2020)
- [41] A.F.S.Brito; A.N. Pontes. Identificação humana por DNA através do banco nacional de perfis genéticos e a quantificação de amostras armazenadas. *Rev. Bras. Crimin.* **9**: 76-84 (2020).
- [42] Brasil. XXI Relatório da rede integrada de banco de perfis genéticos (RIBPG) - Dados estatísticos e resultados - Mai/2024 a Nov/2024. Ministério da Justiça e Segurança Pública (2024).
- [43] A. Giovannelli *et al.* Instituto de pesquisa e Perícia em genética forense 15 anos. *Evidência*. (2020).
- [44] Onde mora a impunidade? Porque o Brasil precisa de um Indicador Nacional de Esclarecimento de Homicídios. Edição 2021. Instituto Sou da Paz. (2021)