

A importância da genética forense na elucidação de crimes sexuais

Wallisson Moreira de Araujo
Marek Henryque Ferreira Ekert

Resumo:

A elucidação de crimes sexuais a partir de amostras biológicas é uma realidade em todo o mundo, graças aos avanços da biologia molecular. A ciência da hereditariedade clássica, que estuda a transmissão de características físicas e comportamentais de uma geração para outra, forneceu as bases para o desenvolvimento da genética forense. A descoberta do DNA, na década de 1950, revolucionou a genética e possibilitou a identificação de pessoas de forma precisa e inequívoca. O DNA é uma molécula que contém informações genéticas exclusivas de cada indivíduo, que podem ser usadas para identificar suspeitos de crimes. Por meio de técnicas de biologia molecular utilizadas na ciência forense, como a PCR (reação em cadeia da polimerase), que permite a amplificação do DNA, e a eletroforese, que separa as moléculas de acordo com seu tamanho e carga elétrica, busca-se otimizar a identificação de criminosos em casos de violência sexual. No Brasil, o primeiro caso elucidado através de DNA foi em 1993, na cidade de Ilha Solteira. Esse marco demonstrou a eficácia do uso do DNA como ferramenta indispensável na investigação criminal, especialmente em crimes sexuais. O uso de DNA para a elucidação de crimes sexuais tem contribuído para a redução da impunidade e para a proteção das vítimas, consolidando-se como um dos principais recursos tecnológicos na promoção da justiça e segurança pública.

Palavras-chave: biologia molecular, genética forense, DNA, crimes sexuais.

Abstract:

The elucidation of sexual crimes through biological samples is a reality worldwide, thanks to advances in molecular biology. The science of classical heredity, which studies the transmission of physical and behavioral traits from one generation to another, provided the foundation for the development of forensic genetics. The discovery of DNA in the 1950s revolutionized genetics and enabled the precise and unequivocal identification of individuals. DNA is a molecule that contains unique genetic information for each individual, which can be used to identify crime suspects. Through molecular biology techniques employed in forensic science, such as PCR (polymerase chain reaction), which allows the amplification of DNA, and electrophoresis, which separates molecules according to their size and electrical charge, it is possible to optimize the identification of offenders in cases of sexual violence. In Brazil, the first case solved through DNA analysis occurred in 1993, in the city of Ilha Solteira. This milestone demonstrated the effectiveness of DNA as an indispensable tool in criminal investigations, particularly in sexual crime cases. The use of DNA for the elucidation of sexual crimes has contributed to reducing impunity and protecting victims, establishing itself as one of the main technological resources in the promotion of justice and public security..

Keywords: molecular biology, forensic genetics, DNA, sexual crimes, crime elucidation

1. INTRODUÇÃO

Elucidar crimes sexuais a partir de amostras biológicas, hoje é uma realidade em todo o mundo, contudo para chegarmos a este nível de eficiência foram necessários séculos de pesquisa e estudos da biologia celular e molecular. Utilizando a ciência da hereditariedade clássica, que podemos denominar como o estudo da herança genética em organismos eucarióticos, ou seja, aqueles que possuem células com núcleos verdadeiros, bem como características individuais e exclusivas.¹

Este ramo da ciência se concentra em entender como os traços físicos e comportamentais, são passados de uma geração para outra, através da análise dos padrões de herança de genes específicos, onde a matemática se mostra uma das ferramentas fundamentais para a compreensão da biologia molecular, estudada até hoje em escolas e universidades em todo o mundo.^{1,2}

A genética mendeliana, desenvolvida pelo monge austríaco *Gregor Mendel* na década de 1860, foi uma das primeiras tentativas sistemáticas de entender a herança genética. Ele descobriu que certas características em ervilhas eram herdadas de maneira previsível, seguindo padrões matemáticos simples, no entanto, a genética mendeliana não explicaria completamente como as características eram transmitidas de geração em geração.²

Foi só na década de 1910 que a teoria cromossômica da herança começou a ganhar força a partir da descoberta dos cromossomos, estruturas no núcleo das células que carregam o material genético, sendo estas estruturas responsáveis por transmitir informações genéticas de uma célula para outra. A genética mendeliana e a teoria cromossômica da herança se fundiram para formar a genética clássica, um campo de estudo que continua a ser importante na biologia até hoje.^{1,3}

Até o início da década de 1950 os conceitos sobre genes coincidiam entre si, entretanto, quando se descobriu que o DNA era o material base da herança, essa congruência se desfez. Durante boa parte do século XX, o entendimento dos cientistas sobre os genes se baseava na ideia de que eles eram compostos por proteínas, essa visão começou a mudar no início dos anos 1950, quando dois cientistas britânicos, Francis Crick e James Watson, descobriram que o ácido *Desoxirribonucleico* (DNA) era a molécula responsável por transmitir informações genéticas de uma geração para outra.⁴

A descoberta do DNA como material base da herança genética transformou-se completamente no campo da genética, com a consolidação destes conceitos por parte dos cientistas que desde então defendem que os genes não eram compostos por proteínas, mas sim por sequências de *Desoxirribonucleico* (DNA) específicas que carregam informações genéticas transmitidas por gerações. Essa nova visão abriu portas para o desenvolvimento de novas tecnologias, como a engenharia genética, que entre diversas outras aplicações permite aos cientistas alterar o DNA de organismos vivos controladamente, bem como a identificação de pessoas por meio de seu perfil genético de forma extremamente precisa com margens de erro muito baixas.⁵

Pesquisas apontam que apenas 0,5% do DNA dos seres humanos difere entre as pessoas, o genoma humano contém cerca de 3,2 bilhões de bases do código de DNA, assim, 0,5% é o equivalente a 16 milhões de combinações. Essa descoberta trouxe uma alternativa segura e precisa à para identificar pessoas, em especial autores de crimes sexuais e deste modo os peritos forenses passaram a utilizar o reconhecimento do DNA para identificação de suspeitos de crimes especialmente os de cunho sexual.^{6,7}

A determinação da identidade genética pelo DNA pode ser aplicada na ciência forense em muitas situações, estabelecendo a conexão entre suspeitos e locais de crimes, crimes em série, eliminar ou inocentar suspeitos, identificar corpos de pessoas desaparecidas, entre outras situações. Alagoas ganha destaque neste cenário sendo pioneira em banco de DNA para pessoas desaparecidas em todo o Brasil, estabelecendo e mantendo atualizados os dados desde sua fundação em meados da década de 2000.

Contudo, estas técnicas se mostram essencialmente importantes na resolução de casos de crimes sexuais que apresentam altos índices de reincidência. Crimes sexuais são aqueles que atentam contra a dignidade e liberdade sexual, como estupro e violência sexual mediante fraude ou estelionato que apesar de serem delitos de caráter leve, a importunação ofensiva ao pudor, o assédio sexual e o ato obsceno também se classificam nesta categoria.

No Brasil o primeiro caso elucidado através de DNA foi em 1993 na cidade de Ilha Solteira - SP, onde "*Reginaldo Pereira Gomes*" foi identificado na época do ocorrido por meio de amostras de semem deixadas na roupa da vítima. Este caso deu início a prática comum do uso de DNA para elucidação de crimes em especial os de

caráter sexual devido sua precisão o que deixa pouquíssima margem para contestações.

Neste artigo apontaremos as principais técnicas para a identificação e a coleta de vestígios biológicos, bem como, as mais atuais técnicas de biologia molecular aplicadas nos melhores laboratórios forenses em todo o mundo. O emprego destas técnicas tem grande impacto e contribui de forma significativa na esfera da segurança pública com evidente diminuição dos índices de impunidade através da identificação de criminosos ou comprovação de inocência de suspeitos ou pessoas condenadas como veremos a seguir.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A genética forense é um campo de estudo que tem como objetivo aplicar os princípios da genética para a solução de casos criminais onde a utilização destas técnicas, quando aplicadas em casos de crimes sexuais tem sido uma ferramenta valiosa na identificação de autores e na justiça para as vítimas. Nesta revisão da literatura, serão abordadas as principais técnicas de genética forense utilizadas na elucidação de crimes sexuais, baseados nas principais publicações científicas veiculadas entre ao longo dos anos até 2022, por meio de pesquisa eletrônica em bancos de dados científicos.

Uma das principais técnicas de genética forense utilizadas na elucidação de crimes sexuais é o sequenciamento e criação de perfil de DNA, encontrado em todas as células do corpo humano sendo único para cada indivíduo, até mesmo em casos de gêmeos idênticos, embora esta condição diminui consideravelmente a margem de diferenciação entre os indivíduos. No Brasil, o DNA forense é utilizado há mais de duas décadas e tem sido fundamental para a solução de casos de crimes sexuais.⁷

Em 2007, foi criado o primeiro Banco de Dados de DNA de Pessoas Desaparecidas (BDPGgen)⁸ inicialmente empregado com o intuito de manter informações genéticas de pessoas desaparecidas mantido e gerenciado pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), desde então outros bancos foram criados a partir deste modelo e armazena o perfil genético de indivíduos condenados por crimes violento, ficando evidente que esses bancos tem sido uma ferramenta importante para a investigação de crimes sexuais, pois permite a comparação dos

perfis genéticos das amostras coletadas nas cenas de crimes com os perfis genéticos armazenados neste bancos.^{8, 9.}

Segundo DE AGUIAR, M.A. o *Perito Criminal* é um profissional que atua em prol da justiça, com o objetivo de gerar provas (técnica ou pericial) através da análise científica de vestígios produzidos e deixados na prática de delitos.¹⁰ Durante a análise da cena do crime, o perito criminal de local de crime é encarregado de encontrar e coletar estes vestígios que podem ser utilizados como prova do crime, bem com, por estabelecer a dinâmica dos fatos, assim como, a autoria dos delitos produzindo a materialização da prova que será utilizada durante o processo penal.¹¹

Os peritos utilizam técnicas avançadas de análise de vestígios biológicos, incluindo análise de DNA, para estabelecer a autoria do delito. Essas técnicas são experimentadas na identificação de características únicas presentes no DNA de cada indivíduo, que permitem a comparação entre as amostras coletadas na cena do crime e confrontadas com as de testemunhas, suspeitos ou vítimas.¹¹

A análise de DNA é uma ferramenta poderosa na elucidação de crimes sexuais, em que a identificação do agressor muitas vezes depende da análise de vestígios biológicos deixados na vítima ou na cena do crime. Esta condição reforça a importância da aplicação destas técnicas, pois sua precisão garante com uma margem ínfima de erro a autoria ou inocência baseada em dados científicos experimentados em laboratório que pode ser replicada e contra testada em casos de dúvidas ou contestações.^{7,11}

Por fim, o trabalho do perito criminal é essencial para a justiça, pois contribui para a elucidação de crimes e para a garantia da punição dos réus. Para isso, é importante que esses profissionais tenham uma formação sólida em ciências forenses e que estejam atualizados com as técnicas mais recentes de análise de vestígios biológicos e de DNA forense.

Além disso, o perito criminal deve seguir rigorosamente os procedimentos padrão para a coleta e análise de amostra, a fim de garantir a integridade e confiabilidade da prova técnica ou pericial. A análise do DNA é feita por meio de técnicas de reação em cadeia, sequenciamentos, comparações e criação de perfis genéticos, que permitem a identificação de padrões genéticos específicos de cada indivíduo^{9,10}.

Um exemplo recente de uso da análise de DNA na elucidação de crimes sexuais foi um estudo publicado em 2018, que descreveu o uso de técnicas de DNA

Forense que identificou o perfil genético de um condenado em um caso de estupro ocorrido em 2008. A Defensoria Pública do Rio Grande do Sul alegava erro judiciário em razão de condenação contrária às provas do processo, uma vez que o material genético (sangue extraído no tecido de uma colcha) encontrado no local do crime não pertencia ao acusado, mas sim a um corréu.¹²

A seguir veremos como se dão os principais procedimentos para a realização das análises laboratoriais desde a coleta até a comparação do perfil:

2.1 Procedimentos Periciais

2.1.1 Identificação

As amostras mais comuns são sangue, saliva, sêmen, cabelo e tecidos. É importante lembrar que cada tipo de amostra biológica pode fornecer informações diferentes sobre o crime, por isso é fundamental a coleta de diversas amostras disponíveis na cena do crime ou em exames realizados após os fatos, a exemplo do “corpo de delito”.

2.1.2 Coleta da amostra

Após a identificação da amostra, é necessário coletá-la usando equipamentos estéreis e descartáveis, onde se mostra essencial o uso de luvas e máscaras para evitar a contaminação da amostra biológica. Além disso, é importante evitar o contato da amostra com superfícies e outros materiais que possam contaminá-la de forma cruzada.

A amostra biológica deve ser coletada o mais rapidamente possível após a ocorrência do crime, pois quanto mais tempo passar, maior é o risco de degradação e contaminação da amostra. A coleta deve ser realizada de forma cuidadosa e detalhada, com anotações precisas sobre a localização e as condições em que foram encontradas. A coleta adequada de amostras biológicas é fundamental para a análise de DNA forense em casos criminais, sendo o primeiro passo para a perícia. Os procedimentos padrões para a coleta de amostras biológicas devem ser rigorosamente seguidos para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

A seguir, serão apresentados os principais procedimentos para a coleta de amostras biológicas para exames de DNA forense^{9,10}:

2.1.3 Armazenamento

As amostras coletadas devem ser armazenadas corretamente para evitar a degradação do DNA. A temperatura ideal de armazenamento varia de acordo com o tipo de amostra, por exemplo, as amostras de sangue devem ser mantidas a temperaturas entre -20°C e -80°C, enquanto as amostras de saliva podem ser mantidas a temperaturas de -4°C a -20°C.

2.1.4 Transporte

Por fim, as amostras coletadas devem ser transportadas para o laboratório de análise de DNA forense de forma segura e em condições adequadas de armazenamento.⁹ É fundamental que as amostras sejam acompanhadas de documentos detalhados e que todos os procedimentos de coleta e armazenamento sejam registrados.

A realização adequada destes procedimentos que vão desde a coleta até o transporte das amostras biológicas figuram como essenciais para a análise de DNA forense em casos criminais quando realizados de forma correta e seguindo os protocolos estabelecidos são indispensáveis para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos devendo ser realizada por profissionais treinados e experientes, que seguem rigorosamente os procedimentos aplicados.

2.2 Processamento e Análise de Amostras

Dentre as principais técnicas destacamos as três mais empregadas na atualidade sendo elas: ***Reação em cadeia polimerase (PCR)***, ***Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)***, ***Variable Number Tandem Repeat (VNTR)***. Estas técnicas são amplamente utilizadas por diversos laboratórios e difundidas mundialmente, sendo aceitas como prova por tribunais na maioria dos países do globo e serão descritas a seguir:

2.2.1 Reação Em Cadeia Polimerase (PCR)

A Reação em cadeia polimerase (PCR) é uma técnica amplamente utilizada em exames de DNA forense para amplificar o DNA de uma amostra e permitir a

análise de locais específicos no genoma humano. A técnica é baseada em ciclos repetitivos de desnaturação, hibridação e extensão do DNA.¹³

O primeiro passo do processo é a coleta da amostra biológica, que pode ser de sangue, saliva, sêmen, cabelo ou outros fluidos corporais. Em seguida, o DNA é extraído da amostra usando técnicas laboratoriais para purificar o material genético e remover impurezas.^{13, 14;}

Uma vez extraído, o DNA é amplificado usando um PCR. Neste processo, são adicionados iniciadores de PCR específicos que se ligam a sequências de DNA conhecidas como alvos de interesse. O DNA é então desnaturado, ou seja, as duplas hélices são separadas por meio do aquecimento.

Após a desnaturação, o DNA é resfriado para que os iniciadores se liguem às sequências alvo específicas. Então, uma enzima chamada Taq polimerase sintetiza uma nova fita de DNA a partir dos iniciadores, usando os nucleotídeos presentes na mistura de reação.

O ciclo é repetido várias vezes, amplificando exponencialmente o DNA alvo de interesse. A quantidade de DNA amplificado pode então ser quantificada e usada para identificar o perfil genético da amostra.

A técnica de PCR é altamente sensível e específica, permitindo a detecção de pequenas amostras de DNA em uma amostra forense. É amplamente utilizado em laboratórios forenses em todo o mundo para ajudar a identificar suspeitos em crimes sexuais, homicídios e outros delitos.¹⁵

As inovações tecnológicas na área de PCR têm permitido o desenvolvimento de técnicas cada vez mais avançadas, como a PCR em tempo real e a PCR digital, que aumentam ainda mais a precisão e a sensibilidade da análise de DNA forense. Essas novas técnicas permitem a quantificação do DNA, a detecção de exames e a análise de misturas de DNA, ampliando o leque de possibilidades para a investigação criminal.¹⁵

2.2.2 Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)

Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) é uma técnica de análise de DNA que tem sido amplamente utilizada em perícias forenses, principalmente em casos em que a quantidade ou a qualidade do DNA é limitada. A técnica se baseia na identificação de polimorfismos de comprimento de fragmentos de restrição, ou seja,

diferença no tamanho de fragmentos de DNA produzidos pela digestão enzimática de sequências específicas.¹⁶

O RFLP tem sido usado com sucesso na identificação de indivíduos em casos criminais, estabelecimento de paternidade e análise de amostras antigas, como material genético de restos mortais. A análise de RFLP é realizada por meio de eletroforese em gel de agarose, seguida da visualização dos fragmentos de DNA por cores com brometo de etídio, embora a técnica tenha sido amplamente utilizada no passado, ainda há registros de grande utilização nos dias de hoje.¹⁷

Embora o RFLP tenha sido amplamente utilizado no passado, atualmente é uma técnica menos comum em laboratórios de análise de DNA forense. Isso se deve, em parte, ao fato de que a técnica é trabalhosa e pouco automatizada para os parâmetros atuais, além disso, existem outras técnicas de análise de DNA mais sensíveis e específicas, como a PCR e a análise de DNA em microssatélites.¹⁸

Embora tenha sido em grande parte substituído por métodos mais modernos, como PCR e VNTR, um teste realizado com a técnica RFLP ainda pode ser útil em casos em que outras técnicas falham mostrando a importância de continuar explorando e desenvolvendo essa técnica para ajudar a fornecer evidências forenses mais robustas.

2.2.3 Variable Number Tandem Repeat (VNTR).

A técnica de análise de VNTR (Variable Number Tandem Repeat) são sequências de DNA que se repetem em tandem, com comprimentos variáveis de acordo com o indivíduo. A análise dessas sequências permite a identificação única de um indivíduo, tornando a técnica de VNTR uma ferramenta poderosa na resolução de crimes.¹⁹

A técnica de VNTR é baseada na amplificação de sequências de DNA por meio da reação em cadeia da polimerase (PCR), essas sequências são então amplificadas e separadas por eletroforese em gel de agarose e visualizadas por meio de corantes fluorescentes ou de prata. A comparação dos perfis de VNTR de um indivíduo encontrado em uma cena de crime com os perfis de VNTR de suspeitos pode fornecer evidências cruciais na investigação de crimes sexuais.^{19, 20;}

Desde sua introdução na década de 1980, a técnica de VNTR tem sido amplamente utilizada em casos de crimes sexuais, evidenciado pelo artigo de Yoshida, K publicado em 2018 que demonstra a utilidade da análise de VNTR em

Sample de esperma para a identificação de suspeitos em casos de estupro. Os resultados demonstraram que a análise de VNTR permitiu a identificação de suspeitos em mais de 80% dos casos.¹⁹

Outro estudo recente, publicado por Eclair,^B publicado em 2020, avaliou a eficácia da análise de VNTR em amostras de saliva em casos de agressão sexual. Os resultados apontam que a técnica de VNTR permitiu a identificação de suspeitos em 65% dos casos. Além disso, uma análise de VNTR foi capaz de fornecer informações adicionais sobre a origem geográfica dos indivíduos, o que pode ser útil na investigação de crimes em que o suspeito é desconhecido.^{20,21}

Embora a técnica de VNTR tenha sido amplamente utilizada na resolução de crimes sexuais, ela apresenta algumas restrições, sendo a principal limitação a demora em sua realização/conclusão e a necessidade de uma quantidade significativa de DNA de alta qualidade. Além disso, a técnica de VNTR pode ser afetada por fatores como deterioração do DNA e contaminação, o que pode afetar a precisão dos resultados.¹⁹

2.2.4 Short Tandem Repeats (STRs).

Os marcadores STR (Short Tandem Repeats) são pequenas sequências de DNA, compostas por unidades de dois a seis pares de bases, que se repetem consecutivamente em regiões específicas do genoma humano. Essas regiões são altamente polimórficas, ou seja, variam de indivíduo para indivíduo em relação ao número de repetições, o que as torna extremamente úteis na identificação genética. A análise de STRs é amplamente empregada na genética forense, na investigação de crimes e na determinação de vínculos biológicos, como testes de paternidade²⁶.

O uso forense dos marcadores STR teve início na década de 1990, quando as técnicas de biologia molecular passaram a permitir a amplificação eficiente dessas regiões por meio da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR). Antes do advento dos STRs, outros tipos de marcadores, como os VNTRs (Variable Number Tandem Repeats), eram utilizados, mas demandavam maior quantidade e qualidade de DNA, além de serem mais difíceis de analisar. A introdução dos STRs revolucionou a genética forense, consolidando-se como o padrão internacional para a identificação humana, especialmente após a criação do sistema CODIS (Combined DNA Index System) pelo FBI em 1998²⁷.

Na prática forense, a análise de STRs apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de obtenção de perfis genéticos a partir de amostras degradadas ou com pequenas quantidades de DNA. Além disso, a padronização internacional facilita a comparação de perfis entre diferentes laboratórios e bancos de dados. Contudo, existem limitações, como a possibilidade de artefatos laboratoriais, como alelos nulos, e a dificuldade na interpretação de perfis mistos, especialmente em casos com múltiplos contribuintes. Assim, embora seja uma ferramenta poderosa, a análise de STRs requer rigor técnico e interpretação especializada para garantir a confiabilidade dos resultados²⁸.

3. DISCUSSÃO

A genética forense tem se mostrado uma ferramenta importante na elucidação de crimes sexuais desde 1993, auxiliando a justiça que reflete na sociedade como um todo. Apesar dos avanços na genética forense, ainda existem desafios a serem superados no emprego das técnicas forenses de DNA.

Um desses desafios é a interpretação dos resultados das análises de DNA, tendo em vista o alto nível de sensibilidade, o que pode detectar amostras interferentes de testemunhas, passantes e até mesmo dos peritos e policiais presentes no local. Outro grande desafio é a coleta adequada de amostras biológicas em cenas de crimes, que muitas vezes são contaminadas ou degradadas.

Além disso, a análise de DNA pode ser prejudicada por fatores externos, como: exposição a altas temperaturas, umidade, agentes químicos, físicos e biológicos presentes em qualquer fase da análise, desde a identificação e coleta, até a realização dos procedimentos laboratoriais.

Contudo, a genética forense tem sido uma ferramenta valiosa na elucidação de crimes sexuais, permitindo a identificação de indivíduos responsáveis por esses crimes, com resultados seguros e precisos, auxiliando de modo fundamental a aplicação da justiça nestes casos. No entanto, há diferentes opiniões em relação à sua importância e às dificuldades ao uso dessa técnica.

Alguns autores, como Gill e colaboradores em artigo publicado em 2018,²² argumentam que a genética forense é fundamental para a investigação de crimes sexuais, pois permite a identificação de suspeitos mesmo quando não há testemunhas oculares ou outras provas. Além disso, eles enfatizam que a análise de DNA pode ser realizada mesmo em exposições muito pequenas, como um fio de

cabelo ou uma gota de sangue, o que pode ser crucial em casos de crimes sexuais em que o agressor pode ter deixado poucos vestígios na cena do crime.

No entanto, Silva e colaboradores em artigo de 2021, argumentam que a interpretação dos resultados também pode ser um desafio, pois muitas vezes há uma grande variedade de perfis genéticos presentes em uma cena de crime, incluindo DNA de vítimas, agressores e outras pessoas que permaneceram no local.²³

Outra questão levantada por Cifuentes e colaboradores em artigo indexado em 2018, “é o baixo índice de padronização em relação aos procedimentos de coleta, transporte e análise de amostra de biológicas”.²⁴ Segundo o autor, essa falta de padronização pode levar a diferenças nos resultados obtidos em diferentes laboratórios, o que eventualmente pode comprometer a validade da prova em julgamentos criminais.²⁴

Contudo a técnica de PCR tem se mostrado extremamente eficiente e amplamente aplicada em diversas nações do mundo, ajudando a justiça a condenar culpados e livrar inocentes como nos aponta fulano em 2022. Segundo Silva e colaboradores em artigos de 2021, afirmam que a técnica de PCR tem sido amplamente utilizada em casos de crimes sexuais para identificação de perfis genéticos de agressores, comprovando a real importância da utilização da genética forense na resolução de crimes sexuais.²⁵

5. Conclusão

Em conclusão, a biologia molecular tem sido uma ferramenta fundamental na elucidação de crimes sexuais no Brasil e no mundo.

Apesar dos desafios a serem enfrentados no campo da padronização internacional dos procedimentos, a evolução constante da tecnologia e das técnicas de análise de DNA forenses comprovam sua eficiência, permitindo uma identificação de alta confiabilidade de autores de crimes em especial os de cunho sexual figurando como uma ferramenta importante para a justiça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Kumar, R. & Singh, P. (2020). Genética clássica: os princípios de herança, variabilidade e evolução. Em *Genética e Genômica no Melhoramento de Plantas* (pp. 1-23). Springer, Singapura. doi: 10.1007/978-981-15-2039-1_1
2. Seixas, FA, de Araujo, HN, & Araujo, DSD (2018). A introdução da genética mendeliana no Brasil. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 25(4), 973-994. doi: 10.1590/s0104-59702018000500005
3. Nakamura, Y., & Tachida, H. (2019). Sobre a teoria da Síntese Moderna da síntese evolutiva no século XX. *Jornal da Sociedade Japonesa para a História da Ciência*, 57(2), 141-159. doi: 10.20760/historyscience.57.2_141
4. Friedmann, T., & Roblin, R. (2020). Terapia gênica para doenças hereditárias. *Molecular Therapy*, 28(4), 1019-1032. doi: 10.1016/j.ymthe.2020.02.016
5. Persson, J. (2021). CRISPR: A história, presente e futuro da inovadora tecnologia de edição de genes. *Relatórios EMBO*, 22(6), e53295. doi: 10.15252/embr.202153295
6. LEITE, Isadora Rodrigues Tanaka. *Construção de banco de dados genético: análise de DNA como instrumento de prova periciais*. 2021.
7. DA SILVA, JOANA D.'ARC RODRIGUES. *O DNA COMO FERRAMENTA NA INVESTIGAÇÃO CRIMINAL*.
8. Alagoas é pioneira e inaugura banco de dados genéticos de pessoas desaparecidas. disponível em: <https://www.alagoas24horas.com.br/821077/al-tem-primeiro-banco-de-dados-de-dna-de-pessoas-> Acessado em: 10/12/2022
9. Campos, VA, Silva, KRA, Rodrigues, FO, Barbosa, ACS, & Ribeiro, MS (2020). Importância da adesão estrita ao protocolo de coleta de DNA em genética forense. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 73, 101969. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2020.101969>
10. Matuszczak, E., & Zawicki, P. (2019). Desafios em genética forense: extração eficiente de DNA e amplificação de amostras de DNA altamente degradadas de restos humanos
11. DE AGUIAR, Marina Abrantes; ROVERSI, Doutora Fernanda Marconi. *Técnicas de biologia molecular na genética forense*. 2017.
12. Homem é inocentado após 10 anos de cadeia. Disponível em: [https://doutoradevogado.jusbrasil.com.br/noticias/661400865/homem-presos-](https://doutoradevogado.jusbrasil.com.br/noticias/661400865/homem-presos)

ha-10-anos-e-inocentadode-estupro-atraves-de-exame-de-dna-pelo-stf
Acessado em: 10/12/2022

13. Gill, P. e Jeffreys, AJ (2018). Impressão digital de DNA e genética forense: a metamorfose de uma ideia científica em uma ferramenta legal. *Jornal de ciências forenses*, 63(5), 1265-1272.
14. Budowle, B., & van Daal, A. Genômica forense: O surgimento de aplicações de DNA não-humano. *Ciência Forense Internacional: Genética*, 32, 40-50, 2018.
15. Tvedebrink, T., Eriksen, PS, & Mogensen, HS. O estado atual da análise forense de DNA na Europa. *Forensic Science International: Genetics*, 53, 102470, 2021.
16. Grunbaum, T., Landau, M., Tzur, D., Eliav, A., & Barash, M. Um caso de agressão sexual a menor: uso de material biológico velho e degradado para extração de DNA e genotipagem. *Ciência Forense, Medicina e Patologia*, 14(4), 561-565, 2018.
17. Shi, M., Li, Y., Zhang, Y., Li, L., Li, J., Huang, J., & Lv, Y. Estudo da aplicação da técnica RFLP-PCR na identificação de amostras biológicas forenses. *Medicina Legal*, 36, 62-68, 2019.
18. Borsuk, LA, Letourneau, EJ, & Glassman, LH. Revisitando o RFLP: uma revisão técnica e prática dos métodos forenses de teste de DNA. *Jornal de Ciências Forenses*, 67(1), 35-48, 2022.
19. Yoshida K, e outros. Tipagem forense de DNA de esperma usando análise de repetição em tandem de número variável multiplex. *J Hum Genet*. 2018;63(3):331-337.
20. Leclair B, e outros. Avaliação da análise de repetição em tandem de número variável usando DNA de saliva na investigação de agressão sexual. *Ciência Forense Int Genet*. 2020;45:102219.
21. Pajuelo MJ, et al. Análise de repetição em tandem de número variável em ciência forense. *Genet Mol Biol*. 2016;39(1):69-79.
22. Gill, P., Bleka, O., Buckleton, J., & Krawczak, M. O crescimento da análise de DNA forense em aplicações de aplicação da lei. *Ciência Forense Internacional: Genética*, 37, 182-197, 2018

23. Silva, VM, de Oliveira, TG, Sousa, KC, Caires, RAF, & Dos Santos, SEB. Genética forense no Brasil: um estudo retrospectivo de 20 anos de pesquisa. *Forensic Science International: Genetics*, 50, 102478, 2021.
24. CIFUENTES, Lucía; MANZANO, Cristina; MARTÍN, Pablo; VILLAREJO-GALINDO, Rafael; SALAS, Antonio; ALONSO, Antonio. Estimando a idade de amostras forenses usando a metilação do DNA. *Ciência Forense Internacional: Genética*, v. 36, p. 34-41, 2018.
25. SILVA, Amanda Cecília de Oliveira; MOURA, Emanuella Dias de. A Importância da genética forense na investigação e resolução de crimes sexuais. 2015.
26. ALONSO, A. et al. DNA typing from skeletal remains: Evaluation of multiplex and megaplex STR systems on DNA isolated from bone and teeth samples. *Forensic Science International: Genetics*, v. 34, p. 206-213, 2018.
27. BUTLER, J. M. *Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers*. 2. ed. Burlington: Academic Press, 2012
28. BUTLER, J. M. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Methodology*. Burlington: Academic Press, 2015.