

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FARMÁCIA

MAC GIVER DA SILVA QUEIROZ

MAGNUM CÍCERO DA SILVA QUEIROZ

VANESSA FERNANDES PEREIRA DA SILVA

**A IMPORTÂNCIA DA TÉCNICA DE PCR NA CIÊNCIA FORENSE
PARA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES**

RECIFE/2021

MAC GIVER DA SILVA QUEIROZ
MAGNUM CÍCERO DA SILVA QUEIROZ
VANESSA FERNANDES PEREIRA DA SILVA

**A IMPORTÂNCIA DA TÉCNICA DE PCR NA CIÊNCIA FORENSE
PARA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES**

Artigo apresentado ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA,
como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em
Farmácia.

Professor Orientador: Natanael da Silva Bezerra Junior

RECIFE/2021

Q3i

Queiroz, Mac Giver da Silva

A importância da técnica de pcr na ciência para
elucidação de crimes. / Mac Giver da Silva Queiroz; Magnum
Cícero da Silva Queiroz; Vanessa Fernandes Pereira da Silva. -
Recife: O Autor, 2021.
36 p.

Orientador (a): Natanael da Silva Bezerra Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro
Universitário Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Farmácia, 2021.

1. Genética Forense. 2. DNA. 3. PCR. 4. Biologia
Molecular. I. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. II. Título.

CDU: 615

MAC GIVER DA SILVA QUEIROZ
MAGNUM CÍCERO DA SILVA QUEIROZ
VANESSA FERNANDES PEREIRA DA SILVA

A IMPORTÂNCIA DA TÉCNICA DE PCR NA CIÊNCIA FORENSE PARA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

Artigo aprovado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Farmácia, pelo Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, por uma comissão examinadora formada pelos seguintes professores:

Prof.º Orientador Dr. Natanael da Silva Bezerra Junior
Professor Examinador

Prof.º Drª Maria Lucília Machado da Costa
Professor Examinador

Prof.º Drª Mariana Esposito Mendes
Professor Examinador

Recife, ___/___/___

NOTA: _____

Dedicamos esse trabalho a nossos pais, nossos maiores e melhores orientadores da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus primeiramente por permitir que nossos objetivos fossem alcançados durante todos os anos de estudo.

Ao nosso orientador pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo a esse projeto de pesquisa.

Aos nossos familiares e amigos que ajudaram na realização desse trabalho, somos imensamente gratos pela paciência e apoio nos momentos mais difíceis.

*“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos
nós ignoramos alguma coisa. Por isso
aprendemos sempre.”
(Paulo Freire)*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO GERAL	10
2.1 Objetivos específico	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 Ciência Forense	10
3.2 Técnicas Empregadas na Ciência Forense	12
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Casos solucionados utilizando o BNPG	23
<i>5.1.1 Caso Rachel Genofre</i>	25
<i>5.1.2 Crimes sexuais cometidos nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Goiás</i>	26
<i>5.1.3 Ataques a motéis nos estados de Goiás, Maranhão e Tocantins</i>	27
<i>5.1.4 Primeira Coincidência Transcontinental registrada pelo BNPG e a Interpol</i>	27
<i>5.1.5 Perspectivas para a identificação de perfis genéticos no Brasil</i>	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	32

A IMPORTÂNCIA DA TÉCNICA DE PCR NA CIÊNCIA FORENSE PARA ELUCIDAÇÃO DE CRIMES

Mac Giver da Silva Queiroz

Magnum Cícero da Silva Queiroz

Vanessa Fernandes Pereira da Silva

Natanael Bezerra¹

Resumo: A Biologia Molecular proporcionou grandes avanços no campo da Ciência Forense, correspondendo ao estudo da biologia em nível molecular no qual é analisado o material genético e sua estrutura, tendo como principal relevância a utilização do DNA e a análise dos marcadores moleculares através da técnica de PCR. O presente trabalho objetivou abordar a importância da Ciência Forense e seus conceitos na elucidação de crimes, expondo métodos, técnicas e tecnologias avançadas para detecção e análise de DNA através da técnica da PCR. Em locais de análises da genética forense, amostras oriundas de cenas de crimes são processadas, extraídas, amplificadas, genotipadas e analisadas, para revisão de forma detalhada visando a obtenção dos resultados de perfis de DNA juridicamente aceitos e inquestionáveis, além de garantir a qualidade dos perfis inseridos na RIBPG, que auxiliam e são fundamentais na resolução dos crimes de várias naturezas. A metodologia foi realizada no levantamento bibliográfico nos bancos de dados Scielo, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Pubmed, livros eletrônicos e Google Acadêmico. Depois da realização da coleta e extração, após a extração do DNA, é possível a replicação dos marcadores moleculares a partir da PCR e análise através da eletroforese. A identificação por perfil genético e o banco de perfis genéticos são medidas revolucionárias, capazes de elucidar crimes que, se não fosse a técnica aplicada de DNA (PCR), provavelmente ainda estariam inconclusos. Com provas sólidas, evita-se que a justiça absolva criminosos, devido à falta de provas, fornecendo a punição prevista na lei ao verdadeiro culpado.

Palavras-chave: Genética Forense. DNA. PCR. Biologia Molecular.

¹ Natanael da Silva Bezerra Junior. Mestrado e doutorado em Ciências Farmacêuticas. E-mail para contato: natanaelbezerraprof@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A Ciência Forense é descrita como uma atividade que dá suporte às investigações que se conduzem a crimes, tendo como principal foco excluir um suspeito envolvido ou não de um crime, livrando, assim, um inocente por algo não cometido. Por outro lado, também é capaz de apontar o envolvimento de um suspeito, que possa apresentar perigo à sociedade, usando dos conhecimentos de física, biologia, química e técnicas utilizadas em resoluções de crimes. A área forense, atribuída por meio de suas metodologias, é de grande importância na resolução de crimes que, em muitas vezes são considerados sem solução. Em seu conceito, encontra-se a perícia criminal, que pode ser também componente de grande importância na elucidação de casos que contradizem a lei (FERREIRA, 2016).

A impunidade foi um fator crucial para o aumento da criminalidade, devido à escassez de métodos e técnicas que apresentassem resultados capazes de identificar o autor do crime e fornecessem alto grau de confiabilidade. A identificação do indivíduo antes da descoberta do DNA, era feita a partir da arcada dentária, cor dos olhos, sinais de nascença, anomalias genéticas, melanina e tipagem sanguínea para os fatores ABO e RH, porém estes tipos de análises não forneciam um bom critério de exclusão de suspeitos envolvidos em crimes (DA SILVA, 2020).

Dentro da polícia, a perícia criminal é a área responsável pela parte jurídica que engloba a análise feita por exames com o material adquirido na cena de crime, servindo de fundamento para a condenação ou soltura de um suspeito. Foi comprovado que um local de crime minuciosamente preservado, permite o uso de vestígios detectados como prova. Segundo Hans Gross, que criou o termo criminologia, como é reconhecido hoje, assegurava que este é um pensamento moderno compreendido de toda a atmosfera de algum crime, fazendo uma análise crítica e sólida a respeito dos vestígios encontrados e realizando uma análise abstrata da cena, avaliando o psicológico do suspeito para montar um perfil criminal (FERREIRA, 2016).

Nas últimas décadas, houve desenvolvimentos tecnológicos às ciências forenses, principalmente no que se diz respeito às pesquisas e os resultados adquiridos com a aplicação da Biologia Molecular, como ferramenta de identificação humana. Fornece suporte à justiça na investigação criminal por meio da análise de vestígios biológicos com material genético presente, além de permitir um estudo em

várias amostras de tecidos e líquidos, e ser resistente a fatores ambientais. Em meio ao processo de análise de um crime, sobressai a Genética Forense que estuda as características hereditárias usadas na identificação humana por meio da análise do DNA, que é único em cada indivíduo, garantindo um resultado com mais exatidão. O código genético humano possui cerca de 3.164.700.000 bilhões de pares de bases, sendo 99,6% do DNA entre todos os indivíduos iguais, porém as variações que ocorrem nos 0,4% restantes determinam a variabilidade genética, comprovando que não pode haver duas pessoas com o mesmo material genético, exceto gêmeos monozigóticos (ARAUJO, 2018).

A partir dos anos 80, pesquisas e estudos evidenciaram a análise do DNA e RNA de forma mais delineada, possibilitando por meio das técnicas, estudos em relação à interação do DNA, RNA e a síntese de proteínas. A Biologia Molecular junto com a genética ajuda a justiça na investigação criminal por meio de vestígios biológicos, comumente encontrados na cena do crime, contendo o material genético. As variações genéticas são designadas de marcadores moleculares, e através de algumas técnicas de biologia molecular, a análise destes marcadores aceita o estabelecimento do perfil genético de um indivíduo na população, ou seja, a parte do genoma que contém caráter polimórfico. Desde então, estudos novos vêm sendo efetivados nesta área (BARBOSA, 2017).

Vestígios encontrados em locais de crime são elementos que irão guiar na busca pela elucidação dos fatos, existem dois tipos de vestígios: os macrovestígios, simplesmente identificados e os microvestígios que demandam análises técnicas mais peculiares. Entre os microvestígios, tem-se a impressão digital, que se tornou uma plausível fonte de extração de DNA, com um amplo potencial de recuperação do material genético. Atualmente, continua sendo, ainda, uma das melhores formas de se identificar um suspeito por mediação da análise da digital, uma vez que algum envolvido em cenas de crime deixa vestígios e, casualmente, um destes pode ser a impressão digital (BARBOSA, 2017).

Dentre as diversas técnicas de Biologia Molecular que são empregadas, temos a PCR, uma técnica capaz de amplificar determinada região do DNA, *in vitro*, e pode ser usada como um marcador genético para relacionar o DNA encontrado, com o DNA de suspeitos, usada amplamente por ter custo baixo, fácil aplicabilidade, capacidade de análises em quantidades pequenas de DNA com alta especificidade na identificação e reconhecimento do indivíduo (OLIVEIRA; FILHO, 2018).

2 OBJETIVO GERAL

Apresentar a relevância da ciência forense para a elucidação de crimes, através de marcadores moleculares e obtenção de perfis genéticos.

2.1 Objetivos específicos

- Apresentar a ciência forense, sua finalidade e suas ciências correlatas;
- Comentar sobre a utilização da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), no contexto da ciência forense;
- Demonstrar o impacto dos marcadores moleculares para a elucidação de crimes atualmente.
- Apresentar casos solucionados a partir do Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ciência Forense

O conceito de Ciências (do latim *scientia*) é conhecimento, a procura do ser humano pela compreensão dos acontecimentos que o cercam através de métodos científicos, enquanto o termo *Forense* se refere ao desdobramento de estudos, teorias, análises e experimentos que fornecem suporte às investigações criminal e cível, contribuindo para o sistema judicial (MONGOLLÓN; RODRÍGUEZ, 2019).

Os peritos são aqueles que detêm os conhecimentos técnicos e científicos que os tornam capazes para o fornecimento de provas após a verificação em sua existência material, partindo de uma análise, podendo esclarecer a natureza dos acontecimentos e estabelecendo de forma segura o contexto dos fatos. O conjunto de diferentes disciplinas, entre elas a Criminalística e a Medicina Legal, envolve a Ciência Forense. No princípio, a análise do corpo da vítima era feita por especialistas em Medicina Legal, peritos legistas que se responsabilizavam também pela pesquisa, busca e análise dos fatos através da avaliação das circunstâncias do crime,

contextualizando com o local onde o corpo foi encontrado, contribuindo para a determinação da causa da morte (GIOVANELLI, 2020).

Com o passar dos anos, os peritos a partir da observação do local do crime e das evidências julgaram necessária a procura pela conexão dos vestígios, ampliando o campo de estudo, abrangendo conhecimentos de diferentes ciências como física, química, biologia, matemática, envolvendo também a botânica, documentoscopia, identificação humana a partir das papilas dérmicas (papiloscopia), estudo sobre a movimentação de projéteis (balística) entre outras disciplinas, agregando à Medicina o conhecimento de outras ciências. Quando o jurista e criminologista Hans Gross no século XIX colocou como pretensão a solução de crimes pelos meios da Ciência moderna, surgiu a Criminalística, disciplina responsável pela pesquisa e análise de elementos que, durante seu período de evolução, designou-se como Policiologia, Ciência Policial, Criminologia Científica e Investigação Criminal Científica (GIOVANELLI, 2020).

Em 1908, na França, originou-se a primeira Instituição Criminalística, o Instituto de Polícia Científica na Universidade de Lousanne, que possuía um laboratório em que atuava um dos mais importantes Peritos Criminais: Dr. Archibald Rudolf Reiss, que fez várias publicações, entre elas “*O Manual de Polícia Científica*”. A criminalística, embora surgida na Academia, aos poucos foi sendo tutelada até sua incorporação às forças policiais (VALLES; ABURAYA, 2016).

Considerando o Brasil, na Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro, a educação prática da Medicina Legal, desenvolvida por Agostinho José de Sousa Lima em 1877, marcou uma nova fase da Medicina Legal brasileira, criação de laboratório, teorias e estudos sobre a morte, causas e fenômenos relacionados (tanatologia forense) no necrotério da Polícia da então Capital Federal. Mais tarde, em 1922, foi inaugurada a Pesquisa Médico Legal, dessa vez no estado de São Paulo, o que procedeu para a criação da fundação hoje conhecida como Instituto Oscar Freire, onde já funcionava o serviço Médico Legal oficial de São Paulo. Os primeiros estudos revisados, defendidos em tese e publicados sobre vestígios de disparos de armas no Brasil, foram feitos por Peritos Legistas no estado de São Paulo, referente à disciplina de Medicina Legal da Faculdade de Medicina de São Paulo. Na mesma faculdade, o médico Amado Ferreira verificou vários reagentes indispensáveis para identificação de manchas de sangue. A identificação papiloscópica havia sido implantada em 1902 no Brasil (BONAMIGO; DE OLIVEIRA KOHLER, 2016).

Já em 1943 e 1944 com a fundação do Gabinete de Identificação Rio de Janeiro foi criada a Diretoria Geral de Investigações, que envolvia o Instituto de Identificação, o Instituto Médico Legal e o Gabinete de Pesquisas Científicas, originando o primeiro Instituto de Criminalística. Na metade do século XX, no Rio de Janeiro, foram criadas instituições criminalísticas autônomas vinculadas à organização policial. Posteriormente, esse seguimento foi tomado em vários Estados do Brasil, através dos movimentos de peritos e de órgãos da sociedade civil, cujo objetivo seria a autonomia administrativa, orçamentária e técnico-científica dos órgãos periciais (GIOVANELLI, 2020).

3.2 Técnicas Empregadas na Ciência Forense

O desenvolver da genética forense ocorreu de forma gradual, através dos estudos feitos por Landsteiner no século XIX sobre os grupos sanguíneos ABO. Após essa descoberta, a identificação humana era realizada através da tipagem sanguínea. Ainda no século XIX, o criminologista francês Edmond Locard indicava que qualquer pessoa e/ou objeto, estando em uma cena de crime, leva consigo algo do local e deixa vestígios após sua partida, denominado troca de Locard, estabelecendo assim os fundamentos modernos para a Ciência Forense. Simultaneamente, os estudos de Thomas Hunt Morgan mostraram que existiam transmissão de traços hereditários, propondo a teoria cromossômica da herança. A iniciação das pesquisas em nível molecular ocorreu em 1953, após a descoberta da estrutura do DNA em forma de dupla hélice (estrutura helicoidal) (DIAS FILHO, *et al.* 2018).

O primeiro assassinato que teve resolução a partir de exames de DNA aconteceu na Inglaterra, “Caso Leicester”, em 1983 no um vilarejo de Narborough, no qual ocorreram os assassinatos de Lynda Mann e Dawn Ashcroft. O corpo de Lynda Mann que tinha 15 anos foi encontrado após ter sido estuprada, sendo colhidas amostras de sêmen. Três anos depois, o corpo de Dawn Ashcroft que tinha a mesma idade foi achado nos arredores do vilarejo de Enderby, perto de Narborough, sendo concluído que a vítima teria sido estuprada e assassinada da mesma forma que Lynda Mann, tendo a polícia também coletado as amostras de sêmen do estuprador. Em seguida, Richard Buckland confessou os dois crimes. A análise de DNA detectou que os sêmens encontrados nas vítimas eram do mesmo homem, mas não pertenciam a Richard Buckland. Uma campanha de doação de sangue na região foi feita na tentativa de encontrar o estuprador, sendo analisados o sangue de 3.600 homens, mas nenhum

tinha o DNA compatível. Em 1988 uma mulher contou para as autoridades que um funcionário de uma padaria, Ian Kelly, na campanha de doação de sangue, entrou na fila para doar sangue no lugar de um colega padeiro: Colin Pitchfork. A busca policial, a captura de Colin Pitchfork e a análise de uma amostra de seu sangue comprovou que o estupro e Colin eram a mesma pessoa. Em seguida Colin confessou os crimes e se tornou a primeira pessoa a ser condenada, após identificação de autoria criminal por um exame de DNA (BARBOSA; ROMANO, 2018).

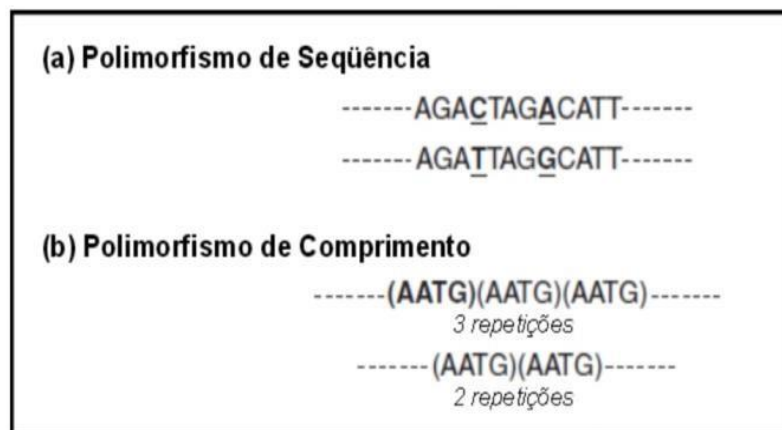
A partir dos avanços da genética forense, tornou-se possível a identificação humana através de diferentes técnicas de hibridização e PCR que contribuíram para os avanços nos marcadores genéticos de DNA. O princípio dos marcadores genéticos baseia-se nos pares das bases de forma complementar que são interligados entre si, possibilitando técnicas que a partir de pequenos fragmentos de DNA apresentem as variações nas sequências homólogas denominadas polimorfismos, caracterizando uma sonda específica para a sequência de nucleotídeos que contêm no fragmento do DNA. A técnica de RFLP (Polimorfismo de comprimento dos fragmentos de restrição) que foi o primeiro marcador genético baseado em DNA desenvolvido, proposto por Alec Jeffreys em 1984, com a análise de polimorfismos de minissatélites, denominada regiões repetitivas em tandem simples de DNA, ou VNTRs (número variável de repetições em tandem) que envolve as unidades contendo de 10 a 100 nucleotídeos agregadas e localizadas em cerca de 3.000 repetições em segmentos mais curtos do genoma do que as sequências satélites; o sequenciamento de moléculas de DNA, por Frederick Sanger; o aperfeiçoamento, feito por Kery Mullis, na técnica de Reação em Cadeia da Polimerase – PCR, que permitiu amplificação *in vitro* de regiões específicas do DNA, viabilizando análises de amostras do material genético mesmo em pequenas concentrações, revolucionando principalmente a área forense (DIAS FILHO, *et al.* 2018).

Embora cada indivíduo não apresente características iguais entre si, grande parte do genoma humano é idêntico, sendo que aproximadamente 0,4% do DNA humano é variável entre a população, o que possibilita a identificação do indivíduo, sendo essas variações denominadas regiões polimórficas fundamentais para a perícia criminal. Os polimorfismos reconhecidos dessas regiões em um mesmo loco exibem diferentes tipos de alelos (Figura 1) na população, ocorrendo em duas formas, o de sequência e o de comprimento, sendo o de sequência definido por uma mutação específica de apenas um nucleotídeo na região analisada, e o de comprimento é o

mais utilizado na perícia criminal, sendo caracterizado pelo número de vezes que ocorrem as variações, determinando o seu tamanho na região, chegando mais próximo ao suposto suspeito por ser específico em cada pessoa (RODRIGUES; DE FREITAS SILVA, 2020).

Fatores ambientais como umidade, tipo de solo, radiação solar e/ou agentes químicos interagem com o DNA fragmentando-o. A redução no tamanho do DNA é o que torna os STRs mais eficientes que os VNTR nas análises forenses tendo, em vista que em cenas de crimes é comum encontrar amostras degradadas, além de ser uma análise mais rápida e com facilidade na aplicação da técnica (BARBOSA, 2017).

Figura 1: Diferença entre os tipos de polimorfismos.

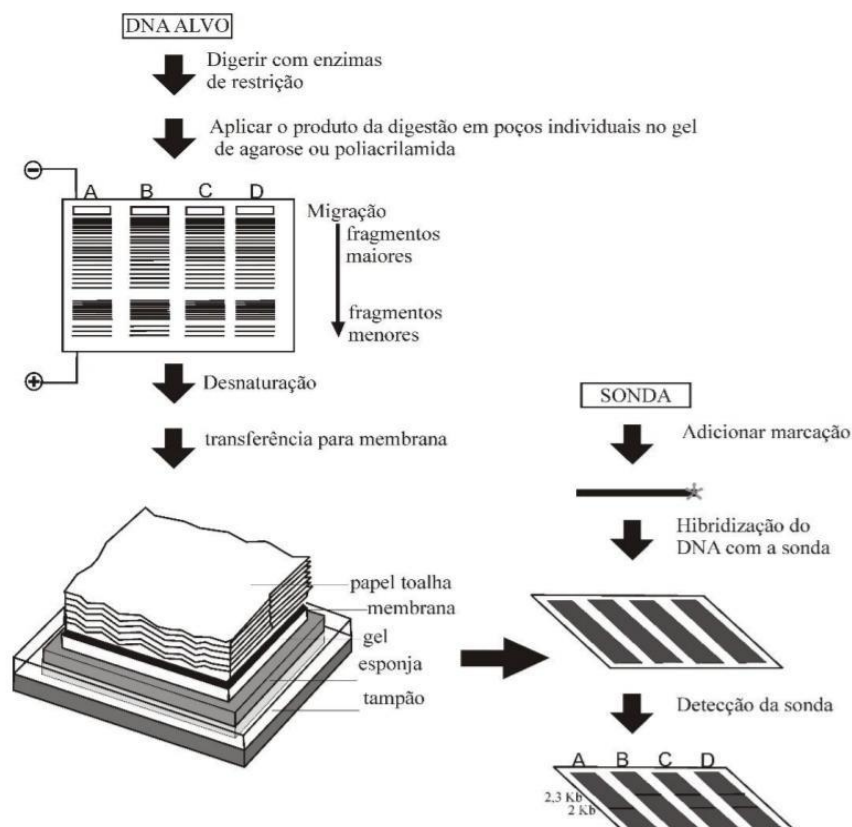


Fonte: BARBOSA, 2017.

Na técnica de RFLP o DNA é digerido por enzimas de restrição e o produto é analisado por eletroforese em gel de agarose ou poliacrilamida, desnaturados, transferidos para uma membrana e uma sonda de fita simples, é hibridizada para detectar os polimorfismos (Figura 2), da mesma maneira que na técnica de Southern Blot (técnica da biologia molecular que serve para examinar se uma determinada sequência de DNA está ou não presente em uma amostra). As sondas podem ser detectadas por autorradiografia, inicialmente marcadas por elementos radioativos, pouco utilizadas atualmente, predominando as sondas fluorescentes ou que participam de reações colorimétricas. Os RFLPs podem ser causados por mudanças de substituição de nucleotídeos no sítio de reconhecimento da enzima, rearranjo de DNA, inserção e/ou deleção. Por exemplo, se uma sonda hibridiza com um fragmento

de dois mil pares de bases (2 Kb) em um indivíduo (A) e em outro indivíduo (B) a mesma sonda hibridiza com um fragmento de 2,3 Kb, provavelmente o indivíduo B não tem um sítio de restrição presente em A e o próximo sítio de restrição está a 0,3 Kb. O polimorfismo deste marcador é baseado nos diferentes tamanhos de fragmentos gerados por enzimas de restrição. Este marcador foi utilizado para a construção do primeiro mapa molecular em humanos em 1980. Por ser codominante e identificar um *locus* específico, este tipo de marcador é informativo e capaz de discriminar genótipos individuais (TURCHETTO, *et al.* 2017).

Figura 2 - Esquema representativo da técnica de RFLP. Os indivíduos A e B são homocigotos e os C e D são heterocigotos.



Fonte: TURCHETTO, *et al.* 2017.

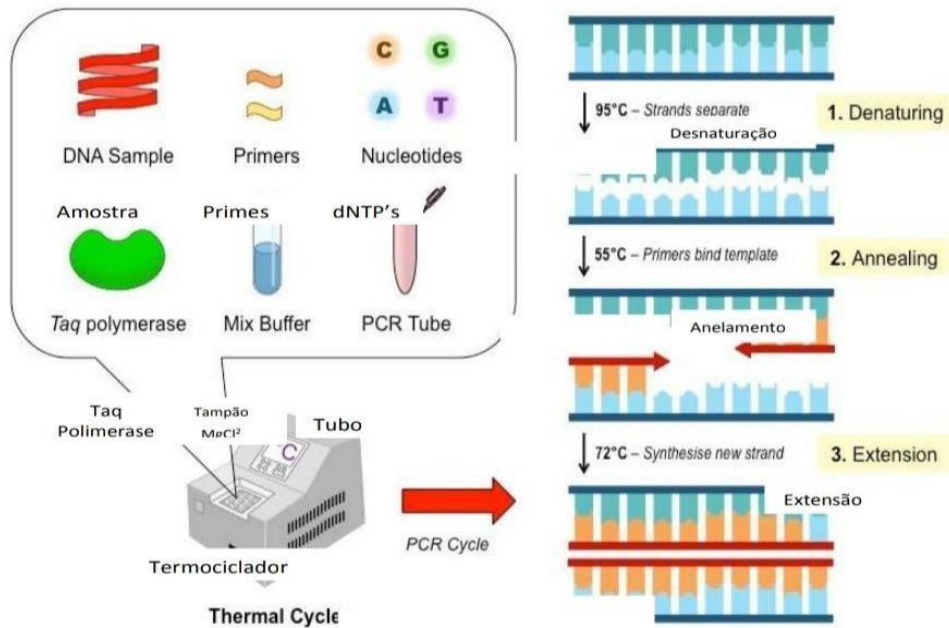
A possibilidade da análise de DNA a partir do estudo de diferentes amostras como sêmen, cabelo, sangue, fluidos corporais e vaginais, saliva, acrescido da vantagem do código genético ser único em cada indivíduo, torna a técnica de PCR uma das mais aplicadas, além de ter baixo custo, admite que sejam realizadas várias

cópias de uma determinada região do DNA, de forma *in vitro*, podendo essa amostra ser utilizada como um marcador genético, para ligar-se ao DNA encontrado com o DNA de suspeitos (DE OLIVEIRA, 2018).

A PCR é umas das técnicas mais utilizadas e confiáveis para amplificação dos marcadores moleculares em uma determinada amostra biológica. Foi inventada pelo químico americano Kary Mullis em 1983. Em meados dos anos 80, estudos e pesquisas evidenciaram a análise do DNA (Ácido Desoxirribonucléico) e RNA (Ácido Ribonucléico) de maneira mais detalhada, obtendo por meio das técnicas estudos sobre a interação do DNA, RNA e a síntese de proteínas. Nessa técnica, o DNA é multiplicado artificialmente através de vários ciclos iguais, numa reação catalisada pela enzima DNA polimerase. A molécula alvo de DNA sofre uma amplificação exponencial de síntese, que mimetiza uma replicação de um microrganismo vivo (MOREIRA, 2017).

A alta sensibilidade, a especificidade, a fácil aplicabilidade e a análise de grande número de amostras simultaneamente fazem da PCR uma opção atrativa para estudos epidemiológicos e para fundamentos teórico-práticos e protocolos de extração e de amplificação de DNA por meio da PCR. Para que aconteça a amplificação, com a síntese de novas fitas de DNA, as amostras devem ser sujeitas à combinação favorável de temperatura e de tempo. Cada ciclo da PCR (figura 3) proporciona 3 fases importantes, que são: desnaturação, anelamento e extensão (DE OLIVEIRA, 2018).

A técnica é realizada a partir de reagentes e um termociclador, contendo: a amostra, sendo esta, qualquer amostra biológica; os primers que são fitas simples de DNA contendo de 18 a 22 nucleotídeos responsáveis pela identificação correta dos genes a serem amplificados; desoxirribonucléicos Fosfatos (dNTP's) responsáveis pela produção de cópias da amostra amplificada; Taq-polimerase, extraída da bactéria *Thermus aquaticus* encontrada em fontes termais, sendo responsável por sintetizar novas cadeias de DNA; cloreto de Magnésio e a solução tampão para auxílio da enzima polimerase. No termociclador ocorre a alteração de temperatura acarretando na desnaturação do DNA, e posteriormente no anelamento dos primers e na extensão das novas cadeias de DNA (DE OLIVEIRA, 2018).



Fonte: DE OLIVEIRA, 2018.

Primeira fase ocorre a desnaturação na qual o DNA perde sua estrutura de dupla hélice, por meio do aumento da temperatura, em cerca de 94°C a 95°C, ocorrendo a quebra das pontes de hidrogênio permitindo que os *primers* se liguem à região complementar, à sua sequência na amostra de DNA (SILVA, 2017).

A segunda fase é o anelamento, onde ocorre após a desnaturação do DNA, a temperatura da reação é diminuída (a temperatura de anelamento é sempre específica para cada par de primers). Dessa forma, cada primer se ajusta nas relativas sequências complementares à região-alvo da amplificação. A resolução da temperatura de anelamento para um par ou conjunto de primers pode ser feita com ajuda de programas de computador específicos para esse intuito. A temperatura de anelamento depende, entre outros fatores, do tamanho do primer e de sua sequência de nucleotídeos (MOREIRA, 2017)

Na terceira fase é a extensão, em que a temperatura é elevada até cerca de 72°C, para que a enzima DNA polimerase (Taq-DNA-polimerase) se arranje junto aos primers, que anelaram anteriormente e, com o auxílio do magnésio, seja iniciada a síntese da nova fita. Ocorre em temperatura diferente, programada no aparelho termociclador, onde as amostras são incubadas. No momento de preparar o programa para a amplificação, devem estar estabelecidos a temperatura e o tempo exato de cada uma dessas fases e o número de repetições dos ciclos. O DNA genômico

continua desnaturado por todos os ciclos seguintes, porque as fitas complementares estão em concentrações muito baixas, o que impede a seu agrupamento. Após a conclusão de um ciclo (desnaturação, anelamento e extensão), todo o processo é repetido várias vezes (40 vezes, em média), até que se consiga grande quantidade do DNA amplificado. A cada ciclo de amplificação, o número de cópias da sequência-alvo é duplicado e, com o progresso dos ciclos da reação, ocorre aumento exponencial do número dessas sequências. O aumento do número de ciclos não é aconselhado, em consequência da redução da especificidade da reação através da escassez de reagentes e desbalanceamento do pH (MOREIRA, 2017).

Após seu estabelecimento, algumas variações de PCR foram desenvolvidas, como: PCR multiplex, RT-PCR, Nested PCR e PCR em tempo real. Na PCR multiplex, onde mais de um par de primers são utilizados, ocorre a amplificação de fragmentos de tamanhos diferentes no mesmo tubo, assim, permitindo à amplificação de regiões diferentes numa só reação. Nessa forma de PCR há a amplificação simultânea de mais de uma sequência-alvo por reação, pela mistura de vários pares de primers altamente específicos para amplificar sequências conhecidas do DNA, produzindo padrões únicos para cada espécie. Esta técnica também pode ser utilizada em análises genômicas e identificações de perfis criminais (SILVA, 2017).

Na RT-PCR, utiliza-se inicialmente a enzima transcriptase reversa (RT, enzima de vírus de genomas de RNA, encontrada em retrovírus) e como molde moléculas de RNA. A ação da enzima determina a síntese de molécula de DNA complementar (cDNA) ao RNA, que é então amplificado por PCR. Esse tipo de PCR permite a análise da expressão de genes a partir de moléculas de RNA mensageiro (RNAm) (BRUNO, 2017).

Na Nested PCR, permite à amplificação de sequências específicas contidas em uma mistura complexa de DNA. Pode-se utilizar primers para amplificar um único locus de um genoma inteiro, aumentando a sensibilidade da PCR, desenvolvendo-se a estratégia de utilizar dois pares de primers complementares à sequência alvo. Inicialmente é realizada à amplificação com o par mais externo e, posteriormente, o produto desta PCR é amplificado com um par interno ao primeiro (aninhado), que utilizará os fragmentos multiplicados na primeira reação como molde (DE OLIVEIRA, 2018).

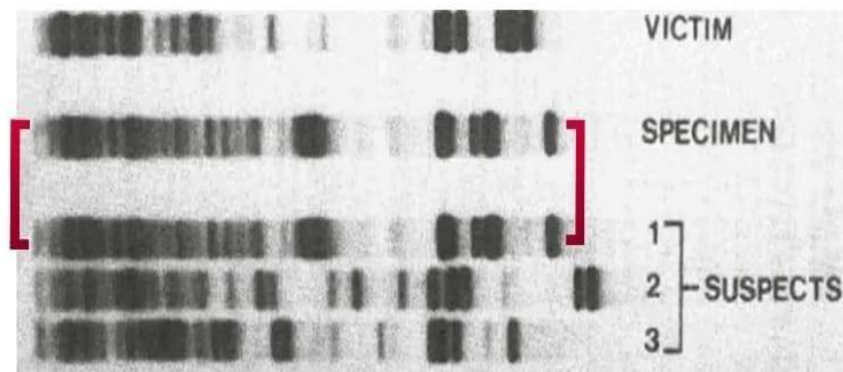
A PCR em tempo real, derivada da PCR convencional, é uma técnica utilizada como um método de diagnóstico molecular quantitativo nas áreas de investigação

médica, forense e biotecnológica, por sua rapidez, sensibilidade, especificidade e reprodutibilidade. Além dos dois primers que motivam à amplificação de determinada região do DNA alvo, existe a inserção de uma sonda complementar à região do DNA, localizada entre os dois primers, contendo, em uma extremidade uma molécula fluorescente (fluoróforo) e, na outra extremidade, uma molécula inibidora. Na sonda íntegra, a molécula inibidora evita a emissão de fluorescência. Durante a reação de síntese, a sonda hibridiza-se ao DNA alvo e é degradada pela atividade 5'-3' exonuclease da enzima Taq polimerase, resultando na emissão da fluorescência. A emissão de fluorescência é medida a cada ciclo, permitindo acompanhar o seu aumento ao longo da reação, geralmente por um computador acoplado ao termociclador, vindo daí a denominação “em tempo real” (BRUNO, 2017).

A técnica da PCR é um método veloz e eficiente, que possibilita uma amplificação de sequências específicas, pois, pequenas quantidades da molécula alvo são amplificadas milhões de vezes em poucas horas. Essas qualidades fazem com que a PCR seja usada para detecção de marcadores genéticos em doenças infecciosas e genéticas, câncer, mapeamento gênico, clonagem de genes, teste de paternidade, na construção de árvores filogenéticas e na elucidação de crimes que venham a precisar dessa técnica (SILVEIRA, 2018).

O produto da PCR é analisado através da eletroforese em gel (Figura 4), e, atualmente, através da eletroforese capilar. A análise feita no gel consiste na separação das moléculas através de carga elétrica, em que a diferença de potencial faz com que o DNA migre no gel, originando bandas com relação ao tamanho do fragmento. Essas bandas são visualizadas através da emissão de fluorescência a partir de compostos fluorescentes que interagem com o DNA. A leitura após a amplificação do DNA, feita a partir da técnica da eletroforese em gel, permite a comparação do perfil genético do DNA coletado na cena do crime com a de um ou mais suspeitos, possibilitando a confirmação e identificação dos envolvidos (DE OLIVEIRA, 2018).

Figura 4: Identificação de criminoso por análise de DNA amplificado por PCR

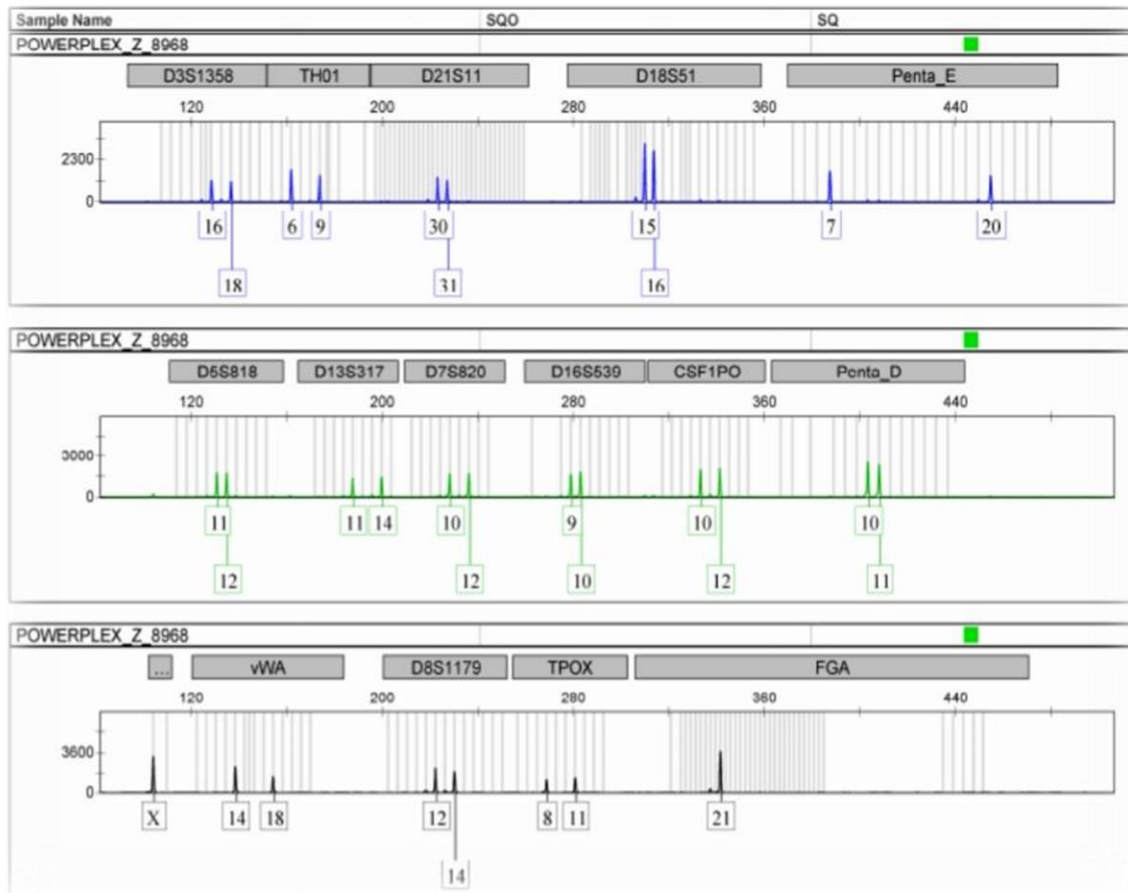


Legenda: eletroforese em gel - perfil genético da vítima (victim), de espécime da evidência (specimen) e dos três suspeitos (suspects). O perfil do suspeito 1 coincide com o da amostra da evidência.

Fonte: BRUNO, 2017.

Na eletroforese capilar a análise segue o mesmo princípio da eletroforese em gel, desta se distinguindo através da verificação por laser, acrescido de capilares que detectam a dissociação eletroforética dos fragmentos de DNA, que de forma automatizada (software) permite a análise de grandes quantidades das amostras (MAXIMIANO, 2018). A leitura da eletroforese é feita com base nas análises dos fragmentos de DNA, que através das repetições de determinados nucleotídeos em locais específicos, geram uma variável para o número de repetição presentes no genoma conhecido como STR (*Short tandem repeats*), que constituem uma ferramenta fundamental e valiosa na análise de perfis genéticos. Como pode ser observado, na figura 5, em cada uma das regiões analisadas (D3S1358 e TH01) o indivíduo apresenta um ou dois 'picos' conforme tenha recebido de cada um dos seus progenitores informação genética idêntica ou diferente. O 'pico' assinalado com X é um identificador de sexo: trata-se de um indivíduo do sexo feminino; caso contrário apresentaria dois, X e Y (AMORIM, 2019).

Figura 5: Exemplo de perfil genético em um caso de identificação forense gerado por determinação automática de tamanho de sequências de DNA.



Fonte: AMORIM, 2019.

4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O trabalho consistiu no levantamento bibliográfico nos bancos de dados Scielo, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Pubmed, livros eletrônicos e Google Acadêmico. Os termos utilizados na pesquisa para elaboração do texto e bibliografias foram ciência forense, técnicas periciais, resolução de crimes, DNA forense, análise de DNA, marcadores moleculares, identificação humana, importância do DNA para a Perícia, técnica PCR, criminalística forense, perícia criminal junto à atuação do perito e as técnicas de biologia molecular para elucidação de crimes. Como critérios de inclusão, foram considerados os artigos no período entre 2016-2021 e exclusão de artigos com ausência de dados a serem extraídos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A biologia molecular forneceu estudos em diferentes áreas e originou novas técnicas para análise do DNA, contribuindo para a ciência forense na elucidação de casos. Para estudos forenses, a PCR é a técnica fundamental e mais utilizada por não ter alto custo e ser de fácil aplicação. Entretanto, embora seja uma técnica versátil, não é capaz de separar sequências específicas que formam o DNA, apenas produz separação conforme o tamanho das moléculas, mas com o auxílio da eletroforese trouxe a capacidade de separação e distinção de trechos de DNA para melhor interpretação dos resultados. A possibilidade de a amostra ser coletada por diferentes fontes de tecidos e líquidos, torna-se uma vantagem para identificação através do DNA, além de resistir a fatores ambientais, líquidos e detergentes. A desvantagem é a possibilidade de contaminação e fragmentação, manchas ou rastros, que caracterizam amostras de DNA de má qualidade (OLIVEIRA, 2018).

A descoberta da molécula do DNA revolucionou a Ciência Forense. Com esta conquista, surgiram novas metodologias para análise e amplificação da molécula. Como referência, utiliza-se a técnica da PCR, usada em vários países e por todas as federações brasileiras incluindo o laboratório da Polícia Federal, que através dos marcadores moleculares é possível identificar o autor do crime. Esta metodologia contribuiu na elucidação de diversos casos criminais, criando uma esfera para as investigações: a genética forense. Com avanço da tecnologia, desde então, surgiram novos conceitos e técnicas envolvidas na análise da molécula como ferramenta investigativa (MACHADO, 2021).

A utilização da PCR e os avanços da biotecnologia, foram cruciais para a criação do Banco de Dados, que teve a Inglaterra como a pioneira na informatização de dados moleculares e iniciou esse trabalho no ano de 1995, sendo que a lei aprovada para a coleta do material genético na identificação criminal ocorreu no ano de 2001. Também com grande destaque na investigação molecular, os Estados Unidos da América desenvolveram o sistema CODIS (Sistema de índice de DNA combinado), desenvolvido em 1990, pelo FBI (Departamento Federal de Investigação). Existe um banco de perfis genéticos em nível nacional denominado NDIS (Sistema nacional de índice de DNA) legalizado no ano de 1994 (SANTIAGO, 2020).

Os perfis gerados em análises moleculares podem ser implantados em softwares que registram uma base de dados às quais podem produzir respostas essenciais para o confronto dessas informações. Há vários bancos de dados a nível internacional que comparam essas informações e podem apresentar coincidências entre eles, cooperando nas investigações de crimes violentos. Esse sistema permite a comparação entre perfis genéticos provenientes de amostras encontradas em cenas de crimes com amostras coletadas de criminosos, solucionando crimes, relacionando a amostra questionada e amostra referência. O Brasil utiliza o CODIS, cedido pelos Estados Unidos da América. Inicialmente foram padronizados para análise de perfil genético nesse sistema 13 marcadores genéticos do DNA, sendo a comparação feita entre os perfis genéticos questionados e os STR's autossômicos registrados no sistema: CSF1PO, FGA, TH01, TPOX, VWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51 e D21S11. Recentemente houve uma expansão de 7 marcadores pelo FBI (D1S1656, D2S441, D2S1338, D10S1248, D12S391, D19S433 e D22S1045) contabilizando 20 loci de marcadores moleculares do tipo STR's com alto grau de polimorfismo, os quais são reconhecidos internacionalmente como referência para a determinação do perfil molecular em humanos (ZOLET, 2017).

A genética forense criminal é regulamentada no Brasil pela Lei 12.654/12, lei que estabeleceu a elaboração e o armazenamento de perfis genéticos no Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG). Diante disto, tornou-se possível a utilização do DNA de indivíduos para identificação criminal. O BNPG também é responsável pela Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG). A lei nº 12.654/2012 determina que as informações genéticas adicionadas nos bancos de dados de perfis genéticos não poderão apresentar traços somáticos ou comportamentais das pessoas, exceto determinação genética de gênero. Os bancos de dados de perfis genéticos têm caráter sigiloso, sendo o acesso restrito e controlado (GARRIDO, 2020).

O banco de dados de DNA forense tem, como objetivo principal, oferecer à polícia informações sobre quem pode ter estado presente na cena de um crime e sobre a existência de relações entre diferentes cenas de crimes, potencialmente, identificando criminosos em série, eliminando suspeitos e auxiliando na análise de padrões criminais. Dentre as amostras existentes na rede, inclui-se os indivíduos com perfis genéticos cadastrados e identificados em sede de investigação criminal, restos mortais não identificados, pessoas vivas de identidade desconhecida, familiares de

peças desaparecidas, vestígios de crimes e os cadastrados de forma compulsória. Estes últimos são incluídos em dois casos, obrigatoriamente: nos casos de condenados por crime doloso e violento contra a pessoa ou por crimes hediondos (art. 1º da Lei nº 8.072/1990) ou por meio de autorização judicial, seja de ofício ou mediante solicitação da autoridade policial ou do Ministério Público (art. 5º da Lei 12.037/2009) (GARRIDO, 2020).

A Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG), instituída pelo Decreto nº 7950/2013, foi produzida com o intuito principal de preservar, compartilhar e confrontar perfis genéticos a fim de auxiliar na apuração criminal e/ou na instrução processual. Diz respeito a uma ação conjunta entre Secretarias de Segurança Pública, Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) e Polícia Federal (PF) para o compartilhamento de perfis genéticos adquiridos em laboratórios de genética forense (SANTIAGO, 2020).

Com um total de 91.902 perfis cadastrados no BNPG, 5.596 são perfis oriundos de amostras referentes a pessoas desaparecidas, enquanto existem, atualmente, outras categorias de perfis descritas na RIBPG (Tabela 1). Até o dia 28 de novembro de 2020, a RIBPG apresentou ao poder público 2662 coincidências confirmadas, sendo 2088 entre vestígios e 574 entre vestígio e indivíduo cadastrado criminalmente, e auxiliou 1977 investigações (BRASIL, 2020).

Tabela 1: Número total de perfis no BNPG, de acordo com as categorias de amostras de interesse criminal:

Categoria	Nº de perfis genéticos
Vestígios de crimes	15.220
Condenados (Lei 7.210/1984)	69.543
Identificação criminalmente (Lei 12.037/2009)	877
Restos mortais identificados	245
Decisão judicial	421
Total	86.306

Fonte: BRASIL, 2020.

Uma das principais fases da RIBPG foi a implantação do Projeto de Coleta de Condenados nos Presídios Brasileiros, o qual viabilizou o crescimento de perfis de referência compartilhados pela RIBPG. Entre os casos com maior visibilidade que foram solucionados através desta implantação, favorecendo as investigações criminais e identificações humanas, encontra-se o assassinato de Rachel Maria Lobo Oliveira Genofre em 2008, os crimes sexuais cometidos no Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Goiás entre os anos de 2012 e 2015, o caso de ataques a motéis nos estados de Goiás, Maranhão e Tocantins em 2020, e a Primeira Coincidência Transcontinental registrada pela RIBPG em 2020 (SILVA-JUNIOR, 2020).

5.1 Casos solucionados utilizando o BNPG

5.1.1 Caso Rachel Genofre

No dia 03 de novembro de 2008, ocorreu, no município de Curitiba/PR, o desaparecimento de Rachel Maria Lobo Oliveira Genofre, uma menina de nove anos. Após dois dias, seu corpo foi encontrado envolto em um lençol e sacos plásticos e acondicionado no interior de uma mala abandonada sob uma escada na rodoferroviária. O corpo foi encaminhado ao Instituto de Medicina Legal (IML) e foi constatada a violência sexual. Após a análise de *swabs* utilizados para coleta de secreção vaginal e anal pelo médico legista, tendo-se obtido, exclusivamente no *swab* anal, um perfil genético pertencente a indivíduo do sexo masculino (SILVA-JUNIOR, 2020).

No ano em que o crime ocorreu, o Banco Estadual de Perfis Genéticos do Paraná ainda não se encontrava em operação. A partir do seu funcionamento em 2014, o referido perfil genético foi o primeiro perfil de vestígio a ser inserido, não encontrando suspeito identificado. As investigações apontaram para várias direções e, ao decorrer de 11 anos, foram realizados aproximadamente 170 exames para confronto genético com suspeitos. Nenhum dos confrontos realizados resultou em coincidências de perfis genéticos. Ao longo de 11 anos o caso ficou sem solução, até que, em 25 de junho de 2019 o caso teve desfecho, na Penitenciária PI de Sorocaba (SP), devido a uma coleta de amostra biológica de um condenado, em 27 de setembro de 2016. O material genético foi extraído e o respectivo perfil genético foi inserido no BNPG em 03 de setembro de 2019, pela equipe da Polícia Científica do Estado de São Paulo. O BNPG detectou a perfeita coincidência de perfis genéticos

em 16 de setembro de 2019, entre a amostra coletada do corpo da vítima e o condenado. Segundo seu relato, na época do crime, ele morava em Curitiba e trabalhava em cidade vizinha (São José dos Pinhais), atraiu a menina com a promessa de agenciamento para um programa infantil. A resolução do caso, com o auxílio da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos, representou um marco ímpar para os peritos criminais do Laboratório de Genética Molecular Forense da Polícia Científica do Paraná. O caso de Rachel é apenas um dos inúmeros exemplos que demonstram como a identificação por perfil genético e o banco de perfis genéticos são medidas revolucionárias, capazes de elucidar crimes que, se não fosse a técnica aplicada de DNA (PCR), provavelmente ainda estariam inconclusos (SILVA-JUNIOR, 2020).

5.1.2 Crimes sexuais cometidos nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Goiás.

O caso de Célio Roberto Rodrigues, autor de crimes sexuais que também era conhecido como Herley Nascimento Santos, de 35 anos, foi a primeira identificação no Brasil resultante da coleta de material genético e assistência do Banco Nacional de Perfis Genéticos. Foram identificados mais de 50 estupros nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Goiás, entre os anos de 2012 e 2015. Célio comportava-se de forma pretensiosa, solicitando informações ou um copo de água. Após uma série de crimes e um estupro no estado de Rondônia, em setembro do ano de 2015, Célio acabou sendo preso. Na época, o estado de Rondônia não contava com laboratório de DNA, contudo foi realizada a coleta de material biológico do suspeito. O seu perfil foi comparado com casos que estavam sendo investigados no Mato Grosso e a autoria de mais quatro estupros no mesmo estado obteve confirmação após os resultados da comparação. Os dados seguiram para o Banco Nacional de Perfis Genéticos, onde ocorreu uma nova constatação da compatibilidade de três perfis genéticos cadastrados pelo banco de dados do estado do Amazonas. As duas amostras relacionadas às vítimas de estupros que ocorreram na cidade de Goiânia foram analisadas e os materiais genéticos descobertos nas cenas dos crimes eram idênticos em ambos os crimes. Em seguida, enviaram as amostras para o Banco Nacional de Perfis Genéticos, sendo identificada a coincidência do material genético atribuídos a Célio Roberto Rodrigues. Até o momento, o Banco Nacional de Perfis

Genéticos revelou 10 coincidências de perfis genéticos relacionados a crimes que foram cometidos por Célio (ISERHARDT, 2020).

5.1.3 Ataques a motéis nos estados de Goiás, Maranhão e Tocantins

O Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG) relatou uma coincidência entre vestígios criminais provenientes dos estados de Goiás e do Maranhão em agosto de 2020. Os vestígios foram coletados no interior do local do crime, em ambos os casos ocorreram roubos aos estabelecimentos, posteriormente, estupros às clientes. Obteve-se a informação durante as investigações que uma quadrilha havia sido presa em Araguatins/TO, exercendo o mesmo *modus operandi* (modo de operação) em ambos os crimes. Após estes fatos, foi autorizada judicialmente a coleta do material biológico de dois suspeitos. A equipe do Instituto de Criminalística de Imperatriz/MA realizou a coleta de um dos suspeitos em Araguatins/TO e a equipe da 1ª Coordenação Regional de Polícia Técnico-Científica de Aparecida de Goiânia/GO realizou a coleta do outro suspeito na Penitenciária Odenir Guimarães. Logo após os exames no Laboratório de Biologia e DNA Forense de Goiânia e no Instituto de Genética Forense do Maranhão, os perfis dos suspeitos foram inseridos no BNPG, detectando uma coincidência e resultando em compatibilidade com um dos vestígios do caso do Maranhão e o outro sendo compatível com os vestígios dos casos de ambos estados: Maranhão e Goiás (BRASIL, 2020).

5.1.4 Primeira Coincidência Transcontinental registrada pelo BNPG e a Interpol

No momento atual mais de 17 mil perfis genéticos foram adicionados pelo Brasil na base de dados da Interpol, servindo de apoio para comparação com perfis inseridos por outros países que fazem parte da Organização. O primeiro caso transcontinental foi confirmado, como resultado da medida de cooperação policial internacional, em outubro de 2020. Um perfil genético introduzido pela Áustria, associado a um suspeito estrangeiro com várias passagens criminais naquele país, obteve coincidência com dois perfis coletados em 2015 pela Polícia Federal do Brasil, ambos ligados a crimes de furto com arrombamento efetuados contra Agências dos Correios, nos estados do Ceará e do Tocantins. O estrangeiro identificado na Áustria possuía histórico criminal anterior também no Brasil. Os dois crimes cometidos contra os Correios alcançaram conclusão na sua apuração. A confirmação ocorreu perante amostras colhidas,

comprovando sua presença nos locais dos crimes periciados em 2015 pela Polícia Federal, confirmando a magnitude da aplicação de perfis genéticos para fins de investigação criminal (BRASIL, 2020).

5.1.5 Perspectivas para a identificação de perfis genéticos no Brasil

Em poucos anos após o funcionamento da RIBPG, tornou-se possível a criação de uma das maiores redes de laboratórios de perícia oficial do mundo para fins criminais, incluindo o Brasil no grupo de mais de 60 países que utilizam o banco de dados de DNA como ferramenta de investigação. Desde sua criação, houve um crescimento significativo no número de amostras cadastradas na RIBPG e o aumento é notório a cada ano. Essas amostras proporcionam um suporte indispensável em diversas investigações criminais, relacionando diferentes vestígios biológicos coletados pela perícia em diversas partes do país. A informação que crimes tenham sido cometidos pela mesma pessoa, permite que esforços investigativos, antes independentes, atuem agora unificados, sobre a atividade que o criminoso ou a organização criminosa exerce (SILVA, 2018).

No Brasil, a Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) detém arquivos, projetos, normas e portarias, no formato digital, e em busca de excelência estabeleceu a padronização de procedimentos, reaparelhamento de laboratórios e capacitação de pessoas. Dentre os arquivos se encontram a “Padronização de exames de DNA em perícias criminais” e a Resolução SSP nº 194/99, que dispõe de normas e procedimentos para a coleta e exames de materiais biológicos para identificação humana (SILVA, 2018).

Atualmente, a análise de DNA enquadra-se nos dispositivos legais. O Código de Processo Penal Brasileiro, de 1941, em seu artigo 158, determina o uso imprescindível de exame de corpo de delito, direto ou indireto, se forem descobertos quaisquer vestígios nas cenas do crime (SILVA-JUNIOR, 2020).

O Brasil vem vivenciando um significativo aumento nos índices de criminalidade e mortes violentas com altos custos sociais e econômicos. Em 2018, foram registradas 57.358 mortes por homicídio e 66.041 ocorrências de violência sexual, colocando o Brasil como um dos principais países no *ranking* mundial de homicídios. Todavia, a média nacional de elucidação de crimes violentos contra a pessoa é de aproximadamente 5%, originando uma baixa percepção social de confiança nas forças

policiais, caracterizando o Brasil como retardatário e sendo inferior em comparação a Inglaterra e EUA (SILVA, 2020).

Atualmente, o banco de dados da China possui a maior quantidade de perfis genéticos do mundo, sendo superior a 50 milhões de perfis inseridos. Os EUA detêm mais de 190 laboratórios situados em 50 estados, os dados presentes em suas redes são administrados pelo NDIS, operando com o sistema CODIS, no qual diferentes tipos de perfis são salvos em duas classes de armazenamento: o Forensic Index (índice forense), que contém os perfis obtidos de vestígios coletados em locais de crimes, e o Offender Index (índice de infratores), que possuem os perfis de criminosos, condenados por crimes sexuais ou violentos. O NDIS apresenta mais de 14 milhões de perfis de criminosos, quantidade superior a 1 milhão de perfis de vestígios e mais de 4 milhões perfis de presos, os quais já possibilitaram mais de 500 mil coincidências, ajudando em mais de 500 mil investigações criminais (GAI, 2020).

O Banco Nacional de DNA do Reino Unido possuía, no início de 2018, 6.196.278 de perfis genéticos cadastrados e outros 590.404 de perfis de vestígios coletados nos locais de crimes, dos quais 86% dos perfis são provenientes da Inglaterra, onde são cadastrados os perfis genéticos de indivíduos que tenham praticado qualquer infração penal. Nos EUA e países europeus, encontram-se bancos de perfis genéticos para diversos objetivos e padronizações de técnicas, entre elas as transferências de informações entre os bancos que é proposta pela Interpol. Os países europeus cooperam e realizam intercâmbios de dados associados ao DNA forense, com o objetivo de contribuir para o acesso de informações que auxiliam nas investigações criminais (SILVA, 2020).

O cadastramento de perfis genéticos tornou-se uma ferramenta muito utilizada ao redor do mundo. Diversos países possuem bancos nacionais de DNA, entre eles Alemanha, Argentina, Canadá, Chile, Colômbia, Espanha, França Holanda, Hong Kong, Itália, Noruega, Nova Zelândia, Portugal, República Tcheca, Singapura, Suécia e Suíça (LIMA, 2020).

Em 1987, já existia na Argentina um banco de DNA, mas com objetivo diferente de contribuir com a persecução penal. Com o surgimento da lei de n° 23.548/2009, que o banco nacional de DNA forense argentino foi estabelecido e utilizado nas investigações criminais. Em Portugal, foi aprovado pela lei de n° 5/2008, a criação de um banco de dados de perfis genéticos com finalidade na identificação civil e criminal. O cadastramento das amostras de indiciados e condenados por crimes com pena

superior a três anos de prisão é feito voluntariamente e o perfil genético é eliminado do banco de dados após o cumprimento da pena (SILVA, 2020).

A implantação de perfis genéticos no banco de dados, embora possa dividir opiniões, favorece na prevenção e repressão de crimes. Porém, seus princípios são pertencentes ao setor jurídico e de políticas severas de tratamento e segurança da informação, a fim de garantir a proteção dos direitos humanos de privacidade e de personalidade. Existem questionamentos a respeito da eficácia na utilização do banco de dados de perfis genéticos além do seu potencial na redução da criminalidade e da impunidade no país. Objeções são levantadas sobre os parâmetros para a coleta e manutenção dos perfis genéticos no banco de dados, bem como sobre a autoincriminação e ao direito constitucional ao silêncio. A utilização do perfil genético possui benefícios tanto na solução de crimes quanto na identificação de cadáveres ou pessoas desaparecidas, desmistificando as críticas relacionadas tanto na utilização de fragmentos de DNA quanto nas atividades investigativas com ação penal. A dignidade da pessoa humana expõe uma reflexão sobre seus princípios e o direito de segurança pública, ambos contemplados no texto constitucional (MARCORIN, 2018).

Existem projetos direcionados aos avanços e inovações do BNPG que possam acrescentar mais valores à justiça e a segurança pública, entre eles destaca-se o projeto de processamento de *backlog* de crimes sexuais. No ano de 2018, através de um levantamento, observou-se que existiam no país aproximadamente 150 mil amostras de crimes sexuais em espera de análise, o que demonstrou a necessidade de investimentos para a compra de insumos e equipamentos para otimizar o processamento das amostras e a adição de perfis genéticos nos bancos que compõem a rede (SALLENAVE-SALES, 2020).

O enfrentamento de dificuldades na infraestrutura, a falta de profissionais suficientes com capacitação, a falta de autonomia entre os órgãos responsáveis pelos processos de apuração técnica de casos criminais, tem lesado o sistema investigativo, dificultando seu desenvolvimento, causando sobrecarga laboral dos peritos, gerando obstáculos que impactam a colaboração científica (QUEIROZ, 2020).

A inovação através da ciência, planeja para o futuro, um projeto que trata do desenvolvimento de uma ferramenta denominada Sistema Integrado de DNA (SInDNA), que será acrescentado ao sistema CODIS no Brasil, possibilitará que os dados dos vestígios e dos indivíduos cadastrados sejam antecipadamente geolocalizados e, quando houver uma coincidência, os locais onde ocorreram os

crimes venham a ser geograficamente interligados quase que instantaneamente, o que proporcionará maior clareza na visualização dos “matches” (combinação) e de suas interligações; promovendo à justiça e segurança um aumento em potencial no uso dos dados da RIBPG. A implementação do Sistema de Gestão da Qualidade e protocolos da RIBPG fornece apoio aos laboratórios para que em um futuro não muito distante, possam otimizar o compartilhamento do cadastro de perfis genéticos com a RIBPG, completando assim a integração nacional por meio da genética forense. A situação atual do Brasil é analisada através de um Comitê Gestor com o intuito de propor ações para a otimização do banco de perfis genéticos, em conjunto à Rede Integrada de Perfis Genéticos, que tem investido na capacitação de seus recursos humanos, disponibilizando vários cursos de curta e média duração tendo como público-alvo peritos criminais de todo o país (SALLENAVE-SALES, 2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os temas discutidos neste trabalho, a identificação humana tem se tornado útil em diversas áreas, inclusive, nos estudos forenses, partindo da necessidade de identificação exata, para que possa ser iniciada a investigação. Nos últimos anos, os marcadores de DNA foram fundamentais, como aliados da ciência forense, afinal, revelaram-se de ampla importância para a justiça e hoje são ferramentas indispensáveis na elucidação de crimes, visto que o resultado da identificação genética através do DNA é a forma mais garantida e segura para constituir a relação entre o suspeito e a cena do crime.

O desenvolvimento da PCR a partir do avanço tecnológico, transformou essa técnica cada vez mais sensível, tornando-a de escolha padrão ouro, com a inclusão de novos marcadores, a qualificação técnica e o estabelecimento de rigorosos padrões de análise a partir da coleta até a interpretação dos resultados, possibilitarão maior velocidade e a confiabilidade da justiça nas investigações de crimes.

A identificação de suspeitos por DNA torna-se possível devido ao material genético armazenado nos bancos de dados, que possuem informações genéticas, e estão sendo cada vez mais utilizados em todo o mundo, promovendo agilidade nas investigações a partir de informações confiáveis e que possam ser utilizadas a favor ou contra em um caso.

As dificuldades que hoje o Brasil enfrenta, não são relacionadas somente a utilização dos bancos de dados, mas sim nas leis que regulamentam a inclusão de pessoas, outro obstáculo encontrado está na falta de verba ou investimento mínimo na aquisição de equipamentos mais avançados, além da falta de capacitação dos profissionais envolvidos. Contudo, a perícia no Brasil está coligada diretamente à polícia, e nem sempre há disponibilidade de peritos no momento da ocorrência, o que fica ainda mais difícil a coleta íntegra da amostra.

Portanto, torna-se imprescindível salientar que, diante das dificuldades e dos obstáculos presentes, para um futuro melhor e mais seguro da população é de suma importância a atenção voltada para o investimento em condições ideais para realização de exames genéticos, na melhoria da preservação das amostras biológicas da cena de delito e no banco de dados nacional de perfis genéticos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, António. **Identificação genética através de análises de DNA**. Revista de Ciência Elementar, v. 7, n. 4, 2019.

ARAÚJO, Mikaelly Correia de et al. **O DNA como ferramenta de identificação humana e a sua importância no trabalho da perícia criminal**. 2018.

ARAUJO, Samantha Kalil de. **Estudo das aplicações forenses do DNA na obtenção da identificação humana**. 2018.

ARAUJO, Samantha Kalil de. **Estudo das aplicações forenses do DNA no BRASIL**. RIBPG. XIII Relatório da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos, Comitê Gestor RIBPG. Serviço Público federal, Brasília, novembro, 2020.

BARBOSA, Carlos de Almeida *et al.* **Engenharia forense: estudo de microvestígios coletados em locais de crime (touch DNA)**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BARBOSA, R. P.; ROMANO, L. H. História e importância da genética na área forense. **Revista Saúde em Foco**, ed, v. 10, p. 300-307, 2018.

BONAMIGO, Luana; DE OLIVEIRA KOHLER, Graziela. Medicina Legal como meio garantidor da justiça. **Revista da Defensoria Pública do Estado do Rio Grande do Sul**, n. 16, p. 211-224, 2016.

BRITO, Ana Flávia; PONTES, A. N. **ESTUDO SOBRE IDENTIFICAÇÃO HUMANA POR DNA, BANCO NACIONAL DE PERFIS GENÉTICOS E A OBRIGATORIEDADE DA LEI 12654/2012**. Revista Brasileira de Criminalística, v. 9, n. 2, p. 75-84, 2020.

BRUNO, Alessandra Nejar. **Biotecnologia II: Aplicações e tecnologias**. Artmed Editora, 2017.

DA SILVA, Adriana de Lourdes et al. Bancos de Perfis Genéticos Criminais no Brasil: Histórico e Evolução. **Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics**, v. 9, n. 4, p. 499-520, 2020.

DE OLIVEIRA, Thaise Souza; DE MORAES FILHO, Aroldo Vieira. TÉCNICAS DE BIOLOGIA MOLECULAR UTILIZADAS PARA DESVENDAR CRIMES. **SAÚDE & CIÊNCIA EM AÇÃO**, v. 4, n. 1, p. 89-102, 2018.

DIAS FILHO, CLAUDEMIR RODRIGUES *et al.* **História da Genética Forense**. 2018.

DIAS, Tatiana Moreira dos Santos. **BANCO DE DADOS DE DNA NO BRASIL**. 2019.

FERREIRA, Adriane Guedes. Química forense e técnicas utilizadas em resoluções de crimes. **Acta de Ciências e Saúde**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2016.

GAI, Giovana Daltrozo. **A (in) constitucionalidade da extração compulsória de perfil genético no âmbito da lei n. ° 12.654/2012 e o princípio da não autoincriminação**. 2020.

GARRIDO, Rodrigo Grazinoli; DA COSTA, Beatriz Rodrigues Neves. O BANCO NACIONAL DE PERFIS GENÉTICOS: UMA ANÁLISE DA EFETIVIDADE E

EFICIÊNCIA BRAZILIAN GENETIC DATABASE: AN ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY. **Duc In Altum-Cadernos de Direito**, v. 12, n. 27, 2020.

GIOVANELLI, Alexandre. The Forensic Sciences in the Monarchical Brazil: a Brief History of the officialization and institutionalization of the Forensic Expert in Criminal Investigations. **Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics**, v. 9, n. 3, p. 394-418, 2020.

LIMA, Natalie Alves. **A coleta obrigatória de perfis genéticos para o fim de identificação criminal: um olhar atento sobre os bancos de perfis genéticos no Brasil**. 2020.

MACORIN, Priscila Santos Campelo. A Utilização do Banco de Dados de Perfis Genéticos na Persecução Criminal: uma abordagem sobre os direitos de personalidade e o princípio da não autoincriminação. **Revista Brasileira de Ciências Policiais**, v. 9, n. 1, p. 91-108, 2018.

MAXIMIANO, Caroline Garcia. **Técnicas forenses aplicadas na análise do sêmen**. 2018.

MOGOLLÓN, Juan Bernardo Montoya; RODRÍGUEZ, Sonia Maria Troitiño. **Diplomática Forense: revisão histórica para a abordagem do documento natodigital de arquivo**. *Investigación bibliotecológica*, v. 33, n. 78, p. 47-62, 2019.

MOREIRA, Carlos Elisandro Cavalheiro. **Sistema para análise da polimerização de ácidos nucleicos na reação em cadeia da polimerase**. 2017.

QUEIROZ, C; (06 de 03 de 2020). **A SERVIÇO DA JUSTIÇA**. Fonte: Revista Pesquisa FAPESP: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-servico-da-justica/>

RODRIGUES, Júlia Morales; DE FREITAS SILVA, Bruna Kuhn. **A relevância dos marcadores moleculares para elucidação de homicídios e crimes sexuais**.

Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 13574-13584, 2020.

SALLENAVE-SALES, Selma Lílian. IPPGF faz 15 anos Histórias de várias vidas. **PERÍCIA EM GENÉTICA FORENSE**, p. 5.

SANTIAGO, Matheus Cavalcante; SIQUEIRA, Barbara Oliveira; BARCELOS, Rejane da Silva Sena. Uso e Benefício da Biologia Molecular nas Ciências Forenses e sua Aplicação no Banco de Perfis Genéticos. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 9, n. 2, p. 95-104, 2020.

SILVA, Mirelly Cristina da. **Análise de técnicas moleculares e sua importância na biomedicina**. 2017.

SILVA, Tiago Aparecido; FRANGIOSA, Paulo César. 5. A aplicação de técnicas moleculares de DNA na investigação forense. **Revista Científica UMC**, v.3, n. 2, 2018.

SILVA, Guilherme do Valle. **Análise de marcadores forenses (STRs e SNPs) rotineiramente empregados na identificação humana utilizando sequenciamento de nova geração**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, Jaqueline da et al. **Padronização de reação em cadeia da polimerase (PCR) para a detecção de Trichomonas vaginalis em amostras de urina**. 2018.

TURCHETTO, Caroline et al. Marcadores genéticos baseados em DNA. **Marcadores moleculares na era genômica: metodologias e aplicações**. Cap. 1, p. 12-20, 2017.

VALLES, Jackson Potti; ABURAYA, Jim Heiji. (12 de mar de 2016). **Criminalista no Brasil: Breve histórico e avaliação**. Fonte: aburaya: <http://aburaya.com./jim/cv/2016-valles.pdf>