

Do vestígio ao condenado: técnicas biomoleculares de identificação humana e a importância dos bancos de perfis genéticos

E. D. S. Santana ^{a*}, V. M. dos Santos ^b

^a Programa de Pós-graduação em Biociência, Universidade Federal da Bahia, Vitória da Conquista (BA), Brasil.

^b Universidade Federal da Bahia, Vitória da Conquista (BA), Brasil.

*Endereço de e-mail para correspondência: edssba@hotmail.com. Tel.: +55-71-991313308.

Recebido em 10/03/2025; Revisado em 18/07/2025; Aceito em 23/08/2025

Resumo

O uso de técnicas biomoleculares tem revolucionado a Ciéncia Forense e contribuído significativamente para o aumento do número de coincidências entre os perfis gênicos da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG). Técnicas como Reação em Cadeia da Polimerase (PCR); Polimorfismo no Comprimento de Fragmento de Restrição (RFLP), Eletroforese, e Southern Blotting são utilizadas em conjunto para análise de DNA no processo de identificação humana. Para o estudo dessas técnicas e da importância dos bancos de perfis genéticos foi feito um levantamento bibliográfico, o qual, após análise, constata-se a eficácia das técnicas biomoleculares em diversos casos criminais, bem como a relevância do crescimento do Banco Nacional de Perfis Genéticos e a integração dos bancos de dados dos estados. Portanto, ressalta-se a necessidade de mais estudos e aprimoramento das técnicas biomoleculares e dos bancos de perfis genéticos em todas as unidades federativas do Brasil.

Palavras-Chave: genética forense; PCR; identificação humana; perfis genéticos.

Abstract

The use of biomolecular techniques has revolutionized Forensic Science and significantly contributed to the increase in the number of matches within the Integrated Network of DNA Profile Databases (RIBPG). Techniques such as Polymerase Chain Reaction (PCR); Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP), Electrophoresis, and Southern Blotting are jointly employed for DNA analysis in the human identification process. For the study of these techniques and the importance of DNA profile databases, a literature review was conducted, which, upon analysis, confirms the effectiveness of biomolecular techniques in various criminal cases, as well as the relevance of the growth of the National DNA Profile Database and the integration of state databases. Therefore, the need for further studies and the improvement of biomolecular techniques and DNA profile databases in all federative units of Brazil is emphasized.

Keywords: forensic genetics; PCR; human identification; genetic profile.

1. INTRODUÇÃO

Vestígio é todo objeto ou material bruto, visível ou latente, constatado ou recolhido, que se relaciona à infração penal [1]. Sendo assim, o material genético, encontrado na cena de crime, pode estar presente tanto em um vestígio visível ou latente, como por exemplo uma mancha de sangue aparente ou uma mancha de sangue “lavada”, respectivamente.

Por meio do emprego de técnicas para o evidenciamento e coleta desse material genético, este é enviado e processado nos laboratórios forenses. Por esse

motivo há, desde a década de 1980, o desenvolvimento de diversas técnicas advindas do conhecimento das características do DNA, fazendo com que a utilização dos perfis de DNA na resolução de crimes passasse a ser uma constante na atualidade [2].

As técnicas e tecnologias relacionadas ao DNA progrediram a ponto de não colocar em dúvida a admissibilidade dos dados quando estes são coletados e analisados de maneira adequada [3, 4, 5], sendo o Polimorfismo no Comprimento de Fragmento de Restrição (RFLP), a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), a Eletroforese e o Southern Blotting metodologias

amplamente aplicadas na identificação de suspeitos a partir de amostras biológicas [6, 7]; a essencialidade dessas técnicas reside no auxílio à justiça através da análise de vestígios biológicos com material genético frequentemente encontrado em cenas de crime [3, 6], cuja crescente utilização em investigações criminais se justifica pela presença do DNA em diversos fluidos biológicos, sua resistência temporal e ambiental, a possibilidade de análise e amplificação mesmo em pequenas quantidades [2, 7], e principalmente pela sua capacidade de distinguir diferenças genéticas a ponto de individualização, conferindo às técnicas biomoleculares o status de ferramentas de identificação humana altamente avançadas [8, 9].

A criação da Rede Integrada de Banco de Perfis Genéticos (RIBPG) no Brasil, teve por objetivo gerar uma comunicação de perfis genéticos de interesse da Justiça entre todos os laboratórios oficiais de perícia [10].

Trata-se de uma das maiores redes de laboratórios de perícia oficial do mundo para fins criminais, e coloca o Brasil no grupo de mais de 60 países que utilizam o banco de dados de DNA como ferramenta de investigação [10].

Os bancos de perfis genéticos, passaram a ser uma ferramenta bastante utilizada e de grande importância na parte civil e criminal, podendo conter perfis de pessoas desaparecidas, de condenados, de pessoas investigadas e relacionadas com os crimes [2, 8].

Os perfis genéticos de vestígios, independentemente de existir suspeito, são inseridos nos bancos estaduais, distrital ou da Polícia Federal para serem comparados com outros perfis de vestígios [8].

Periodicamente, os perfis genéticos presentes nos bancos de dados são sistematicamente confrontados, visando identificar correspondências que possam estabelecer ligações entre indivíduos suspeitos e locais de crime, ou até mesmo conectar diferentes cenas criminais entre si [10], otimizando assim a elucidação de casos e a administração da justiça.

Deste modo, o uso de técnicas biomoleculares para a identificação humana vem se tornando uma vertente da análise forense em ampla expansão e cada vez mais empregada [11, 12].

A presente revisão bibliográfica tem como objetivo descrever e relacionar as principais técnicas biomoleculares utilizadas na Ciência Forense para a identificação humana em casos criminais no Brasil e na América do Sul, e evidenciar a importância dos bancos de perfis genéticos para o confronto de DNA relacionados à cena de crime.

2. METODOLOGIA

Para a confecção deste artigo científico realizou-se um levantamento bibliográfico em livros, periódicos e revistas científicas usando termos em português e por vezes em inglês e espanhol. Usou-se como base o conceito de Revisão Sistemática.

Foram utilizados, como fontes de busca, além de livros, portais de artigos científicos como, *Scientific Electronic Library Online - Scielo*, Google Acadêmico, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde - LILACS, o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Para uma melhor busca bibliográfica foi definido um intervalo de 15 (quinze) anos, entre 2008 e 2023. Durante a pesquisa foram encontrados 80 (oitenta) artigos científicos a partir do uso de palavras-chave como: DNA Forense, Técnica Biomolecular, Genética Forense, Identificação Humana, PCR na Perícia Científica, Polimorfismos Genéticos, Banco de Perfis Genéticos, Confronto de Perfis Genéticos, Re de Integrada de Bancos de Perfis Genéticos, Banco nacional de Perfis genéticos, Lei de perfis genéticos. Também foram utilizados termos em inglês como: *Southern Blotting* e *Genetic profile*. Vale ressaltar que muitos dos termos em português são cognatos perfeitos com palavras em espanhol e assim também aparecem artigos em espanhol.

Após análise utilizou-se, para a confecção deste trabalho, 17 (dezessete) artigos científicos considerados de alta relevância, além de livros, leis e trabalhos acadêmicos, totalizando 23 (vinte e três) referências bibliográficas. As ideias analisadas dos artigos científicos foram transcritas para uma planilha (**Tabela 1**), que, passaram novamente por um processo de decomposição literária para o auxílio à organização das ideias da pesquisa em questão.

Tabela 1. Levantamento de trabalhos científicos sobre técnicas biomoleculares usadas na genética forense.

Autor	Título	Ano	Técnica	Referência
Liescheski, C.; Fedatoo, P. F.; Freitas F. A.	Genética forense: fundamentos e aplicações	2022	PCR, STRs, SNPs, INDELs, mtDNA, qPCR, ddPCR e análise de metilação	[2]
Decanine, D.	O papel de marcadores moleculares na genética forense	2016	PCR, STRs, VNTRs, SNPs, mtDNA, Y-STR, NGS, epigenética, eletroforese capilar, sequenciamento de nova geração	[3]
Rangel, H.	Las pruebas de ADN en el contexto forense	2017	Extração de DNA, PCR, STRs, miniSTRs, eletroforese capilar, análise por software de genotipagem, uso de kits comerciais	[4]
Cáceres-Duran, M.A. et al.	Epigenética em Ciências Forenses	2023	Metilação do DNA (em ilhas CpG), análise de microRNAs (miRNAs) e longos RNAs não codificantes (lncRNAs), RT-qPCR, estimativas por algoritmos	[5]
Oliveira, T.S; Moraes Filhos, A.V.	Técnicas de biologia molecular utilizadas para desvendar crimes	2018	STRs, VNTRs, SNPs, InDels, DNA mitocondrial, extração de DNA, PCR, eletroforese em gel, Southern Blotting, RFLP.	[6]

Gonçalves, D. Alves, K. M. C.; Silva, P. P.; Franco, J. V. V.; Azereedo, J. P. S.	A influência da PCR na perícia criminal: revisão sistemática de literatura	2022	DNA; PCR; Taq DNA polimerase.	[7]
Silva Junior, R. C.	Panorama atual da Genética Forense no Brasil: aspectos tecnológicos, legais e estratégicos	2023	Eletroforese, Southern Blotting, RFLP, PCR, RT-PCR, qPC, Multiplex PCR, Nested PCR; STRs , VNTRs, SNPs, InDels, mtDNA	[8]
Minervino, A. C.; Silva Junior, R. C. Malta, A. E. A.; Becker, C. M. S.; Malaghini, M.	Projeto de Coleta de Amostra de Condenados - Incremento do auxílio a investigação e a justiça	2020		[9]
Silva, T; Frangosa, P. C.	A aplicação de técnicas moleculares de DNA na investigação forense	2018	PCR, Eletroforese e Southern Blotting	[11]
Monteiro, S. L; Oliveira I. S; Carvalho T. A.	Analise transdisciplinar do Banco Nacional de Perfis Genéticos: técnicas moleculares e aspectos jurídicos	2019	RFLP, PCR, Eletroforese, Southern Blotting, Sequenciament o de DNA mitocondrial (mtDNA), STRs, CODIS.	[12]
Leite, V. S.; Batista, M. I. H. M; Soriano, E. P.; Carvalho M. V. D.; Sobral A. P. V.	Uso das técnicas de biologia molecular na genética forense	2013	RFLP, VNTR, PCR, STR e Southern Blotting	[13]
Silva, C.D.D. et al.	Ciências Biológicas: Realidades e Virtualidades.	2020	RFLP e Southern Blotting	[14]
Cardoso A. P.	Técnicas de genética forense: uma revisão sobre as principais técnicas utilizadas para a obtenção de perfil de DNA na resolução de crimes e sua importância no âmbito jurídico	2021	PCR, RFLP, Eletroforese, Southern Blotting	[16]
Gonçalves D.	A genética forense como meio de solução dos casos de estupro	2022	STR, mtDNA,	[18]

et al.	contra a mulher		Y-STR	
Fruehwirth M., Delai R.; Folha R	Técnicas de biologia molecular aplicadas à perícia e Ciências Forense	2015	STR, VNTR, SNP, RFLP, PCR, eletroforese .	[19]
Machado, A.; Leite, R.; Barcelos, R.	Aplicabilidade do cromossomo X no DNA forense.	2017	X-STRs	[21]
Acevedo, M. L.; Borda O. L.; Bocanegra B. Y.	Validación y resultados prelimniares del kit de AmpFISTR Minifiler en el Laboratorio de Genética Forense de la DIJIN, Policia Nacional de Colombia.	2011	Mini STRs	[22]

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

O presente levantamento bibliográfico demonstra a relevância das metodologias e técnicas biomoleculares aplicadas no campo criminal, como observado no gráfico da figura 1.

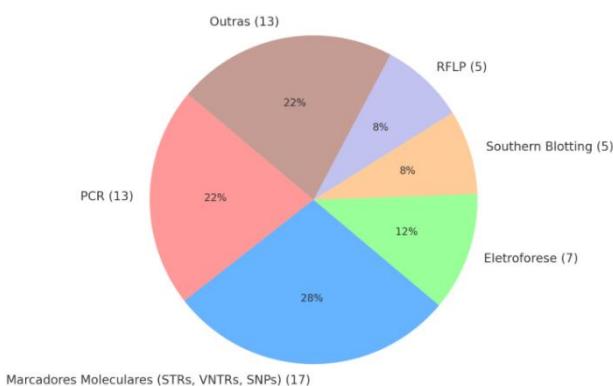


Figura 1: Frequência de Técnicas Biomoleculares usadas na Ciência Forense mais citadas nos artigos analisados.

O gráfico apresentado (Figura 1) ilustra a distribuição das técnicas mais frequentemente mencionadas na literatura científica analisada para esta revisão bibliográfica. A análise da representatividade de cada técnica oferece uma melhor compreensão sobre a evolução e as principais ferramentas utilizadas na área.

Observa-se que a técnica de PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), juntamente com os Marcadores

Moleculares (que engloba STRs, VNTRs e SNPs), detêm as maiores proporções (ambas com 22% e 28%, respectivamente). Essa predominância reforça a centralidade da PCR como método de amplificação de DNA fundamental na análise forense, permitindo a investigação mesmo a partir de quantidades mínimas de material biológico. A alta frequência de marcadores moleculares, em especial os STRs (*Short Tandem Repeats*), reflete o seu papel crucial no estabelecimento de perfis genéticos individualizados para identificação humana e resolução de crimes, sendo a base de muitos bancos de dados forenses.

A Eletroforese (12%), técnica essencial para a separação e visualização dos fragmentos de DNA amplificados, também demonstra relevância significativa, estando intrinsecamente ligada à aplicação da PCR e à análise de marcadores moleculares. Técnicas como Southern Blotting e RFLP (ambas com 8%), embora historicamente importantes, apresentam uma menor representatividade no conjunto de artigos analisados, o que pode indicar uma tendência de substituição por métodos mais modernos e de maior resolução, como os baseados em PCR e sequenciamento.

A categoria "Outras" (22%) agrupa diversas técnicas com menor frequência individual, como mtDNA, epigenética e NGS. A presença significativa desta categoria sugere uma diversificação de abordagens na genética forense, com a incorporação de novas tecnologias e marcadores genéticos para aplicações mais específicas, como a análise de DNA mitocondrial em casos de amostras

degradadas ou a exploração da epigenética para estimativa de idade e identificação de fluidos biológicos.

Dessa forma, ressalta-se a importância da genética forense na composição dos perfis genéticos, presentes nos bancos de dados da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG), auxiliando nos desvendamentos de crimes sexuais, busca por pessoas desaparecidas, identificação de criminosos e vítimas, inocentar suspeitos, dentre outros.

Percebe-se, portanto, que a capacidade que as análises de DNA têm para identificação e distinção de indivíduos por meio de seu material genético traduz sua importância em reduzir e limitar o número de suspeitos, além da possibilidade de provar inocência de indivíduos [11, 13].

A análise de DNA é descrita como essencial e de grandes progressos na ciência forense, pois possui uma incrível sensibilidade e poder de discriminação [13].

O exame de DNA foi apontado como a maior revolução científica na esfera forense, pois o DNA apresenta pelo menos duas vantagens: a estabilidade química; e a sua ocorrência em todas as células nucleadas do organismo humano [13].

3.1. Principais técnicas biomoleculares e marcadores genéticos no contexto forense

Dentre as técnicas biomoleculares mais utilizadas na perícia criminal destaca-se o Polimorfismo no Comprimento de Fragmentos de Restrição (RFLP), a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), a Eletroforese, o *Southern Blotting* e os Marcadores Biomoleculares [14].

3.1.1. RFLP

Em meados da década de 1980 e início de 1990 a técnica mais utilizada para identificação humana era o RFLP, técnica desenvolvida por Sir Alec Jeffreys, que consiste em utilizar enzimas de restrição no objetivo de “cortar” o DNA em locais específicos [2, 6, 14].

RFLP é um marcador que, além de outras utilidades, pode auxiliar na resolução de crimes. Porém, trata-se de uma técnica de alto custo para execução por utilizar sondas que são tóxicas e ser relativamente trabalhosa [6]. Esta técnica, foi substituída por ser considerada demorada e demasiadamente complexa.

3.1.2. PCR

No final de 1980 Kary Mullis criou a técnica de PCR, a qual realiza *in vitro* a amplificação do DNA, mesmo que este esteja em quantidade ínfima [6, 7, 11, 12, 15, 16, 17]. Dada a singularidade do genoma humano, com exceção de gêmeos monozigóticos, a alta sensibilidade da PCR

revolucionou a genética forense, possibilitando a obtenção de perfis de DNA a partir de amostras biológicas limitadas [15]. Essa capacidade tem sido crucial na elucidação de crimes sexuais, na identificação de vítimas de desastres, em casos de corpos em avançado estado de decomposição ou carbonizados, e na identificação de indivíduos desaparecidos [2, 15, 16].

A técnica de PCR viabilizou o confronto entre perfis genéticos de amostras questionadas e de referência. Sem essa técnica, a maioria das amostras forenses não apresentaria qualidades suficientes de DNA em condições de produzir perfil genético interpretável [17]. A técnica pode amplificar de forma seletiva e rápida cerca de bilhões de cópias de um nucleotídeo em questão de horas. [2, 7, 15, 18].

Para realizar o processo de amplificação do DNA é preciso extraí-lo do material biológico coletado no local de delito. As metodologias de extração variam conforme a natureza da amostra [6, 17], envolvendo geralmente a lise celular, a purificação do DNA para remover proteínas e outros contaminantes celulares, e a precipitação para isolar o DNA. A etapa final consiste na ressuspensão do DNA em uma solução tampão para proteção contra degradação [4].

Após a extração do DNA é importante que se realize a quantificação do mesmo. A quantificação do DNA extraído é uma etapa crítica que precede a amplificação e análise subsequente, uma vez que há imprevisibilidade quantitativa e qualitativa do DNA isolado de amostras forenses [17].

Para isso, diversos métodos de quantificação são utilizados nos laboratórios forenses, desde uma simples visualização de padrões de bandas de DNA total em um gel de agarose, passando pela quantificação de DNA por espectrofotometria, até a quantificação de DNA humano [17].

Atualmente, a técnica de PCR em tempo real (qPCR) é amplamente utilizada em laboratórios forenses, combinando a amplificação com a quantificação simultânea do DNA. Baseada na especificidade e alta sensibilidade da PCR, a qPCR emprega kits com primers e sondas fluorescentes específicos para o DNA humano [4, 17, 19]. Ao contrário da PCR convencional, a qPCR dispensa a eletroforese pós-amplificação, pois a quantificação é realizada em tempo real pela detecção da fluorescência emitida pelas sondas que se ligam ao DNA amplificado a cada ciclo. A intensidade do sinal fluorescente, analisada em relação a uma curva de calibração, permite inferir a quantidade de DNA humano presente na amostra [17].

A amplificação do DNA pela PCR possui três fases cíclicas: a desnaturação das fitas de DNA (~94-98°C), o anelamento dos iniciadores (primers) às sequências complementares (~50-65°C) e a extensão das fitas de DNA

pela DNA polimerase termoestável (~72°C), tipicamente a *Taq polymerase* [4, 7, 15, 20]. A DNA polimerase catalisa a síntese de novas fitas de DNA pela adição de desoxirribonucleotídeos trifosfatados (dNTPs) à extremidade 3' dos primers. A escolha da DNA polimerase é crucial para a eficiência e fidelidade da PCR [20].

Todas as moléculas de DNA recém-sintetizadas produzidas pela polimerase servem de molde para o próximo ciclo de replicação. Por meio desse processo iterativo de amplificação, bilhões de cópias da sequência original podem ser produzidas após cerca de 20 a 30 ciclos [15].

Uma limitação da técnica é a ocorrência de artefatos, como dímeros de primers ou amplificação não específica, especialmente em amostras biológicas de baixa qualidade, contaminadas ou degradadas [2].

3.1.3. Eletroforese

Após amplificação das regiões de DNA de interesse empregando a PCR convencional, é necessário evidenciar os polimorfismos moleculares presentes nas amostras investigadas. Uma das técnicas utilizadas para esta finalidade é a Eletroforese em Gel [17].

A eletroforese é empregada para a separação, isolamento, análise e manipulação dos ácidos nucléicos. As moléculas de DNA são aplicadas em um gel de agarose ou poliacrilamida, e assim elas migraram em direção ao ânodo em um campo elétrico [13].

Esta técnica se baseia no princípio de que o DNA tem carga elétrica negativa. Quando amostras de DNA são aplicadas e, cavidades produzidas por um pente em gel e, em seguida, aplicada uma corrente elétrica ao sistema, o DNA presente na cavidade será atraído para o polo positivo produzido pela corrente elétrica [13, 17].

Em função da resistência conferida pela malha do gel, quanto maior o fragmento mais dificuldade enfrentará no deslocamento e mais lentamente ele migrará no gel, de forma que as diferenças de tamanho de fragmentos poderão ser visualizadas por meio da posição assumida pelos fragmentos de DNA ao final da corrida. Para manter a uniformidade da corrente elétrica em todo o sistema, é utilizado um tampão eletrolítico no qual o gel e as amostras ficam imersos [17].

Atualmente existe a Eletroforese Capilar, mais utilizada nos laboratórios forenses, que, embora utilize os mesmos princípios da Eletroforese em Gel, apresenta resultados muito superiores em vários aspectos, como a automação do processo, segurança, rapidez de processamento das amostras, uniformidade dos resultados além da capacidade de identificar marcadores com tamanhos de fragmentos semelhantes, com diferentes fluorescências como no PCR multiplex [17].

3.1.4. Southern Blotting

A Eletroforese trouxe a capacidade de separação e distinção de trechos de DNA, entretanto não é capaz de separar sequências específicas que formam o DNA; apenas produz separação conforme o tamanho das moléculas [11]. Para separação dessas sequências usa-se a técnica de *Southern Blotting*, a qual consiste na hibridização dos ácidos nucléicos com o objetivo de localizar a posição de um determinado gene na fita de DNA [6].

Ao complementar técnicas como a PCR e a eletroforese, o *Southern Blotting* permitiu aos peritos identificar variações específicas no DNA entre indivíduos, mesmo em amostras complexas ou parcialmente degradadas. Essa característica tornou a técnica uma ferramenta crucial para o estabelecimento de vínculos genéticos em investigações criminais, como na identificação de suspeitos a partir de vestígios biológicos encontrados em cenas de crime e em testes de paternidade [6].

Assim, ao complementar a PCR e a Eletroforese, a *Southern Blotting* torna-se uma técnica importante na investigação forense [11].

3.1.5 Marcadores genéticos: a chave para a identificação na análise forense

Destaca-se que as amostras oriundas de local de crime normalmente apresentam DNA em baixa concentração. Além de, muitas das vezes, apresentarem degradação de sua estrutura química, podendo conter misturas de perfis genéticos [17].

Diante desses desafios, a análise de regiões específicas do DNA, amplificadas por PCR e separadas por eletroforese, torna-se crucial para a obtenção de perfis genéticos confiáveis. Após a amplificação por PCR e separação por eletroforese, regiões específicas do DNA, que exibem variabilidade entre indivíduos (polimorfismos), são o foco da análise. Esses polimorfismos, também conhecidos como marcadores genéticos ou moleculares, são sequências de DNA repetidas que distinguem os organismos

Os polimorfismos são classificados de acordo com o tamanho da região de repetição. Os mais comuns são os microssatélites ou VNTRs (*Variable Number Tandem Repeat*) e os minissatélites ou STRs (*Short Tandem Repeat*) [6]. Devido ao pequeno tamanho e por ocorrer com maior frequência na população, os marcadores STRs podem ser amplificados facilmente oferecendo maior robustez e sensibilidade já que permitem obter resultados a partir de quantidades mínimas de DNA [4, 16].

Por isso que os marcadores mais amplamente utilizados

nas investigações forenses atualmente são os STRs [4, 6, 13, 12, 17, 21].

Os STRs (autossônicos, X ou Y) são repetições de nucleotídeos encontradas dentro ou entre os genes, sendo de extrema importância para a identificação humana devido ao seu alto grau de variabilidade [6].

Esses marcadores utilizam *primers* que estão mais próximo do núcleo de repetição, gerando *amplicons* de menor tamanho. Isto faz com que a probabilidade de amplificar um fragmento no DNA degradado seja muito maior [22].

Esses *loci* STRs são de suma importância, pois de forma específica são incluídos nos bancos de perfis genéticos para a identificação humana.

Apesar da existência de milhares de STRs tetranucleotídeos no genoma humano, a padronização e a disponibilidade de dados populacionais robustos são cruciais para sua aplicação forense em larga escala, o que levou à seleção de conjuntos específicos de *loci* [17].

Em 1997 o *Federal Bureau of Investigation* (FBI) determinou um conjunto de 13 *loci* STR que iriam constituir o cerne das análises de identificação humana, os quais eram: CSF1PO, FGA, TH01, TPOX, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51 e D21S11 [17].

Porém, no intuito de reduzir a razão de verossimilhança, em 2011 o FBI propôs a expansão dos *loci* STRs para: CSF1PO, FGA, TH01, TPOX, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51 e D21S11, D12S391, D1S1656, D2S441, D10S1248, D2S1338, D19S433, Penta, e DYS391, além da amelogenina como identificador de gênero. E a partir da resolução nº 4, de caráter técnico, aprovada pelo Comitê Gestor da RIBPG tornou-se possível a inserção de dados de mais cinco *loci* genéticos: D10S1248, D22S1045, D1S1656, D12S391 e D2S441. E, passou a demandar dados genéticos de pelo menos dois familiares como referência para a busca de pessoas desaparecidas [17].

3.3. Bancos de perfis genéticos

As primeiras nações a armazenarem dados em bancos de perfis genéticos foram: Reino Unido e os Estados Unidos em 1994 [3, 17]. Em 1998, foi lançado pelo FBI, nos Estados Unidos, o programa CODIS (Combined DNA Index System), o qual é destinado a unidades federais, estaduais e laboratórios de criminalidade locais nos Estados Unidos e em âmbito internacional, bem como a laboratórios de criminalística. Sua aplicação principal reside em facilitar o intercâmbio e a comparação de evidências de DNA forense provenientes de investigações de crimes violentos [3, 17].

Já no Brasil, entre 2007 e 2008, após várias discussões, o Ministério da Justiça resolveu aceitar a oferta do governo americano e adotar o sistema Codis como *Software* padrão de arquivamento de perfis genéticos em casos criminais e em amostras referentes à identificação humana [9, 17]. A utilização do sistema, no Brasil, teve início após a necessidade de identificação de vítimas em um acidente aéreo do voo AF 447 Rio/Paris, em 2009, onde foi realizado o confronto de perfis genéticos dos cadáveres e restos mortais encontrados com os familiares, para uma identificação conclusiva [2].

Nessa época, entretanto, apenas eram inseridos nos bancos os perfis genéticos de amostras biológicas coletadas como vestígios em cenas de crimes. Não havia previsão legal para a coleta obrigatória de perfil genético diretamente de indivíduos [9]. Entre 2010 e 2012, só foi possível alimentar o Codis com perfis de vestígios relacionados a casos de violência sexual, além de perfis genéticos de cadáveres desconhecidos e de familiares de pessoas desaparecidas [2, 9, 17].

Em 2012 foi aprovada a lei 12.654, que alterou as Leis de Execução Penal (nº 7.210/1984) e de Identificação Criminal (nº 12.037/2009) e permitiu a coleta e o armazenamento em banco de dados de perfis genéticos de condenados por crimes como homicídio doloso, sequestro, cárcere privado, roubo qualificado, extorsão qualificada, estupro e outros previstos na legislação de crimes hediondos, bem como de suspeitos por solicitação da justiça [2, 3, 6, 9, 17, 23]. Porém, foi a partir do decreto nº 7.950 em 2013, que instituiu o Banco Nacional de Perfis Genético (BNPG) e a Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG), que a lei 12.654/2012 entrou em operação [2, 8, 9, 10, 17].

A RIBPG foi criada com a finalidade principal de manter, compartilhar e comparar perfis genéticos a fim de ajudar na apuração criminal e/ou na instrução processual [9, 10]. O funcionamento adequado e relevante da RIBPG é possível por meio de trabalho conjunto das diversas frentes de investigação criminal, firmado entre Secretarias de Segurança Pública (ou instituições equivalentes), Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASA) e Polícia Federal (PF) para o compartilhamento de perfis genéticos obtidos em laboratórios de Genética Forense [10, 11]. Dessa forma, os dados podem ser analisados e até mesmo confrontados entre si, permitindo a identificação de casos em todo o país, como os casos interestaduais que foram elucidados por meio da comparação de amostras encontradas [11].

Desde 2018 esta iniciativa promove a coleta de material biológico de condenados que estão no sistema prisional, o que levou até novembro de 2022 à coleta e inserção no BNPG de mais de 132 mil indivíduos [8]. Além de contribuir com a busca de pessoas desaparecidas [8]. É

possível observar que, desde sua criação em 2013, o número de amostras cadastradas na RIBPG vem subindo ano a ano [11]. Como é possível observar na figura 1.

A RIBPG teve um avanço significativo nos últimos anos, com as alterações trazidas pela Lei nº 13.964/19, sendo este crescimento, em grande parte, devido ao Projeto de Coleta de Amostra de Condenados. O aumento na inserção de perfis genéticos oriundos de condenados permitiu vincular indivíduos a diversos casos que permaneciam sem solução, podendo assim auxiliar às equipes de investigação na identificação do (s) autor (es) do crime [9].

Estima-se que, nos próximos anos, conforme ocorra o processamento de vestígios de crimes sexuais, haja um aumento significativo da contribuição da RIBPG como ferramenta para identificação de crimes em série, de locais de crime, de identificação de possíveis autores de delitos e, ainda permitir a revisão de condenações de inocentes injustamente acusados [12].

Segundo o XVIII relatório da RIBPG, os perfis genéticos gerados pelos laboratórios da RIBPG são enviados rotineiramente ao Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG), onde são feitos os confrontos a nível interestadual com perfis gerados pelos laboratórios de genética forense que compõem a RIBPG, bem como perfis encaminhados de outros países por meio da INTERPOL [12]. Até 28 de maio de 2023, 20 laboratórios estaduais, 1 laboratório distrital e 1 laboratório da Polícia Federal

compartilhavam perfis genéticos no âmbito da RIBPG [12].

Ainda de acordo com o XVIII relatório da RIBPG, embora os estados do Acre, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Norte, Roraima e Tocantins não estejam estruturalmente integrados à RIBPG ambos possuem laboratórios em pleno funcionamento e trabalham atualmente no atendimento aos requisitos da RIBPG para então iniciarem o compartilhamento de perfis genéticos [12].

Verifica-se que atualmente há no BNPG uma maior proporção de perfis genéticos de condenados (74,79%), seguido de vestígios (14,61%), restos mortais não identificados (4,32%) e familiares de pessoas desaparecidas (4,07%). Em menor proporção temos indivíduos identificados criminalmente (1,39%), perfis inseridos em atendimento a decisões judiciais (0,43%), restos mortais identificados (0,30%), pessoas de identidade desconhecida (0,06%) e referências diretas de pessoa desaparecida (0,03%). Essas proporções podem ser melhor observadas na figura 2. Assim observa-se que os bancos de perfis genéticos têm a capacidade de armazenar perfis genéticos obtidos de várias fontes, como vestígios coletados em locais de crime ou no corpo de vítimas, referências de condenados e de suspeitos, possibilitando o seu cruzamento e comparação [8].



Figura 1: evolução do número total de perfis genéticos cadastrados no BNPG de novembro de 2014 a 28 de maio de 2023 [10].

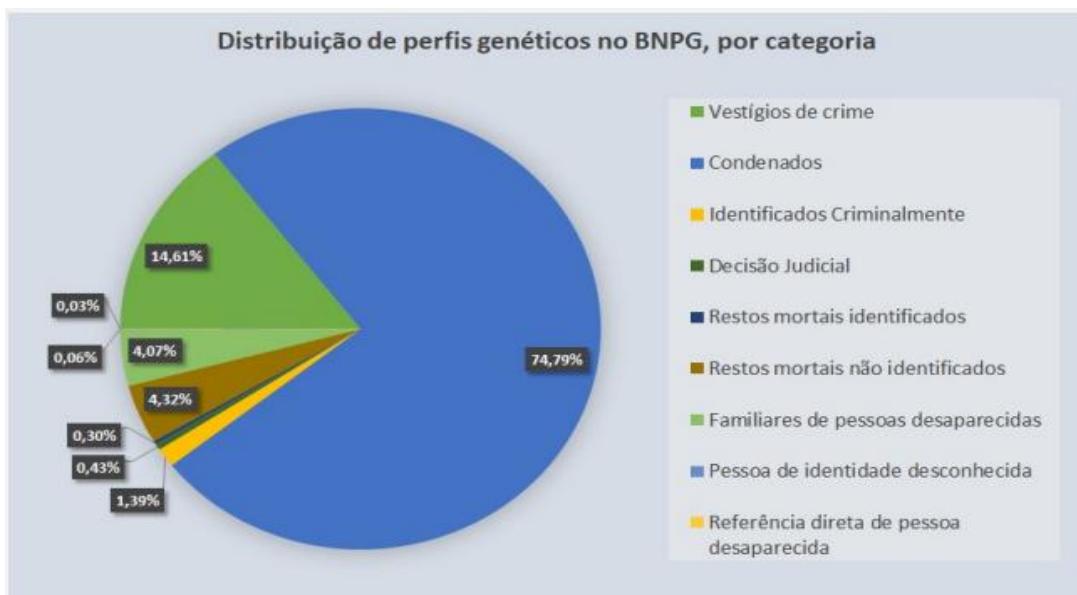


Figura 2: Proporções dos perfis genéticos de acordo com as categorias [10].

Apesar das discussões sobre a necessidade de aprimorar a legislação brasileira referente à coleta e ao processamento de material biológico, o reconhecimento internacional do trabalho das forças de segurança do Brasil já é evidente [2]. Comparável às práticas de países pioneiros, o Brasil tem se destacado internacionalmente nos últimos anos, sendo reconhecido por sua rede de laboratórios consolidada e por um banco de perfis genéticos em franca expansão. Na América Latina, o país se sobressai como um dos mais desenvolvidos na área, servindo de modelo para as nações vizinhas [8].

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas biomoleculares têm auxiliado eficientemente todo o processo que envolve a busca de autoria de crimes e na identificação de vítimas e/ou corpos nas mais variadas situações. Nota-se que a técnica de PCR se tornou de uso rotineiro e de suma relevância para a perícia criminal. Por isso deve ser constante o aprimoramento das técnicas biomoleculares, sobretudo a PCR, por exemplo, cuja especificidade de replicar simultaneamente (PCR Multiplex) a molécula de DNA a partir de várias amostras, auxilia no aumento ou robustez de material a ser analisado pelo profissional responsável.

Além da PCR, vale destacar a função da Eletroforese e do Southern Blotting, ambos essenciais e que em conjunto com a PCR tornaram possível a análise de DNA, contribuindo significativamente com os bancos de perfis genéticos no processo de Identificação Humana por meio da comparação dos perfis genéticos.

Nota-se que é preciso cada vez mais o aprimoramento das técnicas biomoleculares, dos dispositivos legais e dos bancos de perfis genéticos nos estados, para que a integração destes ocorra de forma eficiente. Ressalta-se a eficiência da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos, a qual vem desenvolvendo um papel essencial para a justiça e consequentemente para a sociedade brasileira e à comunidade internacional.

Em suma, este trabalho revela um panorama da genética forense fortemente alicerçado na PCR e na análise de marcadores de polimorfismo de DNA. Contudo, a emergência e a crescente citação de outras técnicas indicam uma área em constante evolução, buscando ampliar o escopo das análises forenses e responder a desafios investigativos complexos. A revisão bibliográfica detalhada dos artigos inventariados permitirá aprofundar a discussão sobre a aplicabilidade, as vantagens e as limitações de cada uma dessas técnicas no contexto da perícia criminal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brasil, Decreto-Lei nº 3.689 de 03 de outubro de 1941 Código de Processo Penal. Retirado em 22/07/2023 de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del3689.htm
- [2] C. Liecheski; P.F. Fedatto; F.A. Freitas. Genética forense: fundamentos e aplicações. *Rev. B. J. Health.* 5: 6722-6742 (2022).

- [3] D. Decanine. O papel de marcadores moleculares na genética forense. *Rev. Bras. Crimin.* **5**: 18-27 (2016).
- [4] H.V. Rangel. Lo que se debe saber acerca de Las pruebas de ADN en el contexto Forense. *Rev. Cienc. Forenses Honduras.* **3**: 28-39 (2017).
- [5] M.A. Cáceres-Duran; et al. Epigenética em Ciências Forenses. *Rev. Bras. Crimin.* **12**: 83-90 (2023).
- [6] T.S. Oliveira; A.V. Moraes Filho. Técnicas de Biologia Molecular utilizadas para desvendar crimes. *Rev. Saúde Ciênc. Ação*, **4**: 89-102 (2018).
- [7] k.M.C. Alves; et al. A influência da PCR na perícia criminal: revisão Sistemática de literatura. *Rev. Amaz. Scien. Health.* **10**: 01-15 (2022).
- [8] R.C. Silva Junior. Panorama atual da Genética Forense no Brasil: aspectos tecnológicos, legais e estratégicos. *Rev. Bras. Crimin.* **12**: 99-106 (2023).
- [9] A.C. Minervino; et al. Projeto de Coleta de Amostra de Condenados - Incremento do auxílio a investigação e a justiça. *Rev. Bras. Ciênc. Pol.* **11**: 69-89 (2020).
- [10] Brasil, RIBPG. XVIII Relatório da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG). Ministério da Justiça e Segurança Pública (2023). Retirado em 28/07/2023 de <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/ribpg/relatorio>
- [11] T.A. Silva; P.C. Frangiosa. A aplicação de técnicas moleculares de DNA na investigação forense. *Rev. Cient. U.M.C.* **3**: 01-15 (2018).
- [12] S.L. Monteiro; I.S. Oliveira; T.A.A. Carvalho. Análise transdisciplinar do Banco Nacional de Perfis Genéticos: técnicas moleculares e aspectos jurídicos. *Rev. Bras. Crimin.* **8**: 48-53 (2019).
- [13] V.S. Leite; et al. Uso das técnicas de biologia moléculas na genética forense. *Rev. D.C.S.* **20**: 01-18 (2013).
- [14] C.D.D. Silva; et al. *Ciências Biológicas: realidades e virtualidades*. Atena Editora. Brasil (2020) 147-148. Retirado em: 10/05/2023 de <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/procedimentos-da-biologia-molecular-utilizadas-para-desvelar-crimes>
- [15] B. Alberts; et al. *Biologia Molecular da Célula. 6ª Edição*. Artmed, Brasil (2017) 463-482.
- [16] A.P.M. Cardoso. Técnicas de Genética Forense: Uma revisão sobre as principais técnicas utilizadas para a obtenção de perfil de DNA na resolução de crimes e sua importância no âmbito jurídico. *Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação*, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade do Sul de Santa Catarina (2021).
- [17] C.R. Dias Filho; P.A.C. Francez. *Introdução à Biologia Forense. 3ª Edição*. Millennium Editora, Brasil (2022) 311-358.
- [18] D.P. Gonçalves; et al. A Genética Forense como meio de solução dos casos de estupro contra a mulher. *Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação*, Departamento de Ciências Biológicas, Centro Universitário de Várzea Grande (2022).
- [19] M. Fruehwirth; R.M. Delai; R.A. Folha. Técnicas de Biologia Molecular aplicadas à Perícia e Ciência Forense. *Rev. D.C.S.* **42**: 01-25 (2015).
- [20] F.L.A. Oliveira; et al. O uso de diferentes Taq DNA polimerases para a detecção de Chlamydia trachomatis em amostras cervicais. *Rev. Pan-Amaz. Saúde.* **6**: 19-24 (2015).
- [21] A.P.L.B. Machado; R.F.S. Leite; R.S.S. Barcelos. Aplicabilidade do cromossomo X no DNA forense. *Rev. Ciênc. Méd. Bio.* **16**: 197-209 (2017).
- [22] M.L. Acevedo; O.L. Borda; B.Y. Bocanegra. Validación y resultados preliminares del kit de AmpFℓSTR® Minifiler™ en el Laboratorio de Genética Forense de la DIJIN, Policía Nacional de Colombia. *Cuad. Med. Forense* **17**: 77-81 (2011).
- [23] A.E. Santos. As principais linhas da biologia forense e como auxiliam na resolução de crimes. *Rev. Bras. Crimin.* **7**: 12-20 (2018).