

Ciência Forense:

exame de ADN

Introdução

“O Teste de ADN é para a justiça como telescópio para as estrelas. Não é uma lição de bioquímica, não uma exibição das maravilhas reveladas por uma lente, mas um modo de ver as coisas como elas realmente são.”

(Barry Scheck e Peter Neufeld, *Actual Innocence*¹)

Acho que você lembra da história do Rei Salomão. Os registros são bíblicos e aconteceu à cerca de 3.000 anos. Trata-se da descrição em que o rei de Israel encontra-se diante do impasse de duas mulheres que reivindicavam a maternidade de uma criança. O rei Salomão ameaçou cortar o bebê ao meio, a fim de dar cada metade a uma mulher, fazendo com que a mãe verdadeira abrisse mão do filho para salvar sua vida. Uma bela história. Fico imaginando o que este sábio rei faria se, em sua época, houvesse toda a tecnologia de identificação humana que temos hoje. Mais adiante na história, tenho certeza que o criador do personagem Sherlock Holmes lamentaria o fato de ter vivido na época que antecedeu a ‘era do ADN’ na investigação criminal.

Um dos princípios da justiça é que as pessoas devem pagar pelos seus atos, e tão somente por aquilo que cometeram. Julgar uma pessoa pelos seus antecedentes é humanamente justificável. Isto é tão verdade que duvido que haja quem não se revolta com o caso do menino João Hélio, no Rio de Janeiro, que foi arrastado por centenas de metros por ladrões que fugiam com o carro roubado. Igualmente não tenho dúvidas que muitas pessoas gostariam de fazer o mesmo com os acusados do crime.

E por que não citar os assassinatos, muitas vezes por motivos torpes, que acontecem todos os dias e ficamos sabendo por meio do noticiário? E o familiar da vítima de um assassinato, o que tem vontade de fazer? Mas a justiça atual não permite que se faça, como a expressão popular diz, “justiça com as próprias mãos”, sem ficarmos impunes. Ela coíbe este tipo de ação e se atém aos fatos e provas, a fim de aplicar as eventuais punições previstas em lei. Se certo ou não, as coisas funcionam assim. É na aquisição e análise de provas que a ciência forense entra na história.

Um dos princípios básicos do método científico é a reprodutibilidade. Tanto aqui no Brasil como em qualquer lugar deste planeta, deve ser possível realizar-se um experimento e se obter os mesmos resultados. Desta forma, a ciência passa a ser uma importante aliada da justiça, pois fornece respostas com aceitáveis níveis de precisão. Não obstante, mesmo que a ciência possua esta capacidade, ela é feita por seres humanos, estes falhos e de caráter duvidoso, que podem perfeitamente tendenciar determinados resultados, de forma consciente ou não, prejudicando ou beneficiando outrem.

O quarto artigo da série sobre Ciência Forense irá versar sobre o exame de ADN e sua aplicação na investigação de crimes. Serão evidenciados desde aspectos técnicos, como a estrutura do ADN, até os métodos de extração e análise do mesmo. Ao final, pretende-se fazer uma reflexão sobre a atual situação destes exames e os aspectos éticos relacionados, tanto na ficção como na realidade. Boa leitura.

¹ O Projeto Inocência luta para tornar livre o maior número de pessoas injustamente condenadas. Esta organização legal e não lucrativa, fundada pelos advogados Barry C. Scheck e Peter J. Neufeld, trabalha para trazer a Justiça àqueles a quem a mesma foi negada.

O que é ADN?

O ser humano tem usado materiais para armazenar informação desde o tempo das pinturas rupestres. Hoje podemos pensar na possibilidade de guardar informação em moléculas únicas. Um sonho dos projetistas de computadores é que um dia arranjos de tais moléculas servirão como dispositivos de armazenamento de dados de enorme capacidade. A natureza, no entanto, já tem usado esta técnica por milhões de anos. Ela usa o ADN para armazenar a informação genética que permite a perpetuação da espécie. Mas, o que significa ADN?

O original inglês 'DNA' é um acrônimo para *DeoxyriboNucleic Acid* (em português, ficaria ADN, referente **Ácido DesoxirriboNucléico**). Juntamente com do RNA (*RiboNucleic Acid* – Ácido RiboNucléico – ARN) e com ajuda de outras espécies bioquímicas, como enzimas, ele é responsável pela hereditariedade. Nele são guardadas todas as informações genéticas, como características físicas e metabólicas (há até quem diga que algumas características psicológicas), com as instruções para síntese de proteínas. Embora haja uma grande semelhança do ADN de dois indivíduos quaisquer da população, não existe uma identidade total – salvo no caso de gêmeos idênticos – e essa pequena diferença (cerca de 0,1 % do ADN) é fundamental na Ciência Forense como potencial forma de identificação humana. Veremos mais adiante como isto funciona.

Estruturalmente falando, os ácidos nucleicos ADN e ARN são enormes polímeros constituídos por nucleotídeos. Estes, por sua vez, possuem uma estrutura comum: um açúcar, um grupo fosfato e uma base nitrogenada, conforme podemos ver na **Figura 1**.

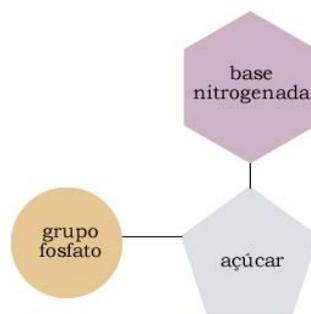


Figura 1– Esquema da estrutura de um nucleotídeo [adaptado de FARAH, 1997].

No ADN, o qual para o presente artigo tem maior importância, os nucleotídeos são formados por um açúcar (desoxirribose), um grupo fosfato e uma base nitrogenada, que pode ser uma purina (Adenina e Guanina) ou uma pirimidina (Timina e Citosina) (**Figura 2**).

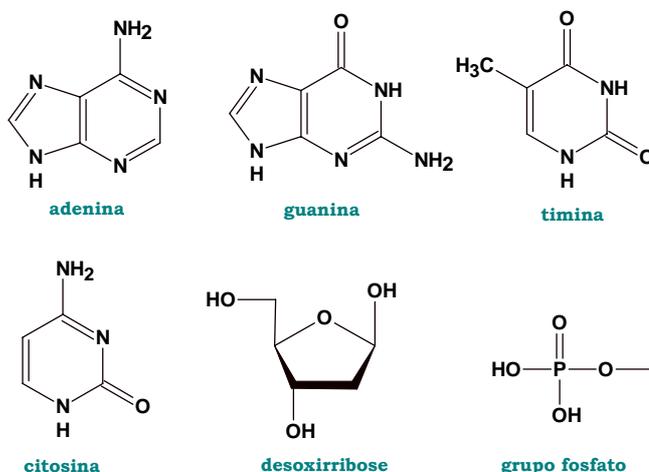


Figura 2 – Os componentes estruturais dos nucleotídeos do ADN.

A informação genética do ADN está na forma de um 'código químico'. Este nada mais é que a ordem dos nucleotídeos. Ele guia a junção de aminoácidos específicos em uma proteína. Estas, por sua vez, têm um papel crítico na constituição, manutenção e catálise nas células.

Nosso organismo sem enzimas simplesmente não funcionaria. Um exemplo que podemos utilizar para evidenciar a importância das proteínas é o da doença conhecida como Fenilcetonúria. Esta é uma patologia de origem genética, na qual o organismo não é capaz de produzir uma determinada enzima que catalisa o metabolismo de um determinado aminoácido: a fenilalanina. O fenilcetonúrico possui uma mutação em um gene² no cromossomo 12. Este – chamado de *PAH* – contém instruções para sintetizar a enzima PAH, conhecida também por fenilalanina hidroxilase. Sem ela, há acúmulo de fenilalanina no organismo, podendo, em casos extremos, levar o indivíduo à morte. Por isto, o portador da doença deve ter uma alimentação altamente regrada.

Para os conjuntos de genes e proteínas de um organismo dá-se o nome de genoma e proteoma, respectivamente. Estes termos aparecem com grande frequência na mídia, pois conhecer os genes e as proteínas que compõem um organismo permite o desenvolvimento de métodos novos para o diagnóstico de doenças e também de novas terapias para seu tratamento.

É possível ‘escrever’ o código presente na molécula estável de ADN pela combinação de quatro nucleotídeos (A, T, G, C) em uma seqüência particular. Estes, combinados em uma ordem específica, característica para cada indivíduo, promovem a forma helicoidal da molécula de ADN, estrutura conhecida como dupla hélice (veja **Figura 3**).

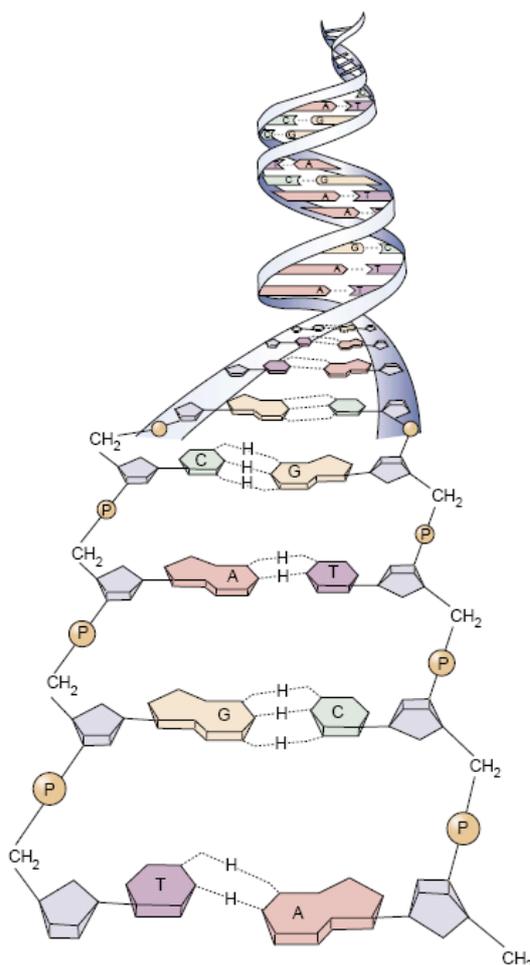


Figura 3 – Estrutura conhecida como ‘dupla hélice’ do ADN evidenciando seus componentes estruturais. Na figura, temos os grupos fosfatos representados pela letra ‘P’ e as bases nitrogenadas Citosina, Adenina, Guanina e Timina pelas letras C, A, G e T, respectivamente. O açúcar é representado pelo pentágono lilás. [fonte: ENGER *et al*, 2005].

² Unidade funcional do ácido desoxirribonucléico de caráter hereditário ou genético, situada no cromossomo, e que determina as características de um indivíduo.

O modelo estrutural aceito atualmente é o da hélice dupla, proposto por James Watson, Francis Crick e colaboradores, em 1953³. Neste modelo, conforme evidencia a **Figura 3**, as duas hélices são mantidas unidas por meio de ligações de hidrogênio⁴, que se estabelecem entre as moléculas das bases nitrogenadas. Elas são detalhadas na **Figura 4** com suas respectivas combinações e distâncias intermoleculares.

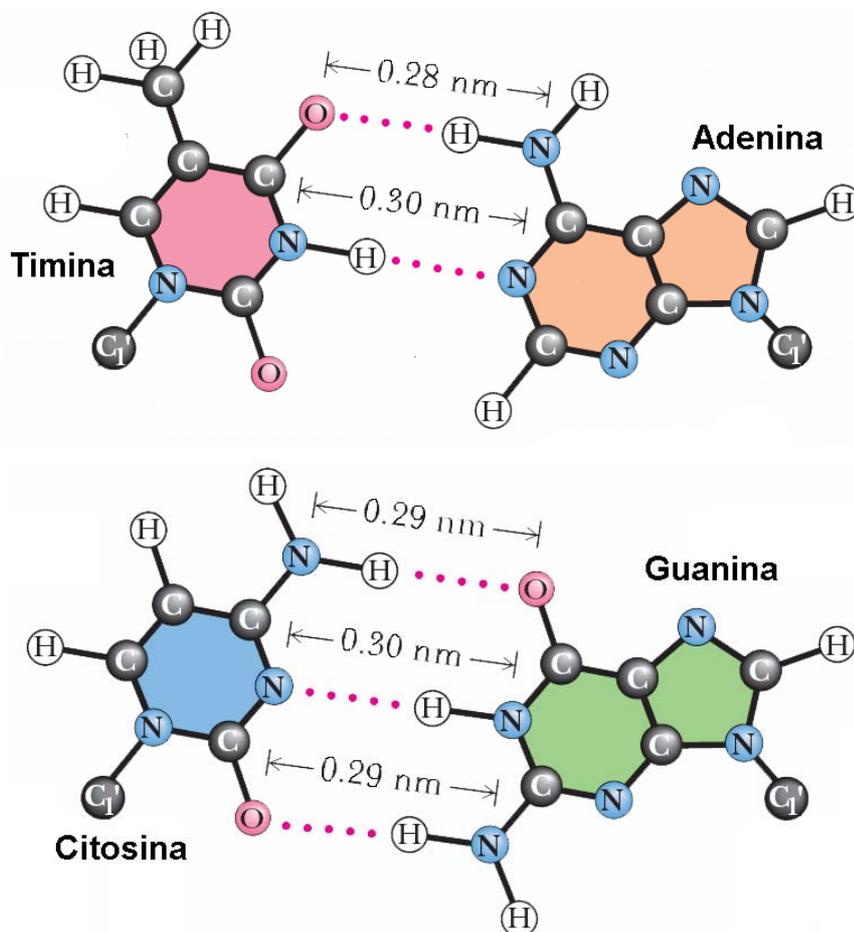


Figura 4 – Representação das ligações de hidrogênio formadas entre os átomos das bases nitrogenadas presentes nos nucleotídeos do ADN. As ligações de hidrogênio são representadas pelos pontilhados em rosa [fonte: ENGER *et al*, 2005].

Para compreender a conformação de hélice dupla consideremos a **Figura 5** que consta num artigo do Journal Of Chemical Education [BRUIST, SMITH e MELL, 1998]. Esta revista é considerada por muitos uma das melhores publicações sobre ensino de química do mundo. Uma busca sobre o tema, nos volumes já publicados, revelará mais textos como este citado, que contém modelos explicativos da estrutura do ADN humano.

³ O livro *Descobertas Acidentais em Ciência*, de Royston M. Roberts, traz o seguinte relato: “A estrutura de dupla hélice do ADN, segundo seus autores, James Watson, Francis Crick e Maurice Wilkins, foi descoberta praticamente por acaso, quando Watson, trabalhando com modelos, começou a encaixar as bases nas mais variadas combinações e, de repente, se deu conta de que a combinação adenina-timina [A-T] unida por duas pontes de hidrogênio era idêntica na forma a uma combinação guanina-citosina [G-C] unida da mesma maneira”.

⁴ Ligações de hidrogênio é o nome dado à interação existente quando um átomo de hidrogênio interage com átomos de Flúor, Oxigênio ou Nitrogênio. Se estes últimos estiverem na mesma molécula que o Hidrogênio, então dizemos que a ligação é intramolecular, caso contrário, ou seja, se estiverem em outra molécula, dizemos que a ligação é intermolecular. Na **Figura 4** temos representadas as ligações de hidrogênio intermoleculares pelas linhas pontilhadas de cor rosa.

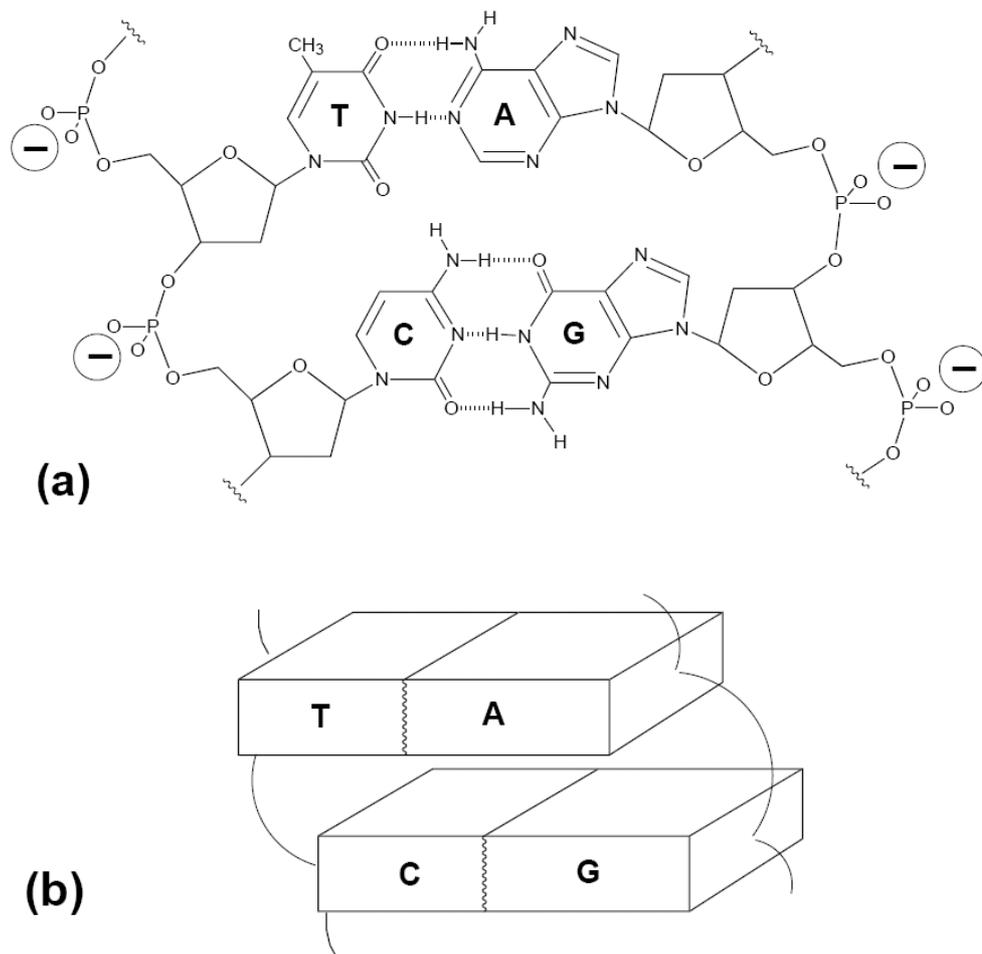


Figura 5 – Em (a) temos a estrutura completa das bases nitrogenadas, desoxirribose e grupos fosfatos dos nucleotídeos. Em (b) temos um esquema onde cada par de bases é representado por uma caixa e as estruturas de açúcar e fosfato pelas linhas. [fonte: BRUIST, SMITH e MELL, 1998].

Os nucleotídeos, como mencionado anteriormente, mantêm a estrutura do ADN coesa por meio das ligações de hidrogênio formadas entre eles. Mas por que a estrutura assume uma forma helicoidal? Os mesmos autores apresentam uma representação simples com caixas empilhadas, as quais estão representadas na **Figura 6**.

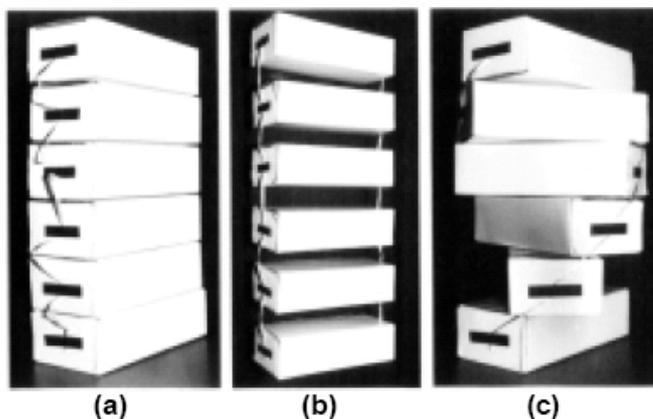


Figura 6 – Modelo que ilustra como as forças intermoleculares favorecem a estrutural helicoidal do ADN. [fonte: BRUIST, SMITH e MELL, 1998].

Os autores propõem seis caixas unidas por dois fios. Cada caixa representa um par de nucleotídeos. O fio representa a coluna de açúcares e de grupos fosfato. Em (a) temos a situação em que as caixas são empilhadas uma encima das outra. Nesta configuração, as interações de repulsão são maximizadas, pois os grupos fosfato estão próximos e, como possuem carga negativa, tendem a se repelir, desestabilizando a estrutura.

ra. Em (b) temos uma tentativa de diminuir a repulsão, com as caixas (no caso, representando os pares de bases nitrogenadas) afastadas, o que não ocorre com a molécula de ADN. Já em (c), por fim, temos a conformação helicoidal, onde os grupos fosfato estão afastados numa distância máxima que permite que as bases tenham contato entre si.

Outros modelos para a molécula de ADN são discutidos em detalhe em outro artigo da mesma revista [Cady, 2005]. A compreensão da constituição da molécula de ADN é fundamental para a entender como a vida se perpetua pelo tempo.

Onde se encontra o ADN?

Estudiosos acreditam que caso uma molécula de ADN humano pudesse ser extraída de onde se encontra e desenrolada da sua forma natural, altamente enovelada, ela teria aproximadamente dois metros de comprimento. Considerando que existem algo próximo de 10^{13} células em nosso corpo, isto significa que temos cerca de 2×10^{13} metros de ADN, o que representa 50.000 vezes a distância entre a Terra e a Lua. Onde será que está tudo isto?

O ADN pode ser encontrado em sua maioria no núcleo celular, organizado na forma de cromossomos (normalmente 22 pares autossômicos e um par de cromossomos do sexo (X e Y) - veja **Figura 7**).

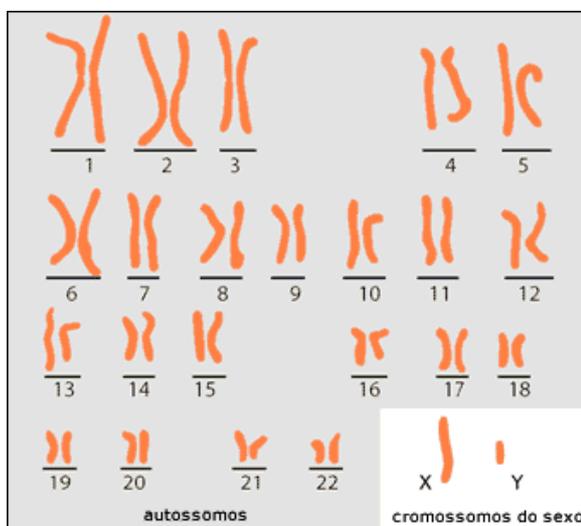


Figura 7 – Cromossomos humanos arranjados aos pares segundo uma classificação convencional. [fonte: CHEMELLO, 2005].

O número e a forma dos cromossomos são geralmente característicos para cada espécie, e todas as células do nosso organismo, com exceção das hemácias, apresentam a mesma quantidade deles⁵. As hemácias fogem a regra, pois são anucleadas, o que facilita seu papel no transporte de oxigênio.

Cada cromossomo é formado por uma única molécula de dupla hélice de ADN condensada com proteínas básicas, chamadas histonas. A este conjunto é dado o nome de nucleossomo (veja **Figura 8**).

⁵ Alguns indivíduos apresentam um certo número de cromossomos, outros um número diferente. Esta variação pode ser normal e não fruto de defeito genético. Outra possibilidade é de espécies distintas possuírem o mesmo número de cromossomos.

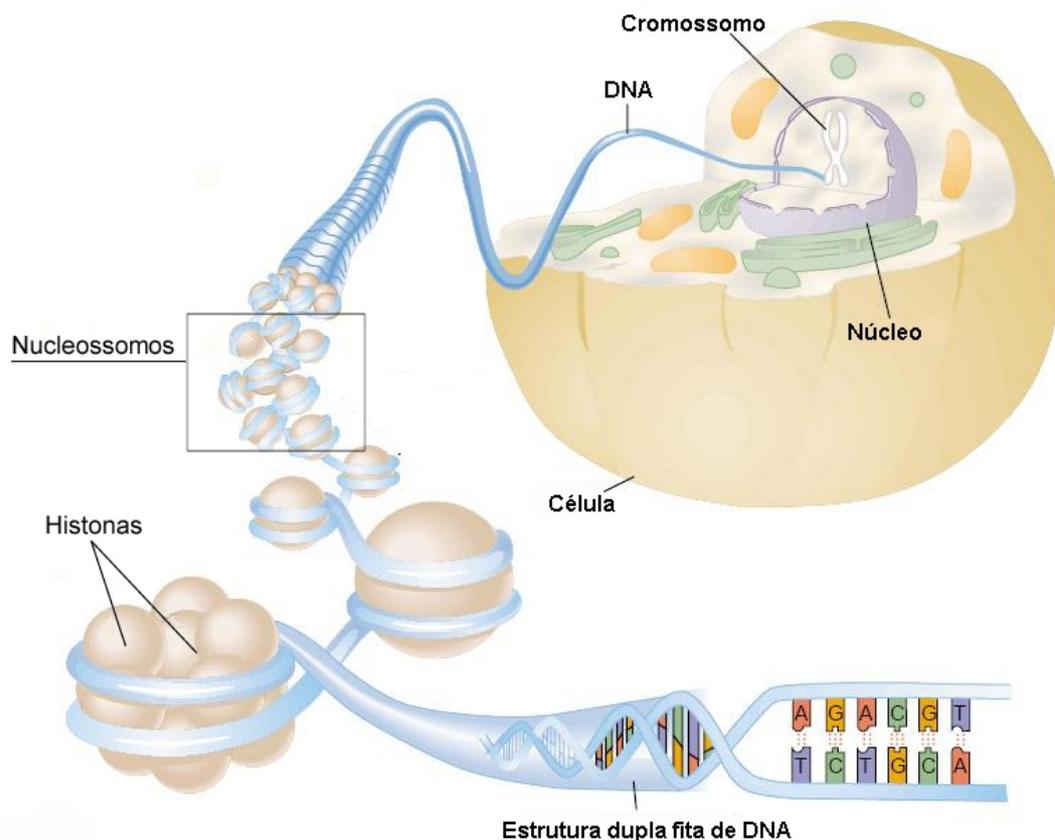


Figura 8 – Localização do ADN no núcleo das células dos Eucariontes⁶ [adaptado de ENGER *et al*, 2005].

O ADN humano também está presente nas mitocôndrias. Tanto o ADN nuclear como mitocondrial são de interesse para a ciência forense. O nuclear possui mais informações sobre o indivíduo, tendo preferência em relação ao mitocondrial. Este último também pode ser utilizado e merecerá um breve capítulo à parte mais adiante neste artigo.

Exame de ADN

Estava escuro. Mesmo assim, a vítima não teve dúvidas em identificar Larry Fuller, então com 32 anos, como o homem que a estuprou e agrediu naquela madrugada de 1981. Apesar de jurar a sua inocência, Fuller foi julgado e condenado a cinquenta anos de prisão apenas com base no testemunho da vítima. Depois de vinte e cinco anos na cadeia, em Outubro de 2005, sua inocência foi finalmente reconhecida por um Tribunal de Dallas (EUA), graças a um teste de ADN que provou, sem margem para dúvidas, que não fora ele o esturador.

A primeira vez que um exame de ADN serviu como prova foi no caso das duas jovens inglesas, Lynda Mann e Dawn Ashworth, que foram assaltadas, violentadas sexualmente e assassinadas na década de 1980. Como as características dos crimes eram as mesmas, a polícia suspeitou que teria sido o mesmo homem a cometer os crimes.

Com objetivo de solucionar o caso, mais de 3.600 homens na vila de Narborough, em Leicestershire, Inglaterra, foram convocados a fazerem exames de ADN e comparar os resultados com os da amostra sêmen coletada das vítimas. Um ano mais tarde um empregado de uma padaria pediu a um colega que doasse sangue em seu lugar. Sabendo disso, por intermédio de um informante que trabalhava no mesmo estabelecimento, a polícia procurou e prendeu o homem que não queria doar sangue. Este, posteriormente, confessou a autoria dos crimes e sua ligação com as evidências coletadas das vítimas foi confirmada pelos exames de ADN. A técnica, a partir de então se disseminou por todo o mundo, chegando ao Brasil rapidamente no final da década de 1980.

⁶ Eucarionte é todo o organismo composto por uma ou mais células que possuem núcleo distinto, envolvido por membrana nuclear. Nós, *Homo sapiens*, somos Eucariontes.

A adoção por Alec Jeffreys (JEFFREYS, 1985) da expressão *DNA fingerprint* (impressão digital de ADN) para denominar a tecnologia por ele desenvolvida foi criticada pelos especialistas em medicina legal e pelos criminologistas, que não viam nela o significado preciso daquilo a que se propunha, alegando também a confusão com a técnica já estabelecida de impressão digital (*fingerprint*). Segundo autores brasileiros (ARRUDA e PARREIRA, 2000), a expressão mais adequada para indicar o procedimento de análise do ADN é “exame de ADN”, a qual é utilizada neste artigo. Não obstante, conforme apontam estes autores, terminologias como PCR, RFLP e outras são mantidas na língua inglesa, pois não se relacionam com a questão da legislação.

Como o exame de ADN funciona? Não se tem como objetivo realizar uma análise aprofundada dos métodos, mas dar uma breve noção dos princípios fundamentais de algumas técnicas e suas características relacionadas à Ciência Forense.

A molécula de ADN, formada por milhões de nucleotídeos em cadeia, como foi visto anteriormente, sofre algumas vezes alterações, chamadas de mutações, que consistem na substituição de certos nucleotídeos por outros em determinadas regiões, as quais Alec Jeffreys, em seu artigo publicado na Nature, em 1985, chamou de “minissatélites”. As mutações são melhor toleradas pelo organismo quando ocorrem em locais sem informação útil, os quais constituem aproximadamente 90% do genoma humano. Muitas vezes, as substituições tornam-se estáveis, sendo transmitidas aos descendentes. Como é muito grande a variação no número e no tipo destas alterações no ADN - fenômeno conhecido como ‘polimorfismo genético’ -, é possível identificar uma pessoa com base no seu padrão de polimorfismo.

Método de extração

O ADN está presente nas células e especialmente no núcleo delas. Como fazer para retirar este ADN a fim de analisá-lo posteriormente? Os métodos de extração variam de acordo com o tipo de evidência coletada. Lembrando que, em princípio, qualquer tipo de tecido ou fluido biológico pode ser utilizado como fonte de ADN, uma vez que são formados ou possuem células. Isso torna possível realizar o exame de ADN em pequenas manchas de sangue ou sêmen, células da mucosa bucal (presas a cigarros, por exemplo), fios de cabelo (com bulbo), fragmentos de pele, etc.

Na **Tabela 1** temos a relação da quantidade de ADN que pode ser extraído em função do tipo de amostra.

Amostras (tecidos e fluidos corporais)	Quantidade recuperada
1 mL de sangue	20 a 40 µg
Manchas de sangue seco em 1 cm ²	200 ng
1 mL de Sêmen	150 a 300 µg
1 fio de cabelo (contendo bulbo capilar)	1 a 750 ng
1 mL de saliva	1 a 10 µg

Tabela 1 – Quantidade aproximada de ADN coletado de amostras. [adaptado de RUMJANEK e RINZLER, 2001].

De maneira geral, as técnicas de extração consistem em desnaturar as proteínas que envolvem o ADN. Para isto, utiliza-se uma gama de espécies químicas. Por exemplo, a mistura de clorofórmio, álcool isoamílico e fenol. Outra forma é utilizando uma solução de cloreto de sódio, que separa os sistemas em uma fase sólida e uma fase líquida, onde nesta última se encontra o ADN.

Método RFLP

A fim de reconhecer os ‘locos’ (sítios) onde ocorreram mutações foi desenvolvida a técnica conhecida pela sigla RFLP, do inglês *Restriction Fragment Length Polymorphism*, ou ‘Polimorfismo de Comprimento de Fragmento de Restrição’. Este método se baseia no ‘corte’ que as enzimas de restrição são capazes de fazer onde existem apenas certas seqüências específicas de nucleotídeos. Estas enzimas são uma espécie de ‘tesoura biológica’ que vão ‘cortar’ o ADN em locais específicos, chamados de posições de restrição, gerando fragmentos de ADN de tamanhos diferentes e seqüências específicas.

Para separar os fragmentos de ADN ‘cortados’ pelas enzimas de restrição, utiliza-se a técnica de eletroforese, que consiste na separação das espécies de uma solução coloidal pela influência de um campo elétrico. De forma geral, na **Figura 9** temos um es-

quema que engloba as principais fases de um teste de ADN.

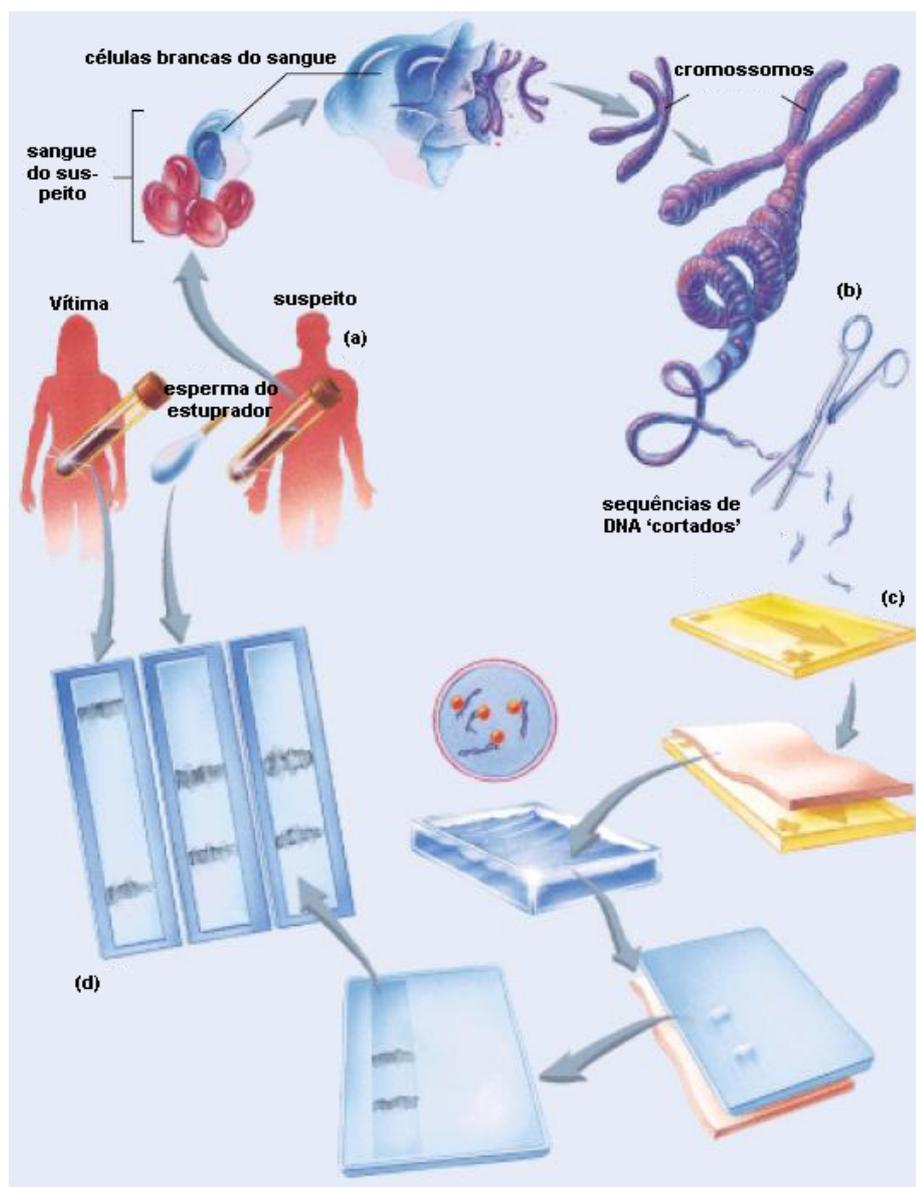


Figura 9 – Esquema geral para o teste de ADN para fins forenses. [adaptado de ENGER *et al*, 2005].

Devido ao fato das pessoas terem uma seqüência de nucleotídeos diferentes entre si, pode-se identificar uma pessoa pela evidência deixada no local do crime a partir da comparação dos resultados obtidos pelos exames de ADN. No esquema acima, temos um suspeito que supostamente teria estuprado a vítima.

Em (a) temos a coleta de sêmen na vítima e posterior exame. Também é feita a análise do ADN a partir de uma amostra de sangue do suspeito. Em (b) são representadas as enzimas de restrição que têm a capacidade de ‘cortar’ o ADN em lugares onde uma determinada seqüência de nucleotídeos ocorre. A tesoura simboliza as enzimas necessárias para a seleção de seqüências específicas. Em (c) ilustra-se os pedaços de ADN separados pela eletroforese. Em (d) é mostrado um padrão conhecido como DNA *fingerprint*. Observe que os padrões oriundos do sêmen coletado e do sangue do suspeito coincidem, indicando que o sêmen é do suspeito e que este está ligado ao crime.

A separação dos fragmentos de ADN ocorre através de eletroforese, conforme visto anteriormente. Analisaremos mais detalhes deste processo a partir da observação da **Figura 10**.

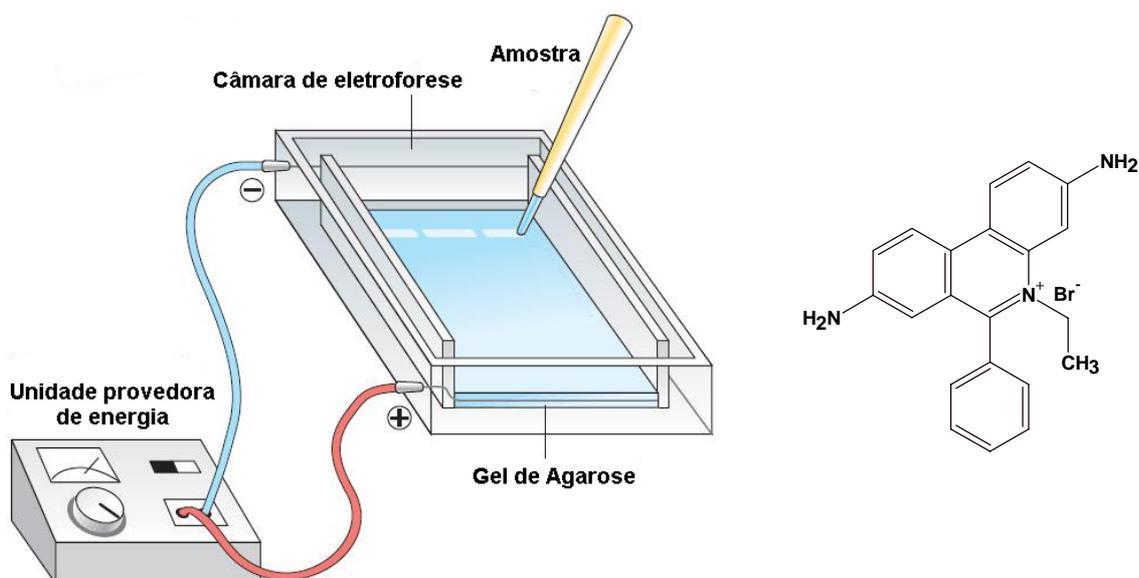


Figura 10 – Na esquerda temos a ilustração da técnica de separação por eletroforese. Já na direita temos a representação da molécula de brometo de etídio. [fonte: Koolman e Röhm, 1996].

A mobilidade de moléculas em um campo elétrico de determinada intensidade depende do tamanho e da forma destas, além de suas cargas elétricas. Um meio, formado por gel do polissacarídeo agarose⁷, conhecido como ágar-ágar, permite a passagem dos pedaços de ADN ‘cortados’.

Ao colocar a amostra no pólo negativo, esta migra para o pólo positivo. Os pedaços menores migram mais longe que os maiores, criando-se assim um padrão, o qual pode ser revelado utilizando-se substâncias intercaladoras, tais como o brometo de etídio (veja novamente a **Figura 10**). Este composto interage com o ADN e o torna visível devido à fluorescência do ADN quando exposto à luz UV. Alguns detalhes do método foram omitidos, bem como certas técnicas de análise dos resultados da eletroforese não serão tratadas aqui, pois são demasiadamente técnicas e fogem do escopo do artigo.

Quem não se lembra do caso de assédio sexual envolvendo a funcionária da Casa Branca, Mônica Lewinsky, em 1998, com o então presidente do EUA, Bill Clinton? É aquela velha história. Não se tinha provas que confirmassem ou acusassem o presidente, mas todos começaram a olhá-lo de maneira diferente, imaginando: será? O presidente realmente havia tido relações sexuais com Mônica ou seria uma tentativa de exposição da imagem dela na mídia?

O FBI coletou uma amostra de sêmen (Q3243) do vestido de Mônica e fez uma análise pelo método RFLP. Foi também coletada uma amostra de sangue (K39) do suspeito, no caso, do presidente Clinton. Após análises, foi reportado o seguinte: “baseado nos resultados de sete locais genéticos, o espécime K39 é fonte do ADN obtido do espécime Q3243, com um grau razoável de certeza científica”. A probabilidade de erro foi calculada e ficou na ordem de 1 em 7,8 trilhões. ‘Bem razoável’, eu diria. Diante da irrefutável evidência, o presidente Clinton quase sofreu um *impeachment*⁸.

Método PCR

Inventado por Kary Mullis⁹ em 1984, o método conhecido pela sigla PCR, do inglês ‘*Polymerase Chain Reaction*’ ou ‘reação em cadeia da polimerase’, consiste na utilização de uma enzima semelhante a ADN-polimerase, que no núcleo celular promove a

⁷ A agarose é muito semelhante ao pó utilizado para produzir a gelatina caseira.

⁸ No regime presidencialista, trata-se do ato pelo qual se destitui, mediante deliberação do legislativo, o ocupante de cargo governamental que pratica crime de responsabilidade.

⁹ A metodologia PCR foi considerada tão poderosa para o estudo do ADN que seu inventor foi agraciado com o Prêmio Nobel.

replicação¹⁰ do material genético, aumentando a quantidade de ADN para análise e, conseqüentemente, fazendo com que a quantidade de amostra necessária para o teste possa ser bem menor. Este método pode ser utilizado junto ao RFLP. Desta forma, o ADN primeiramente seria amplificado pela técnica PCR e depois se analisaria com a metodologia do RFLP, conforme vimos anteriormente.

Para realizar o PCR pode-se utilizar uma enzima isolada da bactéria *Thermus aquaticus*, encontrada em gêiseres e em fontes quentes, chamada de *Taq DNA Polimerase*. Esta é altamente adaptada a ambientes quentes e mantém-se com sua forma normal por longo tempo à temperatura de 95 °C, que é necessária para abrir os duplos filamentos de ADN.

Todo o exame de ADN, ao seu final, é acompanhado por um cálculo que determina a raridade da combinação entre perfis encontrado nas amostras. É este aspecto que vai determinar qual a probabilidade de o suspeito ser a única fonte de ADN da amostra. O cálculo baseia-se na comparação do padrão de poliformismo com bancos de dados de ADN de uma população. O perito necessita saber com que frequência esta combinação ocorre na no grupo em que se classifica o suspeito para estimar a confiabilidade do exame.

O FBI norte americano, por exemplo, utiliza um método parecido com e analogia do número de sapato, chamado *binning*. Imagine que se tenha um instrumento para medir o tamanho dos pés de uma dada população. Observa-se que as pessoas têm pés diferentes, mas que podem se ajustar a um padrão de numeração. Cria-se então um indicativo da frequência destes números numa dada população. Este revelaria, por exemplo, que 5 % da população calça tamanho 40, já 10 % calça 36, e assim por diante.

Aqueles casos divulgados na mídia onde há uma probabilidade de 99,999 % podem ter este valor gerado a partir de uma análise bayesiana. Esta leva em consideração a sensibilidade, especificidade e probabilidade do resultado. Como este método aplica-se mais a casos de paternidade, não prosseguiremos com o detalhamento do mesmo.

ADN mitocondrial

Como foi visto, o ADN está presente principalmente no núcleo das células. Contudo, um determinado tipo de ADN está nas mitocôndrias, organelas existentes no citoplasma celular. O interesse forense no ADN mitocondrial está no fato dele ser mais resistente à degradação que o nuclear. Assim, em grandes desastres (incêndios, explosões, queda de avião, etc), quando é mais difícil identificar os corpos, pode-se optar pela análise deste, que é constituído apenas herança genética materna.

Confiabilidade do Método

Qualquer falha entre a coleta de amostras e a divulgação dos resultados pode levar a conclusões equivocadas em exames de ADN. Em condições ideais, sua probabilidade de acerto aproxima-se de 100 %, claro, dentro das margens de erro que o conhecimento científico prevê. Em ciência, diz-se que não há certezas, mas sim apenas 'certezas provisórias'¹¹.

Também é importante salientar que desde a sua elaboração por Alec Jeffreys, descrita em um artigo publicado na Nature em 1985, até hoje, muito se discutiu sobre a confiabilidade do método, principalmente nos EUA. Uma série de artigos publicados nesta revista de impacto científico e em outras de mesma importância demonstrou, na década de 90, que os fatores que influenciam os resultados são a padronização da coleta, análise das amostras e a expressão da probabilidade de acerto em função da averiguação dos bancos de dados com estatísticas sobre o ADN de uma dada população.

¹⁰ Nome dado ao processo de duplicação da molécula de ácido desoxirribonucléico através da cópia de um molde já existente.

¹¹ A palavra *scire* significa, em latim, saber. Tradicionalmente, associava-se ao significado de saber verdadeiro, correto e inquestionável. O conceito de *scientia*, portanto, apenas podia ser atribuível a um determinado tipo de conhecimento: ao que possuía o saber correto. Esta foi a tônica da ciência até que, no início do século XX, as quebras de paradigma que a Física promoveu fizeram com que a ciência como um todo passasse por uma transformação, considerando não verdades absolutas, mas passageiras, provisórias e falseáveis.

A padronização da coleta de evidências pode ser ilustrada no caso clássico da literatura forense em que o do ex-jogador de futebol americano O. J. Simpson é acusado de assassinato. Este fato já foi citado em outro artigo, desta mesma série, sobre manchas de sangue, mas é interessante lembrarmos, pois a partir dele as autoridades americanas passaram a rever as regras de coleta e armazenagem de evidências.

Havia uma acusação contra ele de duplo homicídio, após a descoberta dos corpos de Nicole Simpson e Ron Goldman, sua ex-mulher e amigo, respectivamente. A polícia encontrou uma cena de crime com diversas provas latentes: peças de vestuário, pegadas e uma trilha de sangue que revelava o caminho percorrido pelo criminoso(a). Seguindo estas pistas, os policiais chegaram à casa de O. J. Simpson, obtendo, no local, mais evidências: manchas de sangue em seu carro, nas suas meias e no chão do jardim.

Exames de ADN comprovaram que esse sangue era das vítimas. Assim, a promotoria acreditava ter nas mãos um caso que não poderia ser contestado. Mas foi surpreendida pela estratégia dos advogados de defesa: o questionamento das provas. As câmeras de televisão flagraram um perito coletando amostras sem a utilização de luvas, enquanto outros não as trocavam entre cada coleta, sem falar no número de pessoas circulando na cena do crime, a qual não tinha sido isolada adequadamente. Além disto, as evidências não foram identificadas e registradas previamente, as amostras foram conservadas e empacotadas sem a devida separação e, o mais grave: a coleta foi feita por apenas uma pessoa, sem testemunhas. Finalmente, os advogados provaram que o laboratório criminal da polícia de Los Angeles não cumpriu padrões mínimos de manuseio, preservação e separação das evidências e O. J. Simpson foi inocentado.

É aquela velha história. Há bons e maus profissionais em todo lugar. Existem os sérios, comprometidos com a importância de suas ações e, principalmente, com os reflexos de possíveis equívocos cometidos. Porém, outros que não possuem ética e preocupação com os resultados de seus atos.

Considerando a idealidade na coleta e análise, um aspecto de erro que se sobressai é o estatístico. O fato de duas amostras possuírem o mesmo perfil para um grupo de marcadores genéticos em especial não significa, necessariamente, que elas tenham uma origem comum. A interpretação dos testes depende das frequências populacionais para cada marcador genético utilizado, conforme comentado anteriormente. Portanto, quando o resultado do exame de ADN de duas amostras é igual, torna-se necessário expressar numericamente a sua significância.

Realizar o exame de ADN com qualidade a fim de servir a um teste de paternidade ou, no caso da ciência forense, para acusar ou inocentar um determinado suspeito de um crime, não é uma tarefa fácil. Fica aqui a esperança que os órgãos competentes cumpram com sua missão de orientar e fiscalizar os laboratórios e que estes últimos invistam em pesquisa e tecnologia de ponta objetivando garantir que os inocentes sejam liberados e que os culpados sejam punidos.

Banco de dados de ADN

Hoje todo exame de ADN é comparativo. Os institutos de perícia trabalham comparando o ADN do suspeito com o das evidências. A tecnologia disponível na atualidade, no entanto, não permite traçar características genéricas, a partir do ADN coletado, que possibilitem uma seleção de pessoas para posterior investigação. Devido a isto, nos casos negativos, ou seja, quando o suspeito não é a fonte do ADN encontrado, não há possibilidade de descobrir potenciais agressores.

Um sonho para os estudiosos na área é chegar num nível em que o exame de ADN permita, por exemplo, a reprodução de uma imagem do rosto da pessoa que deixou a evidência no local do crime. Séries e filmes de investigação criminal, de ficção ou realidade, às vezes, aproximam-se desta aspiração, fazendo com que certos resultados possam ser obtidos. *“Encontrar apenas um fio de cabelo e dizer que pertenceu a uma menina loira de 9 anos, que foi agarrada pela perna esquerda, sacudida três vezes, e assim por diante, é bobagem.”* diz Valter Stefani, professor e pesquisador da UFRGS, em entrevista ao website da FAPESP. Mas, se o teste é apenas comparativo, então o que pode ser feito quando não há suspeitos? Neste caso, uma ferramenta útil é um banco de ADN criminal. Trata-se de um conjunto de tipos diferentes de ADN que permite comparar os seus

dados com os coletados na cena do crime.

Um banco de ADN pode esclarecer crimes sem suspeitos de forma rápida e objetiva, conforme ocorre em outros países que dispõem deste recurso. Porém, no Brasil, por lei, uma pessoa acusada de um crime não é obrigada a fornecer provas contra si mesma. O suspeito não precisa disponibilizar uma amostra de sangue, por exemplo, para que seu ADN seja analisado e comparado com o obtido na cena de crime. Stefani, na mesma entrevista, afirma: *“O problema é quando isso [banco de ADN] ocorrerá, pois no Brasil ainda estamos digitalizando impressões digitais. Depois, teremos que ter o sistema para ler esses bancos. E ainda há uma questão adicional: hoje, não podemos fazer bancos de DNA, pois a lei não permite. Tentamos fazer isso em Porto Alegre com a população prisional e não foi possível, pois, juridicamente, a pessoa estaria dando prova contra ela própria”*.

Vários países possuem bancos de dados de ADN criminal: EUA, Inglaterra, Canadá, Alemanha, França, Austrália e Nova Zelândia. Enquanto o Brasil não adere a este recurso, países com a Grã-Bretanha ampliam seus bancos, além de arquivar outros tipos de evidências, tais como marcas de sapato¹².

Recentemente, a justiça norte americana divulgou que começará a coletar amostras de ADN de suspeitos presos ou detidos pelas autoridades federais, inclusive dos imigrantes ilegais. As novas regras, que serão implantadas pelo Departamento de Justiça, visam tornar rotina a prática de coleta de ADN como identificação para qualquer pessoa detida. Até o momento, as autoridades coletavam estas amostras apenas de indivíduos condenados. Isto causou furor de alguns defensores da privacidade, além da possibilidade destes dados serem utilizados para outros fins¹³.

Em meio a possibilidade de um banco de ADN aqui no Brasil, devemos ponderar sobre a seguinte questão: quem pode garantir que esta ferramenta não será utilizada de uma maneira diferente do propósito da justiça? A recente divulgação do seqüenciamento do genoma humano trouxe um importante questionamento com relação às consequências disto. Os debates sobre este tema, em outros países, são um forte indicativo de que não há consenso.

Ao mesmo tempo em que o sequenciamento gera a esperança de cura de muitas doenças de origem genética e é uma forma de associar evidências deixadas na cena do crime a suspeitos em potencial, ele também provoca muitas especulações sobre a possibilidade do uso indesejável destes dados. Sabe-se que informações genéticas que indiquem a pré-disposição de um indivíduo a uma doença, como o câncer, seriam valiosas a companhias de seguros e planos de saúde, podendo causar discriminações. Na ficção, o filme Gattaca¹⁴ ilustra esta possibilidade.

Dentro dessa perspectiva, o filme de Andrew Niccol é uma interessante reflexão sobre os caminhos que o sequenciamento do genoma pode levar e os impactos que esta tecnologia - e a ciência de um modo geral - pode ter na sociedade. Em Gattaca, as pessoas estão divididas em duas “classes sociais”, os Válidos, os “filhos da Ciência”, produtos da engenharia genética e da eugenia social, e os Inválidos, os “filhos de Deus”, submetidos ao acaso da Natureza e às impurezas genéticas. Este filme retrata uma sociedade cuja técnica de manipulação do ADN tornou-se prática cotidiana de controle social. Será apenas ficção ou prenúncio de um futuro não muito distante?

¹² Veja a notícia completa no portal Terra: <http://tecnologia.terra.com.br/interna/0,,OI1377498-EI4801.00.html>

¹³ Governo americano criará banco de DNA como ferramenta das forças da lei - 05/02/2007 - UOL Últimas Notícias. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/ultnot/afp/2007/02/05/ult1806u5465.jhtm>

¹⁴ Este nome deve-se às letras primeiras letras dos nomes das bases nitrogenadas dos nucleotídeos que constituem o ADN, Adenina, Guanina, Timina e Citosina.

Bibliografia utilizada

- ALVES, G. Gattaca - A Experiência Genética. *Telecritica.org*. 2003. Disponível em: <http://www.telacritica.org/gattaca.htm> - acesso em 22/02/2007.
- ARRUDA, J. A., PARREIRA, K. S. *A prova judicial de ADN* - Belo Horizonte: Del Rey, 2000.
- ATKINS, P. JONES, L. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente* - Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BRUIST, M. F., SMITH, W. L., MELL, G. A Simple Demonstration of How Intermolecular Forces Make DNA Helical. *Journal Of Chemical Education*. Vol. 75, n° 1, January 1998.
- CADY, S. G. A 3D Model of Double-Helical DNA Showing Variable Chemical Details. *Journal Of Chemical Education*. Vol. 82, n° 1, January 2005.
- CHEMELLO, E. A Fenilcetonúria e o Teste do Pezinho. *ZOOM - Cia da Escola*, ano 6, n°1, março de 2005. <http://www.ciadaescola.com.br/zoom/materia.asp?materia=249> - acesso em 22/02/2007.
- ENGER, E., ROSS, F., BAILEY, D. *Concepts in Biology*. Eleventh edition: McGraw-Hill, 2005.
- FARAH, S. B. *ADN segredos e mistérios* - São Paulo: Sarvier, 1997.
- GARRETT, R. H., GRISHAM, C. M. *Biochemistry* - New York: Saunders College Publishers, 1995.
- GERAQUE, E. Ciência que desvenda crimes. Website *FAPESP*. 05/06/2006. http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?data%5Bid_materia_boletim%5D=5588 - acesso em 22/02/2007.
- "How ADN Evidence Works" - *Howstuffworks*. <http://science.howstuffworks.com/ADN-evidence.htm> - acesso em 22/02/2007.
- JEFFREYS, A. J.; *et al.* Hypervariable "minisatellite" regions in human DNA. *Nature*, v.314, p. 67-73. 1985.
- KÖCHE, J. C. Fundamentos de metodologia científica. 18ª Edição - Petrópolis: Vozes, 1997.
- KOOLMAN, J., RÖHM, K. H. *Color Atlas of Biochemistry* - New York: Editora Thieme Stuttgart, 1996.
- Lewinsky scandal - Wikipedia, the free encyclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/Lewinsky_scandal - acesso em 22/02/2006.
- LUFTIG, M. A., RICHEY, S. DNA and Forensic Science. *New England Law Review*. Vol. 35:3 2001.
- MARIUZZO, P. Institutos de perícia usam biologia molecular na investigação policial. *Cienc. Cult.* v.59 n.1 São Paulo jan./mar. 2007.
- MATTE, U., GOLDIM, J. R. Bancos de DNA. Considerações Éticas sobre o armazenamento de material genético. *Internet*: <http://www.ufrgs.br/bioetica/bancodn.htm> - acesso em 22/02/2007.
- OLIVEIRA, T. H. G., SANTOS, N. F., BELTRAMINI, L. M. O ADN: uma sinopse histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, n° 1, dezembro 2004.
- PARADELA, E. R. Genética Forense - Situação Atual. *Ponto Jurídico*. Disponível em: <http://www.pontojuridico.com/modules.php?name=News&file=article&sid=109> - acesso em 22/02/2007.
- ROBERTS, R. *Descobertas Acidentais em Ciências* - Campinas: Papirus, 1993.
- RUMJANEK, F. D., RINZLER, C. M. C. *Os exames de ADN nos tribunais*. *Ciência Hoje*, vol. 29, n°169, março 2001.
- SCHECK, B., NEUFELD, P. *Actual Innocense* 1st edition. DoubleDay, 2000.

SIEGEL, J., KNUPFER, G., SAUKKO, P. *Encyclopedia of Forensic Sciences*. Elsevier, 2000.

TOCHETTO, D. (coord). *Identificação Humana* – Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto, 1999.

ZATZ, M. Projeto Genoma Humano e Ética. *São Paulo Perspec.* v.14 n.3 São Paulo jul./set. 2000.

Para saber mais

DNA discovery focus from the nature journal: double helix. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/ADN50/index.html>

DNA Interactive – Cold Spring Harbor Laboratory. - <http://www.ADNi.org>

DAWKINS, R. "Arresting evidence". *Science*, 1998, p.20-25.

NOVA Online | Killer's Trail | Create a ADN Fingerprint
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/sheppard/analyze.html>

MILLARD, J., PILON, A. M. Identification of Forensic Samples via Mitochondrial ADN in the Undergraduate Biochemistry Laboratory. *Journal Of Chemical Education*. Vol. 80, nº 4, april 2003.

SMARRA, A., PARADELA E., FIGUEIREDO, A. A Genética Forense no Brasil. *Scientific American Brasil*. 51:87, 2006.

The Innocence Project - <http://www.innocenceproject.org>

Agradecimento

Agradeço ao químico Leandro Maranghetti Lourenço pelas referências bibliográficas e ao biólogo Roberto Takata pelas revisões técnicas e textuais.

Sobre o autor

Emiliano Chemello é licenciado em Química pela Universidade de Caxias do Sul e professor do Ensino Médio na região da Serra Gaúcha.

website: <http://www.quimica.net/emiliano>

e-mail: chemelloe@yahoo.com.br

MSN: chemelloe@hotmail.com

Profº Emiliano Chemello
www.quimica.net/emiliano