

Da molécula de DNA ao centro da Via Láctea: Uma discussão interdisciplinar

From the DNA molecule to the center of the Milky Way: an interdisciplinary discussion

P. H. F. Oliveira¹, J. P. M. Braga², V. A. Oliveira³, V. P. Oliveira⁴, M. L. Granjeiro⁵

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil

^{2,3,4,5}Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Campus dos Palmares, Acarape, Ceará, Brasil

Autor para Correspondência: ² philipe@unilab.edu.br.

Resumo

Nesse trabalho, desenvolvemos uma discussão interdisciplinar cuja temática central é a molécula do ácido desoxirribonucleico (DNA). Utilizando um modelo geométrico simples e conceitos de geometria diferencial, calculamos o comprimento da molécula de DNA. Em seguida, propomos como um exercício didático de interdisciplinaridade a criação de duas novas grandezas para se medir distâncias: o *Human DNA* (HDNA) que equivale aproximadamente ao comprimento total de todo o DNA de um humano adulto padrão, e o *Earth DNA* (EDNA) que equivale aproximadamente ao comprimento de todo DNA humano da terra. Essas duas novas grandezas são comparadas às grandezas já estabelecidas na literatura e aplicadas na medição de distâncias cosmológicas importantes. Esse artigo pode ser utilizado como material complementar em disciplinas de Introdução à Física, Física Geral ou Astronomia, no momento em que se discute as unidades de distância e ordem de grandeza. Além de poder ser empregado nas disciplinas de cálculo ou geometria diferencial como uma aplicação da fórmula do comprimento de arco, ou na disciplina de Biologia Celular e Molecular para ilustrar o altíssimo grau de compactação do DNA dentro dos cromossomos, proporcionando, portanto, um ensino mais contextualizado dessas disciplinas o que fortalece os processos de interdisciplinaridade e de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade. DNA. Via Láctea. Unidades de comprimento.

Abstract

In this work, we developed an interdisciplinary discussion whose central theme is the molecule of the deoxyribonucleic acid (DNA). Using a simple geometric model and differential geometry concepts, we calculate the length of DNA molecule. Next, we propose as a didactic exercise of interdisciplinarity the creation of two new quantities to measure distances: the *Human DNA* (HDNA) that is approximately the total length of all the DNA of a standard human, and the *Earth DNA* (EDNA) that roughly equivalent to the length of all human DNA in the earth. These two new quantities are compared to the quantities already established in the literature and applied in the measurement of important cosmological distances. This article can be used as complementary material in Introduction to Physics, General Physics or Astronomy disciplines, when discussing the units of distance and order of magnitude. Besides being able to be used in the disciplines of calculus or differential geometry as an application of the formula of arc length, or in the discipline of Cellular and

Molecular Biology to illustrate the very high degree of DNA compaction within the chromosomes, thus providing a more contextualized teaching of these disciplines which strengthens the processes of interdisciplinarity and teaching-learning.

Keywords: Interdisciplinarity. DNA. Milky Way. Length Units.

1 Introdução

O Ácido Desoxirribonucleico (DNA) é uma molécula com um maravilhoso mecanismo para o armazenamento da informação genética. Durante toda a história evolutiva da vida, esta molécula se firmou como a responsável em propagar as características dos organismos vivos, ao longo das milhares de gerações e com o máximo de preservação. O metabolismo do DNA possui uma engenharia complexa em sua maquinaria enzimática, a ponto de um único erro poder não apenas alterar a função de um gene, mas eliminar permanentemente sua função. Apesar da desafiante e engenhosa missão, o DNA parece ter uma estrutura geométrica relativamente simples. Milhares de unidades monoméricas, os nucleotídeos, se unem em pares em duas longas fitas que se configuram em forma de hélice. O DNA está contido no núcleo de cada célula e gerencia todo o funcionamento celular. Ele possui um elevado grau de organização, sendo empacotado dentro de cromossomos. Segundo Nelson e Cox [1], uma única hélice do DNA humano se esticada, teria um comprimento de cerca de 1 metro.

Tendo como base a molécula do DNA e sua estrutura peculiar é que se desenvolveu este trabalho interdisciplinar. Buscando promover novas estratégias de ensino através da integração entre saberes biológicos, físicos e matemáticos, utilizamos um modelo geométrico (hélice circular) para descrever matematicamente a molécula de DNA, tornando possível o cálculo do seu comprimento. A partir desse resultado, propomos como um exercício didático de interdisciplinaridade a criação de duas novas grandezas físicas que se mostraram úteis para medidas de distâncias cosmológicas. Essa discussão interdisciplinar em torno da molécula de DNA possui um aspecto didático relevante, uma vez que pode ser empregada em diversas disciplinas, tais como: i) Física Geral (discutindo as unidades de comprimento existente e suas ordens de grandeza); ii) Astronomia (identificando a necessidade de se buscar novas unidades para se medir grandes distâncias de modo a simplificar os procedimentos teóricos); iii) Geometria Diferencial (compreendendo alguns conceitos fundamentais, como a parametrização de uma curva e técnicas para calcular seu comprimento); iv) Biologia Celular e Molecular (ilustrando o altíssimo grau de compactação do DNA dentro dos cromossomos e despertando a compreensão de que a Biologia possui conexões com a Física e a Matemática).

1.1 O que é Interdisciplinaridade?

O conceito de interdisciplinaridade vem se destacando há décadas na literatura educacional [2], e no Brasil, este conceito tem estado presente em documentos educacionais desde a década de 70, se articulando também aos textos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) [3, 4] do Ensino Fundamental e Médio, documentos centrais da política curricular brasileira atual para a Educação Básica. Entretanto, muito pouco se tem avançado em discussões, propostas ou atividades interdisciplinares nas escolas e ambientes acadêmicos. Talvez porque ainda seja um termo confuso e não saibamos ainda o que é ou como fazer/construir a interdisciplinaridade.

Segundo Fazenda [5], de acordo com a definição clássica produzida em 1970 pelo Centro para Pesquisa e Inovação do Ensino (CERI) órgão da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Acadêmico (OCDE) (Documento CERI/HE/SP/7009) a interdisciplinaridade é definida como a interação existente entre duas ou mais disciplinas. Tal definição pode nos encaminhar da simples comunicação das ideias até a integração mútua dos conceitos-chaves da epistemologia, da terminologia, do procedimento, dos dados e da organização da pesquisa e do ensino, relacionando-os. Se definirmos interdisciplinaridade como a junção de disciplinas, cabe pensar currículo apenas na formatação de sua grade. Porém, se definirmos interdisciplinaridade como

atitude de ousadia e busca frente ao conhecimento, cabe pensar aspectos que envolvem a cultura do lugar onde se formam professores [5].

Nesta perspectiva, o conceito da interdisciplinaridade vem romper os paradigmas da abordagem disciplinar tradicionalmente fragmentada. Essa, frequentemente, é apontada como incapaz de atender às demandas por um ensino contextualizado. A origem dessa fragmentação do conhecimento é citada frequentemente na literatura como sendo cartesiana [6]. Em 1637, com o intuito de obter um método universal para encontrar a verdade, Descartes propôs no livro *Discurso do Método* [7] que para se resolver uma questão complexa deve-se decompô-la em partes menores a fim de simplificar o problema. A união da resolução das partes daria a resolução do todo. Sendo esta influência cartesiana ou não, é fato que a especialização das Ciências marcou o século XIX, com a industrialização e a consequente divisão do trabalho, e acentuou-se no século XX. Essa divisão refletiu-se no ensino escolar disciplinar, que se consolidou primeiramente no século XIX nas universidades modernas e com os avanços das pesquisas científicas, difundiu-se no século XX [6].

Então, se a visão fragmentada se instalou por séculos na humanidade, a quebra da prática pedagógica fragmentada não ocorre de uma hora para outra, mas é preciso conhecer o sentido da interdisciplinaridade, e mais que isso, é preciso que docentes não se isolem em suas salas de aula, mas se relacionem com outros docentes a fim de fortalecer as relações interpessoais que essa postura exige. Assim, para que ocorra a interdisciplinaridade não se deve eliminar as disciplinas, mas torná-las comunicativas entre si, concebê-las como processos históricos e culturais [8].

Como diz Olga Pombo [9]:

“Só há interdisciplinaridade se somos capazes de partilhar o nosso pequeno domínio do saber, se temos a coragem necessária para abandonar o conforto da nossa linguagem técnica e para nos aventurarmos num domínio que é de todos e de que ninguém é proprietário exclusivo. Não se trata de defender que, com a interdisciplinaridade, se alcançaria uma forma de anular o poder que todo saber implica (o que equivaleria a cair na utopia beata do sábio sem poder), mas de acreditar na possibilidade de partilhar o poder que se tem, ou melhor, de desejar partilhá-lo. Como? Desocultando o saber que lhe corresponde, explicitando-o, tornando-o discursivo, discutindo-o.”

1.2 A Interdisciplinaridade nas Ciências da Natureza e Matemática

Analisando os PCNs [3, 4], tanto do ensino fundamental como do médio, percebe-se que as disciplinas da área de Ciências da Natureza (Biologia, Física e Química) e a Matemática, devido aos avanços em Ciências e Tecnologia, aliadas às questões políticas e socioambientais, necessitam de um processo de construção e permanente atualização do homem, fazendo parte da evolução científica e tecnológica. Assim, essas áreas distintas não podem ser encaradas como um saber meramente transmitido, mas permanentemente construído e vinculado aos avanços e questões ligadas à sociedade, cultura e ambiente. Além disso, tais disciplinas tem uma relação de muita aproximação quando se trata da compreensão holística dos eventos naturais. É o que busca os PCNs do Ensino de Ciências, uma superação da abordagem fragmentada das Ciências Naturais, sugerindo diferentes propostas que trabalham com temas que dão contexto aos conteúdos e permitam uma abordagem das disciplinas científicas de modo relacionado, buscando-se a interdisciplinaridade possível dentro da área de Ciências Naturais.

Entretanto, ainda que a interdisciplinaridade esteja nos principais documentos oficiais tais como os PCNs, CERI e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [10], esta abordagem ainda é pouco vivida na prática docente, tendo alguns obstáculos a serem superados para que efetivamente se consolide nos currículos escolares. A superação desses obstáculos passa por uma reavaliação dos projetos pedagógicos e por uma abertura de espaços e diálogos sobre estratégias de ensino interdisciplinar, por exemplo. Assim, o desenvolvimento de atividades interdisciplinares, com atuações conjuntas dos docentes, pode criar oportunidades de novas formas de comunicação e construção de conceitos teóricos e práticos, não apenas de forma contextualizada, mas integrando diversos saberes.

Portanto, a interdisciplinaridade tem como uma de suas origens a organização e o diálogo entre docentes de áreas distintas, que promovam inovações curriculares e uma unidade entre as

linguagens e códigos específicos de cada área. Existe uma diversidade de linguagens no Ensino de Ciências da Natureza e Matemática. Por exemplo, a Matemática descreve os fenômenos da Natureza através de seus símbolos, números, figuras, gráficos, unidades e grandezas. A Física usa a Matemática para desenvolver modelos que descrevem nosso Universo, das partículas elementares ao Cosmos. A Química usa as ferramentas da Física para estudar a formação e propriedades de substâncias compostas. A Biologia utiliza, por sua vez, conceitos biológicos, físicos, químicos e matemáticos para explicar o desenvolvimento, funcionamento e manutenção dos organismos vivos. Considera-se que estas linguagens específicas, quando trabalhadas de forma integrada através da interdisciplinaridade, podem contribuir com novas percepções dos conteúdos teóricos e práticos de sala de aula e com a construção de conceitos mais fundamentados e consolidados. Foi nesse sentido que o presente trabalho foi idealizado e executado propondo um diálogo entre diversas disciplinas, tais como Biologia Celular e Molecular, Geometria Diferencial, Física Geral e Astronomia.

Com estes objetivos o presente trabalho se seguirá com a seguinte divisão: i) discussão sobre o modelo geométrico aproximado para a molécula de DNA, permitindo o cálculo de seu comprimento; ii) revisão sobre a necessidade de se estabelecer unidades de distância e quais as distâncias cosmológicas importantes; iii) estabelecimento de duas novas unidades e discussão de suas relevâncias com exemplos comparativos.

2 Cálculo do Comprimento da Molécula de DNA

Uma das formas mais convenientes de se estudar o comportamento de uma curva é parametrizar a mesma em termos de um parâmetro que denotaremos por α , que pode ser, por exemplo, o tempo ou um ângulo.

Uma curva parametrizada diferenciável em $\mathbb{R}^3$ é uma aplicação diferenciável φ , de classe C^∞ , de um intervalo aberto $I \subset \mathbb{R}$ em $\mathbb{R}^3$, donde α é o parâmetro da curva, e o subconjunto de $\mathbb{R}^3$ formado pelos pontos $\varphi(\alpha), \alpha \in I$, é o traço da curva. Logo φ é uma aplicação do tipo $\varphi(\alpha) = \langle x(\alpha), y(\alpha), z(\alpha) \rangle$, tal que $x(\alpha)$, $y(\alpha)$ e $z(\alpha)$ são funções infinitamente diferenciáveis. A partir dessa definição, é possível estabelecer um vetor tangente a curva definido como $\varphi'(\alpha) = \langle x'(\alpha), y'(\alpha), z'(\alpha) \rangle$, onde a linha significa derivação em relação ao parâmetro α . No caso em que $\varphi'(\alpha) \neq 0 \forall \alpha \in I$ a curva é dita regular.

Além disso é possível definir uma expressão para o comprimento de uma curva parametrizada, de modo que se $\varphi : I \rightarrow \mathbb{R}^3$ for uma curva regular e fixemos $\alpha_0, \alpha_1 \in I$, assim a curva restrita entre $\varphi(\alpha_0)$ e $\varphi(\alpha_1)$ possui um comprimento dado por

$$s = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} |\varphi'(\alpha)| d\alpha, \quad (1)$$

No nosso modelo matemático para a molécula de DNA, iremos considerá-la como sendo constituída de duas hélices circulares (cuja curvatura e torção são grandezas constantes) de nucleotídeos. Uma hélice circular de curvatura e torção constantes pode ser descrita matematicamente por $\varphi(\alpha) = \langle a \cos \alpha, a \sin \alpha, b\alpha/2\pi \rangle$, onde a é o raio e b o passo da hélice. A projeção dessa hélice no plano xy nos fornece uma circunferência de raio a . Além disso, a cada volta completa (quando α sofre uma variação de 2π) a coordenada z sofre uma variação de b [11], como ilustra a Figura 1.

Sabe-se hoje que as dimensões dessa hélice que representa a molécula de DNA são $a = 10\text{\AA}$ e $b = 34\text{\AA}$, onde $1\text{\AA} = 10^{-10}m$ [11]. Portanto, a aplicação que descreve matematicamente a molécula de DNA é

$$\varphi(\alpha) = \left\langle 10 \cos \alpha, 10 \sin \alpha, \frac{34}{2\pi} \alpha \right\rangle. \quad (2)$$

Além disso, nas duas hélices juntas existem cerca de $2,9 \cdot 10^8$ voltas completas [11]. Consequentemente, o seu comprimento pode ser calculado através da equação (1) considerando $\alpha_i = 0$ e

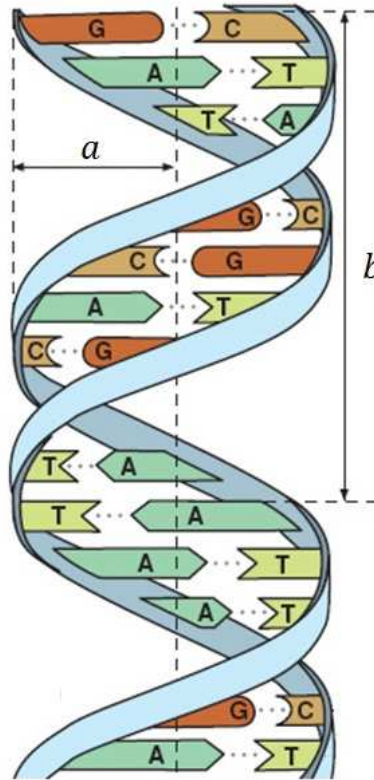


Figura 1: Dupla hélice que constitui a molécula de DNA, onde a é o raio e b o passo da hélice. Fonte: Adaptado de [12].

$$\alpha_f = 2\pi \cdot 2,9 \cdot 10^8,$$

$$s = \int_0^{2\pi \cdot 2,9 \cdot 10^8} \sqrt{100 + \left(\frac{34}{2\pi}\right)^2} d\alpha. \quad (3)$$

Essa integral pode ser facilmente resolvida dando como resultado

$$s = 2,0718 \cdot 10^{10} \text{Å} \approx 2m, \quad (4)$$

desse modo, incrivelmente o comprimento de uma molécula de DNA mede aproximadamente dois metros.

3 Aplicação em Astronomia

3.1 A Astronomia e a necessidade de se calcular distâncias

A Astronomia que nasceu da necessidade do homem de compreender os fenômenos que aconteciam na esfera celeste é por natureza a mais interdisciplinar de todas as Ciências [13]. Na realidade, a Astronomia é considerada hoje uma Ciência múltipla em termos de disciplinas que podem estar diretamente ou indiretamente relacionadas a ela. Isso porque estudá-la significa absorver conceitos de Física, Matemática, História, Geografia, Química, Biologia, Sociologia, dentre outras [14]. Contudo, isso nem sempre foi verdade. Durante muito tempo conceitos e descobertas da Astronomia estavam misturados com temas da Astrologia, que mesmo não sendo

considerada uma Ciência, contribuiu significativamente para o desenvolvimento da Astronomia [13]. Somente com os trabalhos do alemão Johannes Kepler, o primeiro a utilizar termos matemáticos para descrever relações universais, é que a Astronomia se desprende definitivamente da Astrologia e das doutrinas religiosas e passou a caminhar junto com as Ciências Exatas, em especial com a Física e a Matemática. A partir das conclusões das leis planetárias de Kepler, a Astronomia passou a ser disciplina obrigatória nos cursos de Ciências da Natureza em universidades conceituadas.

Talvez por conta da forte interdisciplinaridade que a Astronomia possui dificilmente discussões envolvendo seus temas são vivenciadas nas escolas, muitas vezes porque o professor não está preparado para abordar esses assuntos, pois não teve contato com a Astronomia em sua formação acadêmica [15]. O uso de Astronomia pode, por exemplo, tornar os conteúdos de Física mais atraentes para os estudantes, constituindo assim a Astronomia um elemento motivador para tal [16].

Apesar das tentativas de mudança no ensino, como a busca nas escolas de se criar um ambiente favorável à discussão através da estratégia da contextualização dos conteúdos e até mesmo da utilização de recursos tecnológicos de forma a aproximar os estudantes da realidade que os cercam, vemos que a motivação deles, por exemplo, para o aprendizado de Física ainda está bem abaixo do que se deseja. Entretanto, reconhece-se que uma aprendizagem significativa é uma das formas mais eficazes de se chegar a um ensino motivador da Física, como constatado por Lima [17] ao utilizar Astronomia e planetários para transmitir alguns conceitos de Física.

A Astronomia é rica em temas intrigantes que podem ser utilizados para dinamizar o ensino de várias disciplinas e um dos conteúdos de Astronomia mais interessantes que o professor pode trabalhar com os alunos é o que trata das unidades para expressar as distâncias a que estão situados os astros no Cosmos, tendo em vista que estamos continuamente fazendo medidas, mesmo sem nos dar conta disso.

Expressar medidas, de qualquer natureza, sempre foi uma necessidade do ser humano. E foi exatamente utilizando a Astronomia, ou melhor, fazendo uso dos componentes principais da esfera celeste, que as primeiras unidades de medida foram sendo criadas, mais especificamente para se medir a passagem do tempo [13]. Isso só foi possível quando o homem conseguiu contemplar o firmamento e enxergar nele uma certa regularidade em um céu que à primeira vista parece ser caótico.

Antigamente o homem realizava medidas apenas para fins pessoais ou de trocas comerciais entre países ou reinos e por isso havia a necessidade de medir apenas pequenos comprimentos, que geralmente eram definidos em função de partes do rei da época, como por exemplo, o pé, a jarda ou a polegada [18]. A principal dificuldade desse método residia no fato de que todas as medidas tinham que ser refeitas cada vez que o rei tinha que ser substituído.

Após um longo processo de evolução da maneira de se fazer medidas, chegou-se ao Sistema Internacional de Unidades, SI, que estabeleceu sete grandezas físicas fundamentais [18]: o comprimento (medido em metro, m), a massa (medida em quilograma, kg), o tempo (medido em segundo, s), a temperatura (medida em kelvin, K), a quantidade de matéria (expressa em mol, mol), a intensidade luminosa (expressa em candela, cd) e a intensidade da corrente elétrica (medida em ampère, A), sendo que todas as outras unidades de medidas podem ser relacionadas com uma ou mais destas sete.

A unidade SI para expressar comprimentos ou distâncias, o metro, possui alguns múltiplos e submúltiplos, de modo que dependendo da natureza do problema é preciso saber qual unidade de medida é mais conveniente utilizar. Por exemplo, para expressar o tamanho de uma de suas unhas é bem provável que você utilize o centímetro ($10^{-2}m$), já para expressar o comprimento de um ônibus você certamente usaria o metro e para expressar a distância entre duas cidades próximas você usaria o quilômetro (10^3m).

Com o desenvolvimento da Astronomia, em especial com a contribuição dos gregos, foi verificado que o tamanho dos astros, mesmo os mais próximos, Sol e Lua, eram muito grandes quando comparados a tamanhos medidos aqui na Terra e quando se avançou ainda mais na tentativa de estimar distâncias entre os astros viu-se que as unidades convencionais utilizadas não possuem muita utilidade, pois estes estão localizados a distâncias gigantescas. Por esse motivo é que algumas unidades conhecidas por nós não são eficientes no estudo da Astronomia, porque são

relativamente pequenas, em especial a usada internacionalmente para expressar comprimentos e distâncias, o metro.

Para contornar esse aspecto os astrônomos tiveram que desenvolver suas próprias unidades de medidas e atualmente as três mais usadas são a Unidade Astronômica (UA ou AU), o ano-luz (AL), e o parsec (pc) [19]. Cada uma dessas unidades de medida é utilizada em Astronomia para uma finalidade específica.

Um dos primeiros registros da estimativa da distância da Terra ao Sol foi feita pelo grego Hiparco de Nicéia, que utilizando os eclipses totais da Lua obteve um resultado bem distante do atual por usar medidas bem imprecisas [20]. O polonês Nicolau Copérnico não chegou a estimar essa distância, mas apenas expressou as distâncias entre os planetas conhecidos na época e o Sol em função da distância Terra-Sol, que nomeou como sendo a unidade, 1 (hum) [21]. Até o início do século XVII, um dos problemas mais excitantes que existia era conseguir realizar a medida da distância da Terra ao Sol de maneira correta e Edmund Halley propôs um excelente método baseado no trânsito de Vênus que só foi possível usá-lo em 1761 e 1769, data dos dois trânsitos venusianos. Com o método proposto por Halley estimou-se a distância Terra-Sol como sendo cerca de 150 milhões de quilômetros [19], um valor bem próximo do aceito como correto atualmente.

3.2 As unidades cosmológicas já empregadas

A primeira unidade de distância astronômica a ser definida foi a Unidade Astronômica (UA), que segundo a União Astronômica Internacional (IAU, em inglês), equivale a distância média entre a Terra e o Sol, fixada hoje com o valor $149\,597\,870\,700\,m \pm 3\,m$.

A Unidade Astronômica é útil para expressar distâncias dentro do nosso Sistema Solar, como por exemplo, a que distância um planeta ou um cometa encontra-se do Sol ou a distância entre dois planetas, pois ao invés de se trabalhar com dezenas ou centenas de bilhões de quilômetros, os astrônomos trabalham com algumas dezenas de UA , o que torna os procedimentos mais simples [19]. Com a confirmação de outros planetas orbitando outras estrelas (os exoplanetas) viu-se a necessidade de expandir os limites da UA , por isso, a Unidade Astronômica é também usada para expressar distâncias entre outras estrelas e seus planetas, além de também ser útil para expressar distâncias entre as estrelas componentes de sistemas binários.

Quando estamos interessados em expressar distâncias que estão além do nosso Sistema Solar, como por exemplo, a que distância se encontram as estrelas mais próximas de nós, a Unidade Astronômica já não possui muita utilidade, pois para expressar distâncias entre nós e as estrelas são necessárias milhares e milhares de UA .

Costuma-se então usar outra unidade para medidas astronômicas, talvez a mais conhecida dentre todas, o ano-luz, AL (embora essa não seja a unidade preferida pelos astrônomos), definida como a distância em linha reta que um raio de luz percorre no vácuo durante um ano terrestre não bissexto [19]. É comum os estudantes fazerem confusão ao acharem que o ano-luz é uma unidade de tempo por conta da denominação ‘ano’ em seu nome, mas salienta-se que essa é uma unidade para expressar distâncias e que vale, aproximadamente, $9,468 \cdot 10^{15}\,m$.

A evidente vantagem de se trabalhar com o ano-luz é a simplificação de grandes distâncias, por exemplo, no sistema estelar triplo Alfa-Centauro encontra-se a estrela mais próxima do Sol, chamada Próxima Centauri. Se a distância até essa estrela fosse expressa em metros teríamos que escrever $4,068 \cdot 10^{16}\,m$ (cerca de 40 trilhões e 680 bilhões de quilômetros) e usando o ano-luz, essa mesma distância é escrita simplesmente como 4,24 AL [19].

Pelo fato da velocidade da luz ser a maior velocidade com que uma informação pode ser transmitida no Universo [22], o ano-luz guarda um conceito físico bastante importante e que pode estimular a imaginação dos estudantes ao ser abordado: sempre que olhamos para o céu estamos vendo uma imagem do passado e não do presente. Dessa forma quando olhamos, por exemplo, para a estrela Próxima Centauri, estamos vendo não a sua imagem atual, mas a luz que a estrela emitiu 4,3 anos atrás e que percorreu 4,3 AL até chegar até nós. Nesse sentido, se por algum motivo o Sol se apagar nesse exato momento, só saberemos disso 8,5 minutos depois, ou seja, ainda receberíamos luz e calor da nossa estrela por 8,5 minutos até entrarmos na eterna escuridão. Seguindo esse raciocínio, Reeves [23] afirma que a luz que recebemos hoje

da majestosa galáxia de Andrômeda (Figura 2), situada a assombrosos 2 milhões de anos-luz, saiu dessa galáxia antes dos primeiros hominídeos apareceram no planeta. Então como é a galáxia de Andrômeda nesse exato momento? Nada podemos afirmar. Temos que esperar por dois milhões de anos até que a informação chegue até nós. Nesse sentido, a luz é realmente uma tartaruga cósmica.



Figura 2: A galáxia espiral de Andrômeda, M31 ou NGC 224, brilha no fundo de estrelas da região de mesmo nome. Fonte: [19].

Antes de se definir a unidade mais utilizada pelos astrônomos, o parsec, é necessário entender o conceito de paralaxe, uma vez que a própria origem da palavra parsec é feita com as junções das palavras paralaxe e segundo: PARalaxe SECundo [19]. Para isso, faça a seguinte experiência: estenda um de seus braços e levante o dedo polegar. Feche um de seus olhos e coloque o dedo polegar na frente um objeto pequeno de modo que você não consiga ver o objeto. Sem mover o dedo, abra o outro olho e veja que você consegue ver o objeto. Esse efeito é chamado de efeito de paralaxe e é usado pelos astrônomos para medir a distância até as estrelas.

As experiências mostram que se tirarmos duas fotografias (espaçadas de 6 meses uma da outra) de uma mesma região do céu em torno de uma estrela, essas fotografias mostrarão que a posição do astro varia um pouco com relação às estrelas ao fundo. Quanto mais próxima a estrela estiver do Sol, maior será o desvio aparente na posição dela entre as duas datas e quanto mais distante estiver o objeto, menor será sua paralaxe.

O parsec é a distância de um objeto que possui paralaxe heliocêntrica igual a um segundo de arco, $1''$, o que representa aproximadamente $3,095 \cdot 10^{16} \text{ m}$ [24]. Desse maneira, como a estrela mais próxima do Sol, Próxima Centauri, encontra-se a mais de 40 trilhões de quilômetros, concluímos que não existe nenhuma estrela situada a 1 pc do Sistema Solar. Esta unidade é usada para medir distâncias muito grandes, como a distância até as estrelas, galáxias ou de objetos muito distantes, como os quasares.

A distância de um objeto, expressa em parsec, é escrita como o inverso da paralaxe do astro expressa em segundos de arco [24]:

$$d(\text{pc}) = \frac{1}{p('')}. \quad (5)$$

E se os astrônomos mais uma vez precisarem de uma outra unidade? Afinal hoje temos conhecimento de galáxias que brilham a bilhões de parsec de nós. E se fosse pensada uma outra unidade que pudesse transformar essas gigantescas distâncias em números mais fáceis de serem trabalhados? Nesse trabalho, como um exercício didático de interdisciplinaridade, construiremos duas novas unidades com potencial para se tornarem unidades astronômicas funcionais, o HDNA (*Human DNA*) e o EDNA (*Earth DNA*), onde a primeira se baseia em uma unidade constituída pelo comprimento gerado por todas as moléculas de DNA de um humano adulto, enquanto que a segunda se baseia em uma estimativa do comprimento de todas as moléculas de DNA de todos os humanos da Terra somados.

3.3 Duas novas unidades para medir distâncias no Cosmos

Como já discutido, nosso objetivo aqui é propor duas novas unidades para medir distâncias no Cosmos, o HDNA e o EDNA, estabelecendo um comparativo para compreender sua eficiência em relação às unidades já utilizadas. Até aqui concluímos que uma única molécula diploide de DNA humano possui um comprimento total de aproximadamente dois metros, evidenciando o seu alto grau de compactação, apesar de uma unidade que meça dois metros não ser relevante do ponto de vista cósmico, escalas de medição baseadas em grandes múltiplos desse comprimento podem ter potencial de aplicabilidade no meio astronômico.

Definiremos, portanto, o *Human DNA* (HDNA), como sendo o comprimento gerado ao enfileirar todas as moléculas de DNA de um corpo humano adulto com 70 kg de massa. Estima-se que no corpo humano adulto existam cerca de 30 trilhões de células, isto é $3 \cdot 10^{13}$ células [25], cada uma com 46 cromossomos e, portanto 46 duplas hélices de DNA, deste modo, em um corpo humano adulto existem aproximadamente $1,38 \cdot 10^{15}$ moléculas de DNA. Consequentemente, uma unidade HDNA equivale a aproximadamente $2,76 \cdot 10^{15} m$, o que é um número extremamente grande se comparado ao próprio corpo humano que o contém. É incrível pensar que em quatro pessoas reside algo maior do que um ano-luz.

O *Earth DNA* (EDNA), por outro lado, será definido como sendo uma estimativa do comprimento gerado ao enfileirar todas as moléculas de DNA de todos os humanos do planeta. Atualmente estima-se que existam 7,8 bilhões de indivíduos. Por uma questão de simplicidade, consideraremos todos como sendo adultos ‘padrões’, com 70kg. Realizando esta aproximação, então uma unidade EDNA equivale a aproximadamente $2,15 \cdot 10^{25} m$, ou se exprimirmos em anos-luz então teríamos que a unidade do EDNA mediria $2,27 \cdot 10^9 AL$, que é um valor incrivelmente grande. Até onde se poderia medir com esta unidade no Universo? Para nos auxiliar na resposta a essa pergunta, trazemos na tabela I um comparativo entre as duas unidades aqui propostas com as unidades usualmente utilizadas no meio astronômico.

Tabela 1: Comparação das unidades propostas com as usualmente utilizadas.

	UA	HDNA	al	pc	EDNA
HDNA	$1,84 \cdot 10^4$	1	0,29	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$1,28 \cdot 10^{-10}$
EDNA	$1,44 \cdot 10^{14}$	$7,8 \cdot 10^9$	$2,27 \cdot 10^9$	$6,95 \cdot 10^8$	1

O HDNA, por um lado pode facilmente ser empregado para o cálculo de distâncias no interior de sistemas planetários e de estrelas próximas, uma vez que representa pouco menos de um terço do ano-luz. De fato, a Próxima Centauri equivaleria a uma distância de, aproximadamente, 14,6 HDNA. Já a Sirius A, que é a estrela mais brilhante no seu noturno, está a uma distância de 29,7 HDNA, como ilustra os dados da tabela II.

O HDNA não é muito relevante para a medição de grandes distâncias cosmológicas, no entanto, a mesma é a unidade básica para a definição do EDNA, que é de uma ordem de grandeza bilhões de vezes maior do que o HDNA, sendo então muito superior à todas as demais unidades astronômicas, como apresentado na tabela I.

Nessa perspectiva, apresentamos na tabela III um comparativo das distâncias de alguns dos mais famosos objetos astronômicos que se encontram a milhares, e até mesmo bilhões de anos-luz do sol.

Tabela 2: Medições da distância de objetos astronômicos em relação ao Sol empregando a unidade astronômica e a *Human DNA*.

Objeto astronômico	UA	HDNA
Netuno	30,1	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Cinturão de Kuiper	50	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Próxima Centauri	$2,7 \cdot 10^5$	14,6
Sirius A	$5,5 \cdot 10^5$	29,7

Tabela 3: Medições da distância de objetos astronômicos em relação ao Sol empregando as unidades ano-luz e *Earth DNA*.

Objeto astronômico	AL	EDNA
Sagittarius A	$2,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Andromeda	$2,54 \cdot 10^6$	$1,12 \cdot 10^{-3}$
Galáxia do Sombreiro	$28 \cdot 10^6$	$1,23 \cdot 10^{-2}$
GN-z11	$13,4 \cdot 10^9$	5,9

Observamos então que a unidade EDNA é muito grande, pois uma pequena fração da mesma já possibilita alcançar Sagittarius A, o buraco negro supermassivo presente no centro da Via Láctea, assim esta unidade possui um potencial de ser utilizada na medição de distâncias entre galáxias extremamente afastadas, como é o caso da GN-z11, a galáxia mais antiga e distante conhecida no universo observável. De tal modo que todos os objetos que residem na fronteira do Cosmos conhecido podem ser localizados em poucas unidades de EDNA, evidenciando sua relevância e beleza.

4 Considerações finais

No presente trabalho, realizamos uma discussão interdisciplinar em torno da molécula de DNA. Através de um modelo matemático simples e com a utilização de ferramentas da geometria diferencial, chegamos ao resultado já conhecido na literatura de que uma única molécula de DNA ao ser esticada possui aproximadamente $2m$ de comprimento. Em seguida, como um exercício didático de interdisciplinaridade, propomos a criação de duas novas unidades de distância, a saber, o HDNA e o EDNA. Essas novas unidades se mostraram úteis para medições em escalas cosmológicas. Em particular, mostramos que 4 HDNA é superior a um ano-luz, que o centro da nossa via Láctea encontra-se a apenas $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ EDNA}$ e que a galáxia mais distante conhecida dista simplesmente $5,9 \text{ EDNA}$ do nosso Sol. Assim, o EDNA se mostrou muito interessante para simplificar os registros das distâncias dos objetos que se localizam nas proximidades dos limites do Universo observável. Essa discussão interdisciplinar em torno da molécula de DNA possui um grande valor didático, podendo ser empregado como material complementar em diversas disciplinas, como Introdução à Física, Física Geral, Astronomia, Geometria Diferencial e Biologia Celular e Molecular.

Referências

- [1] D. L. Nelson e M. M. Cox, “Princípios de Bioquímica de Lehninger”, Artmed, Porto Alegre, 2011.
- [2] J. A. Garcia, A Interdisciplinaridade Segundo Os Pcns, *Revista Brasileira de Educação Pública*, 17 (2008) 363-378.
- [3] BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio, disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>.

-
- [4] BRASIL. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.
- [5] I. C. A. Fazenda, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade na Formação de Professores, *Revista Ideação*, 10 (2008) 93-103.
- [6] T. G. S. Augusto, A. M. A. Caldeira, J. J. Caluzi, R. Nardi, Interdisciplinaridade: concepções de professores da área ciências da natureza em formação em serviço, *Ciência & Educação*, 10 (2004) 277-289.
- [7] R. Descartes, “O Discurso do Método”, Martins Fontes Editora, São Paulo, 2001.
- [8] C. C. Fortes, Interdisciplinaridade: Origem, Conceito e Valor, *Revista Acadêmica Senac Online*, 6 (2009) 1-11.
- [9] O. Pombo, Interdisciplinaridade e integração dos saberes, *Liinc em Revista*, 1 (2005) 3-15.
- [10] BRASIL. Base Nacional Comum Curricular, disponível em http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_ELEF_110518-versaofinal_site.pdf.
- [11] J. Stewart, “Cálculo”, Cengage Learning, São Paulo, 2013, v. 2.
- [12] Bioquímica- Aula 07- Ácidos nucleicos e nucleotídeos. *Mundo Universitário*, 2017. Disponível em <http://aulasuniversitarias.blogspot.com/2017/01/nucleotideos-e-acidos-nucleicos.html>. Acesso em: 08 de jan. de 2021.
- [13] H. Couper e N. Henbest, “A história da Astronomia”, Larousse do Brasil, São Paulo, 2009.
- [14] H. L. Tignanelli, Sobre o ensino de Astronomia no Ensino Fundamental. In: “Didática das Ciências Naturais”, ArtMed, Porto Alegre, 1998.
- [15] R. Langhi, “Um estudo exploratório para a inserção da Astronomia na formação de professores dos anos iniciais do Ensino Fundamental”, Dissertação de Mestrado em Educação para a Ciência, UNESP, Bauru, 2004.
- [16] M. H. Dal'bó; F. Catellei, Astronomia: explorando suas origens e investigando seus entrelaçamentos no ensino de Física. In: “Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física”, CEFET, Rio de Janeiro, 2005.
- [17] M. W. G. Lima, “Planetários e Astronomia como elementos motivadores para o ensino de Física”, Dissertação de Mestrado Profissional em Física, UECE, Quixadá, 2017.
- [18] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, “Fundamentos de Física - Mecânica”, LTC, Rio de Janeiro, 2012.
- [19] K. S. O. Filho e M. F. Saraiva, “Astronomia e Astrofísica”, Livraria da Física, São Paulo, 2004.
- [20] I. Ridpath, “Guia Ilustrado Zahar - Astronomia”, Zahar, Rio de Janeiro, 2011.
- [21] J. E. Horvath, “O ABCD da Astronomia e Astrofísica”, Livraria da Física, São Paulo, 2008.
- [22] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, “Fundamentos de Física - Ótica e Física Moderna”, LTC, Rio de Janeiro, 2012.
- [23] H. Reeves, “Poeiras de Estrelas”, Gradativa publicações, São Paulo, 1995.

-
- [24] F. I. Arany-Prado, “À luz das estrelas ciência através da Astronomia”, DP&A Editora, Rio de Janeiro, 2006.
- [25] R. Sender; S. Fuchs, R. Milo, Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body, *PLOS Biology*, 14 (2016) 1-14.