CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br

Filosofia Pura e Filosofia da Física: Aristóteles, a Lógica e o Realismo.

Neste verbete, continuaremos com a discussão sobre **Filosofia Pura** e **Filosofia da Física**, iniciada com o do filósofo grego Platão (Aristocles) de Atenas (427-347), tomando como base a convicção que tenho de que ambas as disciplinas buscam a ***verdade*** [ou a ***visão da verdade***, segundo o matemático e filósofo inglês Sir Bertrand (Arthur William) Russel (1872-1970)]. A primeira, estudando o comportamento do HOMEM na Natureza, na tentativa de entender e interpretá-lo e, a segunda, estudando o comportamento da própria Natureza, na tentativa de encontrar e entender suas leis, usando-as para controlá-la. Da mesma maneira como fizemos no primeiro verbete, mostrarei quando, ainda no meu entendimento, o filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) objeto deste estudo, trata de **Filosofia Pura** e de **Filosofia da Física**. Para isso, usarei como base os seguintes textos: Bertrand Russel, **História da Filosofia Ocidental I, II, III** (Companhia Editora Nacional, 1967); François Châtelet (Organizador), **História da Filosofia 1-8** (Zahar Editores, 1974); e Roger-Pol Droit, **Filosofia em Cinco Lições** (Nova Fronteira, 2012). E, na medida em que for necessário, usarei outros textos que serão devidamente registrados.

Muito embora Aristóteles tenha, a partir de 362 a.C., estudado na *Academia* que Platão fundara, em 387 a.C., ele não aceitava o conceito de ***verdade*** (fundamentado no ***mundo das ideias***) formulado por seu mestre. Com efeito, em seu citado livro, o filósofo francês Roger-Pol Droit (n.1949) afirma que (grifos meus), para Aristóteles, a ***verdade*** não se encontra em um mundo à parte, mas propriamente nas <u>formas</u> das coisas materiais, em suas <u>relações</u> com nossos pensamentos. Nas coisas humanas, trate-se de justiça, de política ou de felicidade individual, devem-se admitir tentativas, aproximações, certezas relativas e passíveis de transformações aleatórias. Assim, para Droit, a ***verdade*** para Aristóteles pode ser: 1) descoberta por intermédio da conjugação do raciocínio com a observação; 2) construída quando extraída dos dados concretos e das realidades observacionais; 3) relativa e aproximativa, em certas áreas. Essa discordância entre o discípulo e o mestre, é sintetizada nesta frase aristotélica: - *Sou amigo de Platão e amigo da verdade. Entre ele e a verdade, porém, ficarei com a verdade*. [Adonias Filho, **A Vida de Aristóteles** (Ediouro, s/d)].

A pedido do Rei Felipe da Macedônia (382-366), Aristóteles tornou-se o preceptor de seu filho, o lendário Alexandre (*o Grande*) da Macedônia (356-323), no período 342-336 a.C. De volta a Atenas, em 336 a.C., funda o *Liceu* (também conhecido como *Peripatos*, que em grego significa "aprender andando"), dando continuidade a sua função de professor-pesquisador (em linguagem atual) que havia exercido, entre 347-342 a.C., quando criou uma escola em Assos, e que, nesse período, teria provavelmente escrito seu famoso livro **Nicomachean Ethics** (*Ética a Nicômaco*) [**Great Books of the Western World 8** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)]. (Observe-se que Aristóteles era filho de Nicômano, médico de Amintas II, Rei da Macedônia). Contudo, foi no *Liceu* que Aristóteles escreveu a maioria de suas grandes obras que tratam da **Metafísica**, da **Política** e da **Lógica** (*Organon*). Note-se que Aristóteles não escreveu nem um livro com esses nomes e que, também, os escritos atribuídos a ele não verdadeiramente deles e sim, em parceria (ou, alguns deles, totalmente) com seus discípulos. Note-se, também, que o nome **Metafísica** [do grego, *ta metà physika*, que significa "além da física (natureza)"], decorreu da classificação feita pelo filósofo grego Andrônico de Rodes [floresceu cerca (f.c.) 70 a.C.] das obras de Aristóteles. Ele colocou as obras relacionadas com a existência depois (além) das relacionadas com a natureza do mundo.

É oportuno registrar que na Hélade (posteriormente denominada de Grécia pelos romanos), por volta do Século 6 a.C., os homens que se interessavam pelos mistérios do mundo, se reuniam em *ginásios* (originário da palavra grega *gymnós* que significa "nu"), que eram edifícios monumentais destinados não apenas ao desenvolvimento do corpo (geralmente desnudado), assim como ao cultivo da inteligência, nos quais se discutia sobre a vida e a morte. Um desses *ginásios* foi criado por Licion, filho de Plandinon, consagrado a Apolo Lycio (*Apolo Lykeios*), Deus da Poesia, das Artes e da Eloquência. É ainda interessante registrar que, também naquele Século, existiam locais públicos nos quais os artistas ensinavam seu ofício e os poetas liam e declamavam suas odes. Esses lugares receberam o nome de *Ateneu*, para homenagear Atena ou Atenéia, Deusa do Pensamento. Existia, também, o *Museu* (do grego *mouseion*, que significa templo das Musas) situado em uma colina no interior de uma cidade, cuja origem do nome é desconhecida, talvez por ser consagrada às Musas, que eram Deusas que presidiam a Poesia, a Música, a Oratória, a História, a Tragédia, a Comédia, a Dança e a Astronomia) ou por ser o local onde foi sepultado o poeta Museu. Por fim, a *Academia* fundada por Platão, era um local onde as pessoas se reuniam para discutir sobre artes, ciências e letras, situado em um bosque de oliveiras, a noroeste de Atenas, no qual fora enterrado Academo(s), um antigo herói mitológico que revelou a Castor e Pólux (irmãos gêmeos, filhos de Júpiter e Leda) o local onde Teseu mantinha prisioneira, a homérica Helena de Tróia. [Luiz A. P. Victória, **Dicionário Ilustrado da Mitologia** (Ediouro, s/d); wikipedia/Academia/Ateneu/Liceu/Museu; Adonias Filho, op. cit.].

Segundo Droit (op. cit.), Aristóteles foi o primeiro pensador a examinar rigorosamente as ferramentas de que a ***razão*** se serve: palavras, frases e relações coerentes entre os enunciados que constituem os ***saberes***. Assim, para o Estagirita, é preciso primeiro examinar as ***categorias*** (lugar, tempo, número etc.) pelas quais se exerce o pensamento, que é formado pela estrutura dos enunciados, pelas formas de raciocínio (***silogismos***) e pelas imposições das deduções. Assim, examinando e usando essas ferramentas, Aristóteles criou então a **Lógica**.

De acordo com Russel (op. cit.), a obra mais importante na Lógica Aristotélica, é a ***doutrina do silogismo***. Um ***silogismo*** é um argumento (raciocínio) constituído de três partes: premissa maior, premissa menor, e conclusão. Dos ***silogismos aristotélicos*** (cada um deles recebeu um nome dado pelos ***escolásticos*** – os divulgadores e transformadores do pensamento aristotélico em dogma escolar), o mais famoso é o de nome *Bárbara*: - *Todos os homens são mortais* (premissa maior); *Sócrates é um homem* (premissa menor); *Sócrates é mortal* (conclusão). Contudo, como Aristóteles não faz distinção entre duas formas de raciocínio, ele é levado a cometer erros. Por exemplo, no ***silogismo***: - *Certos homens não são gregos*, não se pode inferir que: - *Certos gregos não são homens*.

A **Lógica Aristotélica**, conhecida como *Lógica de Dois Valores* ou *Lógica Formal*, é apresentada por Aristóteles no livro **Metafísica** [**Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)] da seguinte maneira [Newton Carneiro Affonso da Costa, **O Conhecimento Científico** (Discurso Editorial/FAPESP, 1997]: - *Dizer do que é que não é, ou do que não é, que é, é falso; enquanto dizer do que é que é, ou do que não é, que não é, é verdadeiro.* Isso pode ser resumido no seguinte esquema (T): - *Se S for uma sentença e for o seu nome, então:* a) *é verdadeira se e somente se S*; b) *Se não é verdadeira, ela é falsa* (*F*). Ou, sinteticamente: - *Toda Sentença ou é Falsa* (*F*) *ou é Verdadeira* (*V*).

Contudo, essa **Lógica Aristotélica** (LA), apresentava dificuldades para explicar alguns famosos paradoxos do Mundo Antigo [Stephen F. Barker, **Filosofia da Matemática** (Zahar Editores, 1969); Amir O. Aczel, **O Mistério do Alef** (Editora Globo, 2003)]. Tais dificuldades começam com o ***Paradoxo do Mentiroso*** (PM), proposto pela primeira vez pelo filósofo e poeta grego, o cretense Epimênides (f.c. Século 6 a.C.): - *Todo cretense é mentiroso* (citado na *Epístola de Paulo a Tito*, Tito 1:12). Para explicá-lo, a LA não funciona, pois, se ele estiver dizendo a verdade, então ele não é mentiroso; se estiver mentindo, então está dizendo a verdade. Esse paradoxo pode ainda ser apresentado como o *Dilema do Crocodilo*. Um crocodilo rouba uma criança e diz ao pai dela: - *Devolverei sua criança se você adivinhar corretamente se eu vou ou não devolvê-la*. O pai responde: - *Você não vai devolver a criança*. *O dilema do crocodilo consiste em saber o que ele fará*. Se o crocodilo decidir não devolver, ele tem que devolver, pois o pai acertou a pergunta. Se decidir devolver, então não adiantou ele roubar.

Dificuldades de outra natureza, e não apenas da resposta ser: verdadeira ou falsa, a LA encontra para explicar os quatro paradoxos apresentados pelo filósofo grego Zenão de Eléia (c.490-c.430) (vide verbete nesta série): ***Dicotomia***, ***Aquiles e a Tartaruga, Flecha*** e ***Estádio***. No da ***Dicotomia***, tem-se: - *Antes de um corredor vencer certa distância deverá vencer a metade da mesma; antes de vencer esta metade, deverá vencer a metade da metade; e assim sucessivamente*. Portanto, para o corredor realizar a corrida deverá percorrer um número infinito de contatos em um tempo finito o que, para Zenão, era impossível. O paradoxo de ***Aquiles e a Tartaruga*** – o mais famoso deles – é análogo ao anterior, só que a subdivisão infinita do espaço é progressiva ao invés de ser regressiva. Assim, mesmo sendo o herói da *Guerra de Tróia* mais veloz que a tartaruga, se esta, contudo, numa corrida saísse na frente de Aquiles, este nunca a alcançaria, pois, para atingi-la, deveria percorrer primeiro a distância inicial que o separa da tartaruga, depois teria de percorrer a distância vencida pela tartaruga, e assim por diante. No paradoxo da ***Flecha***, Zenão raciocinou que uma flecha em movimento ocupa sempre um lugar igual a si própria; ora, se ela ocupa sempre um espaço igual ao seu tamanho, ela está sempre parada e, portanto, o seu movimento é uma ilusão. No do ***Estádio*** ou dos ***Bastões em Movimento***, o fundador da *Escola Eleata* considerou que se dois bastões (A, B) de iguais tamanhos se deslocarem igualmente (hoje, diríamos, com a mesma velocidade) em relação a um terceiro (C) mantido fixo, então o bastão A (ou B) pareceria se deslocar duas vezes mais rápido que o bastão B (ou A), respectivamente, num mesmo intervalo de tempo, o que não é possível, concluiu Zenão. Examinando-se esses ***Paradoxos de Zenão*** (PZ), verifica-se que eles estão relacionados com a questão da *continuidade do espaço* (nos dois primeiros) e a *continuidade do tempo* (nos dois últimos). Mais tarde, como veremos mais adiante, os PZ levaram à ***hipótese do continuum***.

Embora esses paradoxos fossem perturbadores os lógicos os tratavam, ao longo dos tempos, apenas como uma espécie de confusão verbal (***paradoxo semântico***), como no caso do PM e, por isso, os desprezavam. Contudo, com o desenvolvimento da Teoria dos Conjuntos (TC), a partir da quarta década do Século 19, os PZ, que lidavam com o importante conceito de ***continuidade*** (que envolvem infinitos), começaram a ser examinados com mais detalhes. As primeiras tentativas de tratá-los se devem ao teólogo, filósofo e matemático tcheco Bernhard (Placidus Johann Nepomuk) Bolzano (1781-1848) em seu livro póstumo de nome **Paradoxien des Unendlichen** (*Paradoxos do Infinito*), publicado em 1851. É oportuno destacar que, em 1847, os matemáticos e lógicos ingleses George Boole (1815-1864) e Augustus De Morgan (1806-1871) (nascido na Índia) começaram a contornar os defeitos (paradoxos) da **Lógica Aristotélica** com um tratamento matemático e apresentado nos respectivos livros: **Mathematical Analysis of Logic** (*Análise Matemática da Lógica*) e **Formal Logic** (*Lógica Formal*). Eles continuaram a trabalhar nessa lógica matemática, e deram duas importantes contribuições: a ***Álgebra de Boole***, que opera apenas com os algarismos zero (0) e um (1); e as ***Leis*** (***Teoremas***) ***de Morgan*** que permitem converter as operações lógicas e em ou e vice versa. Usando a notação proposta pelo filósofo e matemático alemão (Friedrich Ludwig) Gottlob Frege (1843-1925) dos conectivos lógicos [(não); e ( ); ou ( )], as ***Duas Leis de Morgan*** são assim representadas: I) (p q) (p) (q); II) (p q) (p) (q). [Carl B. Boyer, **A History of Mathematics** (John Wiley and Sons, 1968); Paul Richard Halmos, **Teoria Ingênua dos Conjuntos** (Editora Polígono, 1970); Morris Kline, **Mathematical Thought from Ancient to Modern Times** (Oxford University Press, 1972); wikipedia/George_Boole/Augustus_De_Morgan).

As discussões dos paradoxos infinitos, iniciadas por Bolzano, foram importantes para o desenvolvimento da TC, cujos principais trabalhos foram dos matemáticos, o alemão (Julius Wilhelm) Richard Dedekind (1831-1916), em 1872 [**Stetigkeit und Irrationale Zahlen** (*Continuidade e Números Irracionais*)], ao definir um *conjunto infinito*, e o russo Georg (George Ferdinand Ludwig Philipp) Cantor (1845-1918), em 1874 (*Journal für die Reine und Angewandte Mathematik* **77**, p. 258), ao apresentar a definição geral de ***conjunto*** (*É uma coleção de objetos definidos e separados que podem ser concebidos pela mente e para os quais podemos decidir se ou não um dado objeto pertence a tal coleção*) e ao definir a *potência* (número de elementos, que hoje se chama *cardinal*, decorrente de uma correspondência biunívoca entre os elementos e os números inteiros positivos) de um conjunto finito ou infinito. Contudo, para os conjuntos infinitos [p.e.: números pares (2, 4, 6, ...), números ímpares (1, 3, 5, ...), números inteiros (**N** = 1, 2, 3, ...), números naturais (**Z** = 0, 1, 2, 3, 4, ...), números racionais [**Q** = {p/q}, sendo p e q 0, números naturais], números irracionais (**Q´** = { }, sendo p > 0, um número natural), reais (**R** = **Q** + **Q´**) etc.], havia uma grande dificuldade de tratar com os *cardinais* desses conjuntos, pois todos são infinitos, porém de "tamanhos" diferentes. Por exemplo, existem tantos números pares quantos ímpares, e tantos naturais quantos pares ou ímpares, muito embora os naturais representem a reunião de pares com ímpares, incluindo o zero (0). Desse modo, Cantor criou os ***números transfinitos*** e os representou pela letra hebraica *aleph* (ℵ) e os ordenou, em ordem crescente, formando o ***conjunto transfinito*** ($\aleph_0$, $\aleph_1$, $\aleph_2$, ...; $\aleph_0$ = **Q**, $\aleph_1$ = **R**). Destaque-se que a ***aritmética dos transfinitos*** é baseada na ***hipótese generalizada do continuum*** traduzida pela conjectura: $\aleph_{\alpha+1}$ = , para cada *ordinal* α. (Aczel, op. cit.; wikipedia/Bernard_Bolzano/Richard_Dedekind/Georg_Cantor).

Em 1895/1897 (*Mathematisch Annalen* **46**, p. 481; **49**, p. 207), Cantor encontrou um paradoxo em sua teoria dos ***números transfinitos*** ao perceber que, como todo conjunto é representado por um *cardinal* e que o número correspondente a todos os *cardinais* é maior do que qualquer *cardinal*, então o ***conjunto transfinito*** teria ou não um *cardinal*? Ainda em 1897 (*Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo* **11**, p. 154), o matemático italiano Cesare Burali-Forti (1861-1931) encontrou um novo paradoxo na TC ao perceber que o conjunto de números *ordinais* (primeiro, segundo, terceiro, ..., enésimo + 1, ...) deve conter um *ordinal* que seja maior do que todos os *ordinais*. Contudo, isto contradizia a definição de *conjunto ordinal* que é a reunião de todos os *ordinais*. Esses paradoxos ficarem conhecidos genericamente como o ***Paradoxo de Cantor*** (PC): - *Não pode existir nenhum um número maior do que qualquer aleph*.

Em 1900, por ocasião do *Congresso Internacional de Matemática* realizado em Paris, o matemático alemão David Hilbert (1862-1943) apresentou dez (10) dos vinte e três (23) célebres ***Problemas de Hilbert*** (os 13 foram apresentados mais tarde), que ele achava que seria o Grande Programa da Matemática para o Século 20. Os dois primeiros são: 1) *Provar a* ***hipótese do continuum*** de Cantor; e 2) *Demonstrar a* ***consistência*** *dos axiomas da Aritmética*. (wikipedia/Problemas_de_Hilbert). Como estes problemas se relacionam com o tema deste verbete, passaremos a discuti-los. Contudo, antes de realizarmos essa discussão, é oportuno registrar que quatro deles (oitavo, décimo segundo, décimo sexto e vigésimo terceiro) ainda permanecem em aberto. Registre-se, ainda, que a solução do oitavo, conhecido como a ***Conjectura de Goldbach***: - 1) *Todo número natural par é a soma de dois números primos*; 2) *Todo número natural maior do que 2 é a soma de três números primos* [proposto pelo matemático russo Christian Goldbach (1690-1764), em 1742, em carta que escreveu para o físico e matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783)] é de grande importância para o desenvolvimento da computação quântica, por causa da criptografia nela envolvida (ver verbete nesta série)

Voltemos ao tema deste verbete. Em 1901, Bertrand Russel descobriu outro paradoxo que abalou a TC, hoje conhecido como ***Paradoxo*** (***Antinomia***) ***de Russell*** (PR), que foi apresentado em seu livro **The Principles of Mathematics** (*Princípios da Matemática*), publicado em 1903. Vejamos como ele chegou ao PR. Ele considerou *o conjunto* (R) *de todos os conjuntos que não são membros de si mesmo*. Então, perguntou: - R *é um membro de si mesmo?*. Ao responder a essa pergunta, ele encontrou o PR: - *Se* R *é membro de si mesmo, então ele não é. Então se* R *não é membro de si mesmo, então ele é*. Note que esse PR é um ***paradoxo semântico*** parecido com o PM. É interessante observar um fato curioso que aconteceu com o PR. No dia 16 de junho de 1902, Russel escreveu uma carta a Frege sobre a descoberta do PR, uma vez que Frege havia publicado, em 1893, o primeiro volume de seu livro **Grundgesetze der Arithmetik** (*As Leis Fundamentais da Aritmética*), no qual axiomatizou a Aritmética usando a TC. Assim, seu Axioma V (*Axioma da Abstração*), dizia: - *Dada qualquer propriedade aritmética, existe um conjunto cujos membros são apenas aqueles que a possuem*. Pois bem, quando Frege recebeu a carta de Russel, ele estava finalizando o segundo volume (publicado em 1903 com recursos próprios) do **Grundgesetze** e percebeu que o PR abria um grande "furo" em seu Axioma V. Como ele não poderia "jogar fora" esse livro, resolveu escrever o seguinte posfácio: - *Dificilmente pode recair sobre um autor científico maior infortúnio do que ver abalada uma das fundações do seu edifício depois do trabalho terminado. Foi essa a posição em que me vi colocado por uma carta do Sr. Bertrand Russell* [...]. *Mesmo agora, não vejo como a aritmética pode ser cientificamente estabelecida; de que modo os números podem ser apreendidos como objetos lógicos e reexaminados; a não ser que nos seja permitido – ao menos condicionalmente – passar de um conceito para a sua extensão*. (Kline, op. cit.; Aczel, op. cit.).

Apesar dessa dificuldade lógica do PR encontrada por Frege ao escrever o Volume 2 de seu **Grundgesetze**, seu livro intitulado **Begriffsschrift, eine der Arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens** (*Notação Conceitual, uma Linguagem Formal, decalcada da Aritmética, do Pensamento Puro*) (Verlag von Nebert Louis, 1879) é considerado um segundo marco (o primeiro foi de Aristóteles) na história da ***Lógica***, pois nele há um sistema de representação simbólica (conectivos com notação atual) ["para todo o x" (x), "existe um x" (x), "não x" (x), "e" ( ), "ou" ( ), "implica que" (→), "equivalente a" ( ), "pertence a" ( )] com a qual implementou o Cálculo dos Predicados. Este Cálculo parte da decomposição funcional da estrutura interna das frases (substituindo, em parte, a dicotomia aristotélica *sujeito-predicado* pela oposição *função-argumento*) e da articulação do conceito de *quantificação*, tornando possível a manipulação de frases em regras de *dedução formal*. No Volume 2, Frege apresentou um axioma que ele considerava absolutamente novo, o Axioma Básico (ou da Extensão): - *A <u>extensão</u> do valor da função f* (*x*) *é a mesma que a <u>extensão</u> da função g* (*x*) *se, e somente se, x →* *f* (*x*) = *g*(*x*). Esse Axioma pode ser assim resumido: - *Dois conjuntos são iguais se têm os mesmos elementos*. (Aczel, op. cit.; wikipedia/Gottlob_Frege).

Os paradoxos que aparecem no estudo da Lógica (PM, PC e PR) abordados acima, foram tratados por vários filósofos e/ou lógicos e/ou matemáticos no decorrer do Século 20. Vejamos como. Em 1904 (*Mathematische Annalen* **59**, p. 514), o matemático alemão Ernst (Friedrich Ferdinand) Zermelo (1871-1953) iniciou a Axiomatização da Teoria dos Conjuntos (ATC), demonstrando que os números *cardinais* dos conjuntos não são bem ordenados. [Por essa razão, acredita-se que ele descobriu o PC, porém não publicou por achá-lo óbvio. (Aczel, op. cit.)]. Mais tarde, em 1908 (*Mathematische Annalen* **65**, p. 107), Zermelo propôs o Axioma da Escolha (AE): - *Para cada conjunto A existe uma função* (*f*) *de escolha, tal que para cada subconjunto não vazio B de A, então f(B) pertence a* B. O problema do AE é que pode haver um número infinito de B dentro de A, portanto gerando um novo paradoxo. A ATC de Zermelo foi aprimorada pelo matemático alemão Adolf Abraham Halevi Fraenkel (1891-1965), em 1922 (*Mathematische Annalen* **86**, p. 230), com a incorporação do AE, hoje conhecido como AEZF. (wikipedia/Ernst_Zermelo/Adolf_Fraenkel). É interessante registrar que o AEZF gerou um novo paradoxo descoberto, em 1924 (*<u>Fundamenta Mathematicae</u>* **6**, p. 244), pelos matemáticos e lógicos poloneses Stefan Banach (1892-1945) e Alfred Tarski (1901-1983) no artigo que escreveram e intitulado **Sur la décomposition des ensembles de points en parties respectivement congruentes** (*Sobre a decomposição de conjunto de pontos em partes respectivamente congruentes*). Esse ***Paradoxo de Banach-Tarski*** é assim enunciado: - *Uma esfera pode ser recortada em um número finito de partes e remontada em uma esfera de raio maior ou remontada em duas esferas do tamanho da esfera original.* Registre-se, também, que o lógico e matemático norte-americano Paul Joseph Cohen (1934-2007; Medalha Fields, 1966) demonstrou, em 1963 (*Proceedings of the National Academy of Science* **50**, p. 1143) e em 1964 (*Proceedings of the National Academy of Science* **51**, p. 105), que a ***hipótese do continuum*** e o ***axioma da escolha*** (AEZF) são independentes. (Aczel, op. cit.; wikipedia/Alfred_Tarski/Paul_Cohen).

Por sua vez, o próprio Russell e o filósofo e matemático inglês Alfred North Whitehead (1861-1947) (autor da frase: - *Toda a filosofia ocidental consiste num conjunto de notas de rodapé a Platão*) escreveram o **Principia Mathematica** (*Princípios Matemáticos*), um tratado de três volumes publicados entre 1910 e 1913, pela Cambridge University Press, nos quais tentaram apresentar um fundamento lógico para toda a Matemática (e não só para a Aritmética, como pensava Frege) por intermédio da Teoria dos Tipos (TT) (Simples e Ramificada) e sintetizada na expressão: - *O tipo de uma propriedade* *deve ser de uma ordem superior ao tipo de qualquer entidade da qual a propriedade possa com significado ser predicada*. É oportuno notar que a TT injetou na Lógica e, portanto, na Filosofia, a importante Noção de Absurdo: - *Mesmo as sentenças que parecem dotadas de sentido podem encerrar um absurdo* (Barker, op. cit.; wikipedia/Bertrand_Russell/Alfred_North_Whitehead)

Russel continuou com seu estudo sobre a Lógica Matemática, em suas famosas conferências ministradas em 1917 e 1918 e reunidas no livro **The Philosophy of Logical Atomism** (*A Filosofia do Atomismo Lógico*) (University of Alberta, 1918). Foi em uma dessas conferências, em 1918, que ele apresentou seu paradoxo da seguinte forma: - *O barbeiro de Sevilha barbeia todos os homens dessa cidade que não se barbeiam sozinhos*. O ***paradoxo do barbeiro*** (PB) surge quando se faz a seguinte pergunta: - *O barbeiro de Sevilha faz a sua própria barba?*. *Se faz, então ele não faz*. *Se não faz, então faz*. Como se vê, o PB é um ***paradoxo semântico*** como é o PM e o PR. Em 1928, por ocasião do *Congresso Internacional de Matemática*, realizado em Bolonha, Itália, Hilbert enfatizou seu décimo (10) problema apresentado em 1900: - *Encontrar um algoritmo que determine se uma equação diofantina tem solução*. Recorde-se que o matemático grego Diophantus de Alexandria (210/214-284/298), o primeiro a reconhecer as frações como sendo números, escreveu vários livros sobre Aritmética e cujos problemas eram resolvidos usando notações algébricas, razão pela qual ele ficou conhecido como o "pai da Álgebra". As *equações diofantinas* são equações algébricas com coeficientes inteiros e que apresentam soluções inteiras. [Roger Penrose, **A Mente Nova do Rei** (Campus, 1991)].

O PB foi usado pelo filósofo e matemático austro-norte-americano Kurt Friedrich Gödel (1906-1978) para demonstrar seus dois famosos ***Teoremas da Incompletude*** (TI): T1) *Qualquer teoria axiomática recursivamente enumerável e capaz de expressar algumas verdades básicas de Aritmética não pode ser, ao mesmo tempo, completa e consistente. Ou seja, sempre há em uma teoria consistente proposições verdadeiras que não podem ser provadas ou negadas*; T2) *Uma teoria, recursivamente enumerável e capaz de expressar verdades básicas da Aritmética e alguns enunciados da teoria da prova, pode provar sua própria consistência se, e somente se, for inconsistente*. O T1 garante a existência das chamadas proposições indecisíveis, ou seja, que não podem ser provadas verdadeiras ou falsas em um dado sistema axiomático. O T2 impõe uma restrição a qualquer sistema axiomático: não é possível ser consistente provar sua própria consistência, o que não impede que essa consistência seja provada por outro sistema. Note que esses TI foram apresentados por Gödel, em 1931 (*Monatshefie für Mathematik und Physik* **38**, p. 173), no artigo intitulado **Über formal unentscheidbare Sätze der "Principia Mathematica" und verwandter Systeme** (*Sobre as Proposições Formalmente Indecisíveis dos "Princípios Matemáticos" e Sistemas Relacionados*). [Ernest Nagel e James R. Newman, **Prova de Gödel** (Editora Perspectiva, 1973); wikipedia/Kurt_Gödel/Teoremas_da_incompletude_de_Gödel].

Dos trabalhos realizados em 1935 e 1936, o matemático inglês Alan Mattison Turing (1912-1954) escreveu o artigo intitulado **On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*** (*Sobre os Números Computáveis, com uma Aplicação ao "Problema da Decisão"*), publicado em 1937 (*Proceedings of the London Mathematical Society* **42**, p. 230; **43**, p. 544), no qual resolveu o chamado *Problema da Parada* (*Decisão*) que, de certo modo, está ligado aos PB e TI. Vejamos de que maneira. Um número *real* é dito computável se existe uma *máquina* (posteriormente conhecida como ***Máquina de Turing*** - MT) dotada de certo programa (algoritmo) que seja capaz de calcular seus dígitos um por um. Porém, os números *reais* não são todos computáveis (*enumeráveis*). Em seu artigo, Turing demonstrou que, se fôssemos capazes de encontrar um procedimento mecânico que nos permitisse decidir se um programa de computador pode parar, poderíamos então computar um número *real* que não é computável; teríamos então uma contradição. Em resumo, se em algum dia, a MT for construída, ela dará inicio à ***Inteligência Artificial***, pois o operador da mesma poderá saber se a resposta veio dela, sem nenhuma interferência de um cérebro humano. É oportuno registrar que, em 1936 (*Journal of Symbolic Logic* **1**, p. 103) e, independentemente de Turing, o matemático e lógico polonês-norte-americano Emil Leon Post (1897-1954) publicou o artigo intitulado **Finite Combinatory Processes – Formulation 1** (*Processos Combinatórios Finitos – Formulação 1*), no qual desenvolveu um modelo matemático de computação equivalente à MT. (Ray Kurzweil, **How to Create a Mind** (Viking Penguin, 2012); Aczel, op. cit.; wikipedia/Alan_Turing/Emil_Leon_Post).

Acrescente-se ainda que os ***paradoxos semânticos*** foram trabalhados por Tarski em seus artigos: **Der Wahrheitsbegriff in Den Formaliserten Sprachen** (*O Conceito de Verdade em Linguagens Formalizadas*), publicado em 1935 (*Studia Philosophica* **1**, p. 261) e **The Semantic Conception of Truth and the Foundations of Semantics** (*A Semântica Concepção da Verdade e os Fundamentos da Semântica*), publicado em 1944 (*Philosophy and Phenomenological Research* **4**, p. 341). Para Tarski, a verdade (V) [ou a falsidade (F)] de uma sentença (S) depende de uma linguagem (L) adotada. Assim, em dada interpretação de S, ela poderá ser F ou V, dependendo de L, o que significaria dizer que: - *A verdade é a correspondência com os fatos*. Para contornar os paradoxos (antinomias), a Doutrina de Tarski (DT) lança mão da hierarquia de linguagens: linguagem objeto, metalinguagem, meta-metalinguagem etc. Desse modo, evita-se a auto-referência, em particular sentenças que falam de si mesmas. (da Costa, op. cit.). A DT pode ser resumida da seguinte forma: - *A semântica* (L_1) *de uma linguagem objeto* (L_0) *– isto é, a metalinguagem que contém o conceito de que o "verdadeiro" em* L_0 *é um conceito definível – deve ser* <u>*essencialmente mais rica*</u> (*e de ordem alta*) *do que a* L_0. Assim, segundo o matemático e filósofo inglês Sir Karl Raymond Popper (1902-1992) escreveu em seu **Conhecimento Objetivo** (Itatiaia/EDUSP, 1975): - *A linguagem objeto* (L_0) *pode conter sua própria sintaxe e, mais especialmente, nomes descritivos de todas as suas próprias expressões. Mas* L_0 *não pode, sem risco de antinomia, conter especificadamente termos semânticos como "denotação","satisfação" ou " verdade". Isto é, noções que relacionam os "nomes das expressões" de* L_0 *com os "fatos" ou "objetos" a que essas expressões se referem.*

Para concluir essa parte referente à ***Lógica Aristotélica*** e seus paradoxos lógicos e semânticos, tratados no decorrer deste verbete, vejamos o desenvolvimento da ***Lógica Plural*** (LPℓ) [denominada de ***Lógica Paraconsistente*** (LPa) pelo filósofo peruano Francisco Miró Quesada Cantuarias (n.1918), por ocasião do *Terceiro Simpósio Latino-Americano sobre Lógica Matemática*, ocorrida na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil, no período 11-17 de julho de 1976], que não considera o Princípio do Terceiro Excluído, admitindo uma infinidade de valores da verdade, além do verdadeiro (V) ou falso (F) das Lógicas Clássicas. Muito embora uma LPℓ tenha sido considerada pelo filósofo alemão Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) e pelo matemático e lógico escocês Hugh McColl (1837-1909) (pioneiro da ***Lógica Modal***, uma espécie de LPℓ, que trabalha com os <u>operadores</u>: *possível*, *necessário* e *consistente*), considera-se que o iniciador de uma ***Lógica Trivalente*** (um tipo de LPℓ) tenha sido o filósofo norte-americano Charles Sanders Peirce (1839-1914) ao preparar, em 1909, um manuscrito intitulado **Logic Notebook** (*Notas de Lógica*), que permaneceu inédito até ser analisado e publicado, em 1966 (<u>*Transactions of the Charles S. Peirce Society*</u>
2, p. 71), por <u>Max Fisch</u> e <u>Atwell Turquette.</u> [José Renato Salatiel, **Aspectos Filosóficos da Lógica Trivalente de Peirce** (*Kinesis* **3**, p. 31, 2011);
wikipedia/Hugh_MacColl/Logica_Trivalente/Logica_Polivalente].

A LPℓ voltou a ser discutida pelo filósofo e lógico russo Nicolai Alexandrovich Vasiliev (1880-1940), em 18 de maio de 1910, ao defender na *Universidade de Kazan*, sua Tese de Livre Docência (*Privatdozent*), intitulada: **Sobre os Julgamentos Parciais, Sobre o Triângulo das Oposições, Sobre a Lei do Terceiro Excluído**. Segundo Vasiliev, sua ***Lógica Não-Aristotélica*** apresenta três espécies de sentenças: 1) S <u>é</u> A; 2) S <u>não é</u> A; 3) S <u>é e não é</u> A. (Jaykov Foukzon, *arXiv:* **0805.1481v1**/10/05/2008). Por sua vez, o matemático e lógico polonês Jan Lukasiewicz (1878-1956), também em 1910, apresentou na *Universidade de Lvov* sua Tese de Livre Docência com o título: **O Zasadzie Sprecznosci u Arystotelesa: Studium Krytyczne** (*Sobre o Princípio de Contradição em Aristóteles: Um Estudo Crítico*) [*The Review of Metaphysics* **24**, p. 485 (1971), traduzido pelo filósofo norte-americano Michael V. Wedin]. Na continuação de sua pesquisa sobre as ***Lógicas Não-Clássicas***, Lukasiewicz publicou, em 1920 (*Ruch Filozoficny* **5**, p. 170), seu célebre artigo: **O Logice Trojwartosciowej** (*A Lógica Trivalente*). É interessante destacara que, ainda em 1920 (*Bulletin American Mathematical Society* **26**, p. 437), Post apresentou o trabalho intitulado **Determination of all Closed Systems of Truth Tables** (*Determinação* *de todos os Sistemas Fechados de uma Tabela de Verdades*), no qual tratou da LP ℓ . (wikipedia/Nicolau_Vasiliev/Jan_Lukasiewicz).

Apesar desses trabalhos sobre uma ***Lógica Não-Aristotélica*** [conhecida como ***Lógica Imaginária*** em analogia com a ***Geometria Não-Euclidiana*** (ou ***Geometria Imaginária*** como era designada) proposta pelos matemáticos, o húngaro János Bolyai (1802-1860), em 1832, o russo Nikolay Ivanovioh Lobachevski (1793-1856), em 1837, e o alemão Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866), em 1851], não havia nenhuma formalização da mesma. Um dos primeiros passos para essa formalização foi dado pelo lógico polonês Stanislaw Jaskowski (1906-1965), em 1934 (*Studia Lógica* **1**, p. 1) ao discutir as regras de suposição (dedução natural) na Lógica Formal. Registre-se que essas regras também foram encontradas pelo matemático e lógico alemão Gerhard Karl Erich Gentzen (1909-1945) em trabalhos realizados em 1932 (*Mathematische Annalen* **107**, p. 329) e em 1934/1935 (*Mathematische Zeitschrift* **39**, p. 176; 405). Em 1942 (*Disquisitiones. Mathematicae et Physicae* **2**, p. 3), o matemático e lógico romeno Grigore Constantin Moisil (1906-1973) publicou o artigo intitulado **Logique Modale** (*Lógica Modal*), no qual formalizou a ***Lógica Polivalente***. Em 1948 [*Studia Lógica* **24**, p. 143 (1969)], Jaskowski apresentou os primeiros cálculos da LPa. Apesar de todos esses trabalhos, a formulação da LPa como hoje é ensinada se deve ao engenheiro, matemático e lógico brasileiro Newton Carneiro Affonso da Costa (n.1929), que decorreu de suas pesquisas realizadas desde 1954 (Otávio Bueno, ***IN***: da Costa, op. cit.), com artigos publicados, isoladamente e com colaboradores (da Costa, op. cit.), cujos principais resultados encontram-se em seu livro intitulado **Logiques classiques et non classiques** (*Lógicas clássica e não clássicas*), publicado em 1997 (Masson, Paris). Para maiores detalhes sobre a LPa, ver: wikipedia/Grigore_Moisil/Stanislaw_Jaskowski/Gerhard_Gentzen/Newton_da_Costa.

Agora, vejamos Aristóteles como um **Filósofo da Física**. Conforme vimos em verbetes desta série, os primeiros modelos para explicar os complicados movimentos dos astros nos céus aconteceram na Grécia Antiga. Com efeito, o astrônomo e matemático grego Eudoxo de Cnido (c.408-c.355) formulou o modelo planetário das ***esferas-homocêntricas*** segundo o qual o movimento dos astros no céu era resultante de um conjunto de 27 esferas homocêntricas à Terra e que obedeciam o seguinte esquema: quatro para cada planeta (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), três para o Sol, três para a Lua e uma para as estrelas fixas. Essas esferas eram assim distribuídas: o planeta se encontra fixo no equador de uma esfera que gira em torno da Terra fixa. Por sua vez, os polos dessa esfera eram deslocados por uma segunda esfera que gira em torno de um eixo normal ao ***plano da eclíptica*** (trajetória aparente do Sol entre as estrelas fixas e recebeu esse nome porque eclipses podem acontecer quando a Lua atravessa esse plano). Uma terceira esfera, exterior as duas antecedentes, é responsável pelo movimento do planeta em relação ao céu das estrelas fixas. Por fim, uma quarta esfera era necessária para explicar o ***movimento retrógrado*** de cada planeta, isto é, o movimento no qual o planeta, no céu das estrelas fixas, se move em um determinado sentido até um "ponto estacionário"; depois, volta no sentido oposto até outro "ponto estacionário", retomando então o primeiro sentido, assim por diante, formando laços (cúspides). É oportuno notar que Eudoxo inventou a curva ***hipópede*** (resultante da intersecção de uma esfera com um cilindro) com o objetivo de explicar esse seu modelo planetário. Por outro lado, como os egípcios haviam observado que Mercúrio e Vênus tinham um afastamento limitado em relação ao Sol (em valores atuais): ~ 24^0 e ~ 48^0, respectivamente, o astrônomo grego Calipo de Cízico (c.370-c.300), discípulo de Eudoxo, aperfeiçoou o modelo de seu mestre, adicionando mais oito esferas objetivando explicar aqueles afastamentos.

Esse ***modelo de Eudoxo-Calipo*** (***modelo geocêntrico***) foi aperfeiçoado por Aristóteles (que acreditava na esfericidade da Terra) ao acrescentar mais esferas homocêntricas, perfazendo um total de 55. Essas novas esferas, contudo, destinavam-se a impedir que o movimento de um dado planeta se transmitisse ao seu vizinho, já que, ao que parece, considerava as esferas homocêntricas como sendo reais, ao contrário de Eudoxo e Calipo que as consideravam apenas como auxiliares em seus cálculos. Além disso, numa primeira tentativa de explicar a razão dos movimentos celestes, Aristóteles admitiu que, depois das estrelas fixas, existia o ***Primum Móbile*** (*Primeiro Móvel*) acionado por **DEUS**, o motor primordial e imóvel, e que além dele não havia nem movimento, nem tempo e nem lugar. Registre-se que Aristóteles apresentou esse seu modelo planetário no Livro II de seu tratado **De Caelo** (*Dos Céus*). [**Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)].

É oportuno esclarecer que o ***movimento retrógrado*** dos planetas recebeu uma nova explicação por intermédio do matemático grego Apolônio de Perga (c.261-c.190). Para isso, usou o ***sistema epiciclo-deferente***, sistema em que o centro de um círculo menor (***epiciclo***) se desloca ao longo de um círculo maior (***deferente***). Nesse sistema, o ***epiciclo*** representa o movimento circular do planeta e o ***deferente*** é um círculo em cujo centro situa-se o astro em torno do qual orbita o planeta (no caso, a Terra). Esclareça-se também que o ***movimento retrógrado*** é naturalmente explicado pelo ***modelo heliocêntrico***, inicialmente imaginado pelo astrônomo grego Aristarco de Samos (c.320-c.250), por volta de 290 a.C., e formalizado pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) em seu famoso livro **De Revolutionibus Orbium Coelestium** (*Das Revoluções dos Corpos Celestes*), de 1543.

Aristóteles também contribuiu para o entendimento dos fenômenos ópticos. Vejamos como. Certamente o fenômeno da refração da luz foi observado pelos primeiros Homens ao verem o ***arco-íris*** (ver verbete nesta série), sem, contudo, serem capazes de explicá-lo. Uma primeira citação sobre o ***arco-íris*** encontra-se no **Gênesis** (9:11): Deus dá a Noé um sinal – o ***arco-íris*** – dizendo-lhe depois do Dilúvio: - *Não será mais destruída toda carne por água de dilúvio*. Depois dessa citação Bíblica, passaram-se centenas de milhares de anos até que uma das primeiras tentativas de sua explicação foi apresentada por Aristóteles no livro **Meteorologica** (*Meteorologia*) [**Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], no qual afirmou que o ***arco-íris*** era devido a gotículas de água contidas na atmosfera, que refletiam a luz solar e causavam a variação da cor. Observou ainda que a reflexão da luz do Sol [segundo Boyer (op. cit.), Aristóteles tinha conhecimento da Lei da Reflexão da Luz: - *O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão*] pelas nuvens ocorria para um ângulo determinado, reflexão essa que dava origem a um cone circular de ***raios de arco-íris***. Além de explicar corretamente a forma circular do ***arco-íris***, Aristóteles percebeu que sua localização no espaço dependia do ângulo entre a direção dos raios solares incidentes e à dos raios refletidos pelas nuvens até os olhos do observador. Contudo, somente em 1266 é que o filósofo e monge franciscano inglês Roger Bacon (c.1220-1292) mediu pela primeira vez tal ângulo, encontrando o valor aproximado de . É oportuno destacar que no **Meteorologica**, Aristóteles destacou (na linguagem atual) que a massa da Terra (incluindo o volume da água) é infinitesimal em comparação com todo o Universo que a rodeia [Benjamin Farrington, **A Ciência Grega** (IBRASA, 1961)].

Aristóteles ainda discutiu outros fenômenos relacionados com a Óptica. Por exemplo, ao responder a pergunta: - *O que nós vemos?*, ele apresentou a ideia de que quando vemos um objeto, este afeta o meio ambiente entre ele e a nossa visão [Ian Stewart, **Uma História da Simetria na Matemática** (Zahar, 2012)]. Assim, para Aristóteles, a luz era devido a uma ***atividade*** em determinado meio, podendo, dessa forma, ser tal ideia considerada como a precursora da teoria ondulatória da luz [John Strong, **Concepts of Classical Optics** (W. H. Freeman and Company, 1958); Jean Rosmorduc, **De Tales a Einstein** (Editorial Caminho, 1983); no entanto, Farrington (op. cit.) acha um pouco exagerada essa comparação]. Por sua vez, Aristóteles defendia a hipótese que a velocidade da luz era infinita, contrária a hipótese defendida pelo filósofo grego Empédocles de Akragas (Agrigento) (c.490-c.430) que a considerava finita (Kline, op. cit.). Aristóteles também afirmou que as cores mais agradáveis deveriam obedecer às mesmas relações numéricas pitagóricas para determinados sons. Note-se que o filósofo grego Pitágoras de Samos (c.560-c.480) descobriu que certas relações entre os comprimentos das cordas dos instrumentos musicais produziam combinações harmônicas de sons.

Por fim, Aristóteles também contribuiu para o entendimento do elemento formador das coisas do Universo, bem como do entendimento do movimento e sua causa. Como vimos em verbete desta série, a procura da substância primordial, do elemento comum, da matéria prima, enfim, - da ***arché*** (*princípio*, em grego) -, que compõe o Universo, começou há mais de 25 séculos com os gregos jônicos, os chamados ***pré-socráticos***, isto é, aqueles que antecederam ao filósofo grego Sócrates de Atenas (c.470-399). Alguns deles apresentavam concepções unitárias (monistas) para a ***arché***, enquanto outros, pluristas.

Assim, o filósofo grego Tales de Mileto (624-546) afirmava que o elemento primordial do Universo era a ***água***, *sobre a qual a Terra flutua e é o começo de todas as coisas*, afirmação baseada em uma antiga ideia do poeta grego Homero [floresceu cerca (f.c.) Século 9 ou 8 a.C.], de que do deus Oceano se originavam todas as coisas. Contudo, para o filósofo grego Anaximandro de Mileto (610.c.547) tal elemento era mais indefinido do que a ***água*** de Tales, pois considerava ser o ***apeíron*** (*infinito*, em grego), baseado na ideia do poeta grego Hesíodo (f.c. 800 a.C.) para o qual tudo se originava do Caos. Já para o filósofo grego Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500) seria o ***ar*** o tal elemento primordial de vez que o mesmo se reduziria à ***água*** por simples compressão. No entanto, para o filósofo grego Xenófones de Jônia (Colofonte) (c.570-c.460) era a ***terra*** a matéria prima do Universo. Por fim, o filósofo grego Heráclito de Éfeso (c.540-c.480) propôs ser o ***fogo*** essa matéria universal. Note-se que, para Empédocles os elementos fundamentais da natureza eram em número de quatro: ***água***, ***ar***, ***fogo***, ***terra***, que se combinavam de várias maneiras para formar as substâncias. Essa concepção quaternária foi retomada por Aristóteles, em seu livro intitulado **De Generatione et Corruptione** (*Sobre Geração e Corrupção*) [**Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], porém seus elementos fundamentais – os ***essenciais*** – podem ser resumidos em: ***frio*** (*tò psychrón*), ***quente*** (*tò thermón*), ***úmido*** (*tò hygrón*) e ***seco*** (*tò xerón*) que, grupados, dois a dois, reproduziam os elementos de Empédocles da seguinte maneira: ***seco + frio = água***, ***seco + quente = fogo***, ***úmido + frio = água***, e ***úmido + quente = ar***. Registre-se que, para Aristóteles, os elementos ***úmido*** e ***seco*** eram *passivos* e tendiam a servir como "matéria", e os elementos ***quente*** e ***frio*** eram *ativos* ou *criativos* e serviam como instrumentos de "forma" ou de "movimento". Porém, tais elementos comporiam apenas as coisas "terrenas" e "lunares", sendo o espaço celeste formado pela ***quinta essência*** – o ***éter***.

Por fim, vejamos como Aristóteles descrevia o ***movimento***. Ainda em verbete desta série vimos que Aristóteles, em seu livro intitulado **Physica** (*Física*) [**Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], apresentou suas ideias sobre o ***movimento***, que o considerava como *o ato do que está em potência enquanto em potência*. Com relação aos atributos (*categorias*) dos seres que são afetados pelo ***movimento***, Aristóteles distinguiu quatro espécies de ***movimento***: o ***movimento*** segundo a ***essência*** do ser é geração e corrupção; segundo a ***qualidade***, é alteração; segundo a ***quantidade***, é crescimento e decrescimento; segundo o ***lugar***, o ***movimento*** de um corpo pode ser ***natural*** se ele se dirige para o seu lugar natural (por exemplo, para o alto como o ***fogo*** e o ***ar***, e para baixo, como a ***água*** e a ***terra***); e ***forçado*** ou ***violento***, se afastar-se de seu lugar natural (por exemplo, o caso de uma pedra lançada para o alto).

Na continuação de seus estudos sobre o ***movimento***, Aristóteles afirmou que existe um ***Princípio Dinâmico no Movimento***: - *Todo movido é movido por um motor*. Desse modo, no ***movimento natural*** um corpo se move devido a sua ***apetência***, isto é, segundo a sua natureza, que é um motor interior. Já um corpo sob um ***movimento forçado*** o faz por intermédio de um motor que lhe é estranho e contíguo. Este, dizia Aristóteles, é o caso do ***movimento*** de um corpo no ar, pois este, ao ser empurrado para os lados pelo corpo, o impulsiona em sua trajetória. Portanto, concluiu, só há ***movimento forçado*** se houver ar, conclusão que levou ao célebre apotegma: - *A Natureza tem horror ao vácuo ("Horror Vacui")*.

Desse modo, usando esses princípios, Aristóteles obteve os seguintes resultados: 1) *Sempre que uma força ou potência é exercida sobre um móvel, a relação das distâncias percorridas é igual à relação dos tempos de percurso*; 2) *A relação das forças exercidas sobre um móvel é igual a relação das distâncias percorridas num mesmo intervalo de tempo, desde que estas forças tenham uma intensidade que ultrapasse certo limite abaixo do qual elas não podem agir*; 3) *O movimento de um corpo através de um meio resistente, além de ser proporcional à força que o produziu é, também, inversamente proporcional à resistência do meio considerado*; 4) *Os corpos se movem diferentemente uns dos outros por excesso de peso ou de leveza*; 5) *Um corpo pesado cai mais rapidamente do que um leve*; 6) *A velocidade de um corpo em queda livre é proporcional ao seu peso*.

Sobre esses resultados encontrados por Aristóteles, é interessante fazer alguns comentários. Na linguagem atual, os resultados 3), 5) e 6) podem ser representados pela expressão (não dimensionalmente correta) [James T. Cushing, **Philosophical Concepts in Physics** (Cambridge University Press, 2000)] dada por: $v = W/R$, onde v é a velocidade de um corpo de peso (W) se deslocando em um meio de resistência (R). Dessa relação, vê-se que se o meio for o vácuo (R = 0), então $v = \infty$, o que traduz o apotegma aristotélico visto acima: - *Horror Vacui*. O resultado 4) mostra que Aristóteles foi o primeiro a compreender que deveria existir uma relação entre o peso (W) e o volume (V) de um corpo, conceito hoje conhecido como ***peso específico***: $\pi = W/V$. Os resultados 1) e 2) só seriam bem conceituados nos trabalhos do físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642), no Século 17, sobre o ***movimento*** (vide verbete nesta série).

É interessante destacar que Aristóteles estudou os animais (história, componentes, movimento, porte e geração) e as substâncias materiais (movimento, composição etc.) em seus tratados sobre a Natureza e a hoje Biologia. [**Great Books of the Western World 7, 8** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)]. Assim, como decorrência desse estudo ele atribuía realidade aos indivíduos. Ele também atribuía realidade a certas formas como, por exemplo, as ***esferas homocêntricas planetárias***, assim como considerava que forma e matéria eram intelectualmente distinguíveis. Desse modo, ao contrário de seu mestre Platão que era ***idealista*** (ver verbete nesta série), Aristóteles é considerado um dos precursores do ***realismo***. [Sir William Cecil Dampier, **Pequena História da Ciência** (IBRASA, 1961); Cushing, op. cit.].

ANTERIOR SEGUINTE