



Instituto de Física
Universidade de São Paulo

**A Intuição de Físicos e Matemático
Famosos.**

M. Cattani, J.M.F.Bassalo e I. L.Caldas

Publicação IF 1709
06/06/2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Física
Cidade Universitária
Caixa Postal 66.318
05315-970 - São Paulo - Brasil

A Intuição de Físicos e Matemático Famosos.

M. Cattani(*), J.M.F.Bassalo(**) e I. L.Caldas(***)

(*) Instituto de Física, Universidade of São Paulo, Brasil. (mcattani@if.usp.br)

(**) Academia Paraense de Ciências, Belém, PA (www.apaci.net.org) (jimbassalo@gmail.com)

(***) Instituto de Física, Universidade of São Paulo, Brasil. (ibere@if.usp.br)

Resumo. Neste artigo vamos mostrar como alguns gênios da Física foram levados pela intuição a explicar fenômenos observados na Natureza fazendo ou assumindo, em alguns momentos de suas pesquisas, hipóteses ou decisões não rigorosas ("**artifícios**") para contornar dificuldades que algumas observações experimentais apresentavam ou poderiam apresentar aos seus trabalhos (teóricos ou experimentais). Outros, também levados por uma forte intuição, talvez acreditando que pudessem mostrar a existência de forças e fenômenos ainda não observados ou explicados na Natureza, conseguiram comprová-los experimentalmente.

(I) Introdução.

Alguns físicos famosos tais como o italiano Galileu Galilei (1564-1642), o alemão Johannes Kepler (1571-1630), o francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908; PNF, 1903) e o norte-americano Robert Andrews Millikan (1868-1953; PNF, 1923), levados pela **intuição** fizeram ou assumiram, em alguns momentos de suas pesquisas, hipóteses ou decisões não rigorosas ("**artifícios**") para contornar dificuldades que observações experimentais apresentavam ou poderiam apresentar aos seus trabalhos (teóricos ou experimentais). Poder-se-ia pensar que seriam pequenas "fraudes" se houvesse dolo em suas intenções.^[1] Apresentando o contexto histórico em que elas ocorreram e seu desdobramento posterior mostraremos que, realmente, não houve dolo. Esses pesquisadores guiados pela **intuição** sabiam como a Natureza se comporta antes mesmo de formularem suas teorias. Não se preocuparam com alguns pequenos detalhes de suas previsões. Os "artifícios" seriam de fato "curto circuitos" que eles introduziram para poderem chegar rapidamente a resultados finais que sabiam serem corretos. Outros físicos tais como o inglês William Crookes (1832-1919), o holandês Heike Kamerling Onnes (1853-1926; PNF, 1913) e os norte-americanos Arno Allan Penzias (n.1933; PNF, 1978) e Robert Woodrow Wilson (n. 1936; PNF, 1978) também levados por uma forte **intuição**, talvez acreditando na existência de forças e fenômenos ainda não observados na Natureza, insistiram durante muito anos para finalmente comprová-los. Finalmente, citaremos o matemático e meteorologista estadunidense, Edward Lorenz (1917-2008) que levado pela intuição descobriu o "efeito borboleta" .

(1) Aristóteles, Galileu e o Movimento dos Corpos.

(1.1) O Movimento Segundo Aristóteles.^[2]

As primeiras observações sobre o movimento dos corpos aconteceram na Antiguidade. Com efeito, o filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) em seu livro intitulado **Physis** (“Física”) apresentou suas ideias sobre o **movimento**, que 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 distingue quatro espécies de **movimento**: 1) segundo a essência do ser: **geração** e **corrupção**; 2) segundo a qualidade: **alteração**; 3) segundo a quantidade: **crescimento (acelerado)** e decrescimento (**desacelerado**); e 4) segundo o lugar: **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 intermédio de um agente externo (“força” ou “potência”).

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 o levou ao célebre apotegma: - *A Natureza tem horror ao vácuo.*

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 à 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.*

(1.2) O Movimento segundo Galileu Galilei.^[3]

Dando continuidade ao contexto histórico, esses trabalhos de Aristóteles sobre o **movimento**, foram estudados por Galileu (1564-1642) em seu livro **De Motu** (“O Movimento”), escrito entre 1589 e 1592, quando ensinava na Universidade de Pisa. Nesse livro, Galileu examinou a possibilidade de haver outro tipo de movimento que não fosse um dos dois movimentos aristotélicos - **natural** e **violento** -, o qual chamou de **neutro**. Como exemplo desse novo tipo de movimento afirmou que a **rotação** de um corpo em um plano vertical, não se enquadra nesses dois tipos de movimento

aristotélicos, já que o mesmo ora se encontra acima e ora abaixo do horizonte. Contudo, a tese aristotélica (vista acima) sobre o **movimento** e, em particular, sobre a **queda livre dos corpos** foi definitivamente refutada por Galileu em seu livro **Discorsi e Dimostrazione Matematiche intorno a Due Nuove Scienze** (“Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências”).^[3] Neste livro, Galileu abordou geometricamente as leis do equilíbrio dos corpos – sua primeira Ciência (hoje, conhecida como Resistência dos Materiais) – e as leis do movimento – sua segunda Ciência (Cinemática). Inicialmente, ele estudou o movimento uniforme e o uniformemente acelerado para, em seguida, aplicá-los à **queda livre dos corpos**, ao movimento dos corpos em planos inclinados, ao movimento do pêndulo, e ao **movimento de projéteis**. Na **queda livre** dos corpos, descobriu suas célebres leis:

- (1) *As velocidades (v) dos corpos em queda livre são proporcionais aos tempos (t) gastos na mesma ($v \propto t$)*
- (2) *Os espaços (s) percorridos pelos corpos em queda livre são proporcionais aos quadrados dos tempos gastos em descrevê-los ($s \propto t^2$).*

Por outro lado, em sua investigação sobre o movimento de corpos em planos inclinados lisos (sem atrito e considerados colocados no vácuo), Galileu observou que os tempos gastos na descida de um corpo ao longo do plano inclinado em sua **queda livre** do topo do plano, são proporcionais aos valores de seu comprimento (ℓ) e de sua altura (h). Na continuação desse estudo, Galileu mostrou (em linguagem atual) que se a for a aceleração do corpo ao longo do plano (de inclinação β para o qual se tem: $\sin \beta = h/\ell$) e g é a aceleração da gravidade de um corpo em **queda livre** (no vácuo), então: $a = g \sin \beta$. Dessa expressão é fácil concluir que se o plano estiver na vertical ($\beta = 90^\circ$), $a = g$, pois $\sin 90^\circ = 1$. Como esta expressão não depende da massa do corpo, ela é conhecida como a célebre afirmação de Galileu: - No vácuo, todos os corpos caem com a mesma aceleração!

(1.2) Medidas de Tempos.

Galileu usou um método engenhoso para medir os tempos em suas experiências.^[3] Assim, considerando a **clepsidra** (“relógio de água”) usada na Antiguidade como modelo, ele a aperfeiçoou da seguinte maneira: tomou um recipiente de grandes dimensões transversais, fez um diminuto furo em seu fundo e colocou certa quantidade de água que fluía por esse orifício até uma balança. Ora, devido às grandes dimensões do recipiente, praticamente a altura do nível d’água permanecia invariável, de modo que o tempo gasto na vazão era proporcional ao peso d’água que chegava à balança. Porém, como Galileu queria mais precisão em suas medidas do tempo, ele então usou o período de um pêndulo, cujas primeiras leis ele próprio descobriu ao observar quando assistia à missa na Catedral de Pisa, que o período de oscilações de um candelabro, colocado em movimento pelo vento, não dependia do fato de que tais oscilações fossem rápidas ou lentas. Ele comparou os períodos dessas oscilações contando sua própria pulsação.^[3] Galileu realizou experiências com pêndulos de diversos comprimentos de corda e diferentes pesos. Nelas, “percebeu” que as oscilações desses pêndulos, embora de amplitudes diferentes, sempre levam o mesmo tempo na oscilação completa (ida e volta). Isso, contudo, **não é verdade** como mostrou o físico holandês Christiaan Huygens (Haia 1629-1695), em 1659.^[4]

(1.3) Tempos em Quedas Livres dos Corpos.

Vejam agora como entram aqui os “**artifícios**” relacionados com a **queda livre dos corpos**. Quando Galileu realizou suas medidas sobre **queda livre dos corpos** efetuou medidas de tempos com oscilações pendulares não fazendo, no entanto, distinção entre grandes e pequenos arcos, pois chegou a considerar α entre 50° e 60° . Ora, segundo os trabalhos de Huyghens^[4] os tempos de oscilação são bem menores para ângulos pequenos do que para ângulos maiores. Assim, segundo o físico norte-americano Steven Weinberg (n.1933; PNF, 1979)^[1] essas medidas feitas por Galileu “sugerem que ele não chegou a realizar efetivamente todos os experimentos pendulares que declarou”. Esse seria então um “**artifício**” de Galileu...

(2) Geocentrismo, Heliocentrismo e Kepler.

(2.1) Geocentrismo.

É bem provável que as primeiras observações sistemáticas dos fenômenos celestes aconteceram na Babilônia e em Nineveh, duas cidades situadas na Mesopotâmia (hoje, uma parte do Iraque), cidades essas que existiram milhares de anos *antes de Cristo* (a.C.). Essas observações foram realizadas por sacerdotes dessas cidades-estados, que tinham por hábito observar os movimentos da Lua, do Sol e dos planetas [Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno] e das estrelas “fixas”. Como o Sol “aparece” no início do dia e “desaparece” em seu final, tudo indicava que ele “girasse” em torno de nosso planeta Terra) e, assim, foram desenvolvidos os chamados **modelos geocêntricos** (tendo a Terra como centro), desde a Antiguidade. O principal deles foi o formulado pelo astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165 a.C.).^[5] para poder explicar o movimento dos planetas e suas irregularidades (p. ex.: movimento retrógrado; órbitas planetárias não circulares; velocidades planetárias variáveis; Mercúrio e Vênus sempre observados próximo do Sol; etc.). Essa obra de Ptolomeu,^[5] composta de 13 volumes, foi traduzida pelos árabes, por volta do Século 9 d.C., recebendo então o nome de **Al-Magisti** ou **Almagest** (“O Grande Tratado”). Nesse **modelo geocêntrico de Ptolomeu**, as órbitas planetárias circulares tinham como centro um ponto próximo da Terra: o **equante**.

(2.2) Heliocentrismo.

Como as irregularidades no modelo Geocêntrico estavam sendo cada vez mais difíceis de explicação, foram então formulados os **modelos heliocêntricos** (sendo o Sol seu centro), também desde a Antiguidade, sendo seu principal representante o apresentado pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543)^[6] em seu manuscrito **Commentariolus** (“Pequeno Comentário”), provavelmente escrito em 1510. É interessante registrar que esse livro circulou apenas entre seus alunos e amigos, dentre os quais se encontrava o matemático e astrônomo austríaco Georg Joachim von Lauchen (Rheticus) (1514-1576). Nesse livro, ao analisar o **modelo geocêntrico de Ptolomeu**, Copérnico criticou o conceito do **equante**, pois o mesmo entrava em conflito com “a regra do movimento absoluto” segundo a qual tudo deveria se mover em movimento uniforme de rotação em torno do centro do mundo que era perto do Sol. Ora, isso não acontecia no **modelo ptolomaico**, pois neste os planetas giravam também em órbitas

circulares, mas a rotação era uniforme em relação a um ponto que não coincidia com o centro da circunferência.

Em 1543, estimulado por Rheticus, Copérnico publicou seu famoso livro^[6] **De Revolutionibus Orbium Coelestium** (“Das Revoluções dos Corpos Celestes”), no qual apresentou os seguintes postulados que caracterizavam seu **modelo planetário heliocêntrico** (ou **modelo heliocêntrico de Copérnico**):

- (1) *O princípio metafísico básico era o da perfeição do movimento circular;*
- (2) *O centro da Terra não era o centro do Universo, e sim, apenas o centro da esfera lunar;*
- (3) *O centro do mundo era perto do Sol;*
- (4) *É a Terra e não a esfera das estrelas fixas que gira em torno de seu eixo, cada 24 horas;*
- (5) *A distância Terra-Sol é muito menor do que a distância Sol-Estrelas Fixas.*

O **modelo heliocêntrico de Copérnico** explicou naturalmente o **movimento retrógrado** dos planetas como sendo devido às velocidades dos mesmos em relação a Terra. Assim, a razão de a retrogradação de Mercúrio e de Vênus só ocorrer quando estão em conjunção deve-se a sua maior velocidade; e a razão da retrogradação de Marte, Júpiter e Saturno só ocorrer em oposição, deve-se à menor velocidade deles, também em relação a Terra. Além dessa explicação, Copérnico determinou a escala do sistema solar, em Unidade Astronômica (UA), ou seja, a distância Terra-Sol: Mercúrio ~ 0,3763 UA; Vênus ~ 0,7193 UA; Marte ~ 1,5198 UA; Júpiter ~ 5,2192 UA; e Saturno ~ 9,1743 UA. Note-se que Copérnico teve, também, de usar 48 epiciclos para explicar as diversas observações sobre os movimentos dos planetas e da própria Terra, por haver considerado que os planetas descreviam apenas movimentos circulares uniformes em torno do Sol. Note-se, também, que para justificar a razão de não observação de qualquer paralaxe (deslocamento aparente de uma estrela no céu em virtude de duas observações, da mesma, em lugares diferentes) anual das estrelas fixas, Copérnico usava seu quinto postulado, e a deficiência dos instrumentos astronômicos para medi-la.

A não observação da paralaxe estelar foi também o motivo que levou o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601)^[7] a não aceitar o **modelo heliocêntrico de Copérnico**. Em vista disso, e por este contradizer a **Bíblia** ele apresentou em 1574 seu próprio modelo: o **modelo geo-heliocêntrico de Tycho-Brahe**:

Terra parada e girando em torno dela estavam a esfera das estrelas fixas, a Lua e o Sol; este, por sua vez, carregava em torno de si os demais planetas.

(2.3) Modelo Heliocêntrico de Kepler.

Em 1595 Kepler^[8] o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630)^[8] procurava uma demonstração matemática para o **modelo heliocêntrico de Copérnico**, desde que o aprendera com o também astrônomo alemão Michael Maestlin (1550-1631). Assim, em 09 de julho de 1595, ao situar um triângulo entre dois círculos, percebeu que a razão entre os raios desses círculos era a mesma entre os das órbitas de Júpiter e Saturno. Em vista deste resultado, tentou inscrever outras figuras geométricas planas entre as órbitas dos planetas. Como tal modelo não se enquadrava com o de Copérnico, Kepler partiu então para os sólidos regulares pitagóricos-platônicos: tetraedro (4 faces), hexaedro (cubo: 6 faces), octaedro (8 faces), dodecaedro (12 faces) e icosaedro (20 faces).^[8,9] Inicialmente, inscreveu entre as esferas dos planetas apenas o cubo. No entanto, ao comparar a relação entre os raios dessas esferas e as distâncias das órbitas dos planetas dadas pelo **modelo de Copérnico**, verificou que havia uma grande discrepância. Em seguida, fez uma nova tentativa, deixando o cubo entre as esferas de Júpiter e Saturno e os cubos entre as esferas de Marte e Terra, Terra e Vênus, Vênus e

Mercúrio foram substituídos, respectivamente, pelo dodecaedro, icosaedro e octaedro. Relacionando agora os raios dessas esferas com as distâncias planetárias copernicanas, verificou que a discrepância diminuía, à exceção de Mercúrio, cuja esfera tangenciando o octaedro não explicava seus movimentos. Desse modo, teve que apelar para um "**artifício**",^[10] ou seja, o de inscrever a esfera correspondente a Mercúrio no quadrado formado pelas quatro arestas medianas do octaedro.^[8,9] Em vista desse sucesso parcial, Kepler continuou melhorando seu modelo matemático cada vez mais. Assim, substituiu cada esfera por duas, onde o raio da menor era a menor distância do planeta ao Sol e o raio maior, conseqüentemente, a maior distância orbital.

Depois de muito aperfeiçoado, podemos ver nas referências 8 e 9 e outras lá mencionadas o famoso **modelo heliocêntrico de Kepler**. Neste o **artifício** introduzido num dado instante das pesquisas desapareceu!

(3)Becquerel e a Radioatividade.

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen^[11] (1845-1923; PNF, 1901) que estava interessado na luminescência^[12] que os raios catódicos^[13] provocam em determinados produtos químicos descobriu uma nova espécie de raios que ele denominou de raios-X.^[14]

Na sessão do dia 20 de janeiro de 1896 da Academia Francesa de Ciências, o matemático e físico francês Henri Poincaré (1854-1912) apresentou as primeiras fotografias de raios-X enviadas por Roentgen. Presente a essa sessão estava o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908; PNF, 1903).^[15] Sendo especialista de *luminescência* (fluorescência e fosforescência) Becquerel passou a realizar experiências procurando uma relação entre as substâncias fluorescentes e a emissão dos raios-X por parte das mesmas. Não encontrou tal relação, no entanto, **descobriu um novo fenômeno físico**. Com efeito, em fevereiro de 1896, Henri Becquerel observou que cristais de sulfato de urânio-potássio [contendo urânio: óxido de urânio (UO₂)] eram capazes de impressionar uma chapa fotográfica recoberta com papel escuro, estando o conjunto exposto à luz solar. Como na primeira experiência que realizou, ele havia submetido o conjunto aos raios solares, então a explicação que deu para o fato de haver sido impressionada a chapa fotográfica, foi a de que a luz solar havia provocado fluorescência nos cristais com a emissão de **raios-X** que, por sua vez, atravessaram o papel escuro que envolvia os cristais, indo, por conseguinte, impressionar a chapa fotográfica. Em outra experiência, realizada no dia 01 de maio de 1896 e, desta vez, sem uso da luz solar (provavelmente em um dia chuvoso de Paris), o fenômeno se repetiu. Becquerel concluiu então que o composto emitia certos "raios" descobrindo, dessa forma, **um novo fenômeno físico** que ficou conhecido como "**raios de Becquerel**" e posteriormente de "**radioatividade**".

Como acreditava que os raios fossem de origem eletromagnética ele foi levado a cometer erros experimentais tais como descrevendo evidências de que os raios podiam ser refletidos regularmente, refratados e polarizados. Verificou-se pouco depois que os raios eram compostos de partículas α (núcleo de He), β (elétrons) e raios γ . Ele ganhou o Nobel pela **descoberta da radioatividade** em 1903 juntamente com Pierre e Marie Curie. A interpretação errada sobre a natureza dos raios não invalidou a sua descoberta.

(4) Millikan e a Carga do Elétron.

N referência [1] vemos uma descrição detalhada de muitas pesquisas realizadas desde 1897 até 1906 para determinar a carga elétrica elementar de elétrons (e) e sobre a razão e/m. **Robert Andrews Millikan** (1868-1953)^[16] começou as suas pesquisas, por volta de 1906 na Universidade de Chicago. Em 09 de outubro, Millikan preparou uma primeira versão de suas experiências e a enviou para a Philosophical Magazine, que só o publicou em 1910, no volume **19**, p. 209. Logo depois, em 23 de outubro de 1909, na reunião da American Physical Society, em Princeton, Millikan voltou a apresentar os primeiros resultados da famosa **experiência da gota de óleo**,^[1] que foram publicados ainda em 1909 (PR **29**, p.560). Neste artigo, relatando a experiência acima, Millikan apresentou o seguinte valor: $e = 4.69 \times 10^{-10}$ esu. É oportuno notar que nesses artigos não foram citados os seus colaboradores, Begeman e Fletcher. Em 21 de abril e 12 de maio de 1910, Ehrenhaft apresentou à Academia de Ciência de Viena novos resultados de experiências sobre a determinação de (e), que foram publicados, ainda em 1910 (Anzeiger der Akademie der Wissenschaften/Viena **10**, p. 118; **13**, p. 815). Ele realizou 300 medidas da carga elétrica em partículas de platina (Pt) e de prata (Ag). As 22 medidas de cargas reproduzidas por Ehrenhaft, se encontram no seguinte intervalo: $(1.38 - 7.53) \times 10^{-10}$ esu. Assim, concluiu que as partículas carregadas não só têm uma carga elétrica simples ou dupla, mas também podem ter cargas **entre** e **abaixo** desses valores e, desse modo, propôs a existência de **subelétrons** e, mais ainda, que a carga elétrica indivisível não deveria existir na Natureza, pelo menos abaixo do valor mínimo de 0.9×10^{-10} esu, que corresponde a um valor fracionário ($\sim 2/3$) do valor médio de $e = 3.0 \times 10^{-10}$ esu. Que também foi obtido por Karl Prezibram, em 1910 (Anzeiger der Akademie der Wissenschaften/Viena **1**, p.175), ao repetir essas as experiências.

Em 23 de abril de 1910, Millikan participou da reunião da American Physical Society, no qual apresentou um novo valor para $e = 4.9016 \times 10^{-10}$ esu, que foi publicado em julho de 1910 (PR **31**, p. 92) e em setembro de 1910 (Science **32**, p. 439). Em 1911, em trabalhos independentes, Millikan (Physikalische Zeitschrift **12**, p. 161; PR **32**, p. 392) e Fletcher (Physikalische Zeitschrift **12**, p. 202; PR **33**, p. 107) registraram novos resultados para o valor de e. Conforme vimos acima, em suas experiências de 1910, Ehrenhaft havia encontrado valores fracionários para a carga elétrica: os seus **subelétrons**. Por sua vez, Millikan, em suas experiências realizadas entre 11 de novembro de 1911 e 16 de abril de 1912, havia trabalhado com 140 gotas. Porém, como 82 delas apresentavam valores abaixo da média, que era como vimos antes em torno de 4.7×10^{-10} esu. Em 1913 Millikan publicou resultados de somente 58 gotas. Ele **omitiu resultados de medidas de 82 gotas** e considerou a carga elétrica média definitiva como sendo: $e = (4.774 \pm 0.009) \times 10^{-10}$ esu. O valor atualmente aceito é $4.80320425(10) \times 10^{-10}$ esu = $1.6021766208(98) \times 10^{-19}$ C. Acreditamos que essa omissão, sem justificativa, foi **intuitiva** pois acreditou que assim chegaria a um valor mais realista para a carga do elétron.

(5) Willian Crookes e Espiritualismo.^[17]

xx

Na vida dos físicos existe um dilema: ou nós conhecemos todas as forças da natureza ou não. A primeira alternativa é tão ridícula que realmente não vale a pena nem refutá-la. Os nossos sentidos são tão limitados, tão imperfeitos, que o mundo nos escapa inteiramente. Podemos dizer que se não fosse por acaso que um pedaço de ferro não tivesse sido colocado próximo de uma magnetita, nós teríamos permanecido sempre

ignorantes sobre a atração que uma magnetita exerce sobre o ferro. Até o final do séc.19 ninguém suspeitava, por exemplo, da existência dos raios-X, da radioatividade e das ondas Hertzianas. A radiação de fundo de micro-ondas do Universo somente descoberta em meados do século 20, etc..

Desde os primórdios da humanidade há relatos de "experiências sobrenaturais", da existência de "forças espirituais."^[18,19] Baseadas nessas "experiências" várias doutrinas filosóficas e/ou religiosas foram propostas tendo como fundamento básico a afirmação da existência do espírito ou alma. Esta é descrita como o elemento primordial da realidade, tendo autonomia, independência e primazia sobre a matéria. Essas doutrinas espiritualistas são contrárias ao materialismo e datam de milhares de anos.

Para mostrar a realidade dessas forças e entidades muitos trabalhos sem sucesso tinham sido feitos até quando Crookes começou a se interessar pelo espiritualismo. Em 1870 Crookes decidiu guiado por sua intuição (como acreditamos!) que tinha a obrigação de estudar os fenômenos associados com o espiritualismo adotando métodos científicos. Assim, experimentos foram realizados para estabelecer conclusivamente a existência (ou não) de uma **nova força**, conectada com o organismo humano, até então desconhecida.

Baseado em suas experiências realizadas durante vários anos Crookes afirmou^[17,19], por exemplo:

- (1)"Esses experimentos parecem estabelecer conclusivamente a existência de uma nova força, conectada com o organismo humano de alguma maneira desconhecida."
- (2)"É absolutamente verdadeiro que uma conexão foi estabelecida entre este mundo e o outro".
- (3)"Já se passaram trinta anos desde que publiquei um relatório dos experimentos tendentes a mostrar que fora de nosso conhecimento científico existe uma Força utilizada por inteligências que diferem da comum inteligência dos mortais ... Nada tenho a me retratar. Confirmando minhas declarações já publicadas. Na verdade, muito teria que acrescentar a isto". (Crookes, 1898).

Crookes não estava só nessa opinião. Outros cientistas que passaram a confirmar a comunicação de espíritos incluíam Alfred Russel Wallace(1823-1913), Sir Oliver Joseph Lodge (1851-1940), John William Strutt (Lord Rayleigh)(1842-1919;PNF,1904) e William James(1842-1910).^[17,19]

(6)Kamerling Onnes e a Supercondutividade.^[20]

Grandes avanços na área da refrigeração a baixíssimas temperaturas foram feitos durante o século XIX. A supercondutividade foi primeiramente retratada em 1911 pelo físico holandês, Heike Kamerlingh Onnes, cuja grande parte da sua contribuição científica está no campo da refrigeração a temperaturas extremamente baixas. Por volta de 1908, em seu laboratório em Leiden, conseguiu liquefazer o hélio resfriando algumas amostras a uma temperatura de 1 K. Onnes produziu apenas poucos milímetros cúbicos de hélio líquido naqueles dias, mas foi um marco para novas explorações em regiões de temperaturas nunca antes estudadas. O hélio líquido permitiu a possibilidade e se alcançar temperaturas próximas ao zero absoluto, a menor possível de se alcançar.

Ainda em 1911, Onnes começou a investigar as propriedades elétricas dos metais em temperaturas extremamente frias. Pois já era conhecido há muitos anos que a resistência elétrica dos metais tende a diminuir quando resfriados abaixo da temperatura ambiente, mas não se sabia até que ponto limite a resistência conseguiria cair com o diminuir da temperatura. Alguns cientistas, como o físico inglês William Thomson

(Lord Kelvin)(1824-1907), acreditavam que o fluxo de elétrons num condutor seria completamente parado quando a temperatura se aproximasse do *zero absoluto*. Outros cientistas, inclusive o próprio Onnes, acreditavam que a resistência elétrica iria se dissipar. Muitos também sugeriram que a resistência diminuiria constantemente favorecendo a melhor condução de eletricidade. Num ponto onde a temperatura era baixíssima, os cientistas perceberam que havia um nivelamento no comportamento do material onde a resistência praticamente desaparecia. O grupo de Onnes tentou então atravessar uma corrente elétrica por uma amostra muito pura de mercúrio em forma de fio, e mediu a variação da sua resistência elétrica em função da temperatura. A 4,2 K a resistência simplesmente sumiu, e para surpresa dos cientistas, havia uma corrente fluindo através do fio de mercúrio e nada impedia seu fluxo, a resistência era zero. De acordo com Onnes, "*O mercúrio havia passado para um novo estado, e que em virtude das suas extraordinárias propriedades elétricas deveria ser chamado de estado supercondutor*". Os resultados experimentais não deixavam dúvidas sobre o desaparecimento da resistência elétrica e abriram as portas para uma nova área de pesquisa batizada pelo próprio Onnes de supercondutividade. Foi reconhecida a importância desta descoberta na comunidade científica pelo seu potencial econômico e comercial. Pois num condutor elétrico sem resistência teoricamente poderia transportar correntes sem perdas, não importando a distância a ser percorrida. O grupo de Onnes descobriu que fios supercondutores atravessados por uma corrente em "loop" mesmo depois de anos ligados não apresentavam perda no fluxo podendo permanecer ativos por um tempo inestimável, chamando esse fenômeno de correntes persistentes. Por seus esforços, talvez numa busca **intuitiva** persistente de algo que ele acreditava ser fundamental, Onnes foi contemplado com o PN em 1913.

Notemos durante muito tempo os físicos teóricos não conseguiram explicar a supercondutividade . Isso só feito cerca de 50 anos mais tarde usando o formalismo de segunda quantização pelos físicos norte-americanos John Bardeen (1908-1991; PNF, 1956; 1972), Leon Neil Cooper (n.1930; PNF, 1972) e John Robert Schrieffer (n.1931; PNF, 1972) em 1957.^[21]

(7)Penzias e Wilson e a Radiação Cósmica de Fundo do Universo.^[22]

Em Cosmologia, a **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** é uma forma de radiação eletromagnética, cuja existência foi prevista teoricamente por George Gamov, Ralph Alpher e Robert Herman em 1948. Ela se caracteriza por apresentar um espectro térmico de corpo negro com intensidade máxima na faixa de micro-ondas. Basicamente, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas é o **fóssil** da luz, resultante de uma época em que o Universo era quente e denso, apenas 380 mil anos após o Big Bang. A radiação cósmica de fundo em micro-ondas é, ao lado do afastamento das galáxias e da abundância de elementos leves, uma das mais fortes evidências observacionais do modelo do Big Bang, que descreve a evolução do universo. Essa radiação de fundo é uma radiação eletromagnética que preenche todo o universo, cujo espectro é o de um **corpo negro** a uma temperatura de 2.725 K. Ela tem uma frequência de pico de 160.4 GHz, o que corresponde a um comprimento de onda de 1.9 mm. Ela é isotrópica até uma parte em 100 000. Este ruído pode ser compreendido como um "fóssil" de uma época em que o universo era muito novo e muito quente. Os fótons

gerados no Big Bang (há 13,7 bilhões de anos-luz atrás) continuaram a esfriar desde então, atingindo a temperatura de 2.7 K, e essa temperatura continuará a diminuir enquanto o universo continuar a se expandir.

A proposta de Gamow *et al.* foi ignorada por mais de 20 anos. Porém, na década de 60, Penzias e Wilson trabalhavam na instalação de uma grande antena na Bell Telephones, quando observaram que havia um problema, pois para qualquer canto que apontassem, encontravam um ruído. Pensaram que eram fezes de pombos e limpavam com as próprias mãos o cocô dos animais.^[23] Continuaram insistindo..levados pela intuição? Mas, o ruído continuou ...Quando não sabiam mais o que fazer, consultaram o grupo de físicos teóricos da Universidade de Princeton [Robert Henry Dicke (1916-1997), Phillip James Edwin Peebles (n.1935) (de origem canadense), Peter Guy Roll e David Todd Wilkinson (1935-2002)] que trabalhavam com a hipótese de que a radiação de um Universo primitivo, superconcentrado e superquente teria se resfriado pela expansão do mesmo e seria, agora, equivalente a poucos graus acima de 0 K. Esse grupo disse a Penzias e Wilson que eles haviam involuntariamente descoberto o que muitos físicos estavam tentando encontrar, ou seja, a Radiação Cósmica de Fundo de Microondas, decorrente do Big Bang. Apesar da descoberta ter sido acidental eles receberam o PN de 1978, pela relevância do achado e, por que não, diríamos, devido a uma forte **intuição** que os impelia a continuar a pesquisar...

(8) E. Lorenz e os Sistemas Caóticos Dissipativos.

O matemático e meteorologista Edward Lorenz^[24] construiu um modelo matemático simplificado do modo como o ar se move na atmosfera, chegando à conclusão que pequenas variações nos valores iniciais das variáveis do seu modelo levavam a resultados muito divergentes. Esta sensibilidade às circunstâncias iniciais veio depois a ser conhecida como o **efeito borboleta**. Lorenz publicou as suas conclusões num trabalho seminal intitulado *Deterministic Nonperiodic Flow*,^[25] em que descreveu um sistema relativamente simples de equações que resultam num padrão de complexidade infinita, o **Atrator de Lorenz**. E. Lorenz fez seu doutoramento em sistemas dinâmicos sob a orientação de G. D. Birkhoff^[26]

No início da década de 1960 muitos cientistas estavam desenvolvendo sofisticados métodos lineares para a previsão do tempo. Lorenz intuiu que a dificuldade na previsão meteorológica estaria relacionada às instabilidades das soluções devido a não linearidade das equações diferenciais que descrevem os modelos propostos para a evolução das condições atmosféricas. Como as equações exatas desses modelos não são integráveis conforme trabalho de Birkhoff em 1927,^[26] Lorenz obteve soluções numéricas para as equações consideradas e confirmou a sua intuição verificando as instabilidades dessas soluções.^[25] Inicialmente, Lorenz considerou um modelo de fluido com dimensão finita, com 12 equações acopladas, para descrever a atmosfera, com muitos parâmetros de controle que ele não tinha como escolher. Com o uso de um computador com uma memória pequena de 16KB, que fazia apenas 60 multiplicações por segundo, Lorenz obteve soluções não periódicas para muitos parâmetros escolhidos.

Ao interromper as séries temporais obtidas, notou que o número de algarismos com que anotava os valores das variáveis no momento da interrupção, necessárias para posteriormente continuar a integração numérica desejada, percebeu que as continuações das séries numéricas diferiam se a precisão, isto é, o número de algarismos anotados aumentasse. Ele identificou esse efeito como sendo a *sensibilidade das soluções às condições iniciais*, ou seja, soluções com condições iniciais próximas divergem ao longo do tempo. Para Lorenz essa sensibilidade era a manifestação das instabilidades dinâmicas inerentes às soluções obtidas. Concluiu, então, que seria impossível prever as condições meteorológicas por um tempo longo devido à não linearidade das equações analisadas, que descrevem os modelos considerados, e as instabilidades identificadas. A evolução dessas instabilidades amplificava as incertezas nas previsões obtidas a partir das incertezas das condições iniciais consideradas.^[27]

Posteriormente, Lorenz aprofundou a sua análise considerando um modelo mais simples com 7 equações diferenciais acopladas utilizado em 1962 por Barry Saltzman.^[28] Ele simplificou consideravelmente esse modelo ao considerar soluções numéricas particulares obtidas para 4 variáveis constantes. As evoluções das 3 variáveis restantes foram determinadas pelas soluções numéricas de 3 equações acopladas. O conjunto de 3 equações obtidos tinha o menor número de equações diferenciais necessário para essas equações serem não integráveis e terem soluções não periódicas; atualmente essas 3 equações são conhecidas como o sistema de Lorenz.^[29,30] Para esse sistema, Lorenz constatou a existência das instabilidades das soluções numéricas não periódicas. Em seu artigo famoso de Lorenz em 1963^[27a] ele apresentou o seu sistema de 3 equações e mostrou que as soluções não periódicas eram sensíveis às condições iniciais. Após um transiente, as soluções tendiam a um conjunto limite conhecido atualmente como atrator de Lorenz^[27b] Esse limite, obtido numericamente, foi a primeira solução não periódica instável, com sensibilidade às condições iniciais, obtida na literatura. Atualmente esse limite é reconhecido como um atrator caótico.^[29,30]

A descoberta dessas soluções por Lorenz, a partir da sua intuição, é reconhecida como o primeiro atrator caótico encontrado em sistemas dissipativos.^[29] Esse resultado permaneceu alguns anos sem que os matemáticos e físicos se dessem conta da sua importância. Entretanto, com a facilidade de acesso aos computadores e a partir da expansão das pesquisas sobre caos iniciada nos anos 1970, esse trabalho passou a ser um dos mais conhecidos nessa área. Atualmente, o sistema de Lorenz é muito usado como um paradigma para o estudo de equações não lineares acopladas, bifurcações e propriedades de atratores caóticos.

REFERÊNCIAS

[1] J.M.F. Bassalo. www.searadaciencia.ufc.br.

[2] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles>

[3] https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei

Ver também Great Books of the Western World 26, Encyclopaedia Britannica, 1993), publicado em 1638. "Gênios da Humanidade" (Bloch Editores, 1972). James Reston, Jr., "Galileu: Uma Vida" (José Olympio, 1995); Ludovico Geymonat, "Galileu

Galilei" (Nova Fronteira, 1997)]; "Galileo Galilei and Motion", Roberto V. Caffarelli (Springer, 2009).

[4] https://pt.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens

Ver também seu famoso livro de 1673: "Horologium Oscillatorium, sive De Motu Pendulorum ad Horologia Aptato Demonstrationes Geometricae" ("O Relógio de Pêndulo, ou Demonstrações Geométricas Concernentes ao Movimento do Pêndulo Igualmente Aplicado aos Relógios").

[5] https://es.wikipedia.org/wiki/Claudio_Ptolomeo

[6] https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico

[7] https://pt.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe

[8] https://pt.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler

[9] https://www.google.com/search?q=Kepler+Heliocentric+Model&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=LHpQCcnjSE383M%253A%252C617dnPbEqC5pKM%252C_&usq=_a_Z5FbQPpn2Bo-zv4IKIy6x-poc%3D&sa=X&ved=0ahUKEwj5vtD3zunaAhXCoFMKHYKFBdIQ9QEIPTAC#imgc=LHpQCcnjSE383M:

[10] Arthur Koestler. "O Homem e o Universo" (IBRASA, 1989), pgs. 174; 404.

[11] https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen

[12] https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel

[11] https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen

[12] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Luminesc%C3%A2ncia/>

[13] https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_cat%C3%B3dico

[14] https://pt.wikipedia.org/wiki/Raios_X

[15] https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel

[16] https://pt.wikipedia.org/wiki/Experi%C3%A2ncia_da_gota_de_%C3%B3leo

[17] https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Crookes

[18] J. Maxwell and C. Richet. "Metapsychical Phenomena". Duckworth and Co. (1905).

[19] Conan Doyle. "História do Espiritismo". Editora Pensamento (2000).

[20] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Supercondutividade>

[21] J. Bardeen, L. N. Cooper and J. R. Schrieffer. PR108,1175 (1957).

[22] https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_c%C3%B3smica_de_fundo_em_micro-ondas/

[23] <http://www.gazetainformativa.com.br/o-big-bang-e-as-fezes-das-pombas/>

[24] https://pt.wikipedia.org/wiki/Edward_Lorenz/

[25] https://en.wikipedia.org/wiki/George_David_Birkhoff/

[26] G. O. Birkhoff, Dynamical Systems, Amer. Math. Soc. , Colleq. Public. (1927).

[27a] E. Lorenz, "Deterministic non periodic flow", Journal of the Atmospheric Sciences 20, 130 (1963).

[27b] E. Lorenz, "A Essência do Caos", Ed.UnB. (1996).

[28] B. Saltzman, "Finite amplitude free convection as an initial value problem", I. J. Atmos. Sci. **19**, 329 (1962).

[29] K. T. Alligood, T. D. Sauer, J. A. Yorke, "Chaos, an introduction to dynamical systems", Springer, 1997.

[30] L. H. A. Monteiro, "Sistemas dinâmicos", Livraria da Física, 2002.

