

TEORIA DO ÍMPETO

Leandro Bertoldo

*Dedico este livro
às pessoas mais importantes em minha vida:
meus pais
José Bertoldo Sobrinho e Anita Leandro Bezerra,
que sempre se preocuparam
com o meu bem estar,
com a minha educação,
com a minha formação de caráter e,
principalmente,
acreditaram em mim,
apesar de minhas muitas falhas.*

*“Aquele que mais profundamente estudar os mistérios da
natureza,
mais plenamente se compenetrará de sua própria ignorância e
fraqueza.
Compreenderá que existem profundidades e alturas que não pode-
rá atingir,
segredos que não poderá penetrar, e vastos campos de verdades
jazendo diante de si não penetrados”.*

Ellen Gould White

Escritora, conferencista, conselheira
e educadora norte-americana.
(1827-1915)

PREFÁCIO

A história da Teoria do Ímpeto é uma parte integrante da história do dinamismo, e está ligada profundamente à vida dos grandes heróis da física moderna, entre os quais se destacam: Descartes, Galileu e Newton. O conceito de ímpeto proporciona uma visão fascinante da antiga física do movimento que predominou durante toda a Idade Média, e veio a influenciar as maiores mentes da filosofia natural antiga e moderna.

As origens do conceito de dinamismo remontam à antiga Grécia, dois mil e trezentos anos antes de Leandro Bertoldo criar uma forma moderna de dinamismo. Deste modo, o dinamismo é o elo da corrente que liga a física de Aristóteles do princípio de que “tudo o que se move é movido por outro” às ideias mais sofisticadas da Física Clássica.

A formação deste livro está baseada numa estrutura basicamente cronológica, que começa descrevendo a natureza revolucionária do dinamismo de Aristóteles no estudo da Mecânica, passando pela influente Teoria do Ímpeto e terminando com a apresentação da moderna Teoria do Dinamismo, e tudo isso analisado sob o olhar crítico da física moderna.

Uma breve introdução oferece ao leitor um vislumbre do que será discutido e analisado no decorrer deste livro. O capítulo I conta a história da vida pessoal de Aristóteles de Estagiam, descreve como esse sábio compreendia a causa do movimento e discorre sobre as razões dos seus principais equívocos. O capítulo II narra a história do astrônomo grego Hiparco de Nicéia e a sua proposta alternativa à mecânica de Aristóteles, na explicação das causas dos movimentos violentos.

O capítulo III descreve as ideias de alguns dos grandes intelectuais da Idade Média que introduziram no estudo da filosofia natural o conceito de ímpeto. Entre esses estudiosos foram relacionados: Filopono, Avicena, Buridan e Nicole d’Oresme. No capítulo IV o autor faz uma rigorosa crítica mos-

trando as deficiências da Teoria do Ímpeto em face dos conceitos da moderna ciência da física.

Dos capítulos V ao X o autor procura mostrar que os cientistas da Idade Moderna adotaram em algum momento de suas vidas os conceitos mais sofisticados da Teoria do Ímpeto, com o objetivo de explicar os fenômenos que estavam sendo descobertos e analisados experimentalmente pela nova física. Deste modo, Descartes tentou explicar a aceleração dos corpos pelos acréscimos infinitesimais de ímpeto. Galileu teorizou o cálculo do valor do ímpeto resultante num movimento retilíneo e uniforme e num movimento uniformemente variado. Newton procurou explicar o movimento inercial pelo conceito de uma força intrínseca inerente ao móvel.

Os capítulos XI e XII abordam a história pessoal de Leandro Bertoldo e a sua descoberta da moderna Teoria do Dinamismo. O capítulo final faz uma breve retrospectiva da essência de tudo o que foi apresentado nos demais capítulos, mostrando algumas falhas dos antigos conceitos de dinamismo defendidos por vários filósofos naturais desde Aristóteles até Newton. Também apresenta o moderno dinamismo como uma grande teoria unificadora da Cinemática com a Dinâmica, e também como a única solução racional para vários problemas apresentados pela Mecânica Clássica.

Ao contar a história do dinamismo no decorrer do tempo, o autor procurou evitar a apresentação de qualquer equação, limitando-se muitas vezes a apresentar seu enunciado na forma de prosa, com a explicação de seu conteúdo físico.

Embora o ímpeto seja uma teoria de dinamismo bastante antiga, e tenha sido a menina dos olhos de muitos filósofos naturais escolásticos, chegando mesmo a influenciar os cientistas do início da Idade Moderna, o autor espera ter conseguido transmitir um entendimento claro e conciso sobre tal conceito, oferecendo ao leitor um vislumbre do mundo fascinante do dinamismo aplicado na física antiga e moderna.

Leandro Bertoldo

SUMÁRIO

Introdução

1. Aristóteles e o movimento

- 1.1. Introdução
- 1.2. Aristóteles de Estagira
- 1.3. Mecânica aristotélica
- 1.4. Equívoco de Aristóteles

2. Hiparco de Nicéia

- 2.1. Introdução
- 2.2. Obras
- 2.3. Mecânica de Hiparco

3. A Teoria do Ímpeto

- 3.1. Introdução
- 3.2. As Idéias de Giovanni Filopono
- 3.3. As Idéias de Avicena
- 3.4. As Idéias de Jean Buridan e Nicole d'Oresme
- 3.5. As Idéias de Nicole d'Oresme
- 3.6. A Influência da Física Parisiense

4. Críticas à Teoria do Ímpeto

- 4.1. Introdução
- 4.2. Deficiências da Teoria do Ímpeto
- 4.3. Postulados da Teoria do Ímpeto
- 4.4. Conclusão

5. Transição do Paradigma

- 5.1. Introdução
- 5.2. Isaac Beekman

6. Descartes e a Teoria do Ímpeto

- 6.1. Introdução
- 6.2. Idéias de Descartes

6.3. Teoria do movimento de Descartes

6.4. René Descartes

7. Galileu e a Teoria do Ímpeto

7.1. Introdução

7.2. As Modernas Idéias de Galileu Galilei

7.3. Conclusões de Galileu Galilei

8. Galileu Galilei

8.1. Introdução

8.2. Desenvolvimento do Gênio

8.3. Professor na Universidade de Pisa

8.4. Professor na Universidade de Pádua

8.5. A Mulher e os Filhos de Galileu

8.6. A invenção do Telescópio

8.7. As Observações com o Telescópio

8.8. Na Corte de Cosimo de Medici

8.9. Início dos Aborrecimentos

8.10. Diálogo Sobre os Dois Maiores Sistemas do Universo

8.11. Diante da Inquisição

8.12. Decadência

9. Isaac Newton

9.1. Introdução

9.2. Nascimento e Educação

9.3. Descobertas científicas

9.4. *Principia*

9.5. Óptica

9.6. Alquimia

9.7. Teologia

9.8. Reconhecimento

10. Newton e a Teoria do Ímpeto

10.1. Introdução

- 10.2. Primeira Versão de “De motu”
- 10.3. Terceira Versão de “De motu”
- 10.4. As Revisões newtonianas
- 10.5. Adoção do Princípio da Inércia
- 10.6. Princípio Fundamental da Dinâmica
- 10.7. Princípio da Ação e Reação
- 10.8. Conclusão

11. Leandro Bertoldo

- 11.1. Introdução
- 11.2. Nascimento
- 11.3. A Influência
- 11.4. Educação Escolar Primária
- 11.5. Primeiras Experiências
- 11.6. Escola de Primeiro Grau
- 11.7. Escola de Segundo Grau e Universidade
- 11.8. Primeiro Casamento
- 11.9. As Pesquisas
- 11.10. Segundo Casamento
- 11.11. Natureza Pessoal
- 11.12. Publicações
- 11.13. Início da Teoria do Dinamismo
- 11.14. Generalização da Teoria do Dinamismo
- 11.15. Conclusão

12. A Teoria do Dinamismo

- 12.1. Introdução
- 12.2. Início do Dinamismo
- 12.3. Desenvolvimento do Dinamismo
- 12.4. Dificuldades com a Teoria
- 12.5. A Solução dos Problemas
- 12.6. Leis do Dinamismo
- 12.7. Conseqüências das Leis do Dinamismo
- 12.8. Geração de Força Induzida
- 12.9. Conclusão

13. Epílogo

- 13.1. Introdução
- 13.2. Newton e o Ímpeto
- 13.3. Equívocos da Mecânica Aristotélica
- 13.4. Deficiências da Teoria do Ímpeto
- 13.5. A Física Moderna e a Física Medieval
- 13.6. A Teoria do Dinamismo
- 13.7. Conclusão

Glossário

Bibliografia

INTRODUÇÃO

*“Quanto mais informado você estiver,
tanto mais capaz será de indagar
o que considera ser um conhecimento mais profun-
do
com relação àquele assunto”.*
Robert Hook

Observando o movimento dos corpos em queda livre e o seu impacto contra uma superfície plástica, bem como relacionando a intensidade da velocidade com a violência do impacto, o adolescente e estudante colegial Leandro Bertoldo, desenvolveu em janeiro de 1978 a hipótese de que a velocidade adquirida pelos corpos em queda livre estava *diretamente* relacionada com uma determinada força, cuja natureza lhe era totalmente desconhecida naquela ocasião. Na época, ele realizou alguns cálculos rudimentares relacionando velocidade e força de impacto que o convenceram de que a velocidade era causada por uma grandeza física que denominou por *força induzida*. Ele compreendeu que a força induzida era a causa da velocidade adquirida pelos corpos e também a causa da violência do impacto observado num choque mecânico. Com esse conceito de força induzida em mente, que se verifica em qualquer tipo de movimento, fundou sozinho o que denominou por “Teoria do Dinamismo”, ramo da Física que se torna relevante quando se deseja alcançar uma compreensão mais profunda sobre as causas fundamentais dos movimentos dos corpos. O modelo defendido pelo Dinamismo reflete sensivelmente todos os dados e informações experimentais obtidas pela Física. Em essência esse modelo se revelou como a teoria científica que se preocupa em estudar o movimento unicamente sob a perspectiva das forças que os produzem, apresentando as razões do “por que” e “como” todos os corpos se movem.

Os antigos sábios acreditavam que a compreensão das propriedades do movimento era de fundamental importância para se entender o mecanismo pelo qual a natureza funciona. E, durante séculos, os estudos das *causas* do movimento foram motivos de intensos e acirrados debates por partes dos filósofos naturais, como eram então chamados os antigos cientistas, mais precisamente os físicos.

As primeiras explicações racionais para a compreensão da causa do movimento foram propostas há dois mil e trezentos anos pelo célebre filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.). Este sábio supunha que o movimento (mudança de lugar) pode ser explicado pelo conceito de *potência* e *ato*. Tal filosofia pode ser compreendida conforme ao que se segue: um corpo em seu estado natural de repouso é tido como repouso em ato. Todavia, como esse mesmo corpo pode se movimentar pode-se dizer que também possui movimento em forma de potência. Deste modo, a mudança do repouso para a situação de movimento seria o resultado de um princípio geral de “transformação de situações” verificado por uma alteração de potência em ato. Segundo Aristóteles a potência não se manifestava espontaneamente em ato. Para que tal processo ocorresse era necessário um agente externo capaz de produzir a mudança requerida. E, nas próprias palavras de Aristóteles, haveria a necessidade de uma *causa eficiente*, ou seja, de um agente responsável pela transformação da potência em ato conforme observado. No caso do movimento, a causa eficiente consistia num motor. Deste modo, o corpo passa de um estado natural de repouso para uma situação de movimento pela ação de um motor.

Para Aristóteles a *causa eficiente* da mudança da situação de repouso para a de movimento seria a grandeza física que hoje em dia é conhecida por *força externa* e o *ato* seria o próprio *deslocamento* do corpo. Ocorre que as experiências realizadas pelo cientista italiano Galileu Galilei (1564-1642) no século XVII demonstraram, sem deixar margem de dúvidas, que as grandezas físicas aristotélica que representam o conceito filosófico de potência e ato estavam totalmente equivocadas, razão pela qual a

moderna ciência da física acabou por rejeitar a suposição defendida por Aristóteles e seus asseclas.

Para Aristóteles todo corpo tende à imobilidade, razão pela qual havia imaginado que qualquer corpo em movimento possui a tendência natural e espontânea para diminuir o seu movimento até que finalmente viesse a parar, a menos que alguma força externa fosse aplicada continuamente sobre ele para mantê-lo em sua situação de movimento. Também pensava que um corpo mais pesado levaria menos tempo para cair na terra do que um mais leve porque a força (peso) que o impulsionaria seria maior num corpo maior e menor num corpo menor. Suas idéias permitem estabelecer os seguintes postulados:

1º - *Enquanto estiver sob a ação de uma força externa, um corpo mantém o seu estado de movimento.*

2º - *Cessada a ação da força externa, o corpo retorna ao seu estado natural de repouso.*

3º - *Um corpo pesado cai mais rápido do que um leve.*

Segundo Aristóteles, qualquer que fosse o tipo de movimento observado, seja ele natural (queda livre) ou violento (arremesso de projéteis), eles estariam sempre sujeitos à ação de uma força externa operando de forma contínua sobre o corpo para mantê-lo em seu estado de movimento.

Apesar da bem elaborada idéia de Aristóteles, durante a Idade Média, alguns filósofos que passaram a ser conhecidos como “físicos parisienses”, defenderam uma outra suposição alternativa visando explicar a causa dos movimentos violentos. Para eles o movimento continuava sendo caracterizado como resultado da potência e do ato. Todavia, entendiam que a *causa eficiente* era representada por uma grandeza física que chamavam por *ímpetus* ou na língua portuguesa: “ímpeto”. Se era uma força, energia ou qualquer outra coisa, verdade é que ninguém sabia, mesmo porque a sua natureza qualitativa nem ao menos estava bem definida e muito menos o seu conteúdo quantitativo. Segundo essa suposição, o ímpeto era injetado no corpo no momento em que ele era arremessado. Quanto ao ato, entendiam que seria o deslocamento do corpo resultante da ação do ímpeto. Também chega-

ram a imaginar que espontaneamente o corpo tende a diminuir o seu estado de movimento e a parar porque o ímpeto empregado para movimentá-lo era gradativamente consumido ou gasto em tal processo.

No século dezessete, Galileu Galilei realizou duas experiências cruciais que vieram a demonstrar a falácia da filosofia de Aristóteles e de seus seguidores. As conclusões de Galileu foram obtidas da seguinte forma:

a) Trabalhando com superfícies cada vez mais polidas, Galileu acabou inferindo que, na ausência total de atrito, qualquer corpo permanece em seu estado de movimento sem que seja necessário aplicar continuamente a ação de qualquer força externa. Essa conclusão contrariava totalmente a filosofia aristotélica, a qual exigia a necessidade da continuidade de uma força para manter a situação de movimento de um corpo.

b) Em outra célebre experiência, supostamente realizada do alto da Torre de Pisa, Galileu mostrou que dois corpos de diferentes pesos, ao serem largados da mesma altura e no mesmo momento, chegam ao solo no mesmo instante. Ou seja, o movimento de qualquer corpo em queda livre independe do seu peso. Isso também contradizia o que os filósofos aristotélicos acreditavam, pois ensinavam que um corpo mais pesado cairia mais rapidamente do que um corpo mais leve.

Em termos quantitativos, Galileu havia verificado experimentalmente que em queda livre todos os corpos adquirem velocidades que variam proporcionalmente com a variação de tempo decorrido de queda livre, independentemente do peso ou da massa que venham a possuir. Também ofereceu uma noção rudimentar do que seria mais tarde conhecida como princípio da inércia. Este princípio permite afirmar que: qualquer corpo que se encontra em movimento num vácuo, sempre apresentará a tendência natural para continuar em tal estado de movimento, a menos que uma força superveniente venha a atuar sobre ele. Quando um corpo está em repouso a sua tendência é a de que continue em tal estado de repouso, a menos que uma força superveniente venha a operar sobre ele, alterando a referida situação.

O célebre físico inglês Isaac Newton (1642-1727) demonstrou que um corpo que se desloca no vácuo, quando na ausência de força externa, mantém sua velocidade constante no decorrer do tempo. Também demonstrou que uma força externa de intensidade constante produz uma velocidade que varia uniformemente no decorrer do tempo. Isso significava que a força externa não guardava nenhuma relação *direta* de proporcionalidade com a velocidade, mas sim com a aceleração. Essas conclusões contradiziam frontalmente as idéias defendidas por Aristóteles de que a força externa era a causa da intensidade do movimento, pois este filósofo acreditava que o movimento somente aumentava em função do aumento da intensidade da força externa aplicada sobre o corpo. Todavia, Newton demonstrou que isso não ocorre, pois o movimento se intensifica independentemente da variação da intensidade de força aplicada sobre o corpo. Em 1687 Newton publicou suas demonstrações matemáticas num livro que se tornou a bíblia do novo paradigma científico, intitulado por *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*.

Ao realizar suas pesquisas em Cinemática, Galileu se absteve de analisar objetivamente a “causa” do movimento. Simplesmente desejava entender ou compreender “como” os corpos se movem e *não* “por que” se movem. Mas, Leandro Bertoldo, caminhando num outro sentido, procurou compreender “por que” e “como” os corpos se movem. Assim, trezentos anos depois de Galileu e de Newton, Leandro verificou que a força, diretamente responsável pela velocidade dos corpos, seria comunicada ao móvel por meio de um processo chamado de “indução”. A princípio, tal processo ocorre enquanto o móvel se encontra sob a ação de uma força externa. Deste modo, propôs a hipótese de que a velocidade de um corpo estava diretamente relacionada com uma certa “força induzida”, a qual permanecia conservada no móvel. Com tal hipótese em mente criou e desenvolveu a sua física do dinamismo. Demonstrou matematicamente a relação existente entre velocidade e força induzida. Mostrou que a força induzida operava tanto no movimento uniforme como no movimento uniformemente variado ou em qualquer outro tipo de movimento.

Fez previsões e aplicações, que estão em perfeita concordância com os fatos observados e analisados pela física.

É interessante lembrar que Leandro desenvolveu toda sua teoria sobre a causa fundamental da velocidade desconhecendo que essa questão, numa forma bastante rudimentar e primitiva, já havia sido debatida por outros eminentes pesquisadores. Ou seja, a relação entre força e movimento havia sido considerada por vários filósofos naturais, tanto antigos como modernos, e muitos de renome internacional. Entre os antigos cita-se Hiparco, Filopono e Buridan, e entre os modernos, pode-se citar Galileu, Descartes e Newton.

Em sua juventude, Galileu havia abraçado por algum tempo a influente teoria do ímpeto como uma explicação dinâmica perfeitamente razoável para justificar a causa da velocidade e do movimento dos corpos. Descartes tentou justificar o movimento e o impacto dos corpos por meio de uma suposta força interna do corpo em movimento, a qual chamava de “força de movimento de um corpo”. Newton, durante vinte anos, também se debateu com um conceito de “força intrínseca”, como uma explicação razoável e lúcida para a causa do movimento inercial.

Todos esses pesquisadores, dependendo da filosofia adotada, em algum momento de suas vidas, consideraram seriamente o estudo do movimento relacionado com alguma força interna ou ímpeto. Porém, nenhum deles jamais chegou a demonstrar quantitativamente, matematicamente ou mesmo experimentalmente suas idéias nesse campo. Tudo não passava de pura imaginação ou, no máximo, uma simples suposição baseada na antiga física medieval.

A causa do fenômeno da inércia tem sido uma das forças da natureza mais difíceis de se conceber. Todavia ela representa a descoberta fundamental que mudou o paradigma da física, golpeou fatalmente a filosofia natural aristotélica e aniquilou a antiga física medieval. Foi justamente na tentativa de definir o movimento inercial, sem contrariar a sua definição de força externa, que Newton acabou por abandonar o seu atraente conceito de força intrínseca.

Realmente, é extremamente difícil conceituar uma nova força e dar a ela um significado físico que seja perfeitamente funcional dentro da mecânica racional, sem contrariar nenhum fato observado. Apesar dessas dificuldades, Leandro conseguiu fazer essa alternância, coisa que outros pensadores como Galileu e Newton tentaram, mas em vão.

Em janeiro de 1978 Leandro havia sistematizado sua teoria num pequeno artigo intitulado “Dinamismo”, no qual apresentou as suas demonstrações matemáticas de algumas leis básicas sobre a causa do movimento, conforme mostram os seguintes enunciados:

1ª Lei - *No movimento retilíneo e uniforme ao infinito, a velocidade de um corpo é diretamente proporcional à sua quantidade de força induzida.*

2ª Lei - *No movimento uniformemente variado, a variação de velocidade de um corpo é diretamente proporcional à sua variação de força induzida.*

3ª Lei - *No movimento uniformemente variado, a variação de força induzida num corpo é diretamente proporcional à variação de tempo.*

4ª Lei - *Sob a interação da força induzida qualquer corpo mantém o seu estado de movimento retilíneo e uniforme ao infinito.*

5ª Lei - *Na ausência da força induzida qualquer corpo mantém o seu estado de repouso absoluto.*

De imediato se pode verificar que esses princípios iniciais, que futuramente dariam origem à Teoria do Dinamismo, são revolucionários. E isto por vários motivos, quais sejam:

a) A teoria prevê uma causa para o repouso e outra para o movimento inercial de um corpo, enquanto que a Teoria Dinâmica Newtoniana prevê uma só e mesma causa tanto para o repouso como para o movimento inercial.

b) Sob a perspectiva da Teoria do Dinamismo, o *repouso* é devido unicamente à *ausência* de força induzida no corpo, e o *movimento inercial* ou qualquer outro tipo de movimento é causado unicamente pela *conservação* da força induzida no móvel.

Porém, sob a perspectiva da Teoria Dinâmica Newtoniana, tanto o repouso quanto o movimento uniforme e retilíneo ao infinito é explicado unicamente pela ausência de *forças externas*, o que também é uma verdade defendida pela Teoria do Dinamismo.

c) O modelo de Leandro prevê uma modalidade de força relacionada com a velocidade, enquanto que a teoria newtoniana prevê uma modalidade de força relacionada com a aceleração.

d) O dinamismo de Leandro estabelece que a velocidade de um corpo apresenta uma relação direta de proporcionalidade com a força induzida, enquanto que a dinâmica de Newton não estabelece nenhuma relação entre velocidade e força.

e) Pelas conclusões retro mencionadas fica claro que o modelo de Leandro, por defender a ação simultânea entre força e movimento, caracteriza o que pode ser chamado de dinamismo e o modelo defendido por Newton caracteriza uma dinâmica.

Todavia, quando Leandro começou a considerar a questão da resistência oferecida pela inércia da matéria e desejou saber qual era a relação qualitativa e quantitativa existente entre a força induzida e a força externa, a sua teoria viu-se em sérias dificuldades, pois não levava em consideração de forma “explícita” tal efeito. E todas as tentativas que o jovem cientista realizou na época para solucionar o problema, resultaram infrutíferas. Razão pela qual resolveu deixar essa questão de lado para uma ulterior análise.

Em 1995, ao fazer um inventário de suas descobertas científicas realizadas em anos anteriores, resolveu, finalmente, enfrentar o problema deixado sem solução no Dinamismo. Nessa segunda fase de seu trabalho ele demonstrou matematicamente a relação entre dinamismo e dinâmica, e também apresentou uma teoria que explicou a validade das seguintes leis gerais do movimento:

Lei I - *A força externa que atua sobre um corpo é igual ao produto entre sua massa pela aceleração que apresenta.*

Lei II - *O impulso, que resulta da força externa ao integrar com a oposição oferecida pela inércia, é igual ao produto*