
O CONCEITO DE FORÇA NO PENSAMENTO GREGO

F. F. de Souza Cruz
Departamento de Física – UFSC
Florianópolis – SC

O conceito de força, como todos os conceitos em ciência, é fruto de um longo e penoso desenvolvimento histórico. Para se chegar a ela, como enunciado por Newton, muitas formulações surgiram e deixaram sua marca e contribuição.

Como a maioria dos conceitos em Física, a origem primeira do conceito de força vem da experiência cotidiana dos homens. Surgiu de especulações sobre esta e, na sua maior parte, daquilo que chamamos senso comum.

O que diferencia as concepções científicas é um trabalho laborioso de questionamento que não se dá num só momento, ou pelo trabalho de um homem, mas sim pela história e evolução do conhecimento humano. A partir de analogias, misturando dados culturais, sociais, econômicos e técnicos, cada civilização formulou seus conceitos científicos.

O conceito de força é uma destes conceitos cujas origens não poderemos datar com precisão. No que poderíamos denominar estágio pré-científico, a idéia de força surgiu provavelmente da consciência do esforço dispendido em ações como movimentar os braços e as pernas, da sensação de superar a resistência de um corpo pesado ao levantá-lo do solo, ou ao levá-lo de um lugar a outro. Claramente, as noções de força, esforço, potência, trabalho, intensidade aparecem como sinônimos na linguagem do senso comum. É importante salientar que estas construções do chamado senso comum estão presentes em cada um de nós e formam a base sobre a qual vai se superpor o conhecimento estabelecido. A presença dessa base faz com que o aprendizado de Física seja por vezes bastante conflituoso.

Aparentemente, o desenvolvimento conceitual de cada indivíduo passa, de forma mais ou menos rápida, pelas várias fases históri-

cas do desenvolvimento conceitual da humanidade. Assim, como já foi apontado por Zylbersztajn e outros (1983), é comum observar nos alunos de Física do ensino médio e nos universitários a presença de certos conceitos que estão de acordo com a Física Aristotélica. Por exemplo, a noção de força em Aristóteles é tal que a força é proporcional à velocidade do corpo. Essa noção é a raiz de muitos erros cometidos pelos estudantes.

Com isso pretendemos justificar o estudo da história dos conceitos de Física como um instrumento necessário e útil para um professor de ciências.

Uma discussão mais detalhada sobre as inter-relações entre história da ciência e ensino de ciências é feita por Zylbersztajn. Neste artigo, vamos apenas dar uma visão resumida da evolução do conceito de força na ciência grega. Seu conteúdo está baseado principalmente no capítulo 3 do livro “Concepts of Force” de Max Jammer⁽²⁾ e também nos livros “Ciência e Filosofia” de R.G. Collingwood⁽³⁾ e “História da Filosofia” de François Chatelet⁽⁴⁾.

Para um entendimento das concepções gregas deveríamos talvez entrar nos históricos de cada uma das escolas de pensamento grego, mas isto também fugiria ao nosso objetivo (para um estudo mais aprofundado, consulte as referências).

Cosmologia e conceito de força na ciência grega

Antes de entrarmos na discussão do conceito de força para os gregos, vamos dar uma rápida passagem pela cosmologia grega.

Como outros povos, os gregos tentaram construir um sistema explicativo para a natureza. Qual a origem do universo era a questão fundamental para os primeiros cosmólogos gregos tais como Tales, Anaximandro e Anaximenes. Esses milesianos (da cidade de Mileto) concebiam a natureza como algo originário de uma matéria única.

O essencial para eles era esse princípio único. A aceitação dessa hipótese levava então a uma questão: Como os seres se diferenciavam a partir desta matéria primeira?

Para Tales a matéria única era a água. Ela era o princípio gerador, dela todas as coisas provinham. Todos os constituintes da natureza estavam em transformação, num movimento perpétuo. Tudo era animado. A palavra “ânima” em grego significa “alma”. Assim, era da natureza dos

constituintes do cosmos o movimento, a transformação. Tudo era dotado de “alma”.

Anaximandro pretende explicar o processo de diferenciação a partir de analogias com o processo biológico de diferenciação. Para ele, a matéria primeira era um protoplasma constituído de uma substância sutil que não se poderia discernir. Essa matéria era diferente de todas as outras. Por isso, ele a denominou “apeiron”, palavra grega que significa indeterminado ou ilimitado. Ele pensava que inúmeros mundos surgiam em vários pontos desse meio uniforme. Este “indeterminado” tinha para Anaximandro uma capacidade criadora, fazendo analogia com os seres vivos. O universo era em si mesmo um grande organismo, onde as coisas eram criadas e propiciavam a criação de outras. *“A terra não é apenas um organismo constituído de organismos, mas um organismo que procria os organismos que procriam nele”*

Para Anaximenes, a matéria primeira volta a ser uma substância natural, o ar ou vapor. O processo de diferenciação dentro dessa cosmologia se dá por rarefação e condensação. O ar ou vapor cósmico, em eterno movimento, segregava as várias substâncias naturais. Os movimentos convectivos (convecção) separavam as substâncias mais rarefeitas para a periferia do universo, formando as estrelas, e as partes condensadas formavam a terra.

Na cosmologia dos milesianos, existe muito pouco espaço para a noção de força. O movimento é um dado da natureza, é em si mesmo uma das causas de diferenciação das substâncias. Não há necessidade de uma causa para o movimento.

É necessário escapar de Mileto para introduzir um conceito próximo ao de força. Para isso, vamos encontrar Pitágoras, que foi um herdeiro dos milesianos. Aprendeu com eles, mas introduziu novos elementos que se mostraram fundamentais a essa concepção. Também aceitava a existência de uma matéria primordial, mas acreditava que o processo de diferenciação a partir desse protoplasma necessitava de um limite para formar um todo harmônico, isto é, deveria haver uma força ou princípio regulador que gerasse um equilíbrio. Em um esboço grosseiro do que seria o pensamento de Pitágoras, pode-se dizer que os seus pressupostos eram:

- Se todos os seres e substâncias naturais vêm de uma matéria única, eles não devem diferir em seu conteúdo material, mas sim na forma e combinação de formas.

Neste ponto, a geometria entra pela primeira vez na descrição do mundo físico:

- As formas ou combinações das formas que possuem um todo harmônico equilibrado são delimitadas ou definidas por razões numéricas.

Destes pressupostos, infere que os números estavam indissoluvelmente ligados à harmonia do Universo. Um exemplo utilizado pelos pitagóricos é o da harmonia musical. Os tons harmônicos e a melodiosidade de uma música estão relacionados com a razão numérica entre as frequências das notas e dos acordes musicais.

Da visão de uma origem única dos milesianos e de um princípio de harmonia e equilíbrio de Pitágoras surgiu, numa trilha diferente, Heráclito de Éfeso, talvez o primeiro a enunciar com clareza um conceito próximo ao de força como hoje conhecemos.

Heráclito pregava que a harmonia ou equilíbrio não era um estado natural devido a um princípio regulador mas sim que por traz de todo equilíbrio havia uma batalha surda entre tensões ou forças opostas, antagônicas. Já através de Empédocles esta doutrina de tensões opostas ganha materialidade. Para este, duas substâncias, às quais dá o nome de “amor” e “ódio”, eram responsáveis tanto pelo equilíbrio como pelo movimento, morte, degeneração, combinação e separação de substâncias naturais.

Nessa época, os elementos considerados básicos eram a terra, a água, o fogo e o ar. Ao incorporar a doutrina de tensões opostas, Empédocles adicionou mais dois elementos básicos à natureza, o “amor” e o “ódio”.

Ele se inspirou na observação da fisiologia do corpo humano e fez analogias do universo com os processos respiratórios e de fluxo e refluxo sangüíneo. Segundo ele, o “amor” estaria espalhado pelo corpo e seria responsável pela união dos elementos. Quando o “ódio” penetrava no corpo (vindo de fora), o “amor” se deslocaria para o centro perdendo parte ou toda sua capacidade de união. Quando o “ódio” era expelido, o “amor” voltava a se espalhar mantendo coesas todas as partes do corpo.

O mundo de Empédocles era um imenso ser com movimentos respiratórios.

Nessa passagem rápida por vários pensadores gregos, não podemos deixar de lado Platão, do qual temos muito a dizer. Nos restringiremos, no entanto, à sua concepção de força.

Para os antigos cosmólogos e para Platão, o movimento era uma propriedade inerente à matéria. A matéria, do ponto de vista deles, era um organismo vivo. Assim, para Platão, a realidade física era dotada de movimento porque a natureza tinha uma alma vivente imortal. E esta era imortal porque estava sempre em movimento como os planetas, a Lua e o Sol.

Um ponto importante nessa visão é que a “alma” a que se refere é uma propriedade universal da natureza. Os corpos, em particular com seus movimentos, formas e outros aspectos diferentes, eram manifestações deste universal. As diferenciações e particularidades dos seres ou de um mesmo ser eram realizadas através da atividade de forças emanadas dessa alma - universal.

Tal concepção de força não foi, no entanto, aplicada na explicação do movimento dos corpos. Por exemplo, a gravidade como causa do movimento de queda dos corpos terrestres foi explicada por Platão com argumentos que não tinham nada a ver com o conceito de força emanada da alma – universal.

A queda dos corpos para Platão era justificada do seguinte modo: corpos de mesma natureza tendem a ficar juntos. Assim, para ele, terra atrai terra, fogo atrai fogo etc. No seu pensamento, a qualidade de ser leve ou pesado era uma propriedade natural e havia, além disso, uma outra explicação – a de que cada elemento tem um lugar natural no espaço. Essa hipótese foi adotada por Aristóteles e levou a uma divisão radical dos fenômenos físicos em processos terrestres e celestes.

A divisão entre o mundo dos céus e o mundo da terra, cada um com suas próprias leis autônomas, só foi completamente deixada de lado com a Teoria da Gravitação de Newton.

Essas mesmas concepções platônicas levaram Aristóteles a reconhecer dois tipos de força:

physis – uma força inerente à matéria que ele denominava “*physis*” (natural ou de natureza de) responsável pelos movimentos ditos naturais;

força – força como emanção de um corpo. Isto é, a força de puxar ou empurrar causando o movimento compulsório de um segundo objeto.

Essa última noção de força como causa de movimentos não naturais foi a mais profundamente analisada por Aristóteles e forma a base principal da Física Aristotélica; é também um dos conceitos mais intuitivos e mais próximos das concepções espontâneas de força.

Para Aristóteles, a força não pode ser dissociada da ação de puxar e empurrar, pois ela não pode ser separada do elemento que a produz. Desse pensamento segue que o que se move e o que causa o movimento devem estar em contato. Portanto, para ele, ação a distância era impensável.

Da análise do movimento dos corpos, Aristóteles enunciou sua lei de força. Uma tradução livre de suas próprias palavras é apresentada a seguir.

“Aquilo que causa o movimento sempre move alguma coisa (o outro objeto) em alguma coisa (o tempo) até algum lugar (distância). Assim, se A é o causador do movimento e B o objeto que se move, C a distância percorrida e D o intervalo de tempo necessário para percorrer a distância C, teremos que:

A move $\frac{1}{2}$ B num intervalo de tempo D até uma distância 2C de tal forma que a proporção seja mantida, isto é, se A move B por uma distância C num tempo D, então E = $\frac{1}{2}$ A move F = $\frac{1}{2}$ B por uma distância C num tempo D, isto porque a proporção entre a força de E e o peso de F é a mesma que a existente entre a força A e o peso B.”

Se traduzíssemos esse enunciado para uma linguagem moderna teríamos:

$$\frac{\text{Força exercida por A}}{\text{Peso de B}} = \text{velocidade de B}$$

Observe que peso e massa são confundidos; poderíamos, talvez, interpretar peso de B como quantidade de matéria de B. Isto, no entanto, seria uma interpretação nossa. Deixando de lado nossas hipóteses, notemos dois pontos fundamentais na lei de força de Aristóteles:

1- A força está sempre ligada a um corpo causador de força (no caso, o corpo A). Isto é, a força é propriedade deste corpo.

2- A força é proporcional à velocidade.

Aristóteles fala ainda sobre forças que:

“Se A move B num tempo D, pode ocorrer que $E = 1/2 A$ não consiga nem mesmo mover o corpo B, da mesma forma que um homem não consegue empurrar um navio ou outro corpo muito pesado”.

Como podem notar, Aristóteles parece sugerir um limiar para a força.

É importante observar que ele não define claramente um padrão de medida para sua força. Aparentemente, o padrão estaria associado ao peso do corpo. Porém, peso é *physis* (força natural), o que, em sua teoria, é completamente diferente da força compulsória. A física aristotélica e suas muitas contradições tiveram que esperar muitos séculos para serem derrubadas. No entanto, ela deixou uma trilha clara para aqueles mesmos que a derrubaram.

Essa era a física terrestre. E na física celeste, o que era responsável pelo movimento dos objetos no mundo dos céus?

Em seus escritos, Aristóteles ora se referia a uma inteligência astral (um ser que causava todos os movimentos), ora a uma propriedade intrínseca dos objetos celestes, uma alma que os animava, uma vida astral.

Para Aristóteles, os objetos celestes eram primordiais, simples, incorruptíveis, indestrutíveis e imutáveis. Seguindo a lógica de sua doutrina, a causa e o efeito devem ser da mesma qualidade. Por essa razão só uma coisa principal poderia ser responsável pelo movimento dos corpos celestes.

O conceito de força aristotélico permaneceu e pouco se adicionou a ele, nem mesmo Arquimedes fez modificações significativas.

Porém a natureza, o mundo real, coloca suas próprias questões, e até o próprio Aristóteles (entre outros) tentou entender a conexão entre o movimento do Sol e da Lua (objetos celestes) e o das marés (objeto terrestre).

Para ele, o Sol agindo sobre os ventos fazia movimentar os oceanos, causando as marés. Essa explicação estava de acordo com sua física, na medida em que nesta, só forças de contato eram possíveis. Ao mesmo tempo, a questão das marés levantava uma intrigante relação entre o céu e a terra. Esta foi também analisada por outros gregos, em particular os da escola Estóica. Isto, porém, será objeto de um outro artigo.

Para finalizar, observem que a separação entre o céu e a terra estava em profunda harmonia com os pensamentos da Igreja. E foi essa idéia que ela e seus monges abraçaram.

Durante a Idade Média ou das trevas, os ensinamentos de Aristóteles foram conservados e transformados em dogmas. Por essa razão, a Física Aristotélica perdurou por tantos séculos.

Nomes	Datas de nascimento e morte aproximadas*
Tales de Mileto	- 624 e 546 a.C.
Anaximandro	- 610 e 574 a.C.
Anaxímenes	- 585 e 528 a.C.
Pitágoras	- 570 e 497 a.C.
Heráclito	- provavelmente contemporâneo de Pitágoras
Empédocles	- 492 e 432 a.C.
Platão	- 428 e 347 a.C.
Aristóteles	- 384 e 332 a.C.

Referências Bibliográficas

1. ZYLBERSZTJN, A. Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Rev. Ens. Fis.**, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.

* Estas datas foram retiradas da referência (5)

2. JAMMER, M. **Concepts of force**. Harvard University Press, 1957.
3. COLLINGWOOD, R. G. **Ciência e Filosofia**. Ed. Martins Fontes.
4. CHATELET, F. **História da Filosofia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.
5. PADONANI, U.; CASTAGNOLA, L. **História da Filosofia**. São Paulo: Melhoramentos, 1978.