

## O CONCEITO DE FORÇA E SUA INTERLOCUÇÃO COM OUTROS CONCEITOS FÍSICOS: UMA PROPOSTA DE ENSINO.

## THE CONCEPT OF FORCE AND ITS INTERLOCUTION WITH OTHER PHYSICAL CONCEPTS: A TEACHING PROPOSAL.

Giovanna Moreno Parizotto<sup>1</sup>, Rebeca B. Lima<sup>2</sup>, Sabrinna Aparecida Rezende Macedo<sup>3</sup>, Izabel Cristina Duarte dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PGP -WM/ CEPMG Waldemar Mundim, [giovannaparizotto@gmail.com](mailto:giovannaparizotto@gmail.com)

<sup>2</sup>UFG/IF/PGP- WM, [blimarebeca@gmail.com](mailto:blimarebeca@gmail.com)

<sup>3</sup>UFG/PPGECM, [sabrinnaaparecida@gmail.com](mailto:sabrinnaaparecida@gmail.com)

<sup>4</sup>UFG/IF/PGP- WM, [izabelc429@gmail.com](mailto:izabelc429@gmail.com)

### Resumo

O presente estudo teórico pretende apresentar o papel do conceito de força para a construção de outros conceitos físicos, além de buscar subsidiar o trabalho de professores quanto ao ensino dos conteúdos ancorados pela noção de força, apontando uma proposta de abordagem histórica junto aos alunos do Ensino Médio. Para tanto, partimos do entendimento de que enquanto o conceito de força é (re)construído e (re)significado ao longo do tempo, várias modificações científicas ocorriam no cenário das diversas épocas. A noção de força foi pano de fundo para a construção e consolidação de outros conceitos como quantidade de movimento, trabalho, energia cinética e energia potencial, bem como auxiliou no entendimento de outros conceitos como a inércia, velocidade, aceleração, dentre outros. Hoje, infelizmente, tal compreensão histórica não é sequer citada durante os estudos da mecânica na formação inicial dos futuros professores, o que impacta diretamente na sua abordagem na Educação Básica.

**Palavras-chave:** Conceito de Força; Ensino Médio; Ensino de Física.

### Abstract

This theoretical study intends to present the role of the concept of force for the construction of other physical concepts, in addition to seeking to subsidize the work of teachers regarding the teaching of content anchored by the notion of force, pointing out a proposal for a historical approach with the students of Education Medium. Therefore, we start from the understanding that while the concept of force is (re)constructed and (re)signified over time, several scientific changes occurred in the scenario of the different times. The notion of force was the backdrop for the construction and consolidation of other concepts such as the amount of movement, work, kinetic energy and potential energy, as well as helping to understand other concepts such as inertia, speed, acceleration, among others. Today, unfortunately, this historical understanding is not even mentioned during the studies of mechanics in the initial training of future teachers, which directly impacts their approach in Basic Education.

**Keywords:** Concept of force; High school; Physics teaching.

### **A importância do conceito de força enquanto alicerce para a construção de outros conceitos físicos.**

A noção do conceito de força - apesar de passar por diversos períodos da história da ciência sem grandes discussões específicas a seu respeito - serviu como pano de fundo para a estruturação e unificação metodológica do esquema conceitual da ciência (JAMMER, 2011) em vários contextos, principalmente quando falamos de energia.

Assim, independentemente de suas modificações, este conceito permite-nos analisar com clareza as leis gerais que regem os movimentos em diversas situações cotidianas. Contudo, ainda nos deparamos com professores que abordam esse conceito, seja em sala de aula ou em laboratórios de ensino, de forma esvaziada e/ou enviesada reforçando em seus alunos concepções inadequadas acerca da construção da ciência.

### **O papel da noção de força na construção de outros conceitos: delineamento histórico.**

Ainda na mecânica pré-clássica podemos observar a força associada ao calor e a luz por meio, por exemplo, da Teoria dos Raios. Al-Kindi representante da ciência muçulmana e conhecido como o filósofo dos árabes afirmava que a força representava a capacidade de se aquecer e de unir substâncias para originar o fogo (JAMMER, 2011). Aqui temos a noção de força relacionada à noção de calor.

Al-Kindi influenciou os estudos de Roger Bacon o qual expôs uma concepção de espécie que, apesar de causar discussões devido sua definição inexata, contribuiu bastante para os estudos relacionados à conservação de energia, gravitação e forças de atração, incluindo a atração magnética. Para Bacon, a força era algo isolado que não poderia agir à distância, no entanto, transmitia-se por meio das partes numa espécie de reação em cadeia energizando sucessivamente as partes subsequentes. Poderíamos entender sua concepção de força como algo próximo do conceito de onda, que também “é uma forma de transmissão de energia ou força” (JAMMER, 2011, p.87).

O conceito de gravidade também ocupou diversos cenários de discussões ao longo do século XIII. É interessante registrar que foi nesta época que surgiu possíveis indícios da diferenciação entre peso e massa, bem como da análise comparativa entre força e massa.

Em nossos estudos, verificamos que Galileu tentou relacionar a força da gravidade a outros tipos de forças mediante análises comparativas, derivando da força gravitacional noções como força estática e força impulsora. Apesar do conceito de massa ainda não estar definido, Galileu já conseguia relacionar força e velocidade.

Mesmo não analisando a natureza da força em si podemos visualizar diversas outras noções físicas a partir dos estudos de Galileu, tais como momento relacionado ao torque (indicando a existência de uma força motriz) e o impulso como ação instantânea por meio da noção de ímpeto. Para ele, segundo Jammer (2011, p.136), a força “era uma sequência contínua de impulsos instantâneos somados uns aos outros”.

Nesta época, ainda embalados pelas ideias de Aristóteles, era inaceitável que devido à atração os corpos teriam pesos diferentes dependendo de suas posições em relação ao solo (gravidade relacionada à altitude). De igual modo era difícil conceber que ao atrair um objeto, quanto maior sua massa menor seria sua velocidade “presumindo-se que a resistência ao movimento fosse proporcional, de algum modo, à quantidade movida” (JAMMER, 2011, p.91).

Hoje, após os estudos de Newton, sabemos que tanto a resistência quanto a intensidade da força estão relacionadas à massa do objeto. Tais análises sobre o movimento são até hoje discutidas na academia nos estudos iniciais da mecânica, principalmente no Laboratório de Física I, quando tratamos do princípio da inércia e do movimento retilíneo uniformemente variado.

Apesar do princípio de inércia ser comumente atribuído a Isaac Newton, enquanto uma de suas três leis, há registros de que sua formulação inicial ocorreu em 1585 por Gianbattista Benedetti durante seus estudos sobre a teoria do *impetus*. O princípio da inércia também foi pressuposto, anos antes, por Galileu ao opor-se ao pensamento aristotélico a respeito do movimento e baseando-se na experimentação formulando então uma nova teoria do movimento a qual, conforme Ben-Dov (1996), estaria fundada no princípio de inércia.

A noção de força, aqui, sofre uma alteração. Os aristotélicos não concebiam a ausência de força quando analisavam os movimentos (pois todo movimento era devido a uma causa) e não aceitavam a composição do movimento. Para os aristotélicos haviam dois fenômenos distintos, o movimento e o repouso. Nesta época, não era aceita a ideia de uma força que age à distância, a força era algo impresso responsável pelo movimento violento.

A partir da aceitação do princípio de inércia (com Newton) foi necessário admitir a força externa enquanto agente de mudança de estado, no entanto, o movimento retilíneo uniforme e o repouso representavam um mesmo estado. Ou seja, já não existe mais a presença de uma força externa permanente nos casos de movimento retilíneo uniforme, onde o repouso era entendido como “mero caso particular de movimento uniforme com velocidade nula” (BEN-DOV, 1996, p.28).

A força externa, agora, seria necessária para promover o movimento ou para cessá-lo, de modo que sua ação não seria permanente – Newton introduz esta força externa na definição IV da obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* como força impressa. A força impressa foi definida como uma ação necessária para modificar o estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo. Trata-se de uma força que possui caráter temporário, transitivo.

Galileu em seus estudos buscou unir os domínios do mundo sublunar e do mundo supralunar defendidos pela Igreja ao apoiar-se nas teorias aristotélicas. No entanto, foi Newton quem consolidou esta junção e conseguiu fornecer meios para definir a intensidade da força que sofre um corpo sujeito à atração gravitacional.

Para Newton, analisar as forças envolvidas em determinada situação-problema era indispensável para identificar e descrever analiticamente o movimento. Conforme nossos estudos, ele analisou detidamente três forças: força inata, força imprimida e força centrípeta. No entanto, ao analisarmos seus escritos em *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, percebemos que Newton não consegue definir o conceito de força. Ele expressa a noção de força de maneira relacional, como podemos observar em sua Segunda Lei.

Se para analisar o movimento de um objeto é necessário conhecer as forças que nele atua, assim, era de suma importância a existência de uma lei que descrevesse a ação de tais forças. Conforme Ben-Dov (1996),

Essa lei se exprime por uma relação de proporcionalidade entre a aceleração do corpo – a taxa de variação de sua velocidade – e a força que ele sofre. A constante de proporcionalidade entre a força e a aceleração é uma propriedade característica do corpo, chamada ‘massa’. (BEN-DOV, 1996, p.39)

Observamos que Newton associa a força aos seus efeitos, inclusive de forma intuitiva originada da ideia de força física e de esforço. Segundo Jammer (2011, p.163 - grifos do autor), “Para Newton, a força era um conceito dado *a priori*, intuitivamente; em última análise, era análogo à força muscular humana”.

Foram instituídos por Newton padrões de análises de dados no laboratório, pois a Física passou a fornecer as leis matemáticas necessárias à previsão dos mais variados fenômenos com grande grau de precisão, de modo que “Qualquer diferença entre os resultados experimentais e os valores teóricos passou então a ser percebida como um problema a resolver” (BEN-DOV, 1996, p.41).

Este *modus operandi* por ele instituído é até hoje utilizado na maioria das aulas do Laboratório Didático, onde os erros experimentais não são discutidos em termos de conceitos nem de definições, mas devem ser justificados mediante a exposição de falhas ao manusear os equipamentos, erros relacionados ao tempo de reação, erros de paralaxe (o que é bastante criticado), equipamentos desalinhados, dentre outros.

A Segunda Lei de Newton foi enunciada em termos relacionais e pode-se afirmar que não era sua pretensão utilizar esta lei como forma de definir força – aliás, esta não era uma de suas preocupações (JAMMER, 2011). Sendo assim, o segundo axioma de Newton relaciona a força aplicada (*vis impressa*) com a variação da quantidade de movimento:

$$F \propto \Delta p$$

Ao relacionar força e variação da quantidade de movimento, implicitamente, relaciona-se força e taxa de variação da velocidade. Trata-se, portanto, de mais uma forma de utilizarmos a noção de força para compreender aspectos ligados aos movimentos – mesmo apesar de Newton não dizer como medir massa e força, definindo tais grandezas a partir de relações com outras grandezas.

A noção newtoniana de força sofria severas críticas dos Cartesianos e de Leibniz, que questionava tanto Newton como os próprios Cartesianos. A crítica que Leibniz fazia aos Cartesianos e em especial a Descartes representa uma das célebres controvérsias científicas.

Ainda discutindo questões sobre o movimento, Leibniz questionava qual era a quantidade que realmente se conservava durante o movimento: a quantidade de movimento ou a força viva (*vis viva*). É interessante ressaltar que a força viva, denominada de *vis viva* mais tarde seria conhecida como energia cinética, com a adição do  $\frac{1}{2}$  feito por Coriolis. No entanto, Descartes afirmava existir a conservação da quantidade de movimento ao contrário de Leibniz que dizia ser a da *vis viva*.

Se o conceito de força em Newton era algo externo, para Leibniz a força era uma espécie de qualidade inerente ao próprio corpo. Outra diferença marcante entre ambos é que a mecânica de Newton excluía toda a metafísica, já para Leibniz a noção de força estaria intrinsecamente relacionada à metafísica. Leibniz em suas análises inseria dois novos tipos de forças: primitivas e derivativas (aquelas que atuam umas sobre as outras e vice-versa).

Leibniz criticava as ideias de Descartes, mas também queria resolver o problema que ele havia detectado a respeito da conservação da quantidade de movimento (só se estabelecia quando ocorriam colisões perfeitamente elásticas!). Porém, Newton resolveu o problema que ambos (Leibniz e Descartes) buscavam solucionar ao apresentar o axioma referente à 2ª Lei demonstrando que a variação da quantidade de movimento possuía caráter vetorial.

Como resultado das discussões, ocorreu que a ideia de Leibniz evoluiu de força viva à concepção de energia cinética – com contribuições de Coriolis, enquanto que o estudo de Descartes evoluiu para nossa atual concepção de quantidade de movimento.

Até o século XIX acreditava-se que a quantidade de movimento (grandeza puramente mecânica) jamais poderia transformar-se em uma grandeza não-mecânica. Porém, descobriu-se que a “força” de Leibniz poderia assumir formas não mecânicas ao partir da relação estabelecida entre a “força viva” de Leibniz e o calor – proposto, inicialmente, por Joule.

Neste período diversos cientistas estudavam o calor e sua relação com a mecânica newtoniana o que foi chamado de “teoria mecânica do calor” ou “termodinâmica” (BEN-DOV, 1996), que envolvia calor e trabalho mecânico. O conceito de trabalho, se observado, tem seu cerne na noção de força, porém associada ao conceito de deslocamento. A noção de força aqui presente refere-se à força física, esforço necessário para deslocar um corpo.

Como grande colaborador para a construção do conceito de energia, a partir de pesquisas sobre o conceito de calor, temos Julius Robert Mayer. Este médico, que no ano de 1840 observou variação de cor no sangue venoso dos marinheiros de um navio holandês, concordava com Joule ao afirmar que existia certa equivalência entre trabalho mecânico e calor, de modo que propôs uma análise biofísica para a modificação da cor do sangue venoso tratando o corpo humano como motor térmico.

Segundo Ben-Dov (1996, p.57), “As ideias de Mayer sobre o corpo lembram a concepção de Descartes, para quem o mundo físico – nele incluídos os organismos vivos – era uma máquina imensa e complexa”. Assim, em seus estudos posteriores, Mayer varia suas aceções aproximando-se de diversos outros pesquisadores da época, ora concordando, ora discordando de seus pressupostos acerca do conceito de calor.

Mayer, acreditando que existiam diversos equivalentes do calor (mecânico, elétrico e químico) postula que no Universo há uma entidade física fundamental que possui diversas formas de manifestação à qual chamou de força, por influência de Leibniz. Esta força passou a ser entendida como Energia – termo introduzido Hermann Von Helmholtz.

Em meio a tantas discussões, Gaspard de Coriolis (1792-1843) relacionou o conceito de energia cinética ao conceito de trabalho, que ficou conhecido como Teorema do Trabalho e da Energia Cinética:

$$\text{Trabalho} = \text{Força} \cdot \text{Deslocamento} = \frac{1}{2}(\Delta \text{vis viva})$$

Destacamos que o termo “energia” substituiu o termo “vis viva” a partir de 1807 e foi modificado para “energia cinética” a partir das contribuições de Lord Kelvin (1824-1907).

Quando analisamos o princípio da conservação de energia devemos atentar para a importância da noção de força na estruturação deste princípio o qual, segundo Helmholtz, se traduz na conversão de uma forma de energia em outra – considerando-se as diversas manifestações de fenômenos físicos a ela relacionadas.

Assim, existe uma energia térmica, uma energia luminosa, uma energia potencial, ligada à posição em um campo de força [...], uma energia cinética ligada ao movimento [...], uma energia eletromagnética e – esta é uma descoberta mais recente – uma energia nuclear (BEN-DOV, 1996, p.59).

Após a contribuição de vários estudiosos concluiu-se que a “força” de Leibniz corresponde a uma das formas da grandeza hoje conhecemos por “*energia*”. Neste sentido, Jammer (2011) destaca que

[...] talvez o mais importante seja que o conceito de força foi instrumental na construção do conceito de energia, ideia que contribuiu de modo incontestável para uma concepção unificada dos fenômenos físicos (2011, p.302).

A “força viva” proposta inicialmente por Leibniz é chamada hoje de energia cinética (após várias contribuições acima citadas); a “força morta” é hoje o que chamamos de energia potencial (produto do peso do corpo por sua altitude, conforme proposto por Leibniz); e a energia mecânica refere-se à soma de ambas. Ao estudarmos conservação da energia mecânica referimo-nos à conservação de duas energias que, inicialmente, partiu da noção de força em diferentes contextos.

## Considerações finais

Ao fazermos este estudo teórico e ao apresentá-lo acreditamos estar colaborando para o fortalecimento da prática docente quanto ao ensino dos principais conteúdos da mecânica no Ensino Médio que, por vezes, temos relatos de alunos não conseguirem correlacionar os conceitos a eles apresentados.

Abordar o conceito de Força não como um “fato isolado” da ciência, mas como um constructo teórico imerso num emaranhado de ideias e teorias que pode facilitar a compreensão acerca tanto deste conceito como a todos os demais relacionados à noção de força.

Ainda muito se discute acerca das produções acadêmicas que não chegam até as salas de aulas. Neste sentido, entendemos que este estudo pode ser amplamente utilizado em sala, seja como introdução ou como fechamento dos estudos da mecânica, ou ainda, como fonte de pesquisa, leitura compartilhada, como base para



elaboração de um pequeno teatro ou para a construção de jogos didáticos. Enfim, cremos que este trabalho tem o potencial de ser levado até os alunos, de modo que o professor atue como mediador na consolidação do conhecimento fazendo a devida transposição didática (PIETROCOLA, 2010) de termos que sejam de mais difícil apreensão pelos alunos.

Defendemos a ideia de que ensinar Física numa abordagem histórico-crítica poderá favorecer a superação de visões distorcidas (FERNÁNDEZ et al., 2002; GIL-PÉREZ et al., 2001) que acometem os estudantes de ciências. Cotidianamente, estes estudantes são expostos a um saber acumulado, precedido de breves resumos históricos, descontextualizados, formado por uma retórica de conclusões (MATTHEWS, 1995) – um ensino de Física divorciado da história das ideias.

## Referências

BEN-DOV, Y. **Convite à Física**. (Tradução: Maria Luiza de X. Borges) – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996. (Coleção Ciência e Cultura).

FERNÁNDEZ, I. ; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, J.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002. Disponível em <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/21841/21675>. Acesso em Jan. 2020.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma Imagem Não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência e Educação**, v.7, n.2, p. 125-153, 2001. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n2/01.pdf>. Acesso em Jan. 2020.

JAMMER, M. **Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica**. Rio de Janeiro: Contraponto: Ed. PUC-Rio, 2011.

MATTHEWS, M.R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 12(3), p. 164-214, 1995. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>. Acesso em Jan. 2020.

PIETROCOLA, Mauricio. Inovação curricular em Física: transposição didática e a sobrevivência dos saberes. In: **A pesquisa em ensino de Física e a sala de aula: articulações necessárias** [S.l: s.n.], 2010.