

---

## O CONCEITO DE FORÇA NA IDADE MÉDIA

---

*F. F. de Souza Cruz*

Departamento de Física – UFSC

Florianópolis – SC

Quando se fala em Idade Média é necessário separá-la em dois períodos. O primeiro se caracteriza por uma aversão ferrenha a todo o conhecimento dito pagão (grego, por exemplo). Nas palavras de São Jerônimo, este conhecimento era "a estúpida sabedoria dos filósofos". Ou, como desejava Santo Agostinho, "transmitir as gerações seguintes e por muitos séculos a convicção de que o único conhecimento desejável era o conhecimento de Deus e da alma, e que não havia nenhum ganho em investigar ou interrogar a natureza". "Era necessário", continua Santo Agostinho, "lutar contra as tentações da carne, da gula e a de saber por saber"<sup>(1)</sup>.

Este primeiro período ou "interlúdio sombrio", como o chamou Arthur Koestler<sup>(1)</sup>, dura aproximadamente do ano 200 ao ano 1000 de nossa era. No ano 1000 o papa Silvestre 11 relaxa o poder das escrituras e a herança grega, que havia sido guardada pelos árabes, pode então ser resgatada.

Assim, em 1120, Euclides e, em 1175, Ptolomeu foram redescobertos pelos europeus. O mundo que, segundo as santas escrituras, era considerado retangular passou a ser tomado como esférico novamente. Interrogar a natureza começa a ser permitido. Aristóteles é então retomado.

A cosmologia aristotélica, com seu mundo dos céus e o mundo da terra, podia ser bem assimilada pela Igreja dos céus e do inferno. As interpretações das sagradas escrituras, em voga na época, garantiram a Aristóteles um lugar de destaque.

A retomada de Aristóteles foi fundamental, pois significou recolocar a natureza como objeto do conhecimento. Porém, segundo a tradição de nada criar, mas apenas interpretar, muitos apenas trocaram as escri-

turas pelos textos de Aristóteles, transformando-os em dogmas. Para alguns autores<sup>(2)</sup>, o conhecimento neste período podia se resumir a notas de pé de página dos livros de Aristóteles.

Por outro lado não podemos ser demasiadamente duros com a Idade Média. Ela foi um período extremamente ambíguo. Assim, além dos monges obscurantistas do primeiro período, temos também os monges e pensadores esclarecidos que, ao retomarem Aristóteles, deram os primeiros passos para a Renascença.

Deve-se a estes últimos, particularmente a São Tomás de Aquino, a doutrina da dupla verdade – a verdade religiosa, dada pela revelação divina, e a verdade "científica", obtida pela razão e pela investigação da natureza. Com esta doutrina pode-se de novo interrogar a natureza e, assim, entender aquela parcela de Deus inteligível pela razão.

Dentro desta doutrina pode-se entender a prova da existência de Deus enunciada por São Tomás de Aquino. Isto é, até então, a existência de Deus não era uma questão de entendimento ou de razão, mas sim uma questão de fé.

O interessante nesta prova é a utilização do conceito de força aristotélica. Assim, segundo Aristóteles, "tudo que se move é movido por alguma outra coisa". Além do que, o que move e o que é movido devem estar em contato. Daí deduz-se que aquele que causa o movimento também se move. Isto, argumenta São Tomás de Aquino, nos leva a uma cadeia infinita, porque o que causa o movimento deve ser movido por algum outro que, por sua vez, deve ser movido por outro, etc... Esta cadeia deve ser quebrada em algum ponto. Isto é, deve existir um ser que mova sem se mover e sem ser movido e este ser deve ser Deus.

Observem que utilizar a física aristotélica para provar a existência de Deus era quebrar a tradição dogmática dos primeiros monges. A física aristotélica parecia conciliar os dogmas religiosos com a necessidade de se encontrar respostas a questões e soluções a problemas que a natureza e a vida colocavam aos homens.

Neste segundo período da Idade Média, a questão mais importante era como conciliar a natureza, a vida e o conhecimento com a fé,

os céus e o poder da igreja, isto é, como entender a interação entre céus e terra.

Neste ponto temos a semente dos desenvolvimentos que nos levaram à física newtoniana. Se resgatar Aristóteles era recuperar a natureza como objeto de conhecimento, aceitá-lo pura e simplesmente era aceitar a separação entre a física dos corpos celestes e a física dos corpos terrestres. Isto é, aceitá-lo era perpetuar esta separação. Como então entender a interação entre os céus e a terra? As marés, já se sabia, tinham seus movimentos relacionados com os movimentos dos corpos celestes.

Antes de entrarmos nos desenvolvimentos da Idade Média seremos obrigados a tratar algumas teorias de outras escolas que tentaram tratar a interação entre céus e terra e deram contribuições significativas para o aprofundamento do conceito de força

### As marés e a astrologia

As marés eram bastante conhecidas dos gregos e várias explicações já haviam sido sugeridas. Trataremos apenas dos desenvolvimentos feitos pela escola estóica. Um dos membros eminentes desta escola (Stoa – cidade grega) foi Poseidonius que, à maneira de um cientista moderno, se deslocou para a cidade de Gades e, durante um certo tempo, observou detidamente o movimento das marés. Com estas observações, ele mostrou com clareza a relação entre o período das marés e o período do movimento dos corpos celestes.

Constatada esta relação entre céus e terra, o universo se tornava unido novamente. Para os estóicos, o universo estava unido por um sistema de forças. Estas forças não eram propriedades de um corpo e ao atuarem não exigiam que houvesse contato entre corpos. Elas eram manifestações de uma “ação à distância recíproca entre corpos” – uma SIMPATIA. Segundo Alexandre de Aphrodisias (outro membro desta escola), a SIMPATIA agia por meio do “pneuma”, que era um fluido etéreo que ocupava todo o universo e no qual os corpos estavam imersos.

O conceito de SIMPATIA foi criado a partir da noção de “SIMPHATOS” na medicina, de onde se sabia que a doença num órgão do corpo poderia afetar um outro órgão distante.

Esta idéia esteve presente explícita ou implicitamente na astrologia e em toda a literatura mística, religiosa, científica e filosófica do período romano.

Bem, mas o que isto traz de novo para o conceito de força? Simpatia, além de reunificar o cosmos fragmentado de Aristóteles, concebe a ação à distância e com isso introduz a busca por um conceito mais universal de força. Porém, os caminhos do conhecimento são tão confusos quanto os sociais e, ao invés de engendrar um conhecimento mais científico, o conceito de “SIMPATIA” serviu de justificativa para a astrologia e para interpretações teológicas do mundo.

A escola estóica foi atacada pelos que a sucederam, porque o seu conceito de “simpatia” e de “pneuma” buscava dar uma materialidade para a interação entre os céus e a terra. Na Alexandria formou-se uma escola de fundo religioso judaico que criticou duramente a concepção estóica e que influenciou profundamente o pensamento da igreja medieval.

Segundo a escola Judia Alexandrina, a existência de um Deus transcendente, onisciente, onipresente e onipotente era incoerente com a visão estóica de um “pneuma”. Conforme a interpretação desta escola, os estóicos estavam dando uma potencialidade para causar movimentos ao “pneuma”, isto é, estava dotando o “pneuma” de um princípio ativo, um poder divino. Ao mesmo tempo, como o “pneuma” é matéria, tínhamos matéria com poder divino o que era para eles uma contradição visto que, dentro da teologia monoteísta, Deus é imaterial.

Dentro desta linha de raciocínio, a escola Judia Alexandrina, baseando-se fortemente nos livros sagrados e na visão monoteísta de um Deus transcendente, isto é, apartado do mundo, retirou a materialidade da visão estóica e difundiu, a idéia de que todas as forças da natureza eram manifestações de um poder divino.

Philos, um dos mais eminentes desta escola, expressava a crença de que inteligências divinas, ou anjos eram as forças motrizes responsáveis pelo movimento dos corpos celestes.

O cosmo dos alexandrinos era um mundo de camadas, onde as mais externas eram mais divinas e iam perdendo a divindade e ganhando materialidade à medida que se aproximavam da terra.

As interações entre camadas divinas e não divinas deveriam ser feitas por intermediários meio divinos e meio humanos, os anjos. É curioso notar que o arcanjo Gabriel tem esse nome derivado de “GEVER” (HOMEM) e “EL” (DEUS), isto é, o intermediário entre o mundo dos céus e o mundo do homem.

Este pensamento foi inteiramente absorvido pela Igreja. Os céus e a terra continuavam dissociados, eram mundos separados que interagiam apenas pela vontade divina. Todos os movimentos e forças eram manifestações de um Deus que era imaterial e estava em toda a parte e em nenhum lugar. O universo era fechado e submerso por diversos véus e graus de divindade. Os movimentos dos corpos terrestres eram dirigidos pelos movimentos dos corpos celestiais que, por sua vez, eram movidos por inteligências divinas ou anjos. Assim, São Tomás de Aquino afirmava que “os movimentos dos corpos inferiores (terrestres), sendo vários e múltiplos, estavam relacionados com os movimentos dos corpos celestiais, como à sua causa”<sup>(3)</sup>. Esta visão astrológica do mundo deu origem a alguns desenvolvimentos significativos para o conceito de força.

De fato, podemos separar, ao menos didaticamente, duas vertentes no desenvolvimento do conceito de força. A primeira, originada da astrologia, se preocupa com a força cósmica e a segunda, mais terrena, se preocupa com a questão dos movimentos dos corpos e sua quantificação.

As duas vertentes e o anti-aristotelismo

Dos pensadores da primeira vertente vamos tratar um em especial – Roger Bacon.

Bacon se preocupou em analisar o mecanismo físico de propagação das forças originadas dos céus. Fortemente influenciado pelos trabalhos do árabe Al-Kindi, Bacon, como este último, concebia a força como algo que se propagava no espaço como os raios de luz.

Para Bacon, os objetos do universo, embora distintos no que se refere à substância do qual eram formados, estavam ligados através de uma rede de ações recíprocas. As ações eram, segundo ele, ativadas pela difusão de “virtudes celestiais”.

Observem que “virtude” ou “força” como era denominado é ainda um conceito obscuro que, como veremos, se confunde com o que hoje denominamos energia. Bacon, ao analisar esta emanção ou difusão de “virtudes celestiais” postulou a existência de uma outra substância, “ESPÉCIES”. Na sua concepção, “ESPÉCIES” era uma substância que, quando cedida ao corpo, o dotava de movimento.

ESPÉCIES parece análoga ao calórico, aquela substância hipotética que, cedida aos corpos, fazia com que eles aumentassem sua temperatura. Mas ESPÉCIES também tinha, segundo Bacon, propriedades análogas a substâncias químicas, visto que só ativaria as potencialidades latentes do corpo se este fosse receptivo. Isto é, só haveria reação do corpo se este tivesse características particulares. Assim, o ímã, por exemplo, ativa as propriedades magnéticas do ferro através da “ESPÉCIE” “MAGNÉTICA”, porém outros corpos não eram afetados por não serem receptivos.

A concepção de ESPÉCIES como substância emanada de um corpo tinha alguns problemas. SE o corpo continuasse irradiando ESPÉCIES, em algum momento ele perderia todo o seu conteúdo e se esgotaria. Para fugir deste problema ESPÉCIE foi então interpretada como ligada ao meio – éter (pneuma). Assim, a presença do corpo num ponto do espaço ativaria a ESPÉCIE do meio que se propagava até alcançar o outro corpo e ser absorvida por este.

Esta idéia é semelhante à de uma onda elástica transmitindo energia.

Deve-se notar que, para Bacon, não se tratava de uma ação à distância, mas sim uma seqüência de processos de contato entre partes

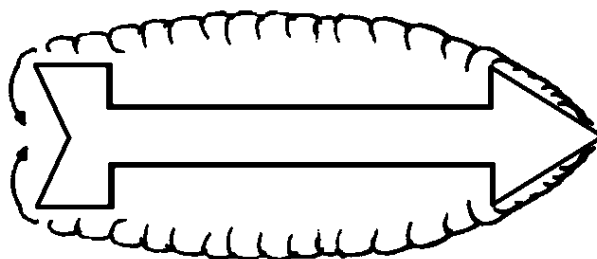
vizinhas do meio. A idéia de ação à distância só foi defendida de maneira clara por Guilherme de Occan em seu livro *Sententiae*. Essa concepção não foi bem aceita na época, visto que a grande maioria estava ainda muito ligada às idéias de força de contato de Aristóteles.

A crítica Aristóteles foi se tornando mais profunda e consistente com elaboração gradual de uma teoria para a que da dos graves. Esta elaboração, como veremos, levou ao abandono da idéia de forças de contato e da doutrina que afirma que todo movimento de objetos inanimados requer a existência de um outro objeto ou ser que causa o movimento. Isto é, a elaboração gradual da teoria da gravidade levou ao surgimento do princípio de inércia.

A situação mais corriqueira e que gerava maior polêmica na física de Aristóteles era o movimento de projétil, como o de uma flecha, por exemplo. A grande questão era; o que mantém o movimento da flecha depois que ela perde o contato com a corda do arco?

Aristóteles explicava este movimento da seguinte forma:

Ao ser mover, a flecha ocupa um espaço que antes era ocupado pelo ar. A quantidade de ar que aí estava se movimenta para ocupar o vazio deixado pela flecha na parte traseira, o que a impulsiona.



Desta forma, meio {ar} funciona como suporte e mantém o corpo em movimento. Para explicar a resistência do meio, Aristóteles afirma que o processo de reocupação do vazio deixado pela flecha não é um processo perfeito o que faz com que o movimento vá perdendo força e o corpo parando, de tal forma que o movimento é finito em extensão.

Na física aristotélica tem que ser sempre finito em extensão, visto que o mundo para ele é um mundo limitado pela abóbada celeste. Este mundo fechado e limitado exigia, por coerência, um movimento finito

em extensão e com velocidade finita também. Isto exigia que todo movimento ocorresse com resistência do meio, pois sem ela não haveria perdas e o corpo teria uma velocidade infinita.

Este tipo de argumentação levou Aristóteles a firmar que não havia vazio e, por ironia, enunciar a prova de inexistência do vazio, ele termina por formular, de maneira límpida, o princípio da inércia.

“Ninguém pode dizer porque uma coisa uma vez posta em movimento, pode parar em qualquer lugar, pois por que pararia” aqui “ou lá”? Assim sendo, o corpo ou estaria parado ou se movimentaria “ad infinitum” a menos que alguma coisa mais forte modificasse este comportamento”.<sup>(4)</sup>

Notem que a formulação do princípio da inércia tem que ser precedida por uma mudança da cosmologia “do mundo fechado ao universo infinito.

O debate levantando questões sobre o papel da resistência do meio, isto é, a possibilidade ou não do movimento no vazio, vai construir a base para uma mudança na cosmologia e para o surgimento do princípio da inércia.

Nesta disputa, a formulação matemática, ou seja, a lei de forças de Aristóteles é questionada e interpretada de diferentes maneiras. É necessário, aqui, ressaltar que Aristóteles não fez uma formulação matemática. Segundo Pierre Duhem <sup>(5)</sup>, na epistemologia (teoria do conhecimento) de Aristóteles, a Matemática e a Física estavam dissociadas.

A formulação matemática mais aceita como sendo a lei de forças de Aristóteles é:

$$v = \frac{F}{R}$$

onde:  $v$  – velocidade,  $F$  – força e  $R$  – resistência.

No artigo anterior <sup>{6}</sup> nós apresentamos uma outra formulação

$$V = \frac{F}{P}$$



onde  $P$  é o peso. Nesta forma, o peso do corpo faz o papel de resistência ao movimento. Uma discussão sobre estas interpretações seria bem vinda, porém vamos analisar os opositores de Aristóteles.

Começaremos por João Philoponus {sec .V-VI DC} que antecedeu aos pensadores medievais.

Segundo João Philoponus, o movimento era possível no vazio e por essa razão ele substituiu  $v = F/R$  por:

$$v = F - R$$

Nesta formulação, a resistência podia ser zero no vazio e assim mesmo no corpo teria velocidade finita, ao contrário de Aristóteles.

Philoponus concebia a força como algo que era transmitido ao corpo. Portanto, não era necessário o contato entre corpos durante o movimento. Para ele, esta força que era absorvida pelo móvel se auto-desgastava com o tempo, que fazia com que os corpos parassem mesmo na ausência de resistência do meio. Esta idéia de força transmitida e absorvida já havia sido levantada por Hipparchus.

A obra Philoponus foi muito anterior aos desenvolvimentos dos monges esclarecidos como São Tomás de Aquino, Roger Bacon, etc...No entanto, os conceitos e idéias Philoponus foram difundidos pelos árabes quando invadiram e se estabeleceram na Europa. Avempace {1106-1138DC}, um árabe espanhol, defendia as idéias de Philoponus. Por sua vez Averroes {Ibn Roush – 1126 – 1198} o grande comentador e defensor das idéias de Aristóteles, divulgou Avempace para refutá-lo.

Nesta disputa se alinharam nomes como São Tomás de Aquino e Roger Bacon como defensores de Avempace-Philoponus e Alberto o grande, e Egidius de Roma ao lado de Averroes-Aristóteles.

O conceito de força ganhou novos desenvolvimentos com outros pensadores do Merton College tais como Oresme e Bradwardine, além de nomes importantes como Buridan, Kepler etc...Estes outros desenvolvimentos serão tratados proximadamente.

## Referências Bibliográficas

1. KOESTLER, A. Les sonambules. d. Calman Lévy, 1960.
2. FRANKLIN, A. Principle of inertia in the middle ages. Am. J. Phys., 44(6): 529 -545, 1976.
3. JAMMER, M. Concepts of force. Harvard University Press, 1957.
4. KOYRÉ, A. Do mundo fechado ao universo infinito. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1979.
5. DUHEN, P. Sur la notion de theorie physique. Ed. Librairie Philosophique Jurin.
6. CRUZ, F. F.S. O conceito da força no pensamento grego. Cad. Cat Ens. Fis., 2(1): 16-24, 1985.
7. KOYRÉ, A. Études galiléennes. ed. Hermann Paris, 1980.
8. CHATELET, F. A filosofia medieval. Rio de Janeiro, Zahar, 1974.
9. COLLINGWOOD, R.G. Ciência e filosofia. ed. Martins Fontes, 1976.