

DIFERENTES SIGNIFICADOS DA PALAVRA MASSA EM DIFERENTES ÉPOCAS

Alexandre Medeiros*
Cleide Medeiros**

Introdução

A palavra massa recebe no linguajar comum uma grande variedade de significados que por vezes se sobrepõem àqueles veiculados nas salas de aula. Crianças e leigos, em geral, utilizam tal palavra numa variada gama de acepções. Essa diversidade de *conotações*¹ da palavra massa é usualmente constatada por muitos professores que se dão conta do quanto isso pode interferir na aprendizagem do conceito científico. Entretanto, mesmo alguns professores de Física costumam adotar significados correntes na linguagem cotidiana ainda quando estão diante de situações que necessitariam de uma conceituação científica².

Ainda que vários professores percebam a sutileza do conceito de massa e da conseqüente dificuldade do seu ensino, pouco parecem poder fazer diante da complexa tarefa de garimparem, naquela enorme variedade de significados atribuídos no cotidiano, a existência de possíveis *pontes* em direção ao conceito científico. Na verdade, uma tal situação é agravada pelo fato de que mesmo no campo atual da Física o próprio caráter *denotativo* da palavra massa depende do contexto de aplicação ao qual estejamos nos referindo. Assim, até mesmo o simples uso da palavra massa na Física, sem especificarmos se estamos trabalhando com altas ou com baixas velocidades, comparadas com a velocidade da luz, causa um problema de comunicação. Aqui não se trata apenas de distintas conotações que uma tal palavra possa receber no linguajar cotidiano, trata-se efetivamente de admitir, que mesmo aqueles significados socialmente compartilhados e acordados dentro de uma comunidade científica, têm seus limites de validade. Dentro de contextos de validade

...mesmo aqueles significados socialmente compartilhados e acordados dentro de uma comunidade científica, têm seus limites de validade

diferentes, de baixas ou de altíssimas velocidades, por exemplo, a massa pode ser tida quer como uma característica invariante da matéria (conceito vigente na mecânica clássica), quer como uma grandeza dependente da velocidade do corpo (conceito relativista). Tais diferentes significados requerem bem mais que simples *pontes entre distintos sentidos*, requerem verdadeiros *saltos conceituais* para serem compreendidos. Essa variada gama de significados denotativos e conotativos que a palavra massa pode receber confunde, sem sombra de dúvida, os mais atentos estudantes.

Com o intuito de auxiliar os professores na busca de algumas dessas possíveis pontes, ou da necessidade de saltos, entre os diversos significados da palavra massa no contexto da ciência, oferecemos a seguir um breve retrospecto histórico da evolução e da transformação de uma tal idéia que conduziram ao conceito de massa inercial na mecânica clássica³.

A Idéia de Massa na História da Ciência

A concepção de massa lecionada no ensino médio e comumente apresentada como newtoniana, contém a idéia de que a matéria é caracterizada por uma resistência intrínseca às mudanças no seu estado de movimento. Essa não é uma questão simples ou fácil de ser imediatamente compreendida, pelo contrário, ela equivale a uma construção histórica que começou apenas a tomar forma no século XVII. Até mesmo o simples fato de ser a massa uma propriedade da matéria não parece algo trivial. É comum que crianças e mesmo adultos – inclusive professores de Física – usem um tipo de linguagem no qual a idéia de massa seja confundida com a própria idéia de matéria ou de corpo. Assim,

ouvimos, por vezes, falar em *uma força aplicada a uma certa massa m*, quando a forma mais conveniente de falar seria dizer *uma força aplicada a um corpo de massa m*. A massa, cientificamente falando em termos modernos, é uma propriedade da matéria e não a matéria em si mesma ou um corpo, por exemplo. Ainda que se pudesse alegar que falar em *uma força aplicada a uma massa m* seria uma simples elipse, uma figura de linguagem na qual uma palavra é propositalmente omitida, por ficar subentendida, cabe aqui a questão: até que ponto realmente tal idéia estaria, de fato, subentendida? Deste modo, formas como esta de falar parecem denotar uma compreensão não muito elaborada do sentido mais sutil da idéia de massa. Essa dificuldade é compreensível, pois a aquisição do moderno conceito de massa não se deu sem traumas e sem disputas interpretativas, muito pelo contrário.

Na Física aristotélica, por exemplo, não havia a menor possibilidade de que um conceito como o de massa, na acepção tida como newtoniana, acima descrita, pudesse ter lugar. Os corpos eram vistos como tendendo espontaneamente aos seus lugares naturais em virtude das suas *gravidades* ou *levezas*, das suas propriedades intrínsecas, isto é, de serem *pesados* ou *leves*. Esse tipo de movimento não exigia a noção da existência de qualquer agente externo, de uma força, por exemplo. Certamente, havia os movimentos violentos ou forçados, como o lançamento de uma flecha. Neles, era requerida a ação de um agente externo, uma força, para justificar a violência de não se obedecer à tendência natural do movimento. Entretanto, mesmo nesse caso, não havia a necessidade de admitir-se algo como um movimento inercial conjugado com a atuação de uma força, que é a interpretação newtoniana do fenômeno e que carrega nessa idéia de inércia o novo conceito de massa como expressão de sua medida. A explicação aristotélica apelava para a denominada *antiperistasis*, ou seja, para um movimento causado por comoção, pelo ar que era empurrado pela ponta da flecha e que imediatamente corria para trás da mesma com o objetivo de impedir a

formação de um vácuo. Sendo o Cosmos aristotélico um *continuum*, onde o vácuo não poderia existir, essa explicação parecia por demais conveniente. Ressalte-se que esse Universo contínuo aristotélico não admitia, por conseqüência, a existência de átomos, pois se tais partículas mínimas e indivisíveis da matéria pudessem existir haveria o vácuo entre os mesmos. Num mundo físico concebido como perfeito, onde não havia lugar para descontinuidades, a *natureza tinha horror ao vácuo*.

Os filósofos escolásticos medievais, seguidores e reformadores do pensamento aristotélico, introduziram o conceito de *quantitas materiae* (quantidade de matéria). Sem chocar-se com o dogma maior do aristotelismo, da impossibilidade do vácuo, aquela nova concepção permitia que se buscasse uma explicação alternativa para o movimento de uma flecha que não fosse apenas a da *antiperistasis* causada pelo ar. O corpo era visto transportar na sua quantidade de matéria, simultaneamente, o motivo e a quantidade do seu movimento, o seu *impetus*. Essa *quantitas materiae* era vista, portanto, como relacionada à *quantidade de movimento de um corpo*. Deste modo, o conceito medieval de quantidade de matéria era compatível com as formulações aristotélicas e poderia, portanto, a ele chegar-se, partindo das posições de Aristóteles e procedendo por um simples processo de reforma conceitual. Aqui, entretanto, residia o problema: não podendo aceitar a existência do vácuo, o movimento não poderia processar-se num vazio que estava proibido de existir. Deste modo, a quantidade de matéria de um corpo, embora estivesse associada à quantidade de movimento que este corpo poderia adquirir, não era vista como algo semelhante a uma medida da inércia, medida da tendência do corpo conservar indefinidamente aquele movimento. Como não era concebida a possibilidade de eliminar todas as forças de resistência, visto que o vácuo era tido como impossível, a idéia de que a quantidade de matéria pudesse ser também uma medida da inércia soava como algo absurdo e incongruente com a visão medieval.

Ressalte-se, aqui, que os medievais

tinham, como Aristóteles, ótimos argumentos lógicos para não aceitarem o vácuo. Não se tratava, como pode parecer à primeira vista, de uma cegueira intelectual ou de uma descabida teimosia; absolutamente! Os aristotélicos não acreditavam na existência de uma propriedade da natureza como a inércia dos corpos, embora já houvessem, muito antes de Newton, considerado tal possibilidade e chegado à conclusão lógica de que a mesma seria um absurdo. Com efeito, diferentemente do que muitos livros didáticos afirmam, de que os aristotélicos não haviam considerado a atuação do atrito e por isso não teriam concebido a inércia, foi a consideração das forças de resistência que os levou a negarem a existência de uma inércia e de um vácuo por decorrência.

Os aristotélicos atribuíam a uma força a capacidade de manter um corpo com uma certa velocidade. Admitiam, igualmente, que mercê das resistências existentes, este mesmo corpo adquiriria velocidades maiores ou menores. Numa simbologia moderna, onde v simbolizasse a velocidade, F a força motora e R a resistência, esse raciocínio equivaleria a escrever:

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

A questão, portanto, era a de que admitir que a resistência ao movimento pudesse ser anulada (vácuo) levaria a velocidade do corpo a tornar-se infinita. Isso era o mesmo que dizer que um corpo poderia deslocar-se entre dois pontos sem gastar tempo algum, o que seria o mesmo que afirmar que um tal corpo material poderia ocupar dois lugares, simultaneamente. Como isto era um evidente absurdo, pois a propriedade da onipresença era, segundo os Escolásticos medievais⁴, um atributo exclusivamente divino, a existência do vácuo foi rejeitada e com ela a possibilidade da concepção da quantidade de matéria como relacionada a algo como a inércia. A passagem, portanto, da concepção aristotélica ou mesmo medieval, para a moderna concepção de massa inercial, ensinada nas escolas, não é algo que possa ser feito de modo meramente evolutivo. Nesse tipo de

transição não há *pontes* possíveis; o que é necessário, antes de tudo, é um *salto conceitual* gigantesco na própria mente do observador⁵.

A falta de um arcabouço teórico vetorial contribuiu também para que os aristotélicos e medievais não concebessem os relacionamentos entre as forças como uma subtração de vetores ao invés de como uma divisão de dois números, o que poderia ter-lhes ajudado a contornar o paradoxo no qual caíram. Ferramentas teóricas desse porte, entretanto, não estavam disponíveis na época.

Um dos primeiros a romper com os escolásticos foi Kepler (1571 – 1630). Tentando encontrar uma explicação para o movimento dos planetas ele foi levado a considerar a possibilidade de que os corpos resistissem a entrar em movimento de tal forma que uma tal resistência fosse proporcional às suas densidades. No cômputo da densidade, entretanto, Kepler, seguindo uma tradição dos Antigos, considera a relação entre o peso do corpo e o seu volume. Embora a concepção de Kepler já seja um corte em relação às visões aristotélicas, ele ainda não diferencia a massa do peso de um corpo e antes mesmo a confunde com a densidade de um corpo na caracterização da propriedade da matéria de resistir a entrar em movimento.

Nos experimentos de Galileu (1564 – 1642) com pêndulos e planos inclinados já podemos encontrar um embrião da separação dos conceitos de peso e massa. Deve-se, porém, a Giovanni Battista Baliani (1582 – 1666) a primeira contribuição inequívoca na direção efetiva de tal separação conceitual. Em seu livro intitulado *Sobre o Movimento dos Corpos Pesados* (1638), Baliani distingue claramente aquilo que ele chama o *pondus* de um corpo, o seu peso na nossa linguagem moderna, do *moles* desse mesmo corpo, que poderíamos identificar com o nosso conceito de massa. Para Baliani, o *pondus* é um princípio ativo externo que, portanto, atua sobre o corpo, enquanto o *moles* é um princípio passivo interno intrínseco a toda a matéria. Ele ainda argumenta que é a proporcionalidade existente entre esses dois princípios que

impede que os corpos mais pesados ultrapassem os corpos mais leves em queda livre. Conclusões semelhantes às de Baliani foram defendidas por Huygens (1629 – 1695) ao estudar em 1659 as forças centrífugas atuantes nos pêndulos dos relógios.

Entre a Física aristotélica e a Física medieval podemos identificar um processo de mudança conceitual evolutivo; entretanto, entre esta última e as novas concepções de Kepler, Baliani e Huygens somos forçados a admitir a existência de uma transição mais brusca, de um autêntico corte epistemológico com o dogma do horror ao vácuo. A essa transição mais brusca, talvez surpreendentemente, não filiamos Galileu, que apesar de ter rompido com vários pontos das crenças aristotélicas e haver mesmo levantado um germe de uma tal transição, manteve-se até o final da vida fiel à concepção do horror ao vácuo. Diante do célebre problema das águas que não se elevavam além de uma certa altura nas fontes, Galileu conjecturou apenas que esse horror ao vácuo talvez tivesse um limite.

Considerando-se as contribuições de Kepler, Baliani e Huygens somos tentados a imaginar que uma vez rompida a cortina do preconceito medieval, o caminho estaria definitivamente pavimentado em direção à aceitação da concepção de massa inercial. Ledo engano! A Física cartesiana dos séculos XVII e XVIII viria a contrapor-se vigorosamente às teses newtonianas, dentre outros pontos a esse novo conceito de massa. Para Descartes (1596 – 1650) e para os seus seguidores, que restituem a idéia de um Universo contínuo, a única propriedade intrínseca da matéria é a sua extensão. A matéria é vista, assim, como a *rés extensa*. Em certo sentido, essa interpretação cartesiana, que tem sua origem em 1644, mas que avança por todo o século XVIII nas mentes dos cartesianos, equivale a um retrocesso em relação às concepções que haveriam de ser desenvolvidas por Newton na segunda metade do século XVII.

Mesmo a descoberta feita em 1671 por Jean Richter (1630 – 1696) de que o peso de um corpo varia com o local, não

abalou as estruturas do dogma cartesiano. Com que autoridade, afinal, um simples resultado de um experimento poderia pretender abalar a grandiosidade de uma tão portentosa teoria? Os historiadores da ciência mais adeptos de visões empiristas têm sérias dificuldades para dar conta desse fato. A questão da conceituação da massa não estava, nem de longe, próxima de uma solução. Mesmo o grande Newton (1642–1727), a quem devemos implicitamente o conceito de massa inercial, nunca usou explicitamente tal denominação. Seu conceito de massa vai, seguramente, na direção do que atualmente denominamos, ainda que impropriamente, de massa inercial newtoniana, mas Newton não chega a torná-lo explícito. Além disso, o próprio Newton não escapou, como muitos dos nossos contemporâneos ainda não escapam, de confundir-se nos meandros sutis de uma tal conceituação. Apesar de ter defendido a necessidade de distinguir-se a *quantidade de matéria* de um corpo do seu próprio peso, Newton ainda definiu a massa de um modo um tanto circular, como o produto do volume de um corpo pela sua densidade. Uma das grandes contribuições newtonianas na direção do estabelecimento do conceito mais abstrato de massa inercial foi, sem dúvida, a sua explicação para os resultados dos experimentos de Richter, acima mencionados, de que o peso de um corpo variava de acordo com o local em que era medido. Newton argumenta que isso se deve ao fato de que apesar do peso de um corpo ser sempre proporcional à sua quantidade de matéria, a aceleração da gravidade também varia de ponto a ponto da Terra, pelo fato do nosso planeta não ser uma esfera perfeita. Desta forma, Newton consegue explicar a variação do peso de um corpo, mantendo ainda assim a sua massa constante. A atribuição de uma tal variação do peso à mudança na aceleração é algo para o qual a sua segunda lei da mecânica constitui-se no principal fundamento.

A concepção de massa, entretanto que costumamos encontrar nos livros didáticos é um pouco mais abstrata que a do próprio Newton. Com efeito, a idéia de encarar a massa de um corpo como sendo

um simples coeficiente numérico, característico do corpo e proveniente da divisão da força resultante que atue sobre o mesmo pela aceleração assim adquirida, é um refinamento da idéia newtoniana introduzido por Leonhard Euler (1707 – 1783). Foi apenas a partir dos trabalhos de Euler que o conceito de massa inercial, como uma medida da inércia de um corpo, passou a ser dominante. Apesar de ser uma nova aceção, mais abstrata, do conceito newtoniano de massa, o conceito introduzido por Euler pode ser visto como uma reformulação da interpretação newtoniana; em última instância, como uma nova conotação do mesmo conceito e, não exatamente, um novo significado denotativo para o termo.

O curto espaço deste trabalho impede que tentemos incursões históricas mais ousadas que enveredem igualmente pela história do conceito de massa gravitacional e sua problemática relação com o conceito aqui discutido de massa inercial. Igualmente, sentidos mais modernos atribuídos à palavra massa ficam fora do nosso presente campo de estudos. De toda forma, vale salientar que a concepção clássica de massa veio a sofrer, a partir do final do século XIX, uma série de transformações em decorrência dos trabalhos principalmente de J. J. Thomsom, Oliver Heaviside, Max Abraham e tantos outros. Essas transformações culminaram com as contribuições de Einstein, Dirac, Heisenberg e Pauli, já no século XX. Esse é um assunto, entretanto, que transcende em muito o escopo do presente artigo, cujo objetivo declarado, já no seu título, restringe-se à discussão das transformações e evoluções dos sentidos do termo massa inercial no seio da mecânica clássica.

Conclusões

Na retrospectiva histórica traçada ficaram evidenciados parte dos avanços e dos retrocessos nas conceituações adotadas para a idéia de massa ao longo da história. Pretendemos, também, que tenha

ficado claro que alguns daqueles significados atribuídos eram de tal forma ligados uns aos outros que poderiam ser tidos apenas como novas conotações dos mesmos, num sentido evolutivo de tais termos. Em tais casos, seria possível pensarmos em lançar uma *ponte* entre aqueles diferentes significados. Outras vezes, porém, os significados atribuídos eram de tal modo conflitantes uns com os outros que a passagem entre eles requereria muito mais do que uma simples ponte; requereria um enorme *salto conceitual*.

A existência de possíveis paralelos entre aquelas conceituações encontradas ao longo da história e as distintas atribuições de significados elaboradas pelos estudantes na atualidade é um tema que se oferece à pesquisa. De fundamental importância, porém, é nos apercebermos dos diferentes graus de coerência de tais visões e dos distintos comprometimentos mantidos por antigos cientistas e por sujeitos atuais que, porventura, apresentem concepções que àquelas se assemelhem⁶.

Para os educadores interessados na busca de uma mudança conceitual seria interessante que atentassem para o caráter por vezes polissêmico, por vezes homonímico dos significados atribuídos por seus alunos em relação aos conceitos científicos lecionados. Uma tal caracterização poderia esclarecer melhor o tipo de metáfora a ser adotada para a mudança ou transição conceitual almejada: se a de uma *ponte* ou a de um *salto conceitual*. No caso da palavra massa, a extensão em que tais transições possam ser caracterizadas como homonímias ou como polissemias em relação aos ensinamentos retirados da história da ciência é um tema, porém, que se oferece para uma outra investigação.

Notas

***Alexandre Medeiros** é Mestre em Ensino de Física pela USP e PhD em Educação em Ciências pelo *Centre for Studies in Science and Mathematics Education* da

A concepção de massa, (...) que costumamos encontrar nos livros didáticos é um pouco mais abstrata que a do próprio Newton.

Universidade de Leeds, Inglaterra. Atualmente é professor na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

****Cleide Farias de Medeiros** é Mestre em Psicologia da Educação pela PUC-SP e PhD em Educação Matemática pelo *Centre for Studies in Science and Mathematics Education* da Universidade de Leeds, Inglaterra. Atualmente é professora na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

1. A influência recíproca entre a decodificação e a codificação de mensagens ocorre através do relacionamento entre o significado pretendido e o significado interpretado. Assim, a natureza *denotativa* das palavras é comumente associada pelos sujeitos com os seus significados *conotativos*. A *denotação* significa “a coisa que é realmente nomeada ou descrita por uma palavra, ao invés dos sentimentos ou idéias que são sugeridas por uma palavra” enquanto que a *conotação* é “qualquer dos sentimentos ou idéias que são sugeridos por uma palavra, ao invés do significado real da palavra” (Longman Dictionary of Contemporary English, 1987). Podemos dizer que o relacionamento entre o significado conceitual ou denotativo e o significado conotativo é tal que “enquanto o significado conceitual é substancialmente parte do ‘sistema comum’ da linguagem compartilhada pelos membros de uma comunidade da fala, o significado associativo é menos estável e varia com a experiência do indivíduo” (Leech, 1981, p. 19). O “significado conotativo é o valor comunicativo que uma expressão possui em virtude daquilo a que ela refere-se, para além de seu conteúdo puramente conceitual /.../ conotações estão aptas a variarem de idade a idade e de sociedade a sociedade /.../ elas variam, consideravelmente, de acordo com a cultura, período histórico e a experiência do indivíduo” (Leech, op. cit., pp. 12-13). Isto significa dizer que as palavras são usadas tanto em um sentido estrito como em um sentido amplo dependendo dos significados a elas atribuídos. Essa é a razão porque quando dizemos que ‘chove a cântaros’, não estamos dizendo que potes caem do céu,

mas que chove torrencialmente” (Medeiros, 2001).

2. Ver Medeiros et al, 2000; Medeiros et al, 2001.

3. Ver Bynum et al, 1988; Feather, 1957; Jammer, 1999; Arjpssev, 1973; Burt, 1980.

4. ‘Escolásticos medievais’ é uma designação para os seguidores da filosofia aristotélica quando esta filosofia está sob a interpretação de Tomás de Aquino (grande filósofo italiano da cristandade).

5. Ver Butterfield, 1965; Ebison, 1986.

6. Ver Driver, Guesne & Tiberghien, 1985.

Referências Bibliográficas

- ARJPSEV, F. *A Matéria como Categoria Filosófica*. Lisboa: Editorial Estampa, 1973.
- BURTT, E. *The Metaphysical Foundations of Modern Science*. London: Routledge & Kegan Paul Ltd, 1980.
- BUTTERFIELD, H. *The Origins of Modern Science*. London: Bell & Sons, 1965.
- BYNUM, W., BROWNE, E. & PORTER, R. *Dictionary of the History of Science*. New York: MacMillan Press Ltd, 1988.
- DRIVER, R., GUESNE, E. & TIBERGHEN, A. Some Features of Children’s Ideas and their Implications for Teaching. In: R. DRIVER, E. GUESNE & A. TIBERGHEN (Eds). *Children’s Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press, 1985.
- EBISON, M. Newtonian in Mind but Aristotelian at Heart. In: *Proceedings of the Multinational Teacher Trainer Conference on Science Education and the History of Physics*. Munich, maio, 1986.
- FEATHER, N. *Mass, Length and Time*. Edinburgh: Thomas Nelson and Sons Ltd, 1959.
- JAMMER, M. *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*. New York: Dover Publications Inc., 1997.
- MEDEIROS, A., MEDEIROS, C. & BEZERRA FILHO, S. A Complexidade e as Dificuldades na Aprendizagem do Conceito de Massa, *Coletânea do I Simpósio Latino-Americano da IOSTE (International Organization for Science and Technology Education)*, fevereiro-2000, pp. 564-567.

MEDEIROS, A., MEDEIROS, C. & BEZERRA FILHO, S. A. Problemas de Linguagem na Conceituação da Palavra Massa. *Atas do III ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de*

MEDEIROS, C. Modelos Mentais e Metáforas na Resolução de Problemas Matemáticos Verbais, *Ciência & Educação*, Vol 7, No. 2 , 2001.
