
A POLÊMICA ENTRE LEIBNIZ E OS CARTESIANOS: MV OU MV²?

Roberto Leon Ponczek
Depto. de Física – UFBA
Salvador – Ba

Resumo

Pretende-se mostrar que os princípios de conservação da natureza, como o da energia e do momentum linear, tiveram a sua origem nos mitos de criação do Universo e estavam também presentes nas idéias dos filósofos pré-socráticos. Com o Racionalismo do séc. XVII, a partir de Descartes e Leibniz, evoluem para se expressarem na forma de leis matemáticas. Tanto a conservação da grandeza mv , preconizada pelo primeiro, quanto a da grandeza mv^2 , preconizada pelo segundo, antes tidas como excludentes, galgaram a condição de leis universais coexistentes e complementares.

I. Introdução

As primeiras concepções acerca da origem do Universo foram os mitos cosmogônicos, como o Gênesis bíblico e o Enuma Elis babilônico, que já descreviam o início do Universo como obra de um ou vários deuses que ordenavam o caos inicial através de uma separação das coisas que logo em seguida passavam a existir ganhando um nome. A matéria-prima era assim o caos que se transformava pela ação divina. A partir do séc. V a.C. na Grécia, a mitologia foi sendo substituída por uma visão filosófica na qual o Universo era construído a partir de um elemento primordial, o *arché*, que poderia ser a água, segundo Thales, o ar, segundo Anaxímenes, ou o *apeyron* (indefinido, em grego), segundo Anaximandro. Empédocles propunha a teoria dos 4 elementos primordiais – terra, ar, fogo e água – que se transformavam, sob a ação de duas forças – amor e ódio – gerando tudo o que existe. Os atomistas sustentavam, conciliando entre a imutabilidade do ser de Parmênides e o eterno vir-a-ser de Heráclito, que a diversidade e a mutabilidade das coisas existentes no Universo poderiam ser explicadas através da combinação de elementos imutáveis e indivisíveis, os chamados átomos e que, além disso, “nada surge do nada”, mas tudo surge de uma (re)combinação atômica.

É importante notar assim, que todas essas antigas concepções já continham em si o embrião da idéia de conservação de algo primordial que é indestrutível. Para os gregos, somente a imutabilidade poderia representar o atributo da perfeição divina e vice-versa, o que é perfeito não poderá jamais mudar, sob o risco de perder a sua condição. Os princípios de conservação, além de meros princípios matemáticos de transformação da matéria, eram assim considerados a representação da perfeição com que foi criado o Universo.

Na Idade Média, dominada pela escolástica, o Universo e sua evolução obedeciam ao desígnio divino e cumpriam uma finalidade. A pergunta básica não era “porquê” as coisas acontecem?, mas sim “para quê?”. Um monge medieval diria que uma pedra cai para ocupar o seu lugar natural abaixo dos outros três elementos: fogo, ar e água, para assim restabelecer a ordem cósmica, na qual a Terra repousa estática no centro do Universo.

II. O Racionalismo do século XVII

No séc. XVII, com os avanços da ciência, que ocorreram a partir de Copérnico, Kepler e Galileu, o homem passa a perceber o Universo como produto de uma evolução que ocorre não mais pela ação direta de um Criador que molda uma a uma, *ex-nihilo*, as suas criaturas, mas pela existência de leis universais da natureza que podem ser expressas matematicamente, estas sim criadas por Deus e sendo a representação de Sua inteligência superior. A questão passa então a ser colocada de uma outra forma: se Deus criou a matéria dando-lhe um sopro inicial, colocando-a em movimento, quais seriam as leis básicas que regeriam a evolução do Universo? Quais seriam as grandezas que melhor representariam a matéria e seu movimento? Que expressões matemáticas melhor representariam os grandes princípios de conservação do universo? A contemplação escolástica medieval da obra divina passa a ser substituída pela pergunta: *por quê?* Enquanto que o *para quê* é a pergunta da causa final, ou finalidade, o *por quê* é a pergunta da causa eficiente, ou causalidade.

Descartes acreditava num deísmo, no qual Deus criava a matéria e seu movimento sem nenhuma interferência posterior. Nada melhor representa esta concepção do que a célebre frase atribuída ao filósofo francês:

Concedam-me a matéria e seu movimento e eu construirei o Universo.

Tudo estava assim pré-determinado pelas condições iniciais com que havia sido criada a obra divina. Não havia nenhuma transcendência da matéria além de sua extensão e seu movimento. A partir dessa premissa básica, Descartes construiu a sua

complexa teoria dos vórtices, na qual, através de uma longa rede de causas e efeitos, tenta explicar desde a origem e a evolução do universo até a formação da crosta terrestre. O filósofo francês acreditava também na existência de leis fundamentais da natureza, criadas juntamente com a matéria, e que assim foram formuladas em seu livro, *Princípios de Filosofia*¹:

Cada coisa permanece no mesmo estado o tempo que puder e não muda este estado senão pela ação das outras e cada parte da matéria jamais continua a mover-se segundo linhas curvas, mas sim segundo linhas retas.

Se um corpo que se move encontra outro mais forte que ele, não perde nada de seu movimento e se encontra outro mais fraco, a quem possa mover, perde de seu movimento aquilo que transmite ao outro.

A primeira lei é uma espécie de princípio de inércia, que Newton formularia com mais precisão nos *Principia*, enquanto que a segunda é uma lei geral dos choques, na qual Descartes postula que “*Deus é a primeira causa do movimento, e que Ele conserva uma mesma quantidade de movimento no universo*”². O sábio francês queria dizer, em linguagem moderna, que se um corpo pequeno colide com outro grande (“corpo mais forte”) ele inverte a sua velocidade, algo como uma bolinha de ping-pong colidindo com uma parede. E se o corpo colidir com um menor (“outro mais fraco”) transmitirá parte de sua quantidade de movimento a este segundo corpo.

Estava assim estabelecida a lei geral de conservação do movimento, que, para Descartes, tinha a sua verdadeira medida como o produto da massa³ pelo módulo da velocidade do corpo, sendo assim, a grandeza representativa da imutabilidade e perfeição na obra do Criador. O filósofo francês não tinha, a exemplo de Galileu, um

¹ DESCARTES R., *Princípios de Filosofia*, Trad. S. Milliet, Obras Escolhidas, ed. Difel, S.P.

² Op. Cit.1

³ A filosofia dualista cartesiana opera com dois atributos essenciais, a *res extensa* e a *res cogitans*. O primeiro se refere à extensão dos corpos materiais e o segundo às coisas do pensamento como a razão, às paixões, etc. Assim sendo, o conceito físico fundamental para Descartes é a porção de espaço que um corpo ocupa, isto é, seu volume. O conceito de massa só foi introduzido formalmente na Física através dos *Principia* de Newton, no entanto, corpos feitos da mesma substância (hoje chamaríamos de mesma densidade) têm a massa proporcional ao volume de sorte que a extensão cartesiana somente confunde-se com a massa para uma restrita família de corpos feitos da mesma substância.

conceito claro de massa, a qual confundia com o volume, o peso e a força do corpo, além de que seu conceito de velocidade não era vetorial e sim escalar, valendo para a conservação apenas o seu módulo.

III. O pensamento de Leibniz

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), matemático, filósofo, político e historiador alemão, nascido em Leipzig, pode ser considerado, juntamente com Newton, Descartes, Galileu e Spinoza, um dos maiores espíritos do séc. XVII. Sua contribuição foi imensa em cada uma das atividades em que atuou. Em matemática, sua grande façanha foi a de ter desenvolvido o cálculo integral-diferencial independentemente de Newton, o que lhe valeu injustas acusações de plágio por parte dos seguidores do sábio inglês. Além de publicar seu trabalho antes, ele o fez, ao contrário de Newton, com a notação de diferenciais tal qual a conhecemos atualmente. Filosoficamente, Leibniz criou um sistema de pensamento próprio, de certa forma, contrário ao de Descartes, acreditando que, para a concepção do Universo, não bastavam apenas a extensão e o movimento da matéria, mas era necessário também introduzir algumas idéias metafísicas, como o esforço, a vontade e a alma. Uma outra noção fundamental, não só do sistema filosófico de Leibniz, como a de outros sistemas filosóficos racionalistas contemporâneos, foi a de *causa imanente*, que se expressa, *causa aequat effectum*⁴, isto é, uma identidade completa entre a causa e seu efeito que neste se manifesta, exprime e esgota⁵. Leibniz, embora concordando com Descartes sobre a necessidade de exatidão nos princípios e no método, considerava indispensável devolver à ciência certas noções que os cartesianos haviam excluído. Contra o dualismo cartesiano, que opõe a matéria (*res extensa*) ao pensamento (*res cogitans*) situando-os em domínios distintos, Leibniz propõe a teoria das mônadas, espécie de átomo da espiritualidade e da força da matéria, não vendo nenhuma contradição entre esta e o espírito. Passa, assim, a buscar a verdadeira representação matemática da força (*vis*) das mônadas. Para Spinoza, também não havia dualidade porque tanto o pensamento como a extensão da matéria eram manifestações da substância divina, e esta se confundia com a própria natureza e suas leis. Leibniz e Spinoza, ao contrário de Descartes, eram pensadores monistas.

⁴ MORA, J.F., Dicionário de Filosofia, (verbete causa), Trad. R.L. Ferreira e A. Cabral, ed. Martins Fontes, 1998, S.P.

⁵ Spinoza levou o princípio da causa imanente às últimas conseqüências teológicas, ao postular que Deus seria a causa imanente do Universo, sendo este a sua manifestação e expressão através da natureza e de suas leis. “Deus sive natura”. (Deus, ou seja, a natureza) é frase que melhor caracteriza a metafísica de Spinoza.

Leibniz tentava também descobrir uma forma melhor de achar a verdadeira medida do movimento da matéria a qual atribuía, como Descartes, à uma força que lhe é imanente. Lembrando-se das experiências de Galileu Galilei, descritas em seu livro *Duas Novas Ciências*⁶, no qual o sábio italiano concluiu que a velocidade final de corpos em queda livre não dependia do peso, mas apenas da altura da qual caíssem. Compreendeu Leibniz que um objeto pesado causaria mais impacto ao atingir o solo do que outro leve, supondo ambos caindo de uma mesma altura e adquirindo, portanto, a mesma velocidade final. O filósofo alemão acreditava que, para medir a *força*, bastava encontrar uma maneira de medir o impacto *causado* pelo corpo. Esse, por sua vez, de acordo com o princípio de identidade entre causa e efeito, confundir-se-ia com a própria força, pois, que esta lhe é imanente. É então importante notar que, para a filosofia leibniziana, a força e o impacto, o qual faz o corpo erguer-se novamente, eram um par constituído pela causa imanente e o correspondente efeito que a exprime. Assim, a força descendente, o impacto e a nova força ascendente formariam uma tríplice cadeia de causas imanentes e efeitos.

Em 1686, Leibniz, em sua obra *Discurso de Metafísica*⁷, estuda mais profundamente a Física dos choques, reformulando os conceitos cartesianos, que passa abertamente a criticar:

Freqüentemente nossos novos filósofos se servem da famosa regra em que Deus conserva sempre a mesma quantidade de movimento do universo. De fato isto é muito plausível e antes eu próprio a tinha como indubitável. Porém há algum tempo reconheci em que consiste o seu erro. O Senhor Descartes e muitos hábeis matemáticos têm acreditado que a quantidade de movimento, isto é, a velocidade multiplicada pela magnitude (massa) do móvel é exatamente a força motriz ou, para falar matematicamente, que as forças estão na razão direta das velocidades e das magnitudes(...)

A seguir Leibniz nos demonstra que a massa⁸ vezes a velocidade não deve ser a verdadeira medida de uma “força”, e sim a massa pelo **quadrado** da velocidade.

⁶ GALILEI G., "Duas Novas Ciências" ("Discursos Referentes a Duas Novas Ciências a Respeito da Mecânica e Dos Movimentos Locais"), Nova Stella Editorial, 1985, S.P.

⁷ LEIBNIZ W.G., *Discurso de Metafísica*, Os Pensadores, Abril Cultural, 1983, S.P.

⁸A esta altura Leibniz, inspirado nos *Principia* de Newton, provavelmente já possuía um conceito mais claro de massa, que segundo o sábio inglês é a “quantidade de matéria oriunda conjuntamente da sua densidade e grandeza”.

Seu argumento básico é de que um corpo A de massa quatro vezes menor que a de um corpo B, porém caindo de altura quatro vezes maior, ao colidir com o solo, deve ter uma força igual. Galileu e Torricelli já haviam descoberto que as velocidades finais de um corpo em queda livre eram proporcionais à raiz quadrada da altura, e assim o corpo A, quando tocasse o solo, teria uma velocidade apenas duas vezes maior que a do corpo B, o mesmo acontecendo com sua quantidade de movimento. No entanto, a razão entre as velocidades deveria ser de quatro para um, e assim, Leibniz prova que a grandeza que mede o movimento e, portanto a verdadeira medida da força, é a massa vezes o *quadrado* da velocidade, isto é, mv^2 , e não mv , como acreditavam os seguidores de Descartes (os novos filósofos a quem Leibniz refere-se). Na argumentação acima, é importante ter-se novamente o entendimento claro de que a força (*vis*), como causa prima, o impacto como efeito e causa imanente de seu novo efeito expresso na elevação do corpo, devem converter-se inteiramente um no outro, para que este assim retorne à sua altura original. Em seu *Essay de Dynamique* (Ensaio sobre Dinâmica)⁹, Leibniz escreve como seu primeiro axioma: (no ciclo completo que começa com a queda e termina com o corpo elevando-se à altura original) “*A mesma quantidade de força é conservada, ou melhor, o efeito todo é igual à causa total*”. Sendo esse axioma uma exigência básica do princípio metafísico de identidade entre causa imanente e efeito. Para uma minuciosa análise dos argumentos de Leibniz a favor da *vis viva* e contrários à quantidade de movimento de Descartes, o leitor poderá consultar o artigo *Wich is the true force? Descartes Quantity of Motion or Leibniz vis viva?*, de L.A. Silva e J.B. Bastos Filho¹⁰. No artigo em questão, os autores demonstram que a afirmação central de Leibniz de equivalência causal entre dois corpos de massas distintas, situados inicialmente em alturas inversamente proporcionais às suas massas, pode ser inferida da estática, o que historicamente lhe dá uma aura de credibilidade, pois esta ciência já estava bem estabelecida na época de Leibniz. Em seguida, os autores consideram um experimento mental distinto, substituindo o efeito final “elevar-se à mesma altura” por “deformar uma superfície”, mostrando que o princípio metafísico de causa imanente é aplicável também para o que hoje denominamos de choques totalmente inelásticos.

A grandeza mv^2 , nomeada de *vis viva*, e a quantidade de movimento de Descartes, mv , passaram então a disputar entre si o status de *verdadeira medida do*

⁹ LEIBNIZ W.G., *Essay on Dynamics* em Costabel P., *Leibniz and Dynamics* (The text of 1692), 1973, Cornell University Press

¹⁰ SILVA, A.S. and BASTOS FILHO J.B., “Wich is the true force? Descartes Quantity of Motion or Leibniz vis viva?” *Third International history, philosophy and science teaching conferences*, Minneapolis, EUA (1995), Vol. 2, pp.1068-1079

movimento e da força de um corpo. A questão foi motivo para grande discussão entre os cartesianos e os leibnizianos e tomou conta de todo círculo científico da época.

IV. A confusão entre força, inércia e energia

É importante esclarecer que, antes do advento dos *Principia* de Newton, o conceito de força (*vis*) dos séc. XVI e XVII estava ainda impregnado de um aristotelismo escolástico, dos quais nem os grandes Descartes e Leibniz conseguiram se desvencilhar. Para Aristóteles, um corpo em movimento possuía uma *vis* imanente que era necessário se esgotar para que o corpo pudesse parar em seu lugar natural. A força era, então, a medida do próprio movimento, e algo que lhe era inerente. O próprio Newton levou cerca de vinte anos para formular a primeira lei de movimento, lutando contra a sua consciência, até então impregnada de conceitos, como forças inatas e *vis inertiae* e coisas que o valham¹¹. Somente com a formulação completa de suas três leis de movimento é que a força começou a ser percebida como algo *extrínseco* ao corpo, que lhe é comunicada por outros corpos que estão em sua vizinhança e que faz mudar o seu estado. O conceito newtoniano de força é, então, filosoficamente bem distinto da *vis viva* de Leibniz. Pois, em Newton, a força, ao contrário da *vis* do filósofo alemão, é *causa transcendente* da mudança do movimento de um corpo, uma vez que nele não se origina nem se esgota, porque provém de sua vizinhança (outros corpos) que, às vezes, como na força gravitacional, podem estar distantes. A ação à distância, por não poder ser jamais uma causa imanente, foi inclusive objeto de sérias críticas e controvérsias, que se prolongaram ao séc. XVIII e XIX, só sendo convenientemente esclarecida depois da invenção do conceito de campo por Faraday e Maxwell¹².

Em linguagem moderna, poderíamos dizer que só a partir das leis de Newton é que os conceitos de volume, peso, força e massa foram claramente separados e definidos. Explica-se, assim, historicamente, o porquê da disputa em que praticamente todos os grandes sábios do séc. XVII envolveram-se para decidir qual era a verdadeira medida do movimento.

Em geral, os sábios italianos e alemães defendiam as idéias de Leibniz, enquanto que os franceses eram quase todos cartesianos. A polêmica tornou-se áspera e até o filósofo Voltaire dela tomou parte do lado dos cartesianos.

¹¹ Na primeira edição dos *Principia* (cujo prefácio é de 8 de maio de 1686), em sua definição III, Newton escreve: *A força inata da matéria* (o grifo é nosso) *é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado(...)*.

¹² Op. cit.10 e Kuhn, T.S., *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Trad. Boeira V.B., Editora Perspectiva, São Paulo, 1982. 257p.

V. Huygens e a evolução do conceito de energia

O grande matemático e físico holandês Christian Huygens (1629–1695), tido por Ernst Mach “como um autêntico sucessor de Galileu”, deu inúmeras contribuições à ciência do séc. XVII, como o princípio de propagação ondulatória da luz, que leva o seu nome; a expressão matemática do pêndulo composto; a expressão da força centrípeta; além de ter sido o primeiro construtor de relógio de pêndulo, revolucionando com esta invenção a história de medição do tempo.

Em 1669, quando o jovem Leibniz ainda era um cartesiano, e portanto longe de defender a *vis viva* como grandeza fundamental de sua metafísica, Huygens, após cuidadosas observações sobre o que acontecia quando dois objetos em movimento colidiam, afirmou que, numa colisão “entre corpos duros”¹³, como, por exemplo, entre duas bolas de bilhar, a soma das *vis viva* de cada uma das bolas é a mesma antes e depois da colisão. Um corpo poderia ter a velocidade diminuída pela colisão, enquanto que a do outro aumentaria. Conseqüentemente, a soma das duas *vis viva* seria sempre a mesma. Nas próprias palavras de Huygens¹⁴:

A soma dos produtos da massa de cada corpo duro pelo quadrado da sua velocidade é sempre a mesma antes e depois do encontro.

Huygens teve, assim, decisiva influência no desenvolvimento das idéias de Leibniz e segundo P. Costabel¹⁵:

Leibniz, tendo não só aprendido há muito, com Huygens que a quantidade de movimento no sentido cartesiano (onde a velocidade é tomada apenas em seu módulo) não é conservada no fenômeno do impacto(...) aprendeu o papel que a elasticidade exerce na explicação das leis de impacto e finalmente entendeu também a conservação da grandeza mv^2 .

¹³ Diria-se hoje, “em uma colisão perfeitamente elástica”.

¹⁴ Cf. SCHURMANN, P.F., Historia de la Física, Tomo 1, 2^a ed., Buenos Aires, Editorial Nova381p il.

¹⁵ COSTABEL, P., Leibniz and Dynamics (The text of 1692), Cornell University Press, 1973, (N.York).

Num universo concebido como a evolução da matéria e de seu movimento a *vis viva* passava a ser assim, graças a Huygens e Leibniz, uma séria candidata para a melhor representação matemática da matéria em movimento.

Como sabemos hoje, a *vis viva*, isto é, a massa pelo quadrado da velocidade de um corpo é o dobro de uma grandeza que no séc. XIX foi chamada por Lord Kelvin (1824-1907) de *energia cinética*. O termo energia vem do grego, *energeia*, que significa “em movimento” ou “em funcionamento”, e surge para substituir a inadequada terminologia de *vis* ou força de Leibniz, ainda comprometida com o aristotelismo. As descobertas de Leibniz e Huygens foram, assim, embrionárias para a construção de um dos mais importantes princípios da Física: o da conservação de energia, que só foi formulado em meados do séc. XIX, num enunciado em que a energia do universo não pode ser criada nem destruída. O conceito de energia generalizou-se, então, a partir da *vis viva*, para abarcar todas as outras formas de energia, como, por exemplo, a *vis viva latente* ou *vis mortua*, como é hoje conhecida a energia potencial. A noção de energia potencial já foi intuída por Leibniz, que percebeu que uma força que realiza um trabalho (força vezes a distância percorrida pelo ponto de aplicação da própria força) suspendendo um corpo ou contraindo uma mola, comunica ao corpo uma energia de repouso que depois poderá ser reconvertida em energia cinética. Em um processo onde não ocorram perdas de energia, através de forças de atrito consideráveis, a soma da energia cinética e potencial deve permanecer praticamente a mesma ao longo de todo o processo.

Em 1798, o engenheiro militar norte-americano Benjamim Thomson (1753 – 1814), também conhecido por Conde Rumford, descobriu ao perfurar canos de canhão (para fazer as suas bocas) que o calor produzido pelas brocas era inextinguível, fervendo toda a água que era utilizada para o resfriamento. O calor, que antes era considerado uma substância que passava dos corpos quentes aos frios, chamada de calórico pelos físicos do séc. XVIII, deveria ser, portanto, considerado como uma forma de energia desorganizada que provinha da energia de movimento das brocas friccionadas pelo canhão. A partir de então, o calor passou a ser incorporado também nas equações que regem o princípio de conservação da energia. Existiriam assim duas formas de se transferir energia de um sistema a outro: o trabalho das forças se encarregaria de transferir energia mecânica, enquanto que o calor se transferiria por diferenças de temperatura entre os dois sistemas. No séc. XIX a antiga *vis viva* de Leibniz foi assim unificada ao calor através do conceito comum de energia, constituindo-se em uma das mais importantes leis da termodinâmica.

VI. Quem afinal tinha razão: Descartes ou Leibniz?

Esses fatos significariam assim a vitória consagrada da *vis viva* de Leibniz sobre a quantidade de movimento de Descartes? A quantidade de movimento do Universo, da mesma forma que a energia, também é imutável e, portanto, pode ser considerada uma grandeza fundamental da Física. Nos ocorre então perguntar:

Por que a natureza sempre tão econômica e parcimoniosa “escolheu” então dois princípios de conservação para representar o movimento de translação da matéria que constitui o Universo?¹⁶
Por que são necessárias duas grandezas matematicamente distintas para representar a perfeição do cosmos e de suas transformações?

Essas perguntas precisaram esperar quase três séculos para uma resposta convincente, mais precisamente do séc. XVII ao séc. XX, pois só puderam ser respondidas convenientemente depois do advento da Física newtoniana ocorrida no final do séc. XVII e no início do séc. XX, com a formulação quadri-dimensional da teoria da relatividade restrita.

A força newtoniana, de acordo com a segunda lei de movimento, produz aceleração, isto é, mudança de movimento do corpo. Mostra-se, nos cursos de Física básica, que a ação da força ao longo do espaço percorrido é igual à variação de energia cinética do corpo, enquanto que a ação da força ao longo do tempo é igual à variação de sua quantidade de movimento. Matematicamente pode-se escrever que $F \cdot d = \Delta (1/2) mv^2$, enquanto que $F \cdot t = \Delta (mv)$. A energia é, assim, a ação de uma força no espaço (grandeza também chamada de trabalho), enquanto que a quantidade de movimento é a ação da força ao longo do tempo (grandeza chamada de impulso de uma força). No séc. XX, o espaço e o tempo foram unificados e receberam um tratamento matemático indiferenciado pela relatividade restrita de Einstein, transformando-se no espaço-tempo quadri-dimensional que não pode ser desmembrado. Da mesma forma, a quantidade de movimento e a energia, como aspectos distintos de uma mesma essência, isto é, a ação da força no tempo e no espaço são irmãs siamesas que não podem ser separadas. A energia é, assim, o quarto componente do movimento, enquanto que a quantidade de movimento (um vetor) é os três componentes espaciais. Formam juntas um quadri-vetor, assim como o espaço-tempo.

¹⁶ Além de dois princípios de conservação de movimento de translação, será necessário estabelecer um outro princípio de conservação para a quantidade de rotação de um sistema fechado. A este princípio, enunciado pela primeira vez de forma completa por Lagrange, denominou-se princípio de conservação do momentum angular.

A *vis viva* mv^2 de Leibniz e a quantidade de movimento mv de Descartes, consideradas no séc. XVII como grandezas “rivais”, são hoje tratadas em pé de igualdade e consideradas ambas como representações do movimento e da transformação da matéria. Além disso, a famosa equação de Einstein de transformação massa-energia, que se expressa como $E=mc^2$, nos diz que uma pequena quantidade de massa pode se transformar em uma imensa quantidade de energia e vice-versa, uma grande energia pode se condensar para criar uma pequena massa. Assim, a própria energia pode ser considerada como um estado mais volátil da matéria. Massa, energia e quantidade de movimento passam assim a ser representações distintas de uma mesma realidade material. Vejamos o que o próprio Einstein tem a nos dizer ¹⁷ :

A física pré-relativista contém duas leis de conservação cuja importância é fundamental - a lei da conservação da energia e a lei de conservação da massa, em aparência completamente independente entre si. Através da teoria da relatividade elas se fundem em um único princípio.

Depois da teoria da relatividade, o Criador nem precisa mais soprar o Universo para colocá-lo em movimento, como acreditava Descartes, pois a matéria já possui em si o potencial de seu próprio movimento. Basta uma pequena fração do Universo desaparecer para dotá-lo de todo o movimento necessário para a sua evolução!

VII. Conclusão

O princípio da conservação da quantidade de movimento, estabelecido por Descartes, e o princípio da conservação das forças vivas (energia), cujo conceito foi estabelecido por Leibniz e Huygens, e que hoje são tidos como interdependentes e igualmente verdadeiros, são as expressões matemáticas mais adequadas para representar a evolução do Universo e marcam dois fatos de fundamental importância na história da ciência e na história dos princípios fundamentais da Mecânica.

VIII. Referências Bibliográficas

CHAUI, M., Espinosa, Uma filosofia da liberdade, Editora Moderna, 2.ed.S.P.

¹⁷ Cf. HALLIDAY, D.e RESNICK, R., Física, Ao Livro Técnico, 1973, R.J.

- COSTABEL, P., *Leibniz and Dynamics (The text of 1692)*, Cornell University Press, 1973, (N.York).
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. *Macropaedia*, 15^a ed., Chicago, 1974. 30 v. il. v. 11.
- DESCARTES, R., *Discurso sobre o Método, para bem dirigir a própria razão e procurar a verdade nas ciências*, trad. M. Pugliesi e N. P. Lima, Editora Universidade de São Paulo, S.P., 1998.
- DESCARTES R., *Princípios de Filosofia*, Trad. S. Milliet, *Obras Escolhidas*, Editora Difel, S.P.
- HALLIDAY, D.e RESNICK, R., *Física, Ao Livro Técnico*, 1973, R.J.
- KUHN, Thomas S., *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Trad. Boeira V.B., Editora Perspectiva, S.P., 1982. 257p.
- LEIBNIZ W. G. *Discurso de Metafísica, Os Pensadores*, Abril Cultural, 1983, S.P.
- LEIBNIZ W. G., *Essay on Dynamics em Costabel P., Leibniz and Dynamics (The text of 1692)*, 1973, Cornell University Press.
- MARTINS, R. A., *O Universo, Teorias sobre a sua Origem e Evolução*, Editora Moderna, 5^a ed.1997.
- MORA, J. F., *Dicionário de Filosofia, (verbete causa)*, Trad. R. L. Ferreira e A. Cabral, Editora Martins Fontes, 1998, S.P.
- NEWTON, Sir I., *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. Trad. de C.L. Mattos et alii, S.P., Nova Cultural, 1987. 240 p. il. Notas. Os Pensadores.
- NUSSENZVEIG, H. M., *Curso de Física Básica*. S.P., Edgard Blücher, 1988. 519 p. il. v.1.
- SAGRADA BÍBLIA, ed. Vozes, 18^a ed.1993, 1563p. il.
- SCHURMANN, P.F., *História de la Física, (citação de Huygens)*, Tomo 1, 2^a ed., Buenos Aires, Editorial Nova, 381p il.
- SILVA, A. S. and BASTOS FILHO J. B., “Wich is the true force? Descartes Quantity of Motion or Leibniz vis viva?” *Third International history, philosophy and science teaching conference, Minneapolis, EUA (1995)*, Vol. 2, pp.1068-1079.
- SYMON, K. R., *Mechanics*, Addison-Wesley, 2^a ed.1960, 557 p.il.
- VOLTAIRE, *Elementos da filosofia de Newton*, trad. M.G.S. do Nascimento, Editora Unicamp, Campinas, S.P., 1996.
- WESTFALL, R. S., *A Vida de Isaac Newton, The Life of Isaac Newton*. Trad. V. Ribeiro, R.J., Nova Fronteira, 1995, 328 p. il. Bibliogr.