

Evolução do conceito de energia a partir do Princípio da Conservação: algumas considerações

José Vieira do Nascimento Júnior¹ (PQ) jvnjunior@hotmail.com, Fábio Adriano Santos da Silva^{2*} (PQ). Elton Casado Fireman³ (PQ)

1-Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Exatas, Feira de Santana-BA.

2- Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Maceió-AL.

3- Universidade Federal de Alagoas, Centro de Educação, Maceió-AL.

Palavras-Chave: Energia, Leis da conservação, Matemática.

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de apresentar como ocorreu, epistemologicamente, o processo de matematização da natureza, através da construção histórica de uma grandeza que representasse o atributo da conservação dos elementos primordiais da natureza: matéria e energia. O trabalho, de natureza qualitativa, trata de uma pesquisa bibliográfica. Descreve-se nele algumas controvérsias entre atomistas pré-socráticos, passando por Descartes, Leibniz, Newton e Lavoisier, entre outros, até os dias do século XX, em Einstein, quando o princípio da Conservação da Matéria e Energia e vice-versa se amplia para o da Conversão.

INTRODUÇÃO

Raramente se vê referências aos fatos históricos e filosóficos que antecederam a construção do princípio da conservação da energia e da matéria na forma como se tem promovido o ensino de Química e Física.

Entretanto, atualmente há um crescente interesse dos alunos pelas disciplinas científicas quando o professor conduz sua prática de forma reflexiva, discutindo, problematizando e interpretando o significado dos conceitos científicos numa perspectiva histórica, o que possibilita novos horizontes para uma reflexão filosófica dentro dos limites da ciência, o que é recomendável do ponto de vista pedagógico, mas que não deve dar-se em detrimento da capacidade de cálculo. Pelo contrário, que seja suficiente para a formação dos conceitos e a construção de um discurso científico que aproxime conhecimento científico e o saber ensinado, tendo como um dos produtos dessa construção o desenvolvimento da capacidade de fazer previsões precisas dos fenômenos naturais, o que é próprio da Ciência, e que se originou da matematização desse discurso, sendo introduzida historicamente por Kepler, Galileo, Descartes e Leibniz (KOYRÉ, 2001).

As ideias sobre a conservação remontam a tempos imemoriais. O princípio da conservação, que pode ser aplicado a entes como a matéria e energia nas transformações físico-químicas e à quantidade de movimento, remonta a épocas cujo pensamento mitológico levou à concepção de mitos cosmogônicos, imbricados com as alegorias de deuses com características humanas. A pergunta que se fazia era: *Qual é a origem do universo e de todas as coisas?* A esta questão, antigos povos como os hebreus, babilônicos, além dos gregos na era mitológica (até séc. VI a.C.) tentaram encontrar respostas atribuindo aos deuses a ordenação do caos inicial que deu origem ao Universo. Nesse sentido, haveria um início para o universo: a matéria-prima desse universo em formação seria o caos, que em tudo se transformava pela ação divina (REALE e ANTISERI, 2003).

A partir do século V a.C., na Grécia, o pensamento mitológico foi sendo substituído por concepções filosóficas nas quais o universo era constituído por um

elemento: o *arché*, que poderia ser água segundo Thales, o ar, segundo Anaxímenes, ou *apeyron* [indefinido em grego], segundo Anaximandro.

Empédocles propunha a teoria dos quatro elementos primordiais – terra, água, ar e fogo – que se transformavam em tudo o que existe, sob a ação de duas forças, Amor e Ódio (PONCZEC, 2009).

O eleata Parmênides (séc. VI a V a.C.), no poema a *Via da verdade*, dizia que: *o que não é gerado não perece e existe por si mesmo, o ser é indivisível e todo igual*.

Isso traz em si um paradoxo e esse ser poderia ser interpretado em nossos dias como algo que não pode ser criado nem destruído e por isso é eterno.

Tentando solucionar o paradoxo acima, Leucipo de Mileto (séc. V a.C.) e Demócrito de Abdera (460-370 a.C.) remetiam a origem de todas as coisas aos quatro elementos propostos por Empédocles, sendo cada um desses elementos incorruptível, homogêneo, eterno e inalterável – características fundamentais do ser eleático, que não é passível de criação e destruição.

Nesse sentido, Leucipo e Demócrito introduzem o conceito de átomo como algo que:

[...] não é visível a não ser pelo olho do intelecto. Não tem qualidade, mas apenas formas geométricas, ordem e posição. É imutável, incorruptível, naturalmente dotado de movimento [...] todas as realidades nascem por agregação de átomos e morrem pela sua desagregação (REALE e ANTISERI, 2003).

Essa passagem mostra a ideia de indestrutibilidade dos átomos, ou seja, nessas antigas concepções estava presente o embrião da ideia de conservação de algo que é primordial e indestrutível.

Segundo Ponczek (2009) “[...] 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”. Para os gregos, somente a imutabilidade poderia representar o atributo da perfeição divina, e o que é perfeito não poderá jamais mudar, sob o risco de perder a sua condição.

Considerando esses apontamentos iniciais, o trabalho aqui apresentado tem o propósito de apresentar, de forma sucinta, como ocorreu, epistemologicamente, o processo de matematização da natureza, por meio da construção histórica de uma grandeza que representasse o atributo da conservação dos elementos primordiais da natureza: matéria e energia.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo ora apresentado envolveu uma pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa. Foi desenvolvido a partir da leitura de publicações diversas que tratam do tema principal da pesquisa – evolução histórica das concepções de conservação da matéria e energia, bem como a sua matematização.

Conforme destacam Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema, e envolve, dentre outros, a escolha do tema, compilação, fichamento, análise, interpretação e redação.

A pesquisa se enquadra como exploratória e descritiva, já que objetiva, respectivamente, proporcionar maior familiaridade com um problema, tornando-o mais

explícito ou construindo hipóteses, e fazer uma descrição das características de determinada população ou fenômeno (GIL, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em busca da grandeza que representa a matematização da natureza

No século XVII, com a consolidação da revolução científica protagonizada por Copérnico, Kepler, Galileo Newton, passa a predominar a visão de mundo na qual o mundo é regido por leis universais, cabendo ao criador o papel de arquiteto do universo, que cria as leis universais da natureza que podem ser expressas matematicamente. Isso em detrimento da visão escolástica medieval cujo universo e sua evolução obedeciam ao desígnio divino e cumpriam uma finalidade. Essa nova visão muda por completo as relações da sociedade com o conhecimento e os valores e costumes no Ocidente (KOYRÉ, 2001).

Essa nova “representação” do universo caracterizava-se por um deísmo matemático, substituindo o teísmo bíblico e entrou em vigor a partir do século XVII, passando a ser feita através da matemática, que passou a ser considerada como a “linguagem do mundo”. Com isso, as teorias estabelecidas pelos pensadores da época estavam sujeitas a sofrerem transformações e passaram a se “vestir” em forma de equações, ou seja, os princípios de conservação da natureza seriam expressos na linguagem matemática. Ainda no século XVII, surgem dois grandes filósofos: Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) e René Descartes (1596 – 1650), que após observações de corpos, tanto em colisões como em queda livre, perceberam que estes “possuíam” uma força, que seria nomeada, por Leibniz, de vis viva (mv^2) ou Quantidade de Movimento (mv), por René Descartes (KOYRÉ, 2001; RAMOS e PONCZEK, 2011).

Descartes acreditava num deísmo no qual Deus criava a matéria e seu movimento, sem nenhuma interferência posterior. Isso pode ser expresso em sua célebre frase: “Concedam-me a matéria e seu movimento e eu construirei o Universo”. Mais ainda, em sua obra, Princípios de Filosofia, ele afirmava:

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 (DESCARTES, 1982).

Neste caso, o que Descartes postula que “Deus é a primeira causa do movimento, e que Ele conserva uma mesma quantidade de movimento no universo”, isto é, se um corpo colide com outro de maior “massa” ele inverte sua velocidade, e se a coisa for com outro corpo de menor massa, transmitirá parte de sua quantidade de movimento a este segundo.

Assim, estabelecia-se a lei geral de conservação do movimento que, para ele, tinha sua verdadeira medida como produto da massa 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 Galileo, um conceito claro de massa 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 (PONCZEK, 2009).

A contribuição de Leibniz

O filósofo e matemático alemão Gottfried W. Leibniz, juntamente com Isaac Newton, René Descartes e Galileo Galilei, foi um dos que mais contribuiu para o desenvolvimento do que hoje se denomina Mecânica Clássica.

Leibniz tentava descobrir uma forma melhor de achar a verdadeira medida do movimento da matéria à qual atribuía, como Descartes, a uma força que lhe é imanente. Lembrando-se das experiências de Galileo, descritas no seu livro “Duas Novas Ciências”, 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, adquirindo portanto a mesma velocidade final. O conceito de força naquele momento ainda não estava bem consolidado pela Física. Leibniz acreditava que para medir a força: bastava encontrar uma maneira de medir o impacto causado pelo corpo.

Sua concepção sobre a física das colisões refuta com veemência os conceitos cartesianos quanto à física das colisões em sua obra “Discurso de Metafísica” aludindo ao princípio da conservação da quantidade de movimento:

Frequentemente 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 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 [...] (LEIBNIZ, 1983).

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

Seu argumento básico é que um corpo A de massa quatro vezes menor que de um corpo B, porém caindo de uma altura quatro vezes maior que este, ao colidir com o solo deve ter uma força igual ao do corpo B.

Segundo Torricelli e Galileo a velocidade final de um corpo em queda livre é proporcional à raiz quadrada da altura, $v^2 = v_0^2 + 2a(h)$ em que $v = \text{velocidade}$, e $a = \text{aceleração}$ e $h = \text{altura}$. Para $v_0 = 0$, temos $v = \sqrt{2a(h)} \Rightarrow v = \sqrt{2a} \cdot \sqrt{(h)} = k\sqrt{h}$, em que $k = \sqrt{2a}$.

Assim, quando o corpo A tocasse o solo, teria uma velocidade duas vezes maior que a do corpo B, mas a quantidade de movimento de B fora duas vezes maior que a do corpo A. No entanto, a razão entre as velocidades fora de quatro para um, $v_A = 4v_B$, e assim Leibniz demonstrou que quando se multiplica a massa pelo quadrado da velocidade se estabelece a igualdade e a grandeza que deve medir o movimento sendo a verdadeira medida de força é a massa vezes o quadrado da velocidade, ou seja, mv^2 , e não mv , como defendiam os cartesianos.

De acordo com Descartes, essa força de impacto verificada nas colisões era igual ao produto da massa pela velocidade. Se compararmos o impacto que os dois corpos acima citados faz com o solo temos:

$$F = mv$$

$$\text{Então temos: } F_A = m(\sqrt{4Ax}) = m2\sqrt{Ax} \text{ e } F_B = 4m(\sqrt{Ax})$$

$$\Rightarrow 2m\sqrt{Ax} \neq 4m(\sqrt{Ax})$$

$$\Rightarrow m_A v_A \neq m_B v_B$$

$$\text{ou seja, } F_A \neq F_B$$

Na formalização acima expressa, Leibniz coloca a força vis como causa primeira. 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 assim retorne à sua altura original, ou seja, o ciclo completo inicia-se com a queda, e termina

com o corpo elevando-se à altura original (OLIVEIRA, FIREMAN, BASTOS FILHO, 2013). A partir daí, as grandezas mv^2 [vis viva] e a quantidade de movimento de Descartes, mv , passaram a disputar entre si o status de “verdadeira medida do movimento e da força de um corpo”, o que gerou uma grande discussão científica no século XVII entre os cartesianos e leibnizianos.

Uma ruptura epistemológica no conceito de força

A despeito da discussão entre cartesianos e leibnizianos, nos séculos XVI e XVII, sob o conceito de força (vis) estava impregnado de um aristotelismo escolástico. Por exemplo, na escolástica um corpo em movimento possuía uma vis imanente que era necessária se esgotar para que o corpo pudesse parar em seu lugar natural – a força [inata] era a medida do próprio movimento e algo que lhe era inerente. Somente a partir da formulação completa das três leis do movimento de Newton é que a força passou a ser concebida como algo extrínseco ao corpo, algo que lhe é comunicado por meio de outros corpos que estão em sua vizinhança, e que muda seu estado. Nesse sentido, portanto, a diferença entre as concepções de força entre Newton e Descartes, Leibniz e Huygens dá-se no plano epistemológico. Enquanto em Newton a força origina-se por causas externas ao corpo em movimento, as forças segundo Descartes, Leibniz e Huygens originam-se em causas imanentes (internas) do movimento.

Mais além, outra ruptura quanto à causa da força de ação newtoniana que filosoficamente o diferenciou de Leibniz quanto à vis viva: ao contrário do filósofo alemão, força sendo causa transitória da mudança do movimento, não se originando nem cessando no corpo, mas sim na sua vizinhança (outros corpos) que podem estar muito distantes, remete ao caso da força gravitacional.

Essa proposta de forças atuantes a ação à distância feita por Newton gerou uma grande controvérsia de natureza epistemológica por dois séculos, sendo melhor esclarecida no século XIX através da formulação do conceito de campo por Faraday e Maxwell (KUHN, 1998). Mas sem dúvida, o papel de Newton foi importante, pois a partir dessa interpretação, os conceitos de volume, peso, força e massa foram claramente separados e definidos, e sem dúvida, abriu espaço para a formulação do conceito de energia.

A evolução do conceito de energia

No processo de estabelecimento da vis viva como uma grandeza fundamental que representasse a matéria em movimento outro personagem foi decisivo: o matemático e físico holandês Christian Huygens (1629-1695). Após cuidadosas observações sobre como se dava a colisão de dois corpos “duros”, como bolas de bilhar, ele chegou à conclusão de que a soma das vis viva de cada bola antes e depois da colisão é a mesma e de que numa colisão um corpo tem a velocidade diminuída à medida que a velocidade do outro aumenta, do que ele concluiu que, nas suas palavras “a soma dos produtos da massa de cada corpo duro pelo quadrado da sua velocidade é sempre a mesma antes e depois no encontro”.

Isso mostra a grande influência de Huygens nas ideias de Leibniz. Segundo Costabel (1962):

l'affirmation de Leibniz, selon laquelle, par exemple, un corps dont la masse est 2, en mouvement avec une vitesse 1, peut transmettre la totalité de son mouvement à un corps en repos, de masse 1. En théorie, tout le mouvement du premier corps pourrait être transféré. En fait, le mouvement actuel transféré est soumis à la loi de conservation du mouvement et à l'élasticité des corps. Si les corps sont parfaitement élastiques, la vis viva, ou énergie cinétique, est

conservée en plus du mouvement, et le calcul ne révèle aucune contradiction (COSTABEL, 1962).

Nesse sentido, influenciado por Huygens, Leibniz afirma a importância do conceito de elasticidade ao lado do princípio da conservação da grandeza momento, mv , que fora adotada por Descartes como a grandeza que representa a matéria em movimento. Além disso, Leibniz reafirma a *vis viva* como candidata para a melhor representação matemática da matéria em movimento.

Hoje sabemos que os conceitos de força desenvolvidos por Descartes (mv), as contribuições de Libniz e Huygens para a *vis viva* e a força de Newton (produto da massa pela aceleração: ma) assumem uma relação íntima no corpo da teoria newtoniana do movimento. A grandeza mv é numericamente igual ao momentum linear; a força mv^2 [vis viva] e é o dobro do trabalho realizado por uma força newtoniana, que posteriormente foi denominada como energia cinética por Lorde Kelvin.

O termo *vis viva*, ainda impregnado da escolástica aristotélica em pleno século XIX, ficou inadequado, sendo gradualmente substituído por energia cinética [energeia do grego], energia em movimento. Além disso, o conceito de energia se diversifica para outras formas com a *vis viva* latente ou *vis mortua*, hoje conhecida como energia potencial.

Assim se consagrava um dos princípios mais importantes da Física: o da conservação de energia. Este princípio generaliza-se então, derivando daí o conceito de energia mecânica de um sistema, resultante da soma das energias cinética e potencial, aplicado a sistemas nos quais que não haja a ação de forças dissipativas entre os corpos, como a de atrito. O princípio da conservação da energia mecânica aplica-se perfeitamente nesses casos.

Dentro do escopo das formas de manifestação da energia, o calor passou a ser incorporado às equações que regem o princípio da conservação da energia no século XIX. O calor, antes considerado uma substância que passava dos corpos quentes aos frios, chamada de calórico, pelos físicos do século XVIII, deveria ser considerado como uma forma de energia desorganizada que provinha da energia de movimento vibratório das partículas que constituíam os corpos.

Essa interpretação parte das observações feitas em 1798 pelo Conde Rumford, que constatou que ao perfurar canos de canhão o calor produzido fervia toda a água utilizada para o resfriamento. Assim, os físicos concluíram que havia duas formas de transferir energia de um sistema a outro: o trabalho das forças relativas à transferência de energia mecânica, e o calor que transfere energia térmica entre corpos com temperaturas diferentes. Desta forma, no século XIX, a *vis viva* de Leibniz unificara-se ao calor, através da evolução conceitual da energia, o que levou à formulação da primeira lei da Termodinâmica.

Vimos que a quantidade de movimento de um sistema isolado assim como a quantidade de energia desse sistema são imutáveis e, portanto, podem ser consideradas grandezas fundamentais da Física. Assim como a quantidade de movimento e energia, outros atributos inerentes da matéria também se conservam nos processos como a massa, o número de átomos e a carga elétrica, que também estão sujeitos ao princípio da conservação.

Nesse sentido, a contribuição do químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) foi crucial para resgatar para a Química o atomismo dos filósofos pré-socráticos, em especial Leucipo e Demócrito, e o princípio da conservação. Ele revolucionou a Química ao suplantando a ideia do *flogisto*, muito em voga naquela época, para justificar a conservação da massa em reações químicas enunciando o princípio da

conservação da massa: “na natureza nada se perde e nada se cria, tudo se transforma”. Por suas contribuições ele é considerado o pai da Química Moderna (MAGALHÃES e COSTA, 1994).

Além da conservação do momentum linear de Descartes, da vis viva de Leibniz, e da energia de um sistema isolado, de acordo com a primeira lei de Termodinâmica, junto com o estabelecimento das bases para a conversão e transformação de energia quando estabeleceu experimentalmente o equivalente mecânico do calor Joule entre 1837 e 1847, Albert Einstein deu um passo importante no século XX no estabelecimento do princípio da conservação-conversão da energia em matéria.

Esse passo se expressa pela equação $E = mc^2$, que nos diz que uma pequena quantidade de matéria pode transformar-se em uma grande quantidade de energia e, vice-versa. Desta forma, a própria energia pode ser considerada como um estado mais volátil da matéria. Nas palavras de Ponczec (2009), “matéria, energia e quantidade de movimento passam assim a ser representações distintas de uma mesma realidade material”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferentes visões quanto à verdadeira medida de força, através do impacto com o solo, gerou duas diferentes concepções de força e dois importantes princípios de conservação que regem o movimento dos corpos, ideias que remontam aos filósofos pré-socráticos, em especial, Demócrito.

A vis viva, estabelecida por Leibniz e Huygens, gerou o que chamamos hoje de energia cinética, ao passo que a quantidade de movimento de Descartes depois foi chamada de *momentum* linear, que são grandezas que têm uma íntima relação no corpo da teoria newtoniana do movimento.

À medida que a mecânica newtoniana consolidava-se, o conceito de energia e suas características como conservação, transformação e conversão também se afirmavam (CHAMERS, 1993). O princípio da conservação da energia mecânica (cinética mais potencial) de um sistema conservativo é um exemplo dessa evolução conceitual.

Posteriormente, o conceito de energia abarcou a equivalência entre calor e trabalho por Joule através da primeira lei da Termodinâmica, o princípio da conservação estendeu-se à matéria em transformações químicas, conforme a lei da conservação da massa de Lavoisier e à conservação da carga elétrica nas reações eletroquímicas, segundo Faraday.

Mais tarde, no século XX, Albert Einstein, por meio da Teoria da Relatividade restrita, estabelece um princípio da conservação que abrange outro princípio da natureza – o da conversão. Essa visão da natureza torna-se mais abrangente na medida em que o conceito de conservação evolui para o de transformação, sendo matéria e energia entes complementares de uma mesma realidade física (REALE e ANTISERI, 2003).

As concepções de força de Descartes e Leibniz-Huygens diferem epistemologicamente da concepção newtoniana. Enquanto as duas primeiras são causas imanente (internas) do movimento, situando-se no próprio corpo, a força de Newton é uma causa transitória (externa) do movimento de um corpo, originando-se em outros corpos.

Outra evolução no contexto epistemológico surge do conceito de massa – que assume um papel central na mecânica newtoniana. Em Newton a massa é constante e

se confunde com o conceito de inércia, trazida por Galileo, mas em Einstein o conceito de massa, além de não ser uma constante na sua equação, é passível de se transformar em energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHALMERS, A. **O que é ciência afinal?** Trad. Raul Filker. 2.ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993. 224p.

COSTABEL, H, J. W. Pierre. Leibniz et la dynamique. In: **Revue d'histoire des sciences et de leurs applications**, tome 15, n°1, 1962. pp. 81-82. Disponível em: http://www.persee.fr/doc/rhs_0048-7996_1962_num_15_1_4410_t1_0081_0000_2. Acesso em 25/3/2016.

DESCARTES, R. **Princípios de Filosofia**. Trad. S. Milliet. São Paulo: Editora Difel, 1982. (Coleção Obras Escolhidas).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Tradução de Donaldson M. Garschagen. 3.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001. 290p.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1998.

LEIBNIZ, W. G. **Discurso de metafísica**. São Paulo: Nova Cultural, 1983. (Coleção Os Pensadores).

MAGALHÃES, B. L. A.; COSTA, A. M. A da. O flogisto na gênese das teorias de Lavoisier. **Química**, 53, 1994, p. 9-14. Disponível em <http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/577/article/3000630/pdf>. Acesso em: 26/3/2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

OLIVEIRA, C. E. S.; FIREMAN, E. C.; BASTOS FILHO, J. B. A solução atribuída a D'Alembert sobre a 'verdadeira força' é capaz de dirimir a polêmica ensejada pela crítica de Leibniz a Descartes. **Investigações em Ensino de Ciências**, V.18, n.3, p.581-600, 2013.

PONCZEK, R. I. L. **Deus, ou seja, a natureza**: Spinoza e os novos paradigmas da física. Salvador, EDUFBA, 2009.

_____. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica, in: ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002. 371p.

RAMOS, P. L. P.; PONCZEK, R. I. L. A evolução histórica dos conceitos de energia e quantidade de movimento. **Caderno de Física da UEFS 09 (01 e 02)**: p.73-83, 2011.

REALE, G.; ANTISERI, D. **História da Filosofia: filosofia pagã antiga**, V.1. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2003. 385p.