

A INTERPRETAÇÃO DO MOVIMENTO – CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

ZANATTA, Shalimar Calegari¹

shalicaza@yahoo.com.br

Unespar/ PPiFor.

HUNGARO, Rafael Mestrinheire²

rafaelhungaro@hotmail.com

Unespar – PR

DUARTE, Bruna Marques³

brunamd88@gmail.com

Seed/PR.

TARTO, Rhuan Guilherme⁴

rhuanribeiro@ufgd.edu.br

Ufgd – MS

SILVA, Elvis Pedro⁵

elvispedro154@gmail.com

Unespar/ PPiFor.

Resumo

Um dos desafios do professor de Física para promover a aprendizagem significativa, como estabelecida pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), é encontrar material didático que o auxilie a apresentar o conteúdo de forma não fragmentada e, isto implica também na contextualização do conteúdo com seu processo histórico. Na Física, o estudo sobre o movimento dos corpos é um exemplo disto. Os livros didáticos, veiculados no Brasil, direcionados para o Ensino Fundamental II e Médio, apresentam o fenômeno do movimento dos corpos subdividindo-o em cinemática, dinâmica, leis de Newton e lei da Gravitação Universal, como se fossem fenômenos distintos. Esta fragmentação, além de, dificultar a aprendizagem significativa dos conteúdos, favorece uma interpretação equivocada sobre a ciência e sobre o papel do cientista. Assim, por meio da pesquisa qualitativa-descritiva e da análise interpretativa dos resultados, este texto relaciona as principais contribuições filosóficas e científicas que ocorreram ao longo de dois mil anos, para a construção das ideias e conceitos que culminaram nas leis que descrevem o movimento dos corpos na superfície terrestre e dos corpos celestes. Os diferentes atores e contribuições, mesmo quando equivocados, foram importantes, para a construção do fenômeno que hoje se caracteriza como física newtoniana. Os resultados aqui divulgados, contribuem tanto para a formação de uma visão mais ampla e contextualizada, favorecendo a aprendizagem significativa sobre o movimento de partículas macroscópicas, quanto para a formação de uma consciência epistemológica para a construção de uma ciência mais próxima das teorias epistemológicas do século XX.

Palavras-chave: leis de Newton; história da ciência; ensino de física; epistemologia das ciências.

Abstract

One of the challenges faced by Physics teachers in promoting meaningful learning, as established by Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TAS), is to find teaching materials

that help them present the content in a non-fragmented manner. This also involves contextualizing the content within its historical process. In the Physics, the study of the movement of bodies is an example of this. Textbooks published in Brazil for elementary and high school students present the characteristics of the movement of bodies by subdividing them into kinematics, dynamics, Newton's laws and the law of universal gravitation, as if they were specific. This fragmentation, in addition to significantly hindering learning of contents, favors a mistaken interpretation of science and the role of the scientist. Thus, through qualitative-descriptive research and interpretative analysis of the results, this text relates the main philosophical and scientific contributions that occurred over more than two thousand years, for the construction of ideas and concepts that culminated in the laws that describe the movement of bodies on the Earth's surface and of celestial bodies. The different actors and contributions, even when mistaken, were important for the construction of the characteristics that today are characterized as Newtonian physics. The results published here contribute both to the formation of a broader and more contextualized vision, favoring significant learning about the movement of macroscopic particles, and to the formation of an epistemological awareness for the construction of a science closer to the epistemological theories of the 20th century.

Keywords: Newton's laws; history of science; teaching of physics; epistemology of science.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o livro didático ainda é, um dos recursos pedagógicos que norteia a sequência e o nível de complexidade dos conteúdos, além de orientar as práticas pedagógicas¹. Por outro lado, a sistemática ausência da História da Ciência (HC) nestes livros ou sua apresentação de forma simplista e ingênua, levou os estudantes estereotiparem ou desumanizarem os cientistas, prejudicando a escolha destas carreiras². Porém, não é apenas a HC que está ausente nos livros didáticos, a natureza da ciência (NdC), os limites de aplicabilidade e contextualizações do conteúdo, também. Na verdade, os livros didáticos apresentam conteúdos fragmentados e descontextualizados entre si e com seu processo histórico³.

Apesar do conceito da NdC não ser preciso e nem consensual, podemos compreendê-lo como os princípios epistemológicos, envolvidos na construção do

¹ PRADO, Eliane Mimesse. As práticas pedagógicas dos professores da educação básica na interação com os livros didáticos digitais. *Revista Contexto & Educação*, [S.l.], v. 31, n. 98, p. 111-132, nov. 2016. ISSN 2179-1309. Disponível em:

<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/5480>. Acesso em: 5 maio. 2025. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2016.98.111-132>

² GRECA, I. M. R.; ARRIASSECQ, I.; TEIXEIRA, E. S. El Uso de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en las Clases de Física. In: VILLAGRÁ, J. A. M.; GEBARA, M.J. F. (Org.). *Estrategias Didácticas para la Enseñanza de la Física*. 1 ed. Burgos: Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional, UNIVERSIDADDEBURGOS, 2018. cap. 2. p. 43-61 e Marcos Cezar Danhoni Neves. *Astronomia de Régua e Compasso: De Kepler a Ptolomeu*. Editora Papirus (2001). Campinas.

³ PIMENTEL, J. R. Livros didáticos de ciências: a física e alguns problemas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 15, n. 3, p. 308-318, ago. 2006. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6889>. Acesso em: 22 maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/1925-2565.2006.0003.003>

conhecimento científico, incluindo crenças e valores intrínsecos⁴. A partir disto e, das correntes epistemológicas do século XX, podemos dizer que a ciência é: i) uma, entre outras possibilidades, para explicar os fenômenos naturais; ii) um processo de busca sistemática sobre o funcionamento de um mundo ordenado e reproduzível; iii) um caminho de produção de um conhecimento provisório; iv) representada por diferentes métodos de busca que resultam das diferentes crenças políticas, sociais e culturais de uma época.

A compreensão destas características básicas sobre a NdC, reforça a ideia dos limites de aplicabilidade, das influências que os fatores externos têm sobre os resultados obtidos, de uma ciência não neutra e que não é fruto de gênios, mas sim, do empreendimento humano, portanto a ciência é para todos que desejam empreender nesta área do conhecimento humano⁵.

Além disto, a contextualização está de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS). Logo, os resultados desta pesquisa, vêm de encontro com a produção de um texto, o qual subsidiará o professor a trabalhar com o tema “movimento dos corpos” dentro da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Diversamente, dos livros didáticos de física, os quais apresentam o movimento dos corpos na superfície terrestre, dividido em cinemática, dinâmica e leis de Newton e completamente desvinculados da lei da Gravitação Universal.

Por outro lado, como a história nos mostra, a interpretação do movimento dos corpos na superfície da terra levou dezenas de séculos e interpretações correlacionadas com o movimento dos corpos celestes. E, apesar deste tema ser apresentado logo no início do ensino de Física, ele casou diversas controvérsias e foi tema de longas discussões. Galileu escreveu em seu livro: “Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências”, publicado em 1638, quando contrabandeado para a Holanda, “meu objetivo é expor uma ciência muito nova que

⁴ AZEVEDO, Nathália Helena, SCARPA, Daniela Lopes. Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. RBPEC 17(2), 579–619. Agosto 2017. doi: 10.28976/1984-2686rbpec2017172579.

⁵ POLITO, Antony M. M. A construção da estrutura conceitual da Física Clássica. Editora Livraria da Física. São Paulo. 1ª edição, Série mestrado nacional profissional em ensino de física, v. 2, 2016.

trata de um tema muito antigo. Talvez nada na natureza seja mais antigo que o movimento” (apud Nussenzveig, p. 65, 1981)⁶.

No entanto, é importante esclarecer que qualquer tentativa de descrever o processo histórico ou filosófico que envolva a descrição do movimento dos corpos, fatalmente falhará, se o objetivo for abordá-los de forma completa. O que vamos fazer aqui, é ampliar nossos horizontes sobre esta discussão e, mostrar que todo o esforço e empreendimento humano na interpretação do movimento, culminou nas três leis de Newton e na lei da Gravitação Universal. Estas descobertas representam uma mudança do paradigma epistemológico da ciência⁷ e mostram que o fenômeno não pode ser compreendido quando fragmentado.

A previsão e descrição do movimento de corpos materiais na superfície terrestre, pelas leis de Newton, incluindo compreensão da dinâmica celeste, mudou a visão escolástico-aristotélico do século XVIII para uma visão determinista, que durou até o século XIX⁸, quando então foi rompida pela explicação do efeito fotoelétrico⁹. Só para registrar, Einstein, em 1905, explica o efeito fotoelétrico utilizando um novo paradigma da ciência. A Física deixa de ser uma ciência exata para se uma ciência probabilística.

Epistemólogos do século XX como: Kuhn, Bachelard, Feyrabend, Popper, Lakatos, entre outros, cada um com seu conjunto de teorias, explicam os processos válidos para o desenvolvimento da nova ciência. Em comum, eles a defendem como um processo contínuo, inacabado, criativo e constituído por várias e diferentes

⁶ NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de Física Básica, Vol. 1: Mecânica. São Paulo: Ed. E. Blücher, 2011.

⁷ PEDUZZI, Luiz O. Q. Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? Cad.Cat.Ens.Fis., v.13,n1: p.48-63, abr.1996.

⁸ Lima, I. Z. C., & Lannes, W. (2024). A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO E A EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN. *Revista De Educação, Ciências E Matemática*, 14(2). Recuperado de <https://publicacoes.unigranrio.edu.br/recm/article/view/7578>.

⁹ O efeito fotoelétrico é a emissão dos elétrons por uma chapa metálica, quando bombardeada pela luz (onda eletromagnética). A velocidade com que os elétrons saem da chapa depende da frequência da luz incidente e não da sua intensidade. Einstein percebeu que este fenômeno só poderia ser compreendido se a onda eletromagnética tivesse caráter corpuscular. Na verdade, de acordo com a Física Moderna onda e partícula apresentam caráter dual.

contribuições¹⁰. Compartilhar estas ideias auxilia a desmistificar a ciência como produto, da genialidade de alguns¹¹.

2. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL (TAS)

David Paul Ausubel (1918 – 2008) vivenciou o processo escolar sob as teorias behavioristas e neobehavioristas. De acordo com elas, a repetição, os castigos e as humilhações seriam estratégias eficientes para promover a aprendizagem. Discordando disto, buscou compreender os processos mentais que ocorrem durante a aprendizagem em sala de aula, resultando no que conhecemos hoje como Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)¹².

A TAS é uma teoria cognitivista, construtivista e interpretacionista. Cognitivista porque valoriza a estrutura cognitiva pré-existente (subsunçores)¹³ e enfatiza os processos mentais internos envolvidos na aprendizagem. Construtivista porque considera que o conhecimento é construído ativamente pelo aprendiz e interpretacionista porque a aprendizagem é influenciada pelos contextos sociais e culturais nos quais o indivíduo está inserido¹⁴.

Observe que estes três enfoques se relacionam com o conhecimento prévio do aluno. A aprendizagem significativa passa pelo esforço e desejo do aluno em relacionar o novo conhecimento com seu conhecimento prévio, reorganizando-o e ampliando-o. Dito de outra forma, na aprendizagem significativa, o novo conhecimento não representa uma informação isolada, mas sim, uma reorganização e modificação do conhecimento prévio relacionado (subsunçor).

¹⁰ MOREIRA, M. A. (2008). Notas de Aula para a disciplina de Epistemologia e Ensino de Física. Porto Alegre, Instituto de Física, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física.

¹¹ RODRIGUES, A. A.; JORGE, L.; DEL PINO, J. C.; HIPÓLITO, S. da S. Breve análise sobre os discursos de licenciandos(as) em Física, Biologia e Matemática: percepções sobre a natureza da ciência. **Educação: Teoria e Prática**, [S. l.], v. 35, n. 69, p. e20[2025], 2025. DOI: 10.18675/1981-8106.v35.n.69.s17762. Disponível em:

<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/educacao/article/view/17762>. Acesso em: 5 maio. 2025.

¹² AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. e HANESSIAN, H. Educational psychology. New York: Holt, Rinehart and Winston. Reimpresso em inglês por Werbel & Peck, New York, 1986.

¹³ Ausubel definiu subsunçor como o conhecimento prévio, já assimilado pelo aluno e que servirá de base para a sustentação de novos conceitos.

¹⁴MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1999.

Para Ausubel, a aprendizagem significativa ocorrerá mais facilmente se os conceitos mais gerais forem apresentados antes dos factuais¹⁵. Uma visão oposta a forma de organização apresentada pelos livros didáticos. A TAS defende que no mesmo processo de ensino e aprendizagem, o professor deve promover a diferenciação descendente e ascendente. Explicando melhor, a diferenciação descendente ou progressiva ocorre quando os conceitos mais gerais são apresentados antes dos específicos num processo descendente de hierarquização dos conceitos envolvidos. Na sequência, o professor deve relacionar os conceitos específicos com os mais gerais num processo conhecido por reconciliação conciliadora que é uma diferenciação descendente. Parte do esforço do professor é possibilitar que o conteúdo de aprendizagem seja articulado, favorecendo que unidades verbais sem sentido, sejam assimiladas e incorporadas na estrutura cognitiva do aprendiz. Cabe ao professor ausubeliano, conhecer o conteúdo o qual irá trabalhar, de forma ampla e contextualizada. Esta exigência é um desafio! A formação inicial docente no Brasil¹⁶, mostra percalços sistemáticos e há completa ausência de políticas públicas que viabilizam a formação continuada para superação da fragmentação^{17, 18}.

Para Ausubel, um ensino neobehaviorista valorizava o processo de diferenciação no sentido ascendente (partindo de um material fático e específico para buscar generalizações, como é a apresentação dos conteúdos dos livros didáticos brasileiros). Já o ensino construtivista (da sua época) valorizava a diferenciação de forma descendente (dos conceitos mais gerais e inclusivos para os mais específicos)¹⁹.

¹⁵ MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F.; SALZANO, E F. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

¹⁶ MACÊDO, Marly; ROMANOWSKI, Joana Paulin. A prática no processo de formação inicial de professores: uma revisão integrativa. *Educar em Revista*, Curitiba, v. 41, e91579, 2025. <https://doi.org/10.1590/1984-0411.91579>

¹⁷ MORAES, M. C. M. de. Recuo da Teoria: dilemas na pesquisa em Educação. Braga: Revista Portuguesa de Educação, v. 14, n. 1, p. 7-25, 2001.

¹⁸ DIAS, J. V. B. C.; SIQUEIRA, R. M. O recuo da teoria nas atuais reformas curriculares analisadas a partir da pedagogia histórico-crítica. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, v. 04, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.56117/ReSBEnQ.2023.v4.e042311>.

¹⁹ AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. e HANESSIAN, H. Educational psychology. New York: Holt, Rinehart and Winston. Reimpresso em inglês por Werbel & Peck, New York, 1986.

O termo ‘construtivista’, utilizado aqui, nada tem a ver com a corrente pedagógica conhecida por ‘construtivismo’ que foi amplamente divulgada no Brasil na década de 80.

3. O MOVIMENTO DOS CORPOS

A observação do Sol e da Lua, descrevendo trajetórias circulares no céu e o movimento descrito por um objeto lançado na superfície da Terra, chamou a atenção da humanidade desde os primórdios dos tempos. Primeiramente, estes fenômenos foram explicados pelo uso da mitologia (*mithos*) que deu lugar a filosofia (*logos*) uso da razão, iniciado a física de Aristóteles (384 - 322 a.C).

A física aristotélica representou um conjunto de teorias que explicava o movimento dos corpos como uma consequência da existência do “lugar natural” e do “estado natural”. Explicando melhor, o lugar natural de um corpo seria definido pelo lugar natural do seu principal elemento constituinte. Por exemplo, corpos constituídos pelo elemento terra, se dirigem ao centro do planeta Terra e, quanto maior a porção do elemento terra, mais pesado, mais rápido eles caíam. Aristóteles assumiu explicitamente, que a velocidade com que um corpo se movia, era proporcional ao seu peso e inversamente proporcional à resistência do meio. Como velocidade infinita não existe, por dedução, para Aristóteles, o vácuo seria impossível. Na mesma lógica, a água, ocupando seu lugar natural acima da superfície da terra, se espalha sobre ela, o ar acima da água atua como um cobertor que envolve a terra e a água e o fogo fica acima do ar. O que explicaria, de acordo com Aristóteles, a chama de uma vela, sempre apontar para cima, mesmo que você a vire para baixo²⁰.

Para Aristóteles, o movimento “natural” era observado, por exemplo, quando um corpo caía no chão devido sua “gravidade” ou se levantava como fumaça devido à sua “leveza”. Já o movimento forçado era causado por forças externas e interferia no movimento natural. Havia também o movimento voluntário, executado pela vontade das criaturas vivas²¹.

²⁰ BAPTISTA, José Plíneo; FERRACIOLI, Laércio. A Evolução do Pensamento sobre o Conceito de Movimento. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, 21 (1), 187-194 (1999)

²¹ (Ronan, 1987). RONAN, Colin A. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge: das origens à Grécia. volume 1. 1987.

Uma força sempre era necessária para gerar um movimento forçado sendo a velocidade adquirida, proporcional a essa força. Podemos resumir dizendo que, para Aristóteles, o “estado natural” dos corpos era o repouso absoluto. Então, quando empurramos um corpo, depois que ele gastar sua ‘potência’, ele parará. Uma consequência disto era um universo finito, onde o movimento perpétuo era impossível. Isto incluía a Terra. Portanto, o Sol, gira ao redor da Terra, que está em repouso no centro do universo, estabelecendo o Sistema Geocêntrico. Porém, os corpos celestes possuíam um movimento perpétuo que, diferentemente do movimento natural dos corpos terrestres, parecia sempre retornar ao mesmo lugar. Para Aristóteles, a figura geométrica representativa, que encerrava a ideia de imutabilidade e eternidade, era o círculo. Então, os astros giravam em círculo ao redor da Terra presos a esferas de cristais. Havia dois universos distintos: mundo sublunar e mundo supralunar da imutabilidade, constituído pela quinta essência, pela incorruptibilidade e perfeição²². Nesta ideia, a Lua era lisinha, perfeita como uma pérola.

Neste conjunto de ideias, para Aristóteles, quando um objeto é lançado obliquamente da superfície da terra, ele se move devido o ar ocupar o lugar imediatamente deixado por ele, empurrava-o. Ou seja, a força que o mantém em movimento, é de origem externa. Neste caso, o ar exercia duas funções opostas, a de empurrar e a de atenuar o movimento devido a resistência que proporcionava.

Hiparco (190 a.C – 120 a.C) não aceitava²³ que o ar pudesse ter duas funções opostas e, defendia que a força que empurra estava armazenada no objeto durante o arremesso²⁴. Ou seja, a origem da força era interna. Mas, o conjunto de ideias, chamada física aristotélica foi reforçada pelo trabalho de Claudius Ptolomeu com o “Almagesto”, publicado no século II d.C. Nele, o Sistema Geocêntrico era explicado por planetas girando em círculos menores girando ao redor da Terra, num complexo sistema de ciclos e epiciclos que explicava as estranhas laçadas do planeta Marte. Além desta obra reforçar o Sistema Geocêntrico, previsto por Aristóteles, também ia

²² NEVES, Marcos Cesar Danhoni; BATISTA, José Marcos; COSTA, José Roberto; GOMES, Luciano Carvalhais; BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; De ALMEIDA, Fabiana Ribeiro; Da SILVA, Rafael Gustavo Rigolon; SAVI, Arlindo Antonio; PEREIRA, Ricardo Francisco. Galileu fez o experimento do plano inclinado? Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 7 N°1 (2008)

²³ CAMPOS, A. Algumas considerações sobre os movimentos dos corpos na Antiguidade e na Idade Média: a teoria do ímpeto e a inércia. Ensino & Multidisciplinaridade, 8(1), 1-11. (2022).

²⁴ GARCIA, José Luis Álvarez. **De la vis impresa de Hiparco a la cantidad de movimiento de Newton**. Revista Materiales Avanzados, N° 41, julio-diciembre 2024, pág. 92 – 101

de encontro aos dogmas da Santa Igreja Católica que pregava o homem como centro do universo e máxima criação da obra de Deus. Assim, a física aristotélica foi mantida nos próximos 1.500 anos, com escassos registros sobre alguma descoberta importante. Mas, podemos destacar alguns nomes, como Filopono (490 - 570), Avicena (980 – 1037), Avempace (1095 – 1138) e Buridan (1300 – 1358), que também tentaram explicar o movimento. Só para pontuar, Buridan, defendia que um projétil se movia devido ao armazenamento do ‘ímpeto’, que era maior, quanto maior sua massa e velocidade. A ideia do ímpeto foi seguida por Alberto da Saxónia (1316 – 1390) e Tartaglia (1500 – 1557)²⁵. Posteriormente, Newton o interpretou como momento linear, uma das grandezas mais importantes para a compreensão do movimento, pela definição do que é força.

Sobre a dinâmica celeste, apesar de outros nomes terem defendido o Sistema Heliocêntrico, vamos citar o nome de Nicolau Copérnico, que deixou a obra: “*Sobre a Revolução das Esferas Celestes*” escrita, mas temendo represarias da Igreja, pediu para um amigo que a publicasse quando falecesse, o que ocorreu em 1543. Nesta obra, apesar de defender a ideia de epiciclos (originária do “*Almagesto*”), apresentava o Sistema Heliocêntrico. Sua maior contribuição, foi dissociar definitivamente, a interpretação e comportamento de corpos celestes com a religião. O cálculo matemático passou a ser a ferramenta mais importante para a interpretação dos fenômenos naturais²⁶.

Na sequência, temos as contribuições de Galileu Galilei (1564 – 1642) e, paralelamente as leis de Kepler (1571 – 1630)²⁷.

Kepler, teve acesso aos registros de Tycho Brahe (1546 – 1601)²⁸ (os mais precisos da época) das posições dos planetas, estrelas e cometas que se conheciam na época. E, depois de vários anos debruçado nestes dados, Kepler percebeu que o Sistema Geocêntrico não poderia explicar a posição do planeta Marte, por oito minutos de grau. O Sistema Heliocêntrico, estabelecido por Kepler e, válido até hoje, mostra uma simplicidade inacreditável para a dinâmica celeste. E, Kepler foi além! Ele

²⁵ SARNOWSKY, Jürgen. Concepts of Impetus and the History of Mechanics. Pp. 121- 145, in: LAIRD, Walter Roy; ROUX, Sophie (eds.). Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution. Dordrecht: Springer, 2008

²⁶ ALBERGARIA, D. O legado de Galileu para a ciência moderna. ComCiência, n. 112, 2009.

²⁷ ZYLBERSTAJN, Arden. Galileu – um cientista e várias versões. Cad. Cat. Ens. Fís., Florianópolis, 5 (Número Especial): 36-48, jun. 1988

²⁸ FEYNMAN, R. B.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de física de Feynman: a nova edição do milênio. Porto Alegre: Bookman, 2019.

sintetizou os resultados das observações de Tycho em 3 leis. A primeira, afirma que os planetas descrevem órbitas elípticas, estando o Sol em um dos focos. A segunda, afirma que os planetas varrem áreas iguais em tempos iguais. Isto significa que quando um determinado planeta está mais próximo do Sol, ele se desloca mais rápido pela trajetória elíptica. E, ao contrário, quando está mais distante, sua velocidade diminui. Isto explica o porquê a duração, em dias, do inverno é diferente do verão. Porém, os valores são próximos, o que indica que a excentricidade da elipse é próxima a zero, ou seja, os planetas descrevem trajetórias quase circulares. A terceira lei, diferente das demais, mostra uma relação entre todos os planetas do sistema solar. O período (T), ou tempo que um planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol, dividido pela maior distância entre o planeta ao Sol (a), (semieixo maior da elipse) elevada a potência de 2/3 é igual a uma constante (k) para todos os planetas, ou matematicamente, podemos escrever:

$$T = k a^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Com estas descobertas ficou impossível manter o Sistema Geocêntrico. E, para reforçar, em 1610, Galileu Galilei, publicou o livro “*Mensageiro Sideral*”, o qual, pela primeira vez, relata descobertas realizadas pela observação dos planetas e da Lua por uma luneta, que ele mesmo melhorou, aumentando a imagem. Este fato representou, para a época, uma pequena revolução epistemológica porque foi a primeira vez que um equipamento foi utilizado para observação. Ele observou as fases do planeta Vênus, as luas do planeta Júpiter, os anéis de Saturno e as crateras da superfície lunar²⁹. Todas estas observações derrubavam a física aristotélica, a teoria de um universo supralunar imutável, previsível com corpos celestes girando ao redor da Terra com a Lua lisa como uma pérola. E, como explicar os cometas atravessando as esferas de cristais?

Porém, aceitar o Sistema Heliocêntrico trazia problemas. Como interpretar o fato de que não sentimos o movimento giratório da Terra e, por que não observamos um desvio na posição de queda de um corpo em queda livre? Oras, se a Terra gira ao redor do Sol num período de um ano (considerando o período igual o ano sideral de

²⁹ De ANGELIS, Alessandro. Galileu em Pádua. Os dezoitos melhores anos da minha vida. Editora Gradiva. Lisboa Portugal. 1ª edição 2023. Coleção Ciência Aberta. ISBN 978-989-785-192-6.

365 dias e 6 horas, cada dia com 24 horas e cada hora com 3600 segundos) a uma distância aproximada de 150 milhões de km de distância entre Sol-Terra, a velocidade da Terra para o perímetro de um círculo, é, aproximadamente 29km/s. Estamos voando!

Galileu resolveu este problema compreendendo o movimento como um atributo relativo, não mais como uma propriedade do corpo. Ou seja, Galileu compreendeu o princípio da inércia, que depois veio a ser a primeira lei de Newton³⁰. Então, não percebemos que estamos em movimento porque vamos juntos, terra, ar, objeto que cai em queda livre. Todos por inércia, se mantêm em movimento junto com a Terra.

Outra contribuição de Galileu foi o experimento conhecimento como plano inclinado³¹. Por meio dele, foi possível mostrar que a relação matemática entre o espaço percorrido por um determinado corpo, com o tempo, independe da sua massa ou do seu peso. Galileu mediu, para vários ângulos de inclinação, o tempo percorrido por diferentes tamanhos e pesos de esferas. Todos os dados obtidos, quando normalizados podem ser vistos na tabela 1³². Com este experimento ficou claro que o espaço percorrido e o tempo gasto para percorrê-lo não dependem da massa ou do peso, como era previsto pela física aristotélica. Além disso, Galileu entendeu que a queda livre era um caso particular do plano inclinado com ângulo de inclinação de 90° e mediu que a aceleração com que os corpos caem na superfície da terra é de 9,8m/s², conhecida como aceleração g.

A tabela 1 traz os 5 primeiros valores de tempo e espaço normalizados, obtidos para qualquer inclinação ou peso da esfera.

Tabela 1: Valores de tempo e espaços normalizados para um corpo em queda livre

Unidades de espaço percorrido por um corpo num plano inclinado	Unidades de tempo gasto pelo corpo para percorrer o espaço
1	1
2	1,41
3	1,73

³⁰ C.M.Porto e M.B.D.S.M. Porto. Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 4601 (2009).

³¹ Nem todos os pesquisadores concordam que Galileu Galilei realizou de fato o experimento que ficou conhecido como plano inclinado.

³² Para normalizar os valores, dividimos todos os valores obtidos para o espaço, pelo menor valor do espaço. Da mesma forma, dividimos todos os valores de tempo obtidos, pelo menor tempo.

4	2
5	2,23

Observe da tabela 1 que se levamos o tempo ao quadrado, obteremos o valor do espaço. Ou seja, considerando as condições iniciais, temos:

$$S = S_0 + V_0 \cdot t \pm \frac{1}{2}at^2 \quad (2)$$

Onde:

S = espaço percorrido pela esfera;

S_0 = espaço inicial;

V_0 = velocidade inicial;

t = tempo;

a = aceleração.

Todas as expressões estudadas na cinemática são consequências da expressão (2).

Observe que (2) é uma função do 2º grau do tipo $s(t) = ct^2$ a qual pode ser representada por uma parábola quando traçamos o gráfico $S(t) \times t$. Logo, seria de se esperar que o lançamento de um projétil fosse descrito por uma parábola, como de fato é observado. A figura 2 (a) simula a trajetória de um projétil como prevista pela física aristotélica e a figura 2 (b) a trajetória como prevista pela expressão (2).

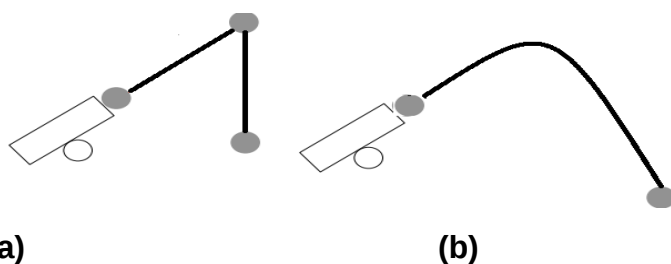


Figura 1: (a) trajetória descrita pela física aristotélica; (b) trajetória descrita como previsto pela expressão (2)

Estas contribuições abriram espaço para outros questionamentos. De onde vem a aceleração 'g' que atua num corpo em queda livre? Por que os planetas giram ao redor do Sol ou por que a Lua gira ao redor da Terra?

Podemos dizer que Galileu desenvolveu o que hoje os livros chamam de cinemática. Mas sua compreensão não poderia estar completa se não compreendêssemos as causas do movimento.

4. A FÍSICA NEWTONIANA

Isaac Newton (1642 – 1726) nasce um ano depois da morte de Galileu. Ou seja, durante um período fértil, no qual a matemática e as observações empíricas já tinham derrubado a física aristotélica.

Porém, algumas questões estavam em aberto. E, Newton, com sua grande capacidade de síntese, compreendeu o que é Força e a diferenciou de impulso. Aliás, nesta época, várias grandezas não estavam bem caracterizadas, como peso e massa, energia cinética, momento linear. Mas, falando sobre força, Newton a entendeu como uma interação de contato ou a distância (por meio da interação por campo), que promove a variação temporal do momento linear (p). Lembrando que o momento linear (p) de Newton é o ímpeto de Buridan.

A segunda lei de Newton foi escrita como:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d(m.v)}{dt} = \frac{m.dv}{dt} + \frac{v.dm}{dt} \quad (3)$$

Entendo o conceito de massa inercial como a porção de matéria do corpo e a considerando constante, sua variação com o tempo é nula, logo a derivada é nula, temos da expressão (3):

$$\mathbf{F} = m \frac{dv}{dt} = m.a \quad (4)$$

Os livros didáticos de Física apresentam, unicamente a expressão (4) como a 2ª lei de Newton, sem discutir a importância do momento linear.

A força, definida pela expressão (3) determina a condição de movimento do corpo. Se a soma de todas as forças que atuam num corpo for nula, ele permanecerá em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme (MRU), devido sua inércia. Quanto ao impulso ele é uma ação com curto intervalo de tempo e, serve para mudar o estado de repouso ou movimento de um corpo, mas não faz parte das análises. Então, quando damos um empurrão num corpo, ele se desloca por um tempo e pára, não porque seu estado natural é o repouso, mas porque a força de atrito o faz parar (única força na direção do movimento, porém no sentido contrário).

Newton sintetizou o comportamento dos corpos por meio de três leis. Elas descrevem o movimento de corpos macroscópicos que se deslocam com velocidade inferiores (até 10%) à velocidade da luz ($c=3 \times 10^8$ m/s), com relação a referenciais inerciais³³.

As dimensões dos corpos, pode ir de planetas a estilhaços de uma granada depois da explosão. Isto porque, podemos utilizar o conceito de centro de massa, introduzido por Newton, como um ponto onde as forças atuam.

Quanto ao referencial inercial, se encontrarmos um, existirá infinitos deles. Todos os referenciais que estiverem em repouso ou em MRU em relação a um referencial inercial, também será.

Porém, a questão é: onde teríamos um referencial inercial? Considerando que estamos na superfície de um planeta que gira em torno de si e em torno do Sol e que está numa galáxia que gira num universo em expansão, que ponto utilizar como referencial inercial? O conceito de referencial inercial é o problema central das leis de Newton.

No entanto, se considerarmos a aceleração centrípeta da Terra em torno do Sol e em torno de si mesma, pequena ($a_c = v^2/R^{34} = 0,04$ m/s²) e, fizemos a análise de movimento para curtos período de tempo, podemos considerar qualquer referencial em repouso ou em MRU, com a Terra, um referencial inercial. Mas observe que isto é uma aproximação que tem funcionado para um amplo leque de aplicações³⁵.

Porém, Newton estava consciente deste problema e defendeu a existência do referencial inercial fixo no espaço absoluto. Para comprovar sua ideia, ele usou o experimento do balde. O experimento consiste em amarrar uma corda num balde com água, girá-lo várias vezes e soltá-lo. A água, com superfície inicialmente plana, assume uma superfície côncava devido a inércia da água com as paredes do balde e

³³ FEYNMAN, R. B.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de física de Feynman: a nova edição do milênio. Porto Alegre: Bookman, 2019

³⁴ A segunda lei de Newton para o movimento circular uniforme (MCU) é dada por $F = m(v^2/R)$. Onde V é a velocidade tangente a trajetória circular e R o raio da trajetória. A variação da velocidade se dá em função da variação do vetor velocidade que varia ponto a ponto da trajetória circular (direção e sentido), mas mantém o módulo constante.

³⁵ Num exemplo de que a Terra não é um referencial inercial é o surgimento de uma força centrífuga, conhecida por força de Coriolis, que influencia a dinâmica atmosférica e a erosão dos leitos dos rios. No Hemisfério Norte, a erosão é maior na margem direita, enquanto no Hemisfério Sul, é maior na margem esquerda. Este efeito ocorre porque a força de Coriolis desvia o movimento da água para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul.

devido ao movimento de rotação entre o balde e o espaço absoluto. O balde não sendo um referencial inercial porque tem aceleração centrípeta, fará surgir uma força fictícia sobre a água, a força centrífuga que a empurra para as paredes do balde. Neste caso, para Newton, o espaço absoluto gera aceleração absoluta. Isto implica que se o universo com o espaço absoluto girasse ao redor do balde, a água continuaria plana.

Compreendendo o conceito de força, inércia e movimento, Newton percebeu que as leis de Kepler seriam consequências da existência de uma força central, responsável por manter os planetas em órbita e esta força seria inversamente proporcional ao quadrado da distância do planeta ao Sol. E é esta força é a mesma que nos mantém na superfície terrestre.

Ele comprovou suas ideias, pensando da seguinte forma: se o período de translação da Lua ao redor da Terra é de 29 dias e a distância da Lua a Terra é 60 o raio da Terra (R_T), a aceleração centrípeta da Lua em relação a Terra será dada por:

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(2\pi R_L)^2/T^2}{R_L} = \frac{(2\pi 60R_T)^2/T^2}{60R_T} = 2,6 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

A razão entre a aceleração centrípeta de um corpo em queda livre e a aceleração da Lua caindo na Terra, encontrada em (5), é dada por:

$$\frac{a_t}{a_L} = \frac{9,8}{2,6 \times 10^{-3}} = 3,56 \times 10^3 \quad (6)$$

A razão entre as acelerações centrípetas Terra e Lua, encontrada em (6) é bastante próxima se considerarmos uma força proporcional ao inverso do quadrado da distância. A força que a Terra exerce sobre um corpo em sua superfície é 60^2 maior que a força que a Terra exerce sobre a Lua, ou seja, 3600 vezes maior ou $3,6 \times 10^3$. A coincidência é espantosa!

Oras, a Terra exerce uma força sobre a Lua que a faz cair o tempo todo sobre a sua superfície da Terra e esta força tem a mesma natureza sobre qualquer outro objeto. A Lua não atinge o solo devido suas condições iniciais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Física no Brasil segue os modelos tradicionais, os quais valorizam excessivamente a resolução de problemas dentro de uma metodologia fragmentada com apresentação ascendente do conteúdo. Ou seja, os professores ensinam blocos de conceitos desconexos entre si e dos contextos de suas vivências e, esperam que os alunos sintetizem, abstraíam e compreendam de forma ampla e sintetizem e reorganizem os conceitos, ampliando-os e contextualizando-os. Realmente, um projeto equivocando do ponto de vista da TAS. Por outro lado, concordamos que a sistemática imposta pelas avaliações, vestibulares e concursos, reforçam a ideia da importância da resolução de exercícios. Porém, na dinâmica da sala de aula, o professor deve contemplar a Física de uma forma contextualizada e apresentá-la dentro de um contexto histórico, filosófico e integrativo para evitar equívocos de interpretações.

Como apresentado aqui, as descobertas são produto de um processo longo de muito empenho e de muitas contribuições. Inclusive de crenças filosóficas e políticas. A ciência não é neutra como muitos ainda acreditam. Nunca foi e nunca será.

Além disso, como este texto mostra, quando conectamos as leis de Kepler, com a lei da Gravitação Universal com as leis de Newton com os conceitos de centro de massa e de referencial inercial, ampliamos nossa compreensão sobre o movimento dos corpos na superfície terrestre e dos planetas ao redor do Sol, da Lua ao redor da Terra e compreendemos as marés, como uma consequência da existência da força gravitacional em relação ao centro de massa Terra-Lua. Podemos ampliar novas compreensões sobre fenômenos da natureza, por exemplo, compreender o porquê a pressão atmosférica diminui com a altitude. Isto se dá em função da diminuição da força gravitacional com a altitude, diminuindo o valor da aceleração gravitacional g . Esta contextualização exige amplo conhecimento por parte do professor. É preciso que políticas públicas garantam a formação continuada deste profissional para garantir a qualidade da educação.

REFERENCIAS

Albergaria, D. (2009). O legado de Galileu para a ciência moderna. ComCiência, (112).

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanessian, H. (1986). *Educational psychology*. Holt, Rinehart and Winston.
- Azevedo, N. H., & Scarpa, D. L. (2017). Revisão sistemática de trabalhos sobre concepções de natureza da ciência no ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(2), 579–619.
<https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172579>.
- Baptista, J. P., & Ferracioli, L. (1999). A evolução do pensamento sobre o conceito de movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21(1), 187–194.
- Campos, A. (2022). Algumas considerações sobre os movimentos dos corpos na Antiguidade e na Idade Média: A teoria do ímpeto e a inércia. *Ensino & Multidisciplinaridade*, 8(1), 1–11.
- De Angelis, A. (2023). *Galileu em Pádua: Os dezoito melhores anos da minha vida* (1ª ed.). Gradiva.
- Dias, J. V. B. C., & Siqueira, R. M. (2023). O recuo da teoria nas atuais reformas curriculares analisadas a partir da pedagogia histórico-crítica. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, 4(1).
- Feynman, R. B., Leighton, R. B., & Sands, M. (2019). *Lições de física de Feynman: A nova edição do milênio*. Bookman.
- Galilei, G. (1638). *Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências*.
- Garcia, J. L. Á. (2024). De la vis impresa de Hiparco a la cantidad de movimiento de Newton. *Revista Materiales Avanzados*, (41), 92–101.
- Greca, I. M. R., Arriasecq, I., & Teixeira, E. S. (2018). El uso de la historia y la filosofía de la ciencia en las clases de física. In J. A. M. Villagrà & M. J. F. Gebara (Eds.), *Estrategias didácticas para la enseñanza de la física* (pp. 43–61). Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional, Universidad de Burgos.
- Lima, I. Z. C., & Lannes, W. (2024). A natureza da ciência no ensino e a epistemologia de Thomas Kuhn. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, 14(2).
- Macêdo, M., & Romanowski, J. P. (2025). A prática no processo de formação inicial de professores: Uma revisão integrativa. *Educar em Revista*, 41, e91579.
<https://doi.org/10.1590/1984-0411.91579>.
- Moraes, M. C. M. de. (2001). Recuo da teoria: Dilemas na pesquisa em educação. *Revista Portuguesa de Educação*, 14(1), 7–25.

- Moreira, M. A. (2008). Notas de aula para a disciplina de Epistemologia e Ensino de Física. Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre.
- Moreira, M. A., Masini, E. F., & Salzano, E. F. (1982). Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel. Moraes.
- Neves, M. C. D. (2001). Astronomia de régua e compasso: De Kepler a Ptolomeu. Papirus.
- Neves, M. C. D., Batista, J. M., Costa, J. R., Gomes, L. C., Batista, M. C., Fusinato, P. A., De Almeida, F. R., Da Silva, R. G. R., Savi, A. A., & Pereira, R. F. (2008). Galileu fez o experimento do plano inclinado? Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 7(1).
- Nussenzveig, H. M. (2011). Curso de física básica: Vol. 1: Mecânica. Edgard Blücher.
- Peduzzi, L. O. (1996). Física aristotélica: Por que não considerá-la no ensino da mecânica? Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 13(1), 48–63.
- Pimentel, J. R. (2006). Livros didáticos de ciências: A física e alguns problemas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 15(3), 308–318.
<https://doi.org/10.5007/%25x>.
- Polito, A. M. M. (2016). A construção da estrutura conceitual da física clássica. Livraria da Física.
- Porto, C. M., & Porto, M. B. D. S. M. (2009). Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. Revista Brasileira de Ensino de Física, 31(4), 4601.
- Prado, E. M. (2016). As práticas pedagógicas dos professores da educação básica na interação com os livros didáticos digitais. Revista Contexto & Educação, 31(98), 111–132.
- Rodrigues, A. A., Jorge, L., Del Pino, J. C., & Hipólito, S. da S. (2025). Breve análise sobre os discursos de licenciandos(as) em Física, Biologia e Matemática: Percepções sobre a natureza da ciência. Educação: Teoria e Prática, 35(69), e20[2025]. <https://doi.org/10.18675/1981-8106.v35.n69.s17762>.
- Ronan, C. A. (1987). História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge: Das origens à Grécia (Vol. 1).
- Sarnowsky, J. (2008). Concepts of impetus and the history of mechanics. In W. R. Laird & S. Roux (Eds.), Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution (pp. 121–145). Springer.
- Zylberstajn, A. (1988). Galileu – um cientista e várias versões. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 5(Esp.), 36–48.