



INÉRCIA

e a Primeira Lei de Newton

DEC 2019

**POTENCIALIDADES DE UMA
SEQUÊNCIA DE ENSINO
INVESTIGATIVA**



Apresentação

Estimada(o) professora(o),

Este Produto Educacional foi confeccionado com o objetivo de incitar a sua curiosidade e incentivá-lo a manter uma formação continuada, capacitando-o a desenvolver novas estratégias de ensino que contemplem a realidade sociocultural da comunidade escolar em que você reside. Desenvolvemos uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre a Mecânica de Newton capaz de aumentar o seu arcabouço teórico sobre a Inércia e a 1ª Lei, a fim de viabilizar uma postura dialógica entre aluno e professor, possibilitando assim novos questionamentos ao longo de sua prática diária. Ao adotar uma postura pautada num ensino por investigação, é imprescindível contextualizá-lo à realidade dos seus alunos, ou seja, apresentar ferramentas que possam proporcionar autonomia e criticidade, seja na elaboração de hipóteses ou na formulação de uma proposta de intervenção acerca de uma situação-problema. Edwards e Mercer (1987), destacam a importância da construção do conhecimento em sala de aula a partir da enculturação, ou melhor, da apropriação da linguagem e dos significados específicos de determinada área, negociados e compartilhados entre alunos e professores. No ensino de física não seria diferente, pois a apropriação de conceitos científicos é importante para que o aluno consiga lidar com a tecnologia ao seu redor, possua habilidades para resolver problemas e seja capaz de buscar soluções diversas por meio da linguagem científica. Esta proposta também pode possibilitar que o seu aluno se torne protagonista na busca por soluções para um problema, tornando-o crítico e atento às informações relativas à Ciência, sejam estas propagadas na escola ou em qualquer veículo midiático, por exemplo. O produto foi aplicado e devidamente validado em três turmas da 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública de Brasília. Possui cinco encontros, cada um com uma média de duas aulas de duração. A análise dos dados da aplicação do produto sugere que a maioria dos estudantes que participaram de todos os encontros apresentaram indícios de uma melhor Alfabetização Científica.

Sumário

5
ARISTÓTELES
A compreensão do movimento e a evolução do conceito de inércia

7
COPÉRNICO
O movimento dos planetas e o Heliocentrismo

9
GALILEU
A tendência natural dos corpos

11
DESCARTES
A inércia retilínea

13
NEWTON
A natureza da força de inércia

17 a 34
SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA - SEI
Planos de aula

17
ENCONTRO 1
Aula dialógica a partir da exibição do capítulo 3 da aclamada série "Cosmos"

19
ENCONTRO 2
História e Filosofia da Ciência como complemento didático

23
ENCONTRO 3
Grandezas vetoriais: a matemática como uma ferramenta imprescindível em sala de aula

28
ENCONTRO 4
Experimentos em busca da força de inércia

32
ENCONTRO 5
Aplicação de questionário e reflexão sobre os experimentos da aula anterior.

35
REFERÊNCIAS

36
AGRADECIMENTOS

Cartilha educacional fruto de uma dissertação do Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física - **MNPEF** - Universidade de Brasília

Autor: **Wellington Sampaio**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza Lima



INÉRCIA

A evolução do conceito de Inércia

O embate a respeito das causas e características do movimento fez com que sua compreensão tenha mudado significativamente desde os filósofos gregos da Antiguidade até os tempos de Newton, quando a inércia se tornou um conceito físico fundamental.

Para Aristóteles (384 a 322 a.C.), o repouso no lugar natural das coisas no mundo sublunar; portanto, todo movimento teria que ser ou natural (em direção ao lugar natural) ou forçado, sendo que este último exige a ação contínua de um agente externo. No livro VIII de sua obra "Physica", Aristóteles (2008) afirma que "(...) um corpo em movimento pode manter esse movimento somente se ele permanecer em

contato com [a mão] do lançador". Como ele sabe que uma pedra arremessada horizontalmente no ar não vai parar imediatamente após deixar a mão do atirador, ele adotou a ideia de antiperístase, ou seja, quando a pedra perde o contato com a mão do atirador, esta desloca o ar que está a sua frente e o ar, por sua vez, tenderá a ocupar o lugar da posição anterior, empurrando assim a pedra para frente¹. Embora essa explicação

¹ O movimento cessa quando a resistência do ar fizer parar o movimento da pedra.



RICIA

Hagar



pareça simples e intuitivamente correta, ela logo foi contestada por Epicuro (341-270 a.C.), que postulou que o estado natural da matéria (composta por átomos) é o movimento contínuo e aleatório (LUCRETIUS, 1988). Mais tarde, Hiparco (190 a 120 a.C.) e Plutarco (46 a 120 d.C.) também discordaram de Aristóteles, defendendo que o movimento deve ser mantido por algo dentro do corpo.

No início da Idade Média, a oposição mais significativa à teoria aristotélica veio de John Philoponus (490-570), que argumentou que a anti-perístase deveria estar errada, caso contrário poderíamos disparar uma flecha colocada sobre uma mesa soprando ar em sua extremidade, usando um fole (SORABJI, 1987). Isso o levou a propor que o movimento fosse mantido por alguma propriedade embutida (ou impressa) no corpo quando ela é acionada por um agente. Suas ideias foram contestadas por Simplicius e depois esquecidas, até serem redescobertas cinco séculos depois por alguns sábios orientais como Avicena (980-1037), Avempace (1085-1138)

e Averroes (1126-1198). Avicena (WINTER, 1961) argumentou que "Ninguém inicia um movimento ou retorna ao repouso por si só". Os comentários de Averroes à física de Aristóteles foram as críticas mais influentes: ele definiu a força como uma ação que pode mudar o movimento e percebeu que os corpos tinham uma resistência inerente a mudanças em seus movimentos. No mundo ocidental, a noção de uma propriedade impressa foi retomada no século XIV por Jean Buridan (~ 1295-1358), um discípulo de Guilherme de Ockham² (~1285-1347), que a batizou de impetus, uma força motriz interna que empurra as coisas para frente, contra a tendência natural de desacelerar, mencionada por Aristóteles (FRANKLIN, 1976).

² A navalha de Ockham é um princípio filosófico que nos instrui a escolher a teoria mais simples dentre teorias que explicam um dado conjunto de fenômenos. Aqui, a simplicidade significa um menor número de hipóteses não provadas.

Tal impetus permaneceria no corpo, sendo reduzido somente por forças externas (opostas). Esse conceito também foi adotado por seu discípulo Nicole Oresme (1320-1382), bem como Nicolau de Cusa (1401-1464), Giovanni Benedetti (1530-1590) e Giordano Bruno (1548-1600), que contribuíram para torná-lo um precursor da quantidade de movimento de Descartes. De acordo com Hecht (2017), Benedetti e Giordano Bruno chegaram a antecipar Descartes ao tomar o produto das velocidades e quantitas materiae como uma medida do impetus. A diferença com o conceito cartesiano é que o impetus seria algo transmitido da mão do lançador para o corpo, enquanto a quantidade de movimento é apenas uma medida do movimento.³

³ Em 1585, Benedetti chegou até mesmo a especular que o impetus seria uma tendência natural ao movimento retilíneo

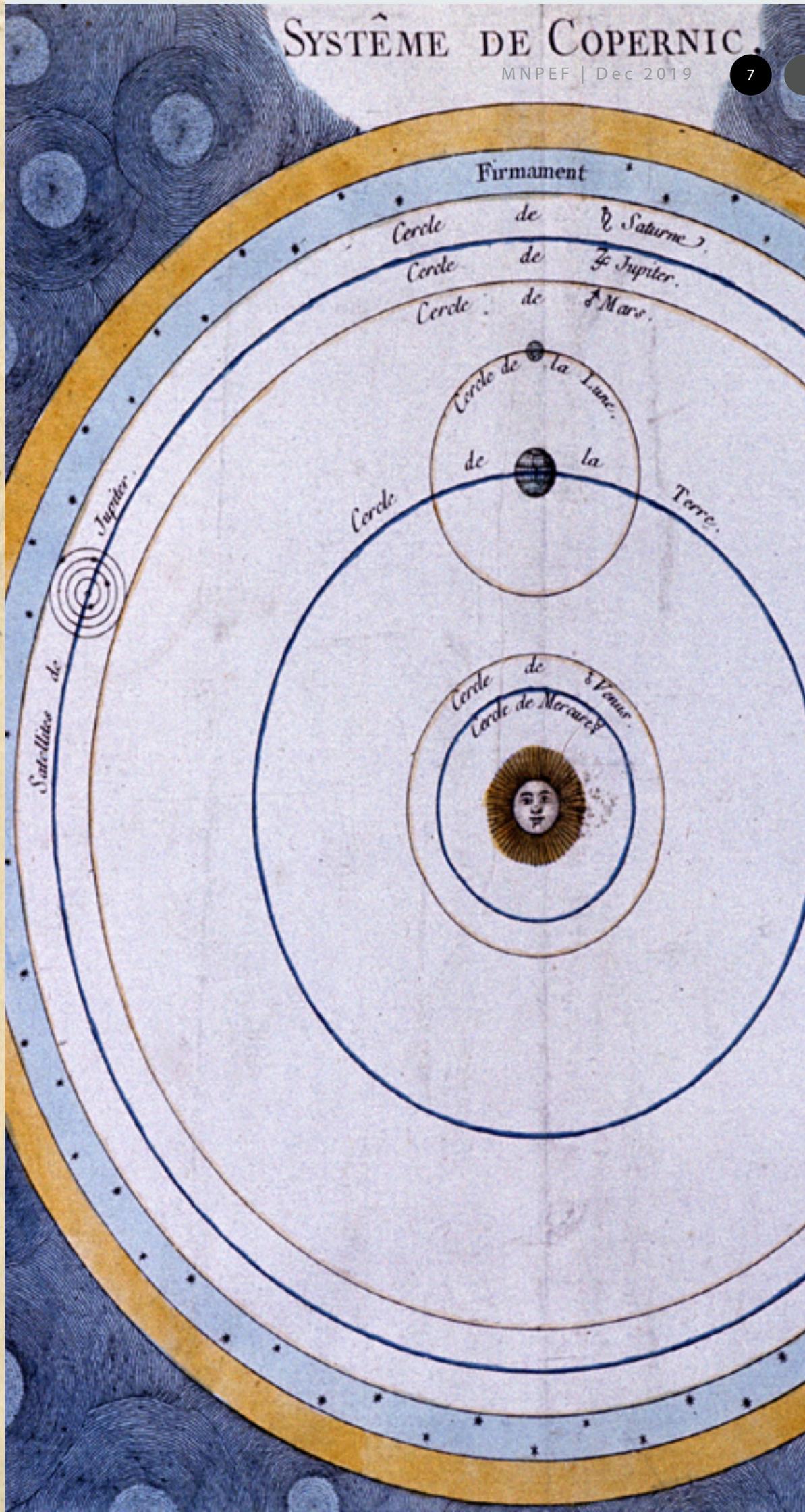
Em 1543, Copérnico retomou a visão heliocêntrica de mundo proposta por Aristarco de Samos no século III a.C., com todos os planetas (incluindo a Terra) em movimento circular ao redor do Sol.⁴ Ele foi um dos destaques entre aqueles que defendiam o heliocentrismo. Este afastamento da Física de Aristóteles motivou os filósofos naturais a repensar o movimento. Uma das primeiras explicações foi proposta por Johannes Kepler (1571-1630) na sua *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1618), no qual a palavra inércia (do latim *inertiae*, que significa inatividade) aparece pela primeira vez na física significando uma tendência natural de todos os corpos (terrestres e celestes) a se manterem em repouso (KEPLER, 1967).



⁴ Com a publicação do livro de Copérnico “Das revoluções das esferas celestes”, o termo revolução ganhou novos significados, tamanha a quebra de paradigmas da época.

Para Kepler, uma vez que um bloco (ou um planeta) não tem vida, sem nenhuma força interna própria (inanimado), então ele não poderia colocar-se em movimento, nem manter seu próprio movimento (GALILI e TSEITLIN, 2003). Ele então argumentou que não há movimento natural, nem lugar natural (ou posição privilegiada), só há movimento forçado. Ele identificou que “cada corpo, em proporção à sua matéria, possui uma certa resistência inercial ao movimento”. Neste ponto, nós concordamos com Cohen (1978) que o conceito de inércia como “uma resistência para começar a se mover” foi o primeiro passo em direção a vis *inertiae* de Newton.

O cientista e filósofo holandês Isaac Beeckman (1588-1637), que leu extensivamente Kepler, logo se tornará uma influência comum para Galileu, Gassendi e Descartes. Aparentemente, embora ele reconhecesse que repouso e movimento retilíneo uniforme seriam estados indistinguíveis, ele disseminou uma visão de dois movimentos inerciais: horizontal (ou circular, em torno da Terra) e retilíneo. Ele também tomou o produto da quantidade de corporalidade com a velocidade como uma medida do movimento, definição esta que logo seria adotada por Descartes, que o visitou na Holanda em 1618 (HECHT, 2017; JAMMER, 1999). Quando tomou conhecimento das análises de Descartes sobre colisões, ele disseminou a ideia de que “o movimento é conservado” e também que “o movimento, uma vez criado por Deus, é preservado pela eternidade, tanto quanto a massa” (HECHT, 2017; VAN BERKEL, 2013).



Galileu Galilei (1564-1642), um contemporâneo de Kepler, iniciou seus estudos de movimento investigando a queda livre dos corpos, conforme registrado no seu *De motu* (1590). De fato, ele nunca mencionou a inércia explicitamente nem enunciou uma lei com esse nome, mas ele redefiniu as explicações do movimento de forma tal que reconhecemos nos seus trabalhos um princípio de inércia, como ilustra a frase a seguir, retirada de uma carta de Castelli, em 1607: "(...) Galileu tem uma "doutrina" de movimento (...) [segundo a qual] um agente é necessário para iniciar o movimento, mas para que este se mantenha, a ausência de resistência é o suficiente" (HALL, 1965, p. 192). Em 1610, Galileu (2010) voltou sua atenção para o uso de telescópios na investigação de corpos celestes, fazendo algumas grandes descobertas contrárias à perfeição e imutabilidade dos corpos celestes, postulada por Aristóteles (ARISTÓTELES, 2014). Em 1613, ele descreveu os movimentos circulares como naturais e perfeitos:

(...) OS CORPOS têm uma inclinação natural a algum movimento — os pesados, por exemplo, tendem a descer — e exercem esse movimento por meio de um princípio intrínseco e sem a necessidade de uma força externa específica, desde que não haja resistência (...) Por fim, são indiferentes a alguns movimentos - como os corpos pesados são ao movimento horizontal (...). E, portanto, com todas as resistências externas removidas, um corpo pesado em uma superfície esférica concêntrica à Terra será indiferente ao repouso e o movimento em direção a qualquer parte do horizonte permanecerá no estado em que foi colocado. (GALILEI, 2010, p. 124)

Esta inércia circular explicaria o movimento da Lua em torno da Terra como um movimento natural, sem a necessidade de uma força atrativa. Ele retomou a investigação do movimento em seus livros *Motu locali* (1627) e *Dialogo* (1632), onde é perceptível o seu contato com as ideias de Philoponus por meio dos comentários escritos por Simplício (isto explica o nome do personagem aristotélico ingênuo). No *Dialogo*, Galileu evidencia claramente ser favorável a uma inércia horizontal, contra uma tendência natural de movimento retilíneo.

[PRIMEIRO DIA] (...) movimento linear sendo por natureza infinito (porque uma linha reta é infinita e indeterminada), é impossível que qualquer coisa deva ter por natureza o princípio de se mover em linha reta; ou, em outras palavras, em direção a um lugar onde é impossível chegar, não havendo um fim. Pois a Natureza, como sugere Aristóteles, nunca se compromete a fazer o que não pode ser feito, nem se esforça para ir aonde é impossível chegar". (GALILEI, 1914, p. 1)

Em seu último livro, o *Discorsi* (1638), Galileu desenvolveu experimentos com pêndulos na tentativa de justificar suas ideias sobre a inércia horizontal.

[TERCEIRO DIA] (...) ao longo de um plano horizontal, o movimento é uniforme, pois aqui ele não experimenta aceleração nem retardo (...) qualquer velocidade, uma vez transmitida a um corpo em movimento, será mantida rigidamente enquanto as causas externas de aceleração ou retardo não forem removidas, condição encontrada apenas em planos horizontais [sem atrito]. (GALILEI, 1914 p. 153)

GA



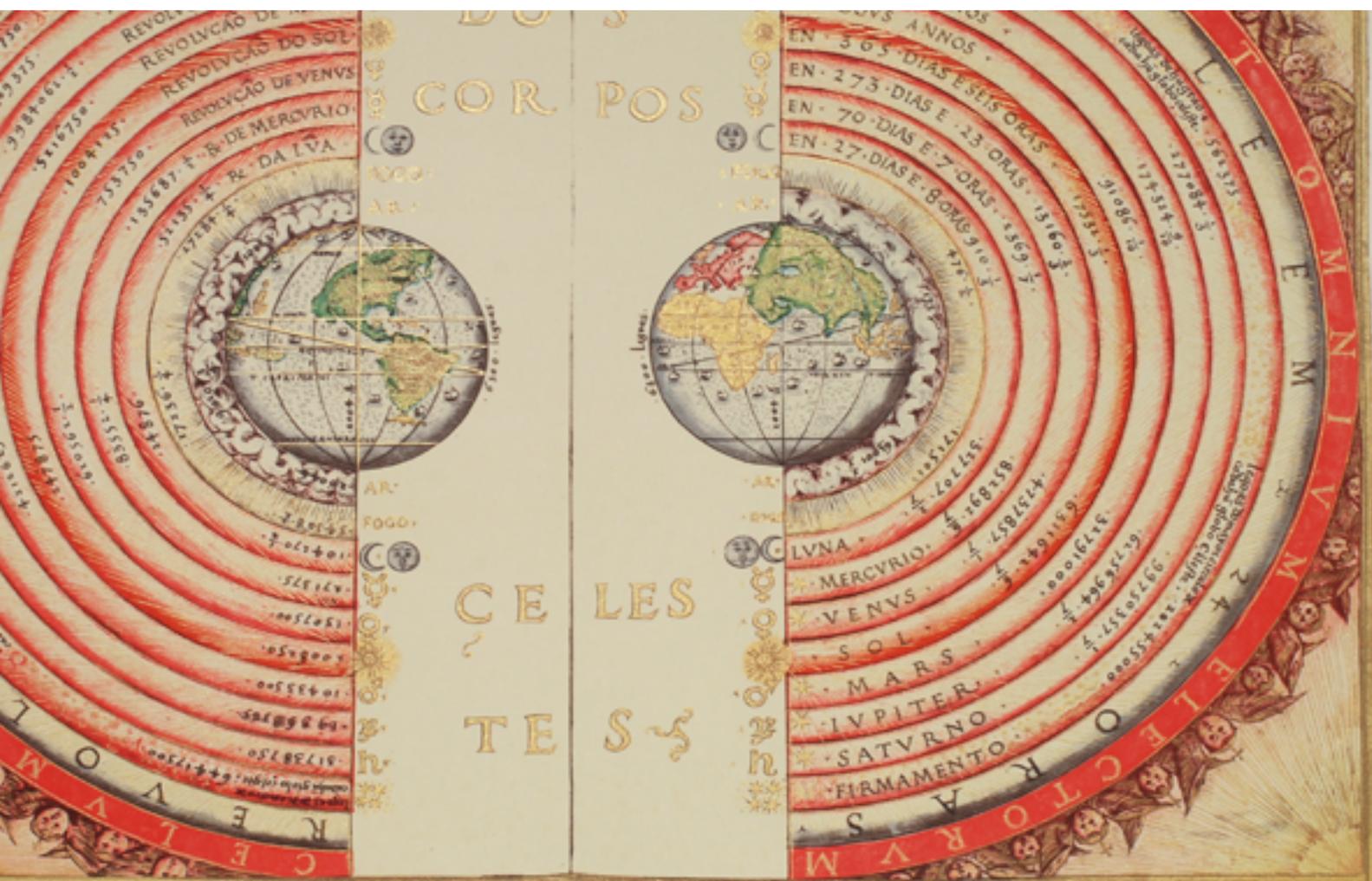
ASSIM, GALILEU CONCLUI, DIFERENTEMENTE DE ARISTÓTELES, QUE CORPOS EM MOVIMENTO NÃO TEM UMA TENDÊNCIA NATURAL PARA DESACELERAR. EMBORA ISSO PAREÇA UMA REAFIRMAÇÃO DE SUA CRENÇA EM UMA INÉRCIA CIRCULAR (AO REDOR DA TERRA), ELE PARECE TER MUDADO DE OPINIÃO EM RELAÇÃO A UMA INÉRCIA RETILÍNEA, CONFORME O COMENTÁRIO SEGUINTE: "LEVARIA O CORPO UNIFORMEMENTE ATÉ O INFINITO".

Isso é confirmado na próxima jornada, com o seguinte experimento de imaginação:

[QUARTO DIA] Imagine qualquer partícula projetada ao longo de um plano horizontal sem atrito; então, sabemos (...) se moverá ao longo deste plano com um movimento uniforme e perpétuo, desde que o plano não termine. (GALILEI, 1914, p. 244)

Ele corretamente atribui a desaceleração observada ao atrito, sem o qual o movimento continuaria perpetuamente. Portanto, nenhuma força seria necessária para manter a partícula em movimento. Ele não conseguiu identificar a causa da aceleração dos corpos em queda livre, nem a do movimento da Lua ao redor da Terra (MCU), ou seja, a força gravitacional. Isto sugere que Galileu, no fundo, continua confiante na ideia de uma inércia circular.

GALILEU



DESCARTES

Um movimento inercial também foi proposto por Pierre Gassendi (1592-1655), que tentou reconciliar o atomismo epicurista com o cristianismo. Para ele, um corpo em repouso só podia entrar em movimento pela ação de uma força externa e, uma vez em movimento, este se moveria para sempre em linha reta e com velocidade constante. No entanto, ele também adotou uma inércia circular para movimentos específicos (PAV, 1966). Também abordou a queda livre dos corpos em seu *De motu* (1642) e *De Proportione qua Gravia decidentia accelerantur* (1646), apontando que uma pedra abandonada do mastro de um navio deve conservar o seu movimento horizontal. Charleton (1654, p. 467) retomou a visão de inércia de Gassendi da seguinte forma: "Todo movimento, uma vez impresso, é por si só indelével e não pode ser diminuído (...), somente por alguma causa externa" (PAY, 1966).

Certamente influenciado por Beeckman e Gassendi, Descartes (1596-1650) apresentou uma teoria mais completa do movimento com a inércia retilínea, uma consequência de suas convicções metafísicas/teológicas (em vez de experimentos), da qual deduziu a conservação da quantidade de movimento, cuja origem seria um impulso

primordial dado por Deus, a fonte de todos os movimentos. De fato, sua primeira formulação dessa lei de conservação apareceu no seu *Le Monde* (~1630), que acabou sendo publicado postumamente, mas vamos nos restringir a seus *Principia Philosophiae* (1644), que certamente influenciou Newton. Na parte II de seu tratado, Descartes propõe:

37. Que cada coisa, na medida do possível, permanece sempre no mesmo estado; e, conseqüentemente, uma vez em movimento, ela sempre continuará a se mover. (...)

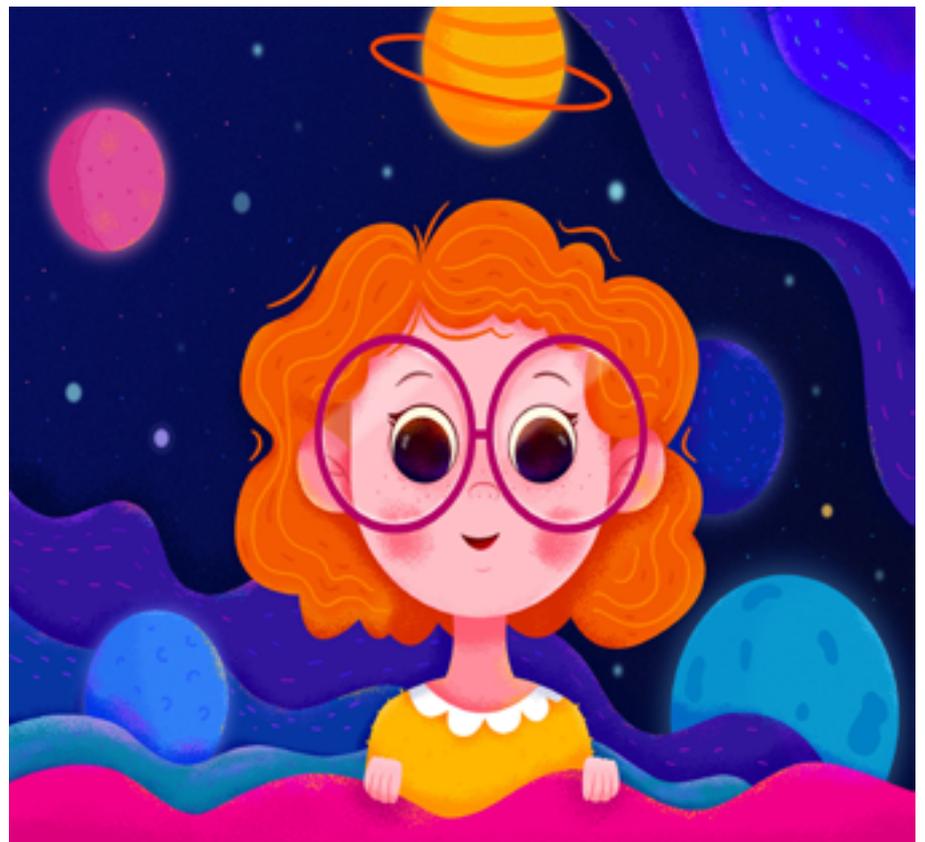
39. Que todo movimento é, por si mesmo, em linha reta; e conseqüentemente, os corpos em movimento circular sempre tendem a se afastar do centro do círculo que estão descrevendo. (DESCARTES, 1982, p. 59)

Claramente, Descartes entende a inércia como uma tendência natural dos corpos. Embora aborde o movimento inercial como o poder de permanecer em um estado, rejeitando a ideia de inércia como uma propriedade inata da matéria. Em uma carta a Mersenne, em 1630, ele disse: “Não reconheço nenhuma [força de] inércia ou [resistência] natural nos corpos” (KOYRE, 1968, p.69). Como Gabbey (1980) enfatiza, Descartes não aceita a inércia como uma propriedade intrínseca de um corpo servindo como um princípio explicativo, ou como um atributo definidor deste corpo. Nas próprias palavras de Descartes: “Eu mantenho [a ideia de] que existe em toda matéria criada, uma certa quantidade de movimento que nunca aumenta ou diminui”. (GABBEY, 1980, p. 288). Então o movimento uniforme ao longo de uma linha reta não seria um processo (que, segundo Aristóteles, exigiria uma causa), mas um estado no qual um o corpo continua sem a necessidade de força. No entanto, uma inércia retilínea implica que as órbitas dos planetas exigiriam uma força gravitacional, uma ação sem contato que viaja através do vazio, a qual Descartes jamais aceitaria. Ele contornou esse problema assumindo um aether invisível feito de partículas

girando em vórtices, conduzindo os planetas ao redor do Sol.

Todas as dificuldades em explicar o movimento relatadas acima foram superadas com a publicação do Principia de Newton (1687). Ele rejeita a ideia cartesiana de conservação da quantidade de movimento e a teoria planetária em que as órbitas seriam causadas por vórtices do éter; assume que Deus age continuamente na natureza; apresenta a *vis inertiae*, uma força inerente da matéria que faz com que todo corpo persevere em seu estado atual de movimento; introduz o conceito moderno de força impressa e propõe uma teoria universal da gravitação que finalmente trata a gravidade como uma força (uma ação a distância) e não como uma tendência natural, o que lhe permitiu explicar a queda de uma maçã e o período da órbita lunar a partir dos mesmos princípios, eliminando as dicotomias aristotélicas e colocando a força de inércia em uma base sólida, embora distinta da cartesiana.

Tudo isso dito, parece estranho que os livros didáticos modernos apresentem as leis do movimento de Newton sem mencionar a *vis inertiae*, uma força que ocupa uma posição de destaque na explicação do movimento no Principia. Na próxima seção, analisaremos essa omissão contrastando alguns textos originais de Newton com o típico conteúdo encontrado nos livros didáticos modernos.



Inércia e as leis de Newton



Nos escritos de Newton, o conceito de inércia evoluiu de uma tendência natural da matéria, como era esperado de qualquer jovem estudante, naqueles tempos cartesianos, para uma perseverança ativa contra mudanças no estado de movimento. Sua primeira menção à inércia aparece em sua obra De gravitatione, um ensaio inédito em que ele critica as visões cartesianas de espaço e movimento (~ 1670):

DEF. 5. Força é o princípio causal do movimento e do repouso. É algo externo que gera, ou destrói, ou altera o movimento impresso em algum corpo; ou é um princípio interno pelo qual um movimento ou repouso existente se conserva em um corpo e pelo qual, qualquer corpo persevera no seu estado e opõe resistência [a ações externas].

DEF. 8. A inércia é uma força interna ao corpo, que previne que seu estado seja facilmente alterado por uma força externa. (NEWTON, 1962, p. 148).

A inércia passa, então, a ser identificada como uma força e não como uma tendência natural. Isso não mudará nos trabalhos futuros de Newton, apenas será refinado. No primeiro tratado “De motu corporum” (1684), lê-se:

DEF. 2. E a força de um corpo - isto é, inata - eu identifico como aquela que o faz persistir em seu movimento seguindo uma linha reta.

HIPÓTESE 2. Todo corpo, apenas por sua força inata, prossegue uniformemente até o infinito, seguindo uma linha reta, a menos que seja impedido por algo externo. (WHITESIDE, 1974, p. 257-258)

Agora, a inércia de um corpo é uma força que o mantém continuamente em movimento retilíneo. No Apêndice 1 do “Augmented tract De motu corporum” (1684), a Hipótese 2 é promovida a uma lei da natureza:

LEI 1. Somente por sua força inata, um corpo permanece se movendo uniformemente em linha reta, se nada o impedir. (WHITESIDE, 1974, p. 125).

No tratado reformulado “De motu corporum in medijs regulariter cedentibus” (início de 1685), Newton faz pequenas, porém relevantes, alterações:

DEF. 12. A vis insita de um corpo é o poder inerente e essencial pelo qual ele persevera em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, sendo proporcional à quantidade de matéria que ocupa o seu volume (...)

LEI 1. [Somente] por sua vis insita todo corpo persevera em seu estado de repouso ou movimento uniforme em linha reta, exceto na medida em que é compelido por forças impressas a mudar esse estado (...) (WHITESIDE, 1974, p. 97)⁵

⁵ESTA É UMA TRADUÇÃO LIVRE DO ORIGINAL (EM LATIM):

DEF. 12. *Corporis vis insita, innata et essentialis est potentia qua id perseverat in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta, estq̄e corporis quantitati proportionalis (...)*

LEX 1. *Vi insita corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta nisi quatenus viribus impressis cogitur statum illum mutare (...)*

Segundo Balola (2011), Newton agora entende o repouso e o MRU como estados equivalentes. O mais importante é que a inércia é tida como uma força essencial que faz os corpos perseverarem em seu estado atual de movimento. Daí em diante, Newton sempre usará essa forma verbal, em vez de “continuar” (em latim, *pergere*) ou “permanecer”, que são formas passivas mais condizentes com uma tendência natural. Infelizmente, essas formas passivas se tornaram dominantes nas traduções do Principia e nos livros modernos, como será exposto na próxima seção. Ressaltamos que Newton está inovando quando ele assume que um corpo mantém seu estado de movimento (ou repouso) inalterado devido a uma força, a vis insita, que o torna resistente (ativamente) às tentativas externas de mudança. Na Lei 1, acima, Newton atribui explicitamente essa perseverança à vis insita, o que não ocorrerá no Principia (1687), nem nas 2ª e 3ª edições, de 1713 e 1726, respectivamente. No entanto, isso não pode ser considerado um retorno à tendência natural cartesiana, pois Newton esclarece, logo após a sua Def. IV (vis impressa), que: “Pois um corpo persevera em cada novo estado [de movimento] somente pela força de inércia” (NEWTON, 1999, p. 405).

Isso mostra que ele achou redundante mencionar a vis insita novamente em sua 1ª lei do movimento. De qualquer forma, todas essas correções cuidadosas indicam, por si só, a grande relevância que ele atribuiu à força de inércia. Por fim, no Principia, a força da inércia é definida como:

DEF. III: A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistência pelo qual todo corpo, conquanto possa, persevera em seu estado, seja ele repouso ou movimento uniforme em linha reta. (NEWTON, 1999, p. 405).

A fim de esclarecer a natureza dessa força e distingui-la da vis impressa, Newton explica que:

ESSA FORÇA é sempre proporcional (à massa do) corpo e não difere em nada da inércia da massa, a não ser pela maneira como é concebida. Devido à inércia da matéria, somente com dificuldade todo corpo é afastado do seu estado de repouso ou de movimento. Consequentemente, a vis insita pode, por um nome mais adequado, ser chamada de vis inertiae (...). Porém, um corpo exerce essa força somente quando outra força, impressa nele, tenta mudar essa condição; (...) (NEWTON, 1999, p. 405).

Isso revela muito sobre a visão de inércia de Newton. Ele nota claramente a presença de uma força, a vis inertiae, nos fenômenos de inércia. Segundo Chaib (2016),

a inércia apresenta as características típicas de um fenômeno causado por uma força, ou seja, uma ação com uma direção bem definida, sempre oposta à aceleração do corpo e proporcional à sua massa. Já que toda ação externa (gravitacional, elástica, tensão, fricção, pressão do fluido etc.) tem uma fonte bem definida, necessária para formar um par ação-e-reação, e Newton não conseguiu identificar uma fonte externa para a vis inertiae (o espaço absoluto, desprovido de uma estrutura material, não seria capaz de sustentar uma reação), então ele considerou a força de inércia como uma força distinta da vis impressa, vinda do interior do corpo (isto é, vis insita). Essa distinção permanece na 2ª lei do movimento:

O LEITOR MODERNO TAMBÉM FICARÁ IMPRESSIONADO COM O FATO DE NEWTON USAR A PALAVRA "FORÇA" EM RELAÇÃO A "INÉRCIA" ("VIS INERTIAE"), EMBORA (...) ESTA SEJA UMA FORÇA INTERNA E NÃO O TIPO DE FORÇA QUE (DE ACORDO COM A SEGUNDA LEI) AGE EXTERNAMENTE PARA MUDAR O ESTADO DE REPOUSO OU MOVIMENTO DE UM CORPO. A MENS QUE SIGAMOS AS INSTRUÇÕES DE NEWTON E FAÇAMOS UMA DISTINÇÃO ACENTUADA ENTRE ESSA "FORÇA" INTERNA E AS FORÇAS EXTERNAS, DEIXAREMOS DE ENTENDER COMPLETAMENTE A FORMULAÇÃO NEWTONIANA DA CIÊNCIA DA DINÂMICA

(NEWTON, 1999, P. 405).

Apesar da característica singular de ser insita, Newton nunca considerou a vis inertiae como uma ação aparente (isto é, uma ação que realmente não estaria ali). Portanto, a atribuição da causa dos fenômenos inerciais às forças "fictícias", como encontrada nos livros modernos, difere totalmente da concepção original de Newton⁶.

⁶ Ao assumir que a inércia é uma tendência natural dos corpos, os autores modernos são levados a considerar as forças inerciais como aparentes. Isso impede qualquer discussão sobre sua origem, bem como qualquer tentativa de associá-la a uma interação fundamental.

Entretanto,
de acordo com a
visão de Mach, a vis
inertiae resultaria de
uma interação real
do corpo com todos
os corpos celestes,
restando somente a
opção gravitacional,
uma vez que as
forças nucleares
são de curto
alcance e as forças
eletromagnéticas
exigiriam corpos
celestes carregados
eletricamente.

Logo após as definições,
Newton distingue espaços
absolutos e relativos, o que
é importante porque ele
estava interessado em esta-
belecer as leis referentes ao
movimento com relação ao
espaço absoluto: "(...) em
vez de lugares e movimentos
absolutos, utilizaremos rel-
ativos; e isso sem qualquer
inconveniente; mas em dis-
cussões filosóficas, devemos
recuar de nossos sentidos." Ele
ênfatisa que o espaço abso-
luto "de sua própria natureza
sem referência a algo externo
permanece sempre homogê-
neo e imóvel." O espaço abso-
luto tem o inconveniente de
ser invisível e inacessível, mas
Newton superou esse prob-
lema no Corolário I da Prop.
XIV (Livro III), onde lemos: "As
estrelas fixas também estão
em repouso [em relação ao
espaço absoluto], porque
mantêm determinadas
posições em relação aos afélios
e nós". Ele, então, declara
suas leis do movimento:

Lei I: Todo corpo persevera
em seu estado de repouso
ou de movimento uniforme
em linha reta, a menos
que seja compelido a
mudar esse estado por
forças impressas sobre ele.

(NEWTON, 1999, p. 19).

Após as outras duas leis
e alguns corolários, Newton
apresenta um Scholium, onde
atribui essa lei a Galileu. No
entanto, como apontado por
Galili e Tseitlin (2003), Newton
vai além das extrapolações
imaginárias de Galileu (corpos
se movendo em condições
ideais, sem atrito e resistên-
cia do ar), pois ele tende a
analisar fenômenos reais, a
partir dos quais chegou à con-
clusão de que apenas pela vis
inertia um corpo persevera

Identificação

1

NÍVEL DE
ENSINO

Médio

SÉRIE

1^a

DOCENTE
RESPONSÁVEL

Nome da (o) professora (o)

MODALIDADE

Presencial

ÁREA DO
CONHECIMENTO

Física

TEMA DA
AULA

Movimento

TÍTULO DA
AULA

“Desvendando o movimento
do Cosmos”

DURAÇÃO
PREVISTA

90 minutos



1.2. Problema

- Qual a causa dos movimentos? Eles seguem um padrão?

1.3. Objetivos

- Evidenciar as contribuições científicas de Newton, Haley, Hooke e seus contemporâneos;
- Investigar se a compreensão do movimento foi estabelecida naquele período histórico;
- Relacionar o conhecimento científico vigente aos conflitos ocorridos à época.

1.4. Metodologia

A primeira aula foi dedicada à exibição do episódio três da aclamada série *Cosmos*. Com duração de 43 min, o vídeo apresenta diversos recortes históricos a respeito da vida de Newton, desde a relação conturbada com os seus pais até o triunfo profissional ao se tornar presidente da Royal Society.

Nesta primeira etapa é importante que o professor se atenha aos conhecimentos prévios de cada aluno, e encoraje a perguntar, não seja autoritário em suas argumentações e, assim como reforça Carvalho (2011), evidencie claramente as situações problemas exibidas ao longo do vídeo, relacionando-as com o nosso cotidiano. É importante também que o professor proponha um espaço de fala ao aluno, teça comentários pertinentes e elucide as dúvidas relacionadas aos acontecimentos históricos. Contudo, questões relativas a grandezas, natureza da força e do movimento, sugere-se que sejam abordadas nos próximos encontros, com o auxílio das atividades propostas nesta **SEI**.

1.5. Recursos Necessários

Qualquer dispositivo capaz de reproduzir mídias: TV, notebook, projetor ou semelhante.

1.6. Proposta de Avaliação

A atividade avaliativa relacionada a este encontro será efetivada na próxima aula.

*Os planos de aula foram elaborados com base em Ferreira e Filho (2019).

⁷Esta obra audiovisual está disponível em DVD e acessível via streaming pela Netflix.

Identificação

2

NÍVEL DE
ENSINO

Médio

SÉRIE

1^a

DOCENTE
RESPONSÁVEL

Nome da (o) professora (o)

MODALIDADE

Presencial

ÁREA DO
CONHECIMENTO

Física

TEMA DA
AULA

A compreensão de Mundo

TÍTULO DA
AULA

“Natural ou violento?”

O movimento de Aristóteles”

DURAÇÃO
PREVISTA

90 minutos



2.2. Problema

• Quais as contribuições de Aristóteles para a compreensão do mundo (movimento)?

2.3. Objetivos

- Identificar a relação entre o texto (a ser discutido nesta aula) e o vídeo exibido no encontro anterior;
- Identificar padrões;
- Suscitar o método científico.

2.4. Metodologia

Para incrementar as informações suscitadas na aula anterior, a atividade deste encontro também está centrada na história da ciência. Os alunos foram distribuídos em grupos de, no máximo, cinco pessoas. Com o auxílio do texto “Princípios matemáticos da filosofia natural: A Lei da Inércia”, foram incitados a discutir sobre as situações apresentadas tanto no texto, quanto no vídeo exibido na aula anterior. Para instigar as discussões, foram feitas as seguintes problematizações:

- Há relação entre o texto e o vídeo exibido na aula anterior? Quais?
- As contribuições científicas de Newton são aplicadas ao seu cotidiano?
- É importante entender as causas do movimento e as suas consequências?

É preciso que o professor fomente e discorra sobre as principais relações entre as atividades, caso isso não fique explícito ao longo das discussões.

2.5. Recursos Necessários

Quadro, pincel e texto complementar: “Princípios matemáticos da filosofia natural: A Lei da Inércia”⁸

2.6. Proposta de Avaliação

A título de avaliação, foi proposto que os alunos redigissem um texto (manuscrito) com respostas à essas perguntas. Diferente da atividade anterior, o texto deveria ser redigido individualmente e entregue ao professor pesquisador ao final deste encontro.

⁸Disponível na próxima página.

Princípios matemáticos da filosofia natural:

A Lei da Inércia



A física aristotélica, a física antiga, acreditava que a Terra estava em repouso absoluto no centro do universo, que era considerado finito, e que todos os outros corpos celestes giravam em torno dela, ou seja, era um sistema geocêntrico. Com base neste pressuposto, foi pensada e construída toda uma física para explicar o movimento dos corpos numa Terra em repouso no centro do Universo, e uma física para explicar o movimento dos corpos celestes, que se moviam de forma diferente dos corpos terrestres.

Para Aristóteles, tudo o que existia na Terra era constituído por quatro elementos, ar, terra, fogo e água, isto é, cada corpo resultava de uma combinação destes elementos. Assim, de acordo com a proporção dos seus elementos constituintes, cada corpo seria mais leve ou mais pesado, e consoante a sua natureza possuía um lugar adequado e teria também o seu movimento natural que o conduziria, dessa forma, ao seu lugar, onde uma vez aí chegado, aí permaneceria em repouso. Desta forma, quando os corpos são pesados o seu movimento natural é para baixo, em linha reta, se são leves o seu movimento natural é para cima também em linha reta. E, como já foi referido, o movimento natural cessa quando o corpo atinge o seu lugar natural. Desta forma, explica Alexandre Koyré, na física aristotélica cada coisa possui, no universo, um lugar próprio, conforme à sua natureza, assim, estar num sítio ou noutra não lhes é indiferente. Porém, nem todos os objetos que existem na Terra se movem desta forma, portanto, Aristóteles teve de justificar também os restantes movimentos que os corpos, por vezes, descreviam, como por exemplo, uma flecha lançada por um arco desloca-se, no início, aparentemente numa direção perpendicular à vertical; uma bola na extremidade de uma corda pode girar em círculo; uma pedra pode ser atirada verticalmente para cima. Na física aristotélica, todos os movimentos contrários aos movimentos naturais dos corpos são movimentos violentos, ou seja, forçados e só acontecem quando uma força causa e mantém tal movimento. Este sistema de movimentos que acabamos de ver aplicava-se apenas aos corpos terrestres, pois o movimento dos corpos celestes justificava-se de outra forma.

Aristóteles acreditava que os corpos celestes eram compostos por outro elemento, um quinto elemento, diferente dos quatro elementos que constituíam os corpos terrestres. Esse elemento constituinte era chamado por Aristóteles o quinto elemento, o éter. Ao serem formados de éter, os corpos celestes tinham, por conseguinte, outra natureza. Ao terem outra natureza, teriam também de ter outro movimento natural, distinto do movimento descrito pelos corpos terrestres. Aristóteles defendia que o movimento natural de um corpo composto de éter era o movimento circular, que não cessava nunca, era um movimento infinito. Ao ser um movimento natural, o movimento circular não precisava de um motor, de algo que mantivesse ou justificasse o movimento. Para Aristóteles o universo era algo hierarquizado, que se organizava da seguinte maneira, no centro estava a Terra, a seguir a água, depois o ar, depois o fogo e, por último, o éter. Como vimos anteriormente, os corpos apenas têm movimento natural até encontrarem o seu lugar natural, pois uma vez aí, cessariam o seu movimento.

Era desta forma que Aristóteles justificava o repouso da Terra no centro do Universo, ou seja, a Terra já estava no seu lugar natural. Assim, Aristóteles não só defendia que a Terra não tinha translação, como dizia, inclusive, que não tinha rotação, era algo absolutamente estático. De acordo com Cohen, a principal razão física para isto, segundo o velho sistema, era não ser natural que a Terra tivesse um movimento circular, pois uma translação da Terra em torno do Sol ou uma rotação diária seriam contrárias à sua natureza. Ao ser distinta dos corpos celestes, quer nas suas características físicas, quer na sua composição e propriedades essenciais, não necessita estar em constante movimento, ou seja, em movimento circular, como os demais.

Fonte: (Adaptado) BALOLA, R. *Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei da inércia*. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Clássicos) – Departamento de estudos Clássicos, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Identificação

3

NÍVEL DE
ENSINO

Médio

SÉRIE

1^a

DOCENTE
RESPONSÁVEL

Nome da (o) professora (o)

MODALIDADE

Presencial

ÁREA DO
CONHECIMENTO

Física

TEMA DA
AULA

Força: uma grandeza vetorial

TÍTULO DA
AULA

“Pelos poderes de Grayskull!
Eu tenho a força?”

DURAÇÃO
PREVISTA

90 minutos

3.2. Problema

- Eu tenho a força? Ela está contida no seu corpo?

3.3. Objetivos

- Investigar a natureza da força;
- Representar as forças envolvidas numa situação-problema em um diagrama;
- Entender as características vetoriais da força.

3.4. Metodologia

Nesta etapa é importante que o professor tenha informações sobre as habilidades matemáticas dos alunos, além de ressaltar a natureza intrínseca dessa ferramenta na análise dos fenômenos físicos e, conseqüentemente, nas grandes descobertas científicas.

Com este objetivo em mente, foi realizada uma dinâmica envolvendo o conceito e as características de uma grandeza vetorial. Intitulada “*Cabra cega, a Saga dos Vetores*” propiciou habilidades de como deve ser feita uma análise de movimento, além de incentivar o uso de termos corriqueiros no meio acadêmico. Em espaço delimitado, seja a sala de aula convencional ou similar, o professor escolheu 3 duplas para participar da dinâmica (recomenda-se que não seja toda a turma, visto o tempo diminuto). Após a escolha das duplas, o professor solicitou que um integrante seja vendado e o outro tenha a função de auxiliar o seu colega durante a locomoção em sala, observe a figura 1. Os alunos restantes modificaram a ordem das cadeiras de modo a criar caminhos, com alguns obstáculos, para que o aluno vendado encontre o “tesouro” escondido previamente pelo professor, evidenciado na figura 2.

Figura 1 - *Cabra cega: “A saga dos Vetores”*



Inicialmente, é imprescindível que o professor solicite aos alunos que meçam o passo do aluno vendado e instrua o orientador a utilizar uma linguagem que facilite a compreensão do seu colega. Espera-se que esta linguagem seja aperfeiçoada ao longo da dinâmica para que o movimento seja mais fluido e que o tesouro seja encontrado. Também é importante ressaltar que o professor esteja ciente do local dos tesouros e que os alunos da sala não os em locais de difícil acesso, vide figura 2.

Figura 2 - O tesouro perdido.



O professor pode sugerir, paulatinamente, exemplos de como melhorar a locomoção. Se as duplas entrarão na sala ao mesmo tempo e o conteúdo do tesouro, também ficam a seu critério. Recomenda-se que o professor não escolha um número superior a três duplas, visto a dificuldade em manter uma organização mínima (e atrapalhar as outras turmas), além do tempo ser escasso. Com o intuito de ressaltar a natureza vetorial da força e aproveitar a desorganização das cadeiras, o professor irá incitar diversas atividades que mesclam o movimento corporal dos alunos com conceitos a serem explorados ao longo das próximas aulas, como exemplifica a figura 3.

Figura 3 - Cabo de guerra.



Munidos de faixas típicas de lutadores de artes marciais, o professor incitou puxões aleatórios com direção e sentidos diferentes, como sugere a figura 4. Disputas comuns como o cabo de guerra, dentre outras atividades lúdicas que propiciem a compreensão que a força é uma grandeza caracterizada tanto pela intensidade quanto por direção e sentido, concatenando com a ideia proposta na dinâmica da cabra cega, realizada anteriormente. É importante que os alunos identifiquem que o movimento depende da quantidade de pessoas envoltas na faixa, da superfície onde ocorre a dinâmica, da massa de cada um dos participantes e de como será realizado esse puxão.

Figura 4 - *Eu tenho a força?*



Figura 5 - *Participação ativa dos alunos.*



Estas atividades devem ser realizadas pelos alunos, no intuito de contemplar o interacionismo proposto pela **SEI**. O professor deve problematizar sobre o conceito de força e como este se apresenta em nosso cotidiano.

3.5. Recursos Necessários

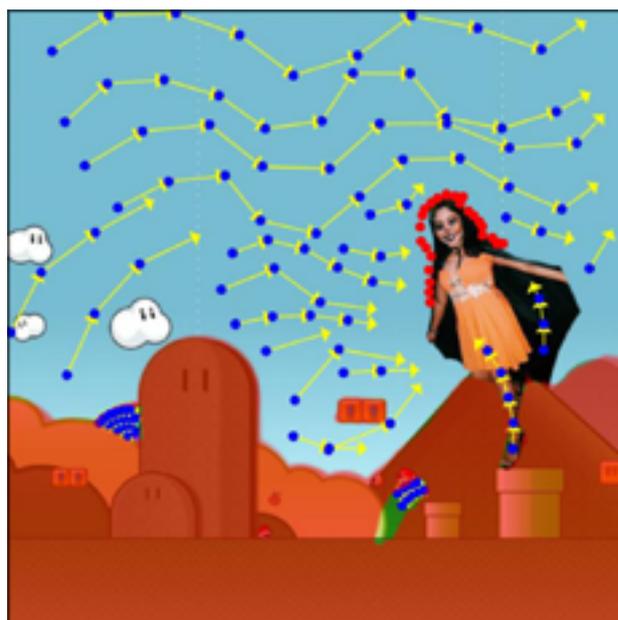
Quadro, pincel, projetor (ou outro meio capaz de reproduzir mídias), faixas (ou similar), tecido para vendar os olhos dos alunos, trena e smartphome.

3.6. Proposta de Avaliação

Por fim, o professor fez um desafio aos seus alunos. Por meio do aplicativo Zoetropic⁹, eles fotografaram um objeto (ou a si mesmos), com o intuito de tornar esta imagem estática em uma imagem com movimento. Este aplicativo dispõe de diversas ferramentas que possibilitam a inclusão de vetores que darão movimento a determinadas áreas escolhidas previamente pelo usuário.

Faz-se necessário que o professor sugira que os alunos façam o download do aplicativo no encontro anterior, afim de evitar problemas de conexão com a internet. As figuras 6 e 7 foram projetadas em sala para o breve tutorial, também é importante que esta atividade seja realizada individualmente (de acordo com as características de cada grupo social, obviamente) em sala ou como atividade para casa.

Figuras 6 e 7 - Fotos editadas no aplicativo Zoetropic.



⁹Aplicativo para telefones móveis: gratuito e de fácil acesso. Disponibilizado pela Play e Apple Store.

Identificação

4

NÍVEL DE
ENSINO

Médio

SÉRIE

1^a

DOCENTE
RESPONSÁVEL

Nome da (o) professora (o)

MODALIDADE

Presencial

ÁREA DO
CONHECIMENTO

Física

TEMA DA
AULA

A Mecânica Newtoniana

TÍTULO DA
AULA

“Eureka!?”

DURAÇÃO
PREVISTA

90 minutos



4.2. Problema

- Quais forças podemos identificar ao longo da experimentação?
- Há uma causa para o movimento? Justifique.

4.3. Objetivos

- Identificar a força de inércia;
- Representar todas as forças envolvidas;
- Elencar hipóteses.
- Traçar estratégias e possíveis intervenções.

4.4. Metodologia

Nesta etapa serão realizados dois experimentos consecutivos, no qual os alunos se dividiram em grupos de acordo com as atividades propostas nas aulas anteriores. Munidos de, ao menos, um celular gravaram as etapas da investigação a fim de uma futura análise e, se necessário, a repetição do experimento em casa noutro momento propício. Os materiais a serem utilizados nos experimentos são simples e de fácil obtenção: linha de costura, estojo escolar (ou qualquer outro objeto com massa similar), folha de papel e uma mesa.

Experimento 1

Esta atividade foi dividida nas seguintes etapas:

1. Os alunos devem cortar um pedaço de linha de aproximadamente 1m (não se faz necessário uma precisão demasiada, um comprimento suficiente para que eles possam segurar o fio entre as mãos e consigam puxar as suas extremidades);
2. Solicite que os alunos puxem vagarosamente as extremidades até que o fio se rompa. Devido à ausência de forças de atrito isso não ocorrerá, contudo solicite que os alunos enrolem a ponta dos dedos no fio e repitam a ação;
3. Após a etapa anterior, o professor deve evidenciar as marcas deixadas pelo fio nos dedos dos alunos e suscitar diversos questionamentos¹⁰ sobre a intensidade e o sentido da força aplicada;
4. Novamente peça para que os alunos cortem um pedaço de linha de aproximadamente 1m;

¹⁰Para maiores informações, verifique a Dissertação.

5. Eles devem amarrar uma das extremidades do fio ao estojo;
6. Aplicar um puxão vertical. Nesta etapa é importante que um dos integrantes do grupo grave toda a ação. Se possível, utilize a função slow motion (câmera lenta) presente em boa parte dos smartphones;
7. Observem o que ocorre com o objeto.

Figura 8 - Experimento 1.



Experimento 2

De fácil reprodução, o mais importante serão as problematizações realizadas pelo professor ao longo da atividade. É importante que os experimentos sejam repetidos e filmados, por conseguinte uma análise mais apurada posteriormente.

1. Solicite que um dos alunos coloque um objeto (material didático de fácil acesso, como por exemplo, um estojo de lápis) sobre uma folha de papel A4 e que esta sobressaia uns 5 cm da borda de uma mesa.
2. Após a disposição dos materiais, sugira que o aluno puxe a folha vagarosamente e observe o ocorrido.
3. Solicite que repitam a ação anterior, contudo encostem o dedo no objeto fazendo com que ele se mantenha na mesma posição (força contrária ao movimento da folha).

4. Após as etapas anteriores (é imprescindível que a ordem destas etapas seja seguida para que as problematizações tenham o efeito esperado), solicite que os alunos puxem a folha o mais rápido que puderem e observem o ocorrido.
5. É importante que o professor suscite a importância da repetição dos experimentos em prol da maior acurácia possível.

Figura 9 - Experimento 2 (ação incorreta).



4.5. Recursos Necessários

Quadro, pincel, linha de costura, estojo e smartphone.

4.6. Proposta de Avaliação

Após a realização das duas atividades, os alunos deverão transcrever o que visualizaram e, por meio de diagramas vetoriais, identificar todas as forças envolvidas, além de responder aos seguintes questionamentos:

- Após o puxão, o que fez a corda se romper?
- O que aconteceu com o objeto após a folha entrar em movimento?
- A variação da velocidade interfere no comportamento dos objetos?

Identificação



5

NÍVEL DE
ENSINO

Médio

SÉRIE

1^a

DOCENTE
RESPONSÁVEL

Nome da (o) professora (o)

MODALIDADE

Presencial

ÁREA DO
CONHECIMENTO

Física

TEMA DA
AULA

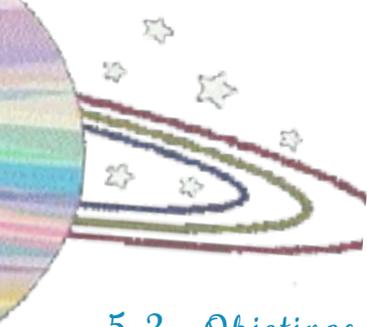
A Mecânica Newtoniana

TÍTULO DA
AULA

“Por fim, Newton!”

DURAÇÃO
PREVISTA

90 minutos



5.2. Objetivos

- Ressaltar todas as atividades aplicadas nos encontros anteriores;
- Avaliar, de maneira geral, a eficácia da **SEI**.

5.3. Metodologia

O último encontro foi dedicado a aplicação de um questionário com questões abertas sobre todas as atividades realizadas ao longo da **SEI**. É importante destrinchar toda a matemática envolvida com o auxílio dos diagramas de força e os vídeos produzidos pelos alunos, suscitar possíveis erros e evidenciar a presença de uma força desconhecida, a força de inércia.

Por fim, é imprescindível que o professor reafirme a matemática envolvida nos fenômenos investigados, além de revisitar todas as atividades discutidas anteriormente. Se faz necessário a comparação entre as leis de Newton publicadas no Principia e as ideias grafadas no livro didático adotado pela escola, a fim de possibilitar uma reflexão sobre a inércia. É interessante que o professor requisite novos exemplos por parte dos alunos, criando condições para uma melhor contextualização dos fenômenos apresentados.

5.4. Recursos Necessários

Quadro, pincel, vídeos e diagramas produzidos pelos alunos.

5.5. Proposta de Avaliação

A avaliação da **SEI** será somativa, ou seja, ocorrerá ao longo de toda a sequência. Serão analisados todos os documentos produzidos pelos alunos, a fim de identificar o nível de compreensão alcançado sobre as Leis de Newton e os conceitos construídos ao longo das atividades. Após cada atividade realizada nos encontros, o professor buscará as percepções dos alunos frente aos fenômenos problematizados. Pode ser realizado oralmente ou por meio de questões abertas. Para Carvalho (2013) é imprescindível oportunizar essa etapa de discussão em pequenos grupos, além da necessidade de uma produção escrita individual a fim de realçar a construção pessoal do conhecimento, logo, cada aluno deve entregar uma folha com a sua resposta. Na aula posterior o professor deve discutir as respostas e uma possível solução para os problemas.

A respeito as aulas de Física ministradas ao longo das últimas semanas, gostaríamos de solicitar o preenchimento do questionário abaixo. Procure justificar suas respostas!



- 1** O que você entende por força? Exemplifique com situações do seu dia-a-dia.
- 2** A partir dos experimentos realizados nas aulas anteriores, você conseguiu identificar algum força? Qual (is)? Qual foi o papel de cada força nos experimentos?
- 3** Os objetos utilizados nos experimentos estavam parados ou em movimento? Como isso ocorreu?
- 4** As ideias (leis) de Newton estão relacionadas ao que ocorreu ao longo da prática?
- 5** Após participar dessas atividades, você acha que é importante realizar experimentos para estudar os fenômenos da natureza?
- 6** De acordo com o que você aprendeu nessas aulas, qual é o papel da História da Ciência?
- 7** Sobre as aulas de Física ministradas ao longo das últimas semanas: Quais foram as coisas que você gostou mais? As estratégias utilizadas te motivaram? O que poderia ter sido melhor?

Agradecimentos

À minha mãe, por toda dedicação e amor

Ao meu namorado pelo conforto emocional e paciência em refletir e discutir sobre as problemáticas da vida

Aos meus queridos alunos, sempre dispostos a enfrentar desafios, me incentivavam na busca por novas estratégias de ensino.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza Lima, pela eterna paciência e cuidado ao ensinar, se mostrando um professor excepcional, capaz de restaurar a minha paixão pelo ensino de Física.

À professora Marina e todos os profissionais do Centro Educacional 15 de Ceilândia, pelo acolhimento e presteza ao longo de todas as atividades.

Aos queridos colegas que trilharam junto a mim a difícil caminhada rumo ao título de mestre: Francisca Vânia, Kitéria Karoline e Giovanni Ribeiro.

Aos meus amigos que estão sempre dispostos a enfrentar qualquer jornada com muita alegria e dedicação.

Aos professores do MNPEF, campus UnB, pelas contribuições significativas em minha formação profissional, em especial ao Prof. Dr. Marcello Ferreira e a Prof. Dr^a. Maria de Fátima Verdeaux, por fomentar a importância da pesquisa no ensino de Física.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, pelas condições objetivas de realização do Mestrado.

À Banca Examinadora, Dr. João Paulo Martins de Castro Chaib e Dr. Marcello Ferreira, pelas precisas e valiosas contribuições, o que conferiu maior qualidade a este trabalho.

A todos aqueles que, mesmo de maneira indireta, contribuíram para que este projeto fosse concluído.



CELLAMODIA

Referências

ARISTÓTELES. Do Céu. Traduzido por Edson Bini. Edipro, Brasil, 2014.

ARISTÓTELES. Physics. Traduzido por Robin Waterfield. Oxford University Press, Oxford, 2008.

BALOLA, R. Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei da inércia. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Clássicos) – Departamento de estudos Clássicos, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/5363>. Acesso em: 01 jul. 2019.

BEER, F. P; JOHNSTON, E. R; MAZUREK, D. F; CORNWEL, P. J. Mechanics for Engineers, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2013.

BELLUCCO, Alex; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 30-59, nov. 2013. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2014v31n1p30>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BENEDETTI, G. B. Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber. Bevilaquae. Turim, 1585.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_20dez_site.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.

BOURDIEU, P.; PASSERON, J. C. A reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

BYBEE, R.W; DEBOER, G.E. Research on Goals for the Science Curriculum, In: Gabel, D. L. (ed.), Handbook of Research in Science Teaching and Learning, New York, McMillan, 1994.

CAPECCHI, M.C.M.; CARVALHO, A.M.P. Atividades de Laboratório como Instrumentos para a Abordagem de Aspectos da Cultura Científica em sala de aula. Pro-Posições, v.17 n.1, (49), pp.137-153. 2006.

- CARVALHO, A. M. P.** Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). In: LONGHINI, M. D. (Org.). O uno e o Diverso na Educação. Uberlândia: EDUFU, 2011.
- CARVALHO, A. M. P.** O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) Ensino de ciências por investigação - Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CHAIB, João P.M.C.;** AGUIAR, M.. Força de inércia: aprofundando o debate. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 142-161, abr. 2016. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2016v33n1p14>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- CHARLETON, W.** Physiologia Epicuro-GassendoCharltoniana (or A fabrick of science natural, upon the hypothesis of atoms founded by Epicurus, repaired by Petrus Gassendus; augmented by Walter Charleton) London, Tho. Newcomb, 1654.
- CLAIRAUT, A.** Sur quelques principes qui donnent la solution d'un grand nombre de problèmes de dynamique. Paris: M'ém. Acad. Sci. 1745.
- COHEN, I. B.** Introduction to Newton's Principia. Harvard University Press. Cambridge, 1978.
- D'ALEMBERT, J.** Traité de Dynamique. Gauthier-Villars et Cie. Editions, 1921.
- DESCARTES, R.** Principles of philosophy. Traduzido por V. R. Miller and R. P. Miller, Kluwer Acad. Publisher, Dordrecht. 1982.
- DRIVER, R.,** SCOTT, P., ASOKO, H., LEACH, J., e MORTIMER, E. Construindo conhecimento científico na sala de aula. Química Nova na Escola, nº 9: p. 31-40, maio, 1999.
- EDWARDS, D e MERCER, N.** Common knowledge: the development of understanding in the classroom. Londres: Methuen, 1987.
- EULER, *Mechanica sive motus scientia analytice exposita.*** Republished in: Leonhardi Euleri Opera Omnia (Societatis Scientiarum Naturalium Helveticae, Geneva, serie secunda, vol. I, edited by P. Stackel, 1912.
- FERREIRA, M.;** FILHO, O. L. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. Physicae Organum, v. 5, n. 1, p. 39-44, Brasília, 2019.
- FIALHO, H. P.** Do Movimento às forças de inércia: uma abordagem da mecânica para o ensino. 2018. 174f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/32479>. Acesso em: 18 out. 2019.

FRANKLIN, A. Principle of inertia in the middle ages. *American Journal of Physics*, v. 44.

FLÔR, Cristhiane Carneiro Cunha; TRÓPIA, Guilherme. Um olhar para o discurso da Base Nacional Comum Curricular em funcionamento na área de ciências da natureza. *Horizontes*, v. 36, n. 1, p. 144-157, abr. 2018. Disponível em: <https://revistahorizontes.usf.edu.br/horizontes/article/view/609>. Acesso em: 18 out. 2019.

FOUREZ, G. Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Colihue, 2005.

FREIRE, P. Educação como prática da liberdade. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967.

GABBEY, A. Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton. In: S. Graukroger [ed.], *Descartes: Philosophy Mathematics & Physics*. Totowa, New Jersey, 1980.

GALILEI, G. *Sidereus Nuncius*. Traduzido por H. Leitão, Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GALILEI, G. *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari*. Traduzido por Christoph Scheiner, University of Chicago Press, Chicago, 2010.

GALILEI, G. *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*. Traduzido por S. Drake. Berkeley, CA, The University of California Press, 1953.

GALILEI, G. *Dialogues concerning two new sciences*. Traduzido por H. Crew and A. Salvio. New York, The MacMillan Co., 1914.

GALILI, I; TSEITLIN, M. Newton's first law: text, translations, interpretations and physics education, *Science & Education*, 2003.

GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; Formação de professores de ciências: tendências e inovações. *Questões de Nossa Época*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995.

GURGEL, Célia Margutti do Amaral. A experimentação em sala de aula e a construção do conhecimento pelo aluno. In: *O livro da experimentoteca: educação para as ciências da natureza através de práticas experimentais*. Piracicaba (SP): UNIMEP/USP/VITAE, 2000.

HALL, A. R. Galileo and the science of motion. *British J. Hist.*, 1965. vol. 2, n.º 3 (Jun.), 1965, pp. 185-199.

HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. *Fundamentals of Physics*, 10th ed. Wiley, Hoboken, NJ, 2014.

HECHT, E. Kepler and the origins of pre-Newtonian mass. *American Journal of Physics*. 2017.

IRO, H. A Modern Approach to Classical Mechanics. World Scientific, World Scientific Publishing Company, 2002.

JAMMER, M. Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics. Dover, New York, 1999.

KANT, I. Metaphysical Foundations of Natural Science. Traduzido por Michael Friedman, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

KLEPPNER, D; KOLENKOW, R. An Introduction to Mechanics. 2nd edition Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

KEPLER, J. Kepler's somnium: the dream, or posthumous work on lunar astronomy. Traduzido por E. Rosen, University of Wisconsin Press, Madison, 1967.

KOYRE, A. Newtonian Studies. University of Chicago Press, Chicago, 1968.

LAGRANGE, J.L. Mécanique Analytique. Ed. J. Bertrand. Paris. 1788. Disponível em: <https://archive.org/details/mcaniqueanalyt02lagr/page/12>. Acesso em: 20 out. 2019.

LIMA JÚNIOR, P.; OSTERMANN, F.; REZENDE, F. A Física como arbitrário cultural: Uma reflexão a partir da sociologia do conhecimento de Pierre Bourdieu. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9., Águas de Lindóia, 2013. Atas... Águas de Lindóia, 2013.

LUCRETIUS. On the Nature of Things. London: Penguin, 1988.

MARCONDES, M. E. R. As Ciências da Natureza nas 1ª e 2ª versões da Base Nacional Comum Curricular. Estud. av., São Paulo, v. 32, n. 94, p. 269-284, 2018. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142018000300269&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 ago. 2019.

MARTINS, L. F.; MARTINS, Isabel. Introduzindo a linguagem científica nas séries iniciais do Ensino Fundamental: o potencial das narrativas. In: Anais do VI ENPEC, 2007, Florianópolis. Anais do VI Enpec. Belo Horizonte: ENPEC, 2007.

MOREIRA, Marco Antônio. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999

NEWTON, I. The Principia: mathematical principles of natural philosophy, 3rd ed. Traduzido por I. B. Cohen and A. Whitman. UC Press, San Francisco, CA, 1999.

NEWTON, I. De Gravitatione et aequipondio fluidorum. Traduzido por A. R. Hall and M. B. Hall, Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton (Cambridge University Press, Cambridge, 1962.

- OLIVEIRA, A. R. E.** D'Alembert: Between Newtonian Science and the Cartesian Inheritance, *Advances in Historical Studies*, 2017.
- PAY, P. A.** Gassendi's statement of the principle of inertia. *Isis* 57(1), 24-34, 1966.
- PENA, F. L. A.** Sobre a presença do Projeto Harvard no sistema educacional brasileiro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, p. 1-4, 2012.
- PEREIRA, D. V.** O Ensino de inércia com desenhos animados, utilizando futurama como ferramenta lúdica. 2015. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Mestrado Profissional em Ensino de Física. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20513>. Acesso em: 10 jul. 2019
- PIETROCOLA, M.** Parecer sobre a Ciências Naturais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Disponível em http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/relatoriosanaliticos/pareceres/Mauricio_Pietrocola_CIENCIAS.pdf. 2016. Acesso em: 10 jul. 2019.
- RODRIGUES, B.A.;** BORGES, A.T. O ensino de ciências por investigação: uma reconstrução histórica. *Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Curitiba, 2008.
- SANTOS, F. M. T.** Parecer sobre o documento preliminar da Base Nacional Comum Curricular: documentos da área de ciências da natureza. Disponível em http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/relatorios-analiticos/pareceres/Flavia_Maria_Teixeira_Santos.pdf. 2016. Acesso em: 10 jul. 2019.
- SANTOS, I. N. D. dos.** Uma Sequência de Ensino para Inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física: Uma Experiência de Ensino das Leis de Newton. 2017. 73f. Dissertação (Mestrado) Universidade Regional do Cariri. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2017. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_italo_0.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- SANTOS, R. A.** O desenvolvimento de Sequências de Ensino Investigativas como forma de promover a alfabetização científica dos alunos dos anos iniciais do ensino fundamental. 2016. 159f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Mestrado Profissional em Educação. 2016.
- SASSERON, L. H.;** CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em ensino de Ciências*, v. 16, n. 1, 59-77, 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/246/172>. Acesso em 30 set. 2019.
- SERWAY, R. A.;** JEWETT, J.W. *Physics for Scientists and Engineers*, 9th ed. Boston, MA, Brooks/Cole, 2014.

- SILVA, F. J. M.** Proposta de uma metodologia para o ensino da inércia no Ensino Médio utilizando os conceitos de equilíbrio dos corpos. 2015. 130f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22592>. Acesso em: 30 set. 2019.
- SORABJI, R.** Philoponus and the rejection of Aristotelian Science. London: Gerald Duckworth, 1987.
- SOUSA, E. F.** Aprendizagem das Leis de Newton por meio de simulação na linguagem computacional Python. 2016. 99f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Roraima. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2016. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_eliane.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.
- TRUESDELL, C.** Essays in the history of mechanics, New York: Springer, 1968.
- VAN BERKEL, K.** Issac Beeckman on matter and motion, Johns Hopkins U. P., Baltimore, 2013.
- WHITESIDE, D. T.** The Mathematical Papers of Issac Newton. Cambridge University Press, Cambridge, 1974.
- WINTER, H. J. J.** The Arabic Achievement in Physics. Toward Modern Science, vol. 1, edited by R. M. Palter, The Noon-day Press, New York, 1961.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R.A.** Physics, 14th ed. San Francisco, Pearson CA, 2016.