

# **Estética e simetria no ensino de mecânica newtoniana na formação inicial de professores de física**

## **Aesthetics and symmetry in Newtonian mechanics teaching in initial training of physics teachers**

**Flaviston Ferreira Pires**

Universidade Federal de São Paulo  
ton.fpires@hotmail.com

**José Alves da Silva**

Universidade Federal de São Paulo  
josealves.unifesp@gmail.com

**Rúbia de Fátima Antunes Martins Fernandes**

Universidade Federal de São Paulo  
rubia.fernandes@unifesp.br

### **Resumo**

Este trabalho destaca a busca das bases estéticas e simétricas dos fenômenos estudados ao longo da construção histórica da física na formação inicial de professores de física. Essas bases epistemológicas, relacionadas à homogeneidade e isotropia do espaço e às simetrias e assimetrias do tempo, fundamentam a mecânica newtoniana. Para isso, realizamos uma pesquisa qualitativa em educação com o cotidiano escolar como marco teórico, na qual as coletas de dados foram efetuadas por meio de observação participativa, diários de bordo, gravações em áudios e produções textuais, e os resultados foram analisados seguindo referenciais de análise de conteúdo. Objetiva-se contribuir com a melhoria da formação inicial de professores de física a partir da discussão da estética e simetria, a fim de colocar o ser humano como ponto central da produção do conhecimento físico.

**Palavras chave:** estética, simetria, mecânica newtoniana, formação inicial de professores

### **Abstract**

This paper presents the search for the aesthetic and symmetrical bases of phenomena studied throughout the historical construction of physics in initial training of physics teachers. These epistemological bases related to the homogeneity and isotropy of space, and the symmetries and asymmetries of time, support Newtonian mechanics. To do this, we performed a qualitative research in education with everyday school life as a theoretical background, in which data collection were carried out through participatory observation, logbooks, audio recordings and textual productions of the undergraduate students, and the results were analyzed following content analysis frameworks. We aim to contribute to the improvement of

the initial training of physics teachers from the discussion of aesthetics and symmetry to place the human being as the central point of the production of physical knowledge.

**Key words:** aesthetics, symmetry, Newtonian mechanics, initial teacher training

## Estética e simetria na formação inicial

A formação de professores é um tema amplamente discutido nos meios acadêmicos, sendo objeto de pesquisas, reflexões e experimentos (KAWAMURA, 2013). Dentre essas discussões está a necessidade de serem construídos cursos de licenciaturas que atendam às demandas da educação básica.

Para além das dificuldades fartamente discutidas, como baixos salários, más condições de trabalho e desvalorização social da profissão, o processo formativo do professor de física lida com particularidades, dentre elas o currículo, um conceito amplo, em que a sua compreensão indica a natureza da abordagem empreendida, tornando sua discussão bastante complexa (*idem, ibidem*).

Um currículo que determine somente os conteúdos específicos sobre determinada área de conhecimento torna-se insatisfatório para uma formação crítica, sendo necessário considerar outros aspectos formativos, como as diversas interpretações da formulação de um conceito, a complexidade historiográfica da construção do conhecimento, seu vínculo com a dinâmica de todo o currículo, além de questões de caráter ontológico, filosófico e epistemológico congruentes com o conteúdo a ser trabalhado (*idem, ibidem*).

Em geral, estudantes de física apresentam conflitos cognitivos entre a aquisição de conhecimento específico da física real, ensinada formalmente, e conhecimento advindos de uma física espontânea, intrínseca ao indivíduo. Ao longo de suas vidas, eles desenvolveram concepções a respeito de fenômenos físicos, como crenças, explicações intuitivas e significados desenvolvidos a partir de interações particulares com o mundo. Em muitos indivíduos, essas noções espontâneas são fortemente incorporadas à estrutura cognitiva, tornando-se altamente resistentes à instrução (ZYLBERSZTAJN, 1983). Das interações com o mundo, o professor em formação carrega consigo conceitos estéticos, que “permeiam o reconhecimento e a fundamentação de um novo modo de ver, de viver, de sentir [...] [e] de ser” (QUADROS, 1986, p. 22). Esses conceitos podem nortear a formação da estrutura de pensamento do indivíduo e serem reproduzidos durante a atuação profissional.

Compreenderemos, neste trabalho, a estética como ‘a visão, o gosto, as percepções e outras ações decorrentes dos nossos sentidos, e as interpretações as quais atribuímos às coisas’, sendo a simetria um de seus principais elementos.

Uma investigação de como os conceitos estéticos e simétricos são formulados pelo sujeito, que está relacionada à forma como percebemos e construímos os conceitos sobre os fenômenos cotidianos, pode contribuir com o desenvolvimento e compreensão do pensamento físico. Uma formação, quando pautada na investigação da estética dos fenômenos, pode contribuir com a estruturação do pensamento físico do professor em formação, agregando maior significado aos conteúdos curriculares.

O estudo da estética não é um assunto novo. Na antiguidade, Sócrates foi um dos pioneiros a refletir a questão, relacionando a estética à investigação da natureza do belo. Platão atribuiu a estética ao belo, num plano ideal, incorporando conceitos como proporção e harmonia. Aristóteles refutou as ideias platônicas e concebeu a estética na realidade sensível, a partir da experiência com os sentidos, envolvendo parâmetros como simetria e ordenação

(SUASSUNA, 2008). Alguns dicionários brasileiros atuais também associam estética ao belo. Dicionários etimológicos relacionam estética às sensações, à interpretação do mundo, “e esse estético está onde quer que exista qualquer fazer humano, de qualquer ordem, dimensão ou nível. [...] Estuda-se todo o ser humano, enfocando-o do prisma de sua sensibilidade, do seu gosto, dos seus juízos de valor estético, de suas interpretações” (QUADROS, 1986, p. 41).

Assim, resgatamos a discussão presente na obra de Menezes, partindo da noção de que, na física, sempre houve a busca pela estética nos fenômenos observados e descritos ao longo de sua construção histórica (MENEZES, 2005). Há registros da busca por um certo padrão estético em diferentes momentos dessa construção, em particular na questão da simetria, conforme Menezes (2011, p. 90):

as simetrias são essenciais nas teorias da física, desde as compreensões clássicas de espaço e tempo, cuja homogeneidade e uniformidade respondem pelas discussões das quantidades de movimentos e energia [...] se pode pensar nas simetrias como uma estética natural reconhecida pela ciência.

A estética possui caráter subjetivo, sendo necessário um aprofundamento, manifesto, por exemplo, na discussão do espaço. Longe de qualquer campo atrativo ou repulsivo, dois pontos quaisquer do espaço, em mesmas condições, não teriam razões para possuírem propriedades diferentes, sendo absolutamente simétricos entre si. Se um sistema de referência, com formato e posição escolhidos a partir da estética humana, for acrescentado, surgirão diferenças entre os pontos, como a expressão numérica da posição de cada um. Ainda, se um dos pontos possuir massa e estiver sob efeito de um campo gravitacional, sofrerá efeitos diferentes de outro ponto em que não haja esse campo. Portanto, a adoção do sistema de referência e a existência de campos são agentes que quebram a simetria dos pontos. Na ausência disso, há homogeneidade, ou seja, o espaço possui exatamente as mesmas propriedades em quaisquer pontos. Essa simetria implica na impossibilidade de existir movimento translacional em apenas um sentido, sem sua compensação em sentido oposto: eis a conservação do momento linear. Há outra simetria, nas rotações, denominada isotropia, que estabelece a inexistência de direção privilegiada. Para que haja movimento rotacional em um sentido, este deve ser compensado no sentido oposto: eis a conservação do momento angular. Mais uma vez, a existência de campos quebra a isotropia, privilegiando direções. Já a conservação da energia<sup>1</sup> se relaciona ao tempo, que possui uma simetria: a uniformidade com que flui, em um só sentido (na física newtoniana, não há alteração entre as passagens de cada segundo, por exemplo); e uma assimetria, presente em sua irreversibilidade que, em termos estéticos, revela a orientação do passado para ao futuro<sup>2</sup> (MENEZES, 2005).

A importância da estética e da simetria para a concepção de espaço e de tempo de Isaac Newton revela-se a partir do estudo de alguns referenciais que se dedicaram à sua obra. Segundo Koyré (1965 *apud* COHEN e WESTFALL, 2002), o espaço newtoniano era constituído por um vazio infinito e homogêneo; para Thackray (1968 *apud* COHEN e WESTFALL, 2002), o Universo de Newton era uma entidade quase inteiramente vazia e, de acordo com McGuire e Rattansi (1966), além de vazio, o espaço newtoniano era absoluto. Constatamos, nesses autores, a homogeneidade do espaço newtoniano. Em um manuscrito da *Royal Society*, Newton escreveu: “Lucrécio ensina que não existe um centro no Universo, nem tampouco um lugar mais baixo, mas que há mundos espaciais infinitos [...]” e prosseguiu

---

<sup>1</sup> É importante enfatizar que Isaac Newton viveu em uma época anterior a proposição atual da ideia de energia – e, conseqüentemente, do princípio de conservação.

<sup>2</sup> Ainda que as equações atribuídas à mecânica newtoniana sejam reversíveis no tempo, a natureza do próprio não o é, uma vez que em sua filosofia não é aceitável que as ações cotidianas pudessem recuar no tempo (PIRES, SILVA e FORATO, 2017).

em outro: “se a natureza das coisas fosse limitada a qualquer direção, os corpos mais distantes [...] não se manteriam em equilíbrio” (MCGUIRE e RATTANSI, 1966, p. 114). Assim, o espaço newtoniano não apresentava um centro definido para o universo, tampouco limitava direções específicas para o movimento dos corpos. Dessa forma, admitimos que o espaço newtoniano é, também, isotrópico.

Newton escreveu ainda, em seus escólios, dois aspectos analisados nesse artigo (segundo a ótica dos conceitos de estética e simetria): i. que “o espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, mantém-se sempre semelhante e imóvel. O espaço relativo é alguma medida ou dimensão móvel dos espaços absolutos, que os nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos”; ii. que “o tempo absoluto, real e matemático, por si só e por sua natureza flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa externa” (reproduzido em COHEN e WESTFALL, 2002, p. 283).

Assim, quando atribuímos propriedades estéticas ao espaço e ao tempo, pautadas em simetrias, proporcionamos uma forma de compreender e quantificar os diferentes movimentos e fenômenos mecânicos (MENEZES, 2005).

Os conceitos de estética e simetria podem nortear a compreensão das bases que fundamentam a mecânica newtoniana, posto que possivelmente estiveram presentes nas concepções iniciais de Newton (PIRES, SILVA e FORATO, 2017), as quais afirmam que os movimentos do nosso cotidiano e do Cosmos são regidos pelos princípios de conservação, implicando na manutenção ou quebra da simetria dos movimentos, partindo-se do pressuposto de que nenhum movimento pode acontecer isoladamente (MENEZES, 2005).

O ensino de física, em especial o de mecânica newtoniana, não parece levar em consideração essas bases em suas pesquisas e propostas de ensino.

Assim perguntamo-nos: como a discussão dos conceitos de estética e simetria pode contribuir com a formação inicial de professores de física?

Objetivamos contribuir com melhorias para a formação de professores de física, a partir do olhar de estética e simetria e suas implicações para o ensino da mecânica newtoniana.

## **Nossa metodologia**

Esse artigo surgiu a partir do X ENPEC, em que apresentamos o tema pela primeira vez em um trabalho em que analisávamos a implementação de uma abordagem a partir dos conceitos de estética e simetria no ensino de mecânica clássica na educação básica em uma escola pública (PIRES e SILVA, 2015). Durante a apresentação, indicaram-nos que fizéssemos uma pesquisa em torno do tema como uma abordagem aplicada à formação de professores.

Dessa forma, fizemos uma pesquisa qualitativa em educação (LÜDKE e ANDRÉ, 1986), com o cotidiano escolar como marco teórico (ANDRÉ, 2006), obtidos a partir da implementação de uma disciplina de física II, no ano de 2017, em um curso de formação de professores da Universidade Federal de São Paulo – *campus* Diadema, contemplando um total de 46 licenciandos matriculados nos turnos vespertino e noturno, os quais mapeamos faixa etária, trajetória escolar (pública ou privada), e outras formações superiores. Para implementação das aulas, foram feitas reuniões periódicas entre os pesquisadores, em que foram discutidos resultados de pesquisas bibliográficas a partir de teses, dissertações, periódicos e divulgações científicas, além do estudo de fontes secundárias de história e

filosofia das ciências, e referenciais da didática das ciências, que pudessem corroborar com uma formação crítica e reflexiva (PIMENTA e GHEDIN, 2010).

A partir da obra de Menezes (2005), juntamente com pressupostos da filosofia newtoniana, montamos uma situação escolar para obter elementos de estética e simetria por meio de uma abordagem pautada no tema, a fim de investigarmos possíveis contribuições na formação inicial de professores de física acerca dos princípios da mecânica newtoniana.

A disciplina apresenta, em sua ementa, os três princípios de conservação, contemplando as leis de Newton e as bases que os fundamentam. Com discussões, de viés histórico e epistemológico, buscamos destacar as escolhas humanas que interferem nas ciências, a começar pela importância científica da criação do sistema de referências, definido a partir de escolhas arbitrárias, como sua posição relativa e seu formato – que se assemelha ao vértice de um cubo. Destacamos a construção dos conceitos físicos como posição, força e momento, além dos aspectos subjetivos de alguns conceitos, como a massa, e das limitações das atuais teorias que compõem o conhecimento dentro da mecânica para a transposição matemática dos mesmos, com ênfase nas simetrias do espaço como fundantes das teorias newtonianas.

As coletas de dados foram realizadas das seguintes formas: i) observação participante (LÜDKE e ANDRÉ, 1986); ii) uso de diário de bordo (PALCHA, 2015) como registro descritivo; iii) gravação e transcrição de aulas (CARVALHO, 2004); iv) aplicação de atividades, conforme quadro abaixo.

Tipos de atividades	Objetivo	Como avaliamos
Problemas abertos	Reconhecer alguns passos da construção dos princípios de conservação do movimento.	Participação ativa; apresentação verbal das conclusões; síntese escrita.
Aulas expositivas	Apresentar e discutir o papel da estética e da simetria dentro da mecânica newtoniana.	Aplicação de questionários e avaliações institucionais.
Produções textuais	Sintetizar, com linguagem formal, o roteiro da disciplina.	Resenha.

Quadro 1: Síntese de atividades

Da leitura das produções textuais e dos diários, da análise dos áudios e das observações efetuadas, organizamos alguns dados, baseados na análise de conteúdo – interpretações e inferências – de Bardin (2011).

## Alguns resultados

A disciplina tem, historicamente, um elevado índice de reprovação e de desistência. A fim de alterar esse quadro, a equipe responsável resolveu modificar grande parte das abordagens e, para tal, apoiou-se na discussão de estética e simetria descritas neste trabalho.

Do destaque das atividades implementadas, priorizamos as produções textuais dos estudantes (questionários e resenha), de onde apresentamos dados acerca da compreensão da abordagem em função no processo de ensino e aprendizagem da mecânica newtoniana.

### 1. Discussão do tema como facilitador da aprendizagem.

A01	Para resolver a situação, imaginamos uma trajetória [...] [que] seria em linha reta, por ser mais simples para se quantificar o movimento.
-----	--

A02	Sem a criação do sistema de referência e a consideração de que o espaço é homogêneo e isotrópico, não seria possível explicar, de verdade, as três leis de Newton.
A28	Dadas que as leis de Newton são baseadas em suas escolhas [...] para alguém entender suas leis precisam primeiramente do significado dos conceitos e escolhas humanas utilizados.
A40	Se o espaço não fosse homogêneo, não faria sentido falar em conservação em um meio que está em constante mudança. Se houvesse uma direção privilegiada, estaria associada a ideia de que haveria uma força externa atuando constantemente sobre o corpo [...].

Quadro 2: Estética e simetria como facilitadora da aprendizagem

Temos em A01 a reflexão da importância da simplicidade dentro da física, seja nos mecanismos matemáticos, como o uso de retas, ou na construção de modelos científicos. Em A02, vemos o reconhecimento da necessidade de adotarmos propriedades estéticas como um fator importante para o ensino da mecânica newtoniana. A28 destacou a importância de explicitar as escolhas humanas nas leis de Newton, a fim de dar maior significado e compreensão ao seu estudo. Já A40 traz uma discussão do quão não se pode prescindir da homogeneidade e da isotropia para formular os princípios de conservação.

## 2. Pontos em que não houve uma boa compreensão dos conceitos.

A05	A isotropia se desfaz quando se tem um referencial adotado [...]
A13	[...] porque na Terra a homogeneidade e a isotropia são quebradas, então eu não posso contar com alguma coisa que é quebrada na Terra.
A29	[a adoção de referenciais] não quebra a homogeneidade do espaço, apenas estabelece coordenadas para o posicionamento dos corpos.

Quadro 3: Pontos de dificuldade na compreensão dos conceitos

Segundo A05, a adoção de um sistema de referências quebra a isotropia, ou seja, privilegia uma direção. Trata-se de um erro conceitual, posto que o referencial pode diferenciar posições, não privilegiar direções. Em A13, há a negação da utilidade de simetrias idealizadas, possivelmente, resultante da limitação estética (constante quebra das simetrias) imposta pela ação da gravidade no planeta. A29 apresenta uma confusão acerca do conceito de homogeneidade, não compreendendo a diferenciação de posições como diferenciação das próprias propriedades espaciais.

## 3. Como os estudantes avaliaram a importância da abordagem.

A07	[...] a estética científica trabalha com todos esses pontos que envolvem a ciência da natureza (quando não consegue, simplifica e reduz possíveis parâmetros ou dados para poder explicar um fenômeno). Deixarmos de citá-la ao ensinar é omitir fatos importantes.
A08	[...] pois foram a partir das aulas que eu pude enxergar e compreender os verdadeiros conceitos por trás do mundo, tais conceitos que eu adotei para mim.
A22	Muitos conceitos são difíceis de imaginar, mesmo que sejam cotidianos [...] talvez porque não se dê a devida atenção ao mundo à sua volta sob um aspecto como os abordados na física.

Quadro 4: Avaliação da abordagem

Destacou-se de A07 a importância da simplificação nos modelos científicos e da idealização de conceitos físicos. De A08 e A22, compreende-se a dificuldade de se realizar a

leitura de mundo a partir da ótica da estética física, o que justifica a necessidade de abordagens que estimulem a reflexão acerca do tema.

#### 4. Imagem que a física passou a ter para os estudantes.

A11	Através de perguntas e observação, assim como Newton, entender o processo de formação desses conceitos facilita a forma de se aprender sobre como o mundo funciona, como tudo se relaciona, de forma lógica e se baseia em como enxergamos os fenômenos, definindo nossos referenciais e buscando explicá-los, assim se faz ciência.
A18	A partir da compreensão da epistemologia física, é possível relacionar as invenções sociais com a natureza, o quão necessário é a quantificação e conceptualização da percepção dos fenômenos [...] o estudo da natureza não seria possível sem antes a concepção humana do que os cerca, o universo.
A32	Os fenômenos físicos, como os observados por Newton, podem existir na natureza. Porém, para estudá-los e exemplificá-los é imprescindível o uso de conceitos, criado pelo homem.

Quadro 5: Imagem da física para os estudantes.

Vemos em A11 a importância da abordagem do tema como formativo de pensamento crítico dos licenciandos, de forma a aprofundar reflexões. A18 destaca a importância da concepção humana perante a natureza. Já A32 reconhece o caráter ontológico dos fenômenos físicos, mas coloca o ser humano como central dentro do processo epistemológico da aquisição e desenvolvimento dos conceitos físicos.

Houve considerável melhoria no rendimento e na aprovação dos estudantes desta turma, comparativamente a anos anteriores em que essa abordagem não foi priorizada efetivamente.

### Nossas conclusões

Pensar numa disciplina em que a abordagem ocorre pelas bases estéticas e simétricas da física, ainda que com as eventuais dificuldades de abstração em torno do tema, ressignifica os conhecimentos e pode trazer inovações curriculares que parecem re-humanizar o ensino de mecânica newtoniana. Ao revelar arbitrariedades nos modelos, perfeições estéticas e idealizações de simetrias, além de colocar em questão seus princípios mais fundamentais, valorizando as subjetividades, essa abordagem parece propiciar mais reflexão aos licenciandos, contribuindo com a formação de pensamento crítico – ainda que, reconhecidamente, haja erros ou negação conceituais durante o processo de aprendizagem dos estudantes. Isso significa mudar o hábito de priorizar o ensino de certo conceito como se ele existisse sozinho, já acabado e inerente à natureza, desprovido de humanidade, reforçando a análise em torno das bases ontológicas e epistemológicas do conhecimento físico. Por isso, sugerimos maior presença dessa abordagem no ensino de mecânica newtoniana, em especial nos cursos de formação de professores de física, a fim de que se evite a naturalização de estruturas curriculares.

### Referências

- ANDRÉ, M. E. D. A. O cotidiano escolar, um campo de estudo. In: PLACO, V.; ALMEIDA, L. **O coordenador pedagógico e o cotidiano da escola**. São Paulo: Loyola, 2006. (9-20p.)
- COHEN, B.; WESTFALL R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto/EDUERJ, 2002.

- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo; Edições 70, LDA, 2011. 279 p.
- CARVALHO, A. M. **Metodologia de pesquisa em ensino de física: uma proposta para estudar os processos de ensino e aprendizagem**. Jaboticatubas, MG: Soc. Bras. de Física, 2004.
- KAWAMURA, M. R. **Formação inicial de professores nas áreas de exatas: desafios para as questões de sempre**. São Paulo: Porto de Ideias, 2013.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. 99 p.
- MCGUIRE, J. E.; RATTANSI, P. M. **Newton and the 'Pipes of Pan'**. *Notes & Records*. The Royal Society of London, 108-143, 1966.
- MENEZES, L. C. **A Matéria uma Aventura do Espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2005. 277p.
- \_\_\_\_\_. **Simetrías, Irreversibilidad del Tiempo e Imponderabilidad en la Física**. *Prometeica - Revista de Filosofía y Ciencias*, Ciudad de Córdoba, Argentina, Año II – n. 4, p. 90, mayo-jun. 2011.
- PALCHA, L. **Os diários na formação de professores de ciências: impactos formativos em pesquisas da área de ensino**. Anais XII Congresso Nacional de Educação. Paraná, 2015. p. 33091-33107.
- PIMENTA, S. G.; GHEDIN, E. **Professor Reflexivo no Brasil: gênese e crítica de um contexto**. 7ª. ed. São Paulo. Cortez Editora, 2012. 264 p.
- PIRES, F. F.; SILVA, J. A. Estética e simetria no ensino de física: uma proposta para o ensino de mecânica. Anais **X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia – SP, 2015.
- PIRES, F. F.; SILVA, J. A.; FORATO, T. C. M. **Estética e simetria na mecânica: o caso das leis de Newton**. *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extraordinario (2017): 3611-3615
- QUADROS, O. J. **Estética da vida, da arte, da natureza**. 2ª ed. Porto Alegre. Editora Academia, 1986. 231p.
- SUASSUNA, A. **Iniciação à estética**. 9ª ed. Rio de Janeiro. Editora José Olympio, 2008. 396p.
- ZYLBERSZTAJN, A. **Concepções Espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino**. *Revista de Ensino de Física*, vol. 5, número 2, dez. 1983.