

UMA ANÁLISE BAKHTINIANA DOS ENUNCIADOS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO SUPERIOR

Nathan Willig Lima, *Estevão Antunes Junior*, *Fernanda Ostermann*, *Claudio Cavalcanti*
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO: Apresenta-se uma análise bakhtiniana dos enunciados sobre Efeito Fotoelétrico encontrados em três livros didáticos de Ensino Superior. Avaliaram-se vozes do artigo original de Einstein que são veiculadas e que são silenciadas nos livros, identificando uma postura epistemológica que guia esse processo de privilegiação de vozes. Os resultados apontam que existe uma omissão das bases do artigo original fundadas na Termodinâmica e na Mecânica Estatística e do uso da Teoria de Wien. Por outro lado, há uma supervalorização do modelo de Planck sustentando um falso corte epistemológico entre Física Clássica e Moderna. Há uma privilegiação dos experimentos em detrimento das vozes que veiculam aspectos metafísicos utilizados no artigo original. Esses processos de veiculação e silenciamento de vozes aponta a sustentação de uma visão de mundo alinhada ao positivismo.

PALAVRAS CHAVE: Efeito Fotoelétrico, Livro didático, Bakhtin.

OBJETIVOS: Fazer uma análise bakhtiniana de enunciados sobre o Efeito Fotoelétrico encontrado em livros didáticos de Ensino Superior (Halliday e Resnick, 2010; Eisberg, 1985; Tipler, 2008) utilizados em disciplinas introdutórias de Física Moderna e Mecânica Quântica, investigando vozes presentes no artigo original que são veiculadas e silenciadas quando o texto é transposto para o contexto didático. A partir disso, identificar se existe a veiculação de uma visão epistemológica que conduza o processo de privilegiação de vozes nos enunciados dos livros didáticos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Foi utilizada a Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin (2016) como referencial teórico-metodológico desse trabalho. A partir dessa perspectiva, entende-se que a linguagem deve ser analisada em seu uso concreto. Para tanto, Bakhtin (2006) usa conceito de enunciado como elemento fundamental da linguagem, o qual possui as seguintes características que lhes são únicas e não podem ser encontradas em nenhuma estrutura da língua: alternância de sujeitos, conclusibilidade, expressividade. Pode-se, portanto, usar essas três características para identificar os limites de um enunciado, que pode variar de uma simples interjeição a um romance completo.

O enunciado sempre surge em resposta a enunciados anteriores, dialogando, concordando, discordando, problematizando, ou em antecipação a possíveis enunciados responsivos (possíveis críticas,

debates e outros). Por isso, pode-se dizer que um enunciado é populado por vozes (entendidas aqui como visões de mundo ou consciências falantes) que permeiam o discurso. Pode-se entender, portanto, que o significado de um enunciado é dado tanto pelo seu contexto extraverbal mais imediato (situação em que o locutor se encontra fisicamente e conjunto de pessoas para quem fala) bem como por um contexto mais amplo, como o contexto histórico em que se dá a construção do enunciado e, até mesmo, por um contexto ainda mais amplo (o grande tempo) (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015).

Conhecendo-se o contexto extraverbal de sua produção, pode-se analisar quais vozes o enunciado veicula e quais ele omite, isto é, pode-se identificar quais visões de mundo estão sendo privilegiadas. No caso de enunciados científicos ou de livros didáticos, por exemplo, pode-se identificar como que a privilegição de certas vozes corrobora a construção de uma dada visão de ciência.

MÉTODO

Foi utilizado um dispositivo analítico (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015) com quatro etapas. A primeira etapa consistiu em identificar as delimitações dos enunciados a serem analisados. A segunda etapa consistiu em fazer uma primeira leitura dos enunciados já observando as possibilidades de articulação com os conceitos da Filosofia da Linguagem. A terceira etapa consistiu em fazer uma análise do contexto extraverbal; no caso do presente trabalho, avaliou-se o enunciado original de Einstein sobre Efeito Fotoelétrico uma vez que existe um diálogo entre os livros didáticos e esse enunciado. A última etapa consiste em fazer a análise bakhtiniana propriamente, articulando o que foi encontrado na análise do contexto extraverbal com as características identificadas no enunciado e respondendo as questões de pesquisa.

RESULTADOS

Na primeira etapa, identificamos o enunciado de cada livro que trata sobre o Efeito Fotoelétrico usando as três características únicas dos enunciados descritas na seção de referencial teórico. Em uma primeira leitura (segunda etapa) identificamos que os três livros optam por apresentar a Mecânica Quântica seguindo uma abordagem histórica, evidenciando as limitações dos modelos clássicos. Nesse contexto, o Efeito Fotoelétrico é apresentado após a apresentação sobre o modelo de Planck para a radiação de corpo negro.

Na identificação do contexto extraverbal (terceira etapa), fizemos uma análise do artigo original de Einstein (1905) intitulado *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (*Sobre Um Ponto de Vista Heurístico com relação à Emissão e Transformação da Luz*) para avaliar quais vozes desse enunciado são veiculadas nos livros didáticos e quais são silenciadas. A tabela 1 apresenta uma visão geral do artigo.

Tabela 1.
Uma visão geral sobre o artigo de Einstein (1905)

Seção do Texto	Ideia Principal	Objetivo
Texto de introdução.	Contraposição entre o Eletromagnetismo e a Mecânica Estatística. Afirmação de que fenômenos óticos surgem de médias temporais e de que não há contradição com a afirmação de uma teoria corpuscular da luz.	Apresentar distinção presente nos fundamentos da física. (Princípio metafísico subjacente: crença na unidade da Física).
1 Com relação à Dificuldade a respeito da Teoria da Radiação de Corpo Negro.	Apresentação da incoerência obtida no cálculo da distribuição de energia entre o éter e a matéria com as teorias clássicas.	Construir teoricamente a ideia de que a radiação eletromagnética é um sistema descontínuo compostos por quanta de energia R.
2. Com relação a Determinação de Planck das Constantes Fundamentais.	Demonstração da equivalência da fórmula de Planck com a teoria clássica para baixas energias e cálculo da massa de um átomo de Hidrogênio a partir da equação de Planck.	
3. Com relação à Entropia da Radiação.	Apresentação de um resultado da teoria de Wien para ser usado na seção seguinte.	
4. Forma Assintótica da Entropia da Radiação Monocromática em baixa densidade de radiação.	Demonstração de que a entropia de uma radiação monocromática de baixa densidade varia com o volume da mesma forma que a entropia de um gás ideal ou de uma solução de diluto.	
5. Investigação Teórico-Molecular da Dependência da Entropia de Gases e Soluções de Dilutos no volume	Apresentação do Princípio de Boltzmann e aplicação desse no cálculo da variação da entropia em um gás ideal.	
6. Interpretação da Expressão da dependência do volume da entropia da radiação monocromática de acordo com o Princípio de Boltzmann.	Demonstração de que a radiação monocromática de baixa densidade se comporta como um sistema descontínuo composto por quanta com energia R.	
7. Com relação à regra de Stokes.	Explica fotoluminescência.	Utilizar a hipótese construída para explicar fenômenos conhecidos.
8. Com relação à Emissão de Raios Catódicos através da Iluminação de Corpos Sólidos.	Explica Efeito Fotoelétrico.	
9. Ionização de Gases por Luz Ultravioleta em Corpos Sólidos	Explica Raios Catódicos.	

Existem aspectos importantes a serem ressaltados com relação ao artigo do Einstein. Primeiramente, com relação à estrutura composicional do artigo: nas seis primeiras seções do artigo, o autor faz uma abordagem teórica do assunto, valendo-se de conceitos da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, áreas do conhecimento recém desenvolvidas na época da veiculação do enunciado (Kuhn, 1978). O ponto de partida do artigo não é um experimento, mas uma preocupação de origem metafísica (a unificação da Física) – Einstein não admitia existir uma teoria para estruturas contínuas (campos eletromagnéticos) e outra para corpos ponderáveis (gases, fluidos e matéria em geral).

Além disso, em sua análise teórica, Einstein parte do modelo de Wien (anterior ao de Planck) para chegar na expressão da entropia da radiação eletromagnética e mostrar que essa possui a mesma estrutura da expressão da entropia para um gás ideal. Como, na época do artigo, já era sabido que o modelo

de Wien tinha uma concordância com dados experimentais apenas para pequenos comprimentos de onda – Einstein admite, nas últimas seções do artigo, que seu modelo poderia ser válido apenas para a faixa do espectro em que o modelo de Wien era válido.

Por fim, deve-se ressaltar que a noção que Einstein tinha do fóton é que esse era um corpúsculo formando a radiação eletromagnética da mesma forma que os átomos formam os gases. Essa noção vai de encontro à concepção contemporânea do fóton, em que esse objeto quântico apresenta características tanto corpusculares quanto ondulatórias (Greenstein; Zajone, 2006). Einstein acreditava que os fenômenos ondulatórios da luz só apareciam como um comportamento estatístico de um conjunto de fótons e não poderia aparecer para fótons isolados, o que também está em desacordo com a visão contemporânea (Greenstein; Zajone, 2006). É com essa visão corpuscular que Einstein explica três fenômenos da época: a fotoluminescência, o efeito fotoelétrico e a ionização de gases.

Na última etapa (análise bakhtiniana) identificamos que todos os livros didáticos omitem todo o caminho teórico percorrido no artigo original e silenciam as vozes de Maxwell e Boltzmann, que trazem a contribuição da Termodinâmica e da Mecânica Estatística para a proposição da teoria quântica. Halliday e Resnick (2010) dizem, em apenas um parágrafo, que Einstein propôs que a radiação eletromagnética é quantizada, sem explicar por que é, na seção seguinte, fazem uma discussão sobre o experimento do efeito fotoelétrico por três páginas, explicando como a quantização explica o fenômeno. Tipler (2008) e Eisberg (1984) partem diretamente da explicação do experimento do Efeito Fotoelétrico para, então, propor a quantização da radiação.

Apenas Eisberg (1984) veicula a preocupação de Einstein com a unificação da física e não traz nenhuma discussão sobre o assunto, os outros dois autores silenciam essa parte do artigo original. Os autores Halliday, Resnick e Tipler, portanto, veiculam vozes alinhadas a uma perspectiva que valoriza o empirismo-indutivismo ingênuo e silenciam outras vozes presentes no artigo original (que, como já citado, veiculam reflexões de natureza metafísica como a *unificação* de teorias). Eisberg, apesar de citar a preocupação de Einstein com a unificação, ao não discutir o assunto está, também, silenciando essa voz ao optar por não dialogar com ela – sob o ponto de vista de Bakhtin, não elaborar enunciados sobre a reflexão sobre a unificação, seria como cortar a comunicação verbal a respeito do tópico o que é, em última análise, silenciar. Os três livros apresentam a constante de proporcionalidade entre energia e frequência como a constante de Planck, o que Einstein não fez em seu artigo original (ele manteve a expressão $R\beta/N$). Deve-se lembrar que Einstein não parte do modelo de Planck, mas de Wien para radiação de corpo negro e, na época, não era certo se havia um significado físico para a quantização de Planck (uma quantização similar já havia sido proposta por Boltzmann para o espaço de fase) (Martins; Rosa, 2014) e, portanto, não se pode dizer que Einstein partiu das ideias de Planck para propor o seu modelo, mas Tipler (2008, p.133) e Eisberg (1984, p.30) afirmam isso.

Os autores dos livros didáticos veiculam a voz de Planck em seus enunciados e aumentam a sua importância dentro do trabalho de Einstein. Ao fazer isso é garantida a existência de um corte epistemológico claro entre física clássica e moderna, o qual some quando lemos o artigo de Einstein e os artigos de Planck (Martins; Rosa, 2014) pois ambos usam termodinâmica e mecânica estatística em seus trabalhos e a quantização da energia de Planck é uma extensão do método de Boltzmann (Martins; Rosa, 2014) sem nenhum significado físico. Latour (2013) afirma que a Modernidade se funda criando cortes epistemológicos que não podem ser identificados empiricamente. Nesse trabalho, identificamos um exemplo claro desse artifício da modernidade. Além disso, negar o uso do modelo de Wien implica a noção de uma ciência linear, pois o modelo de Wien era anterior ao de Planck.

Ainda, nenhum autor fala sobre as limitações do modelo de Einstein expressos no artigo original salvando um ideal de ciência universal. Por fim, nenhum autor fala sobre a noção errada que Einstein possuía de que os fenômenos ondulatórios são efeitos de médias estatísticas da interação de múltiplos fótons, veiculando a infalibilidade científica.

CONCLUSÃO

Nossa análise mostra que os enunciados dos livros didáticos silenciam as crenças metafísicas de Einstein, a contribuição da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, e o uso do modelo de Wien. Por outro lado, supervalorizam o papel do experimento e o papel da teoria de Planck. Com isso, veiculam uma falsa noção de um corte claro entre Física Clássica e Moderna (o que pode ser entendido como um sintoma da Modernidade descrita por Bruno Latour), uma visão empirista indutivista que não corresponde à estrutura original do artigo de Einstein, uma visão de ciência linear, universal e infalível.

Essas características podem ser claramente identificadas com uma visão epistemológica alinhada ao positivismo lógico. Isso significa que os textos didáticos de ensino superior fazem a privilegiação e o silenciamento sistemático de vozes presentes nos discursos da ciência com o intuito de veicular esse viés epistemológico. Aparentemente a academia considera o positivismo uma visão ultrapassada; mas tal visão continua presente em diferentes âmbitos do ensino (Kincheloe; Tobin, 2009) e inclusive no Ensino da Física Moderna. A análise feita evidencia a necessidade urgente de se fazer uma reformulação do Ensino de Física Moderna e Quântica para que esse esteja em consonância com tendências epistemológicas contemporâneas.

BIBLIOGRAFIA

- BAKHTIN, M. (2006). *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. São Paulo: HUCITEC.
- (2016). *Os gêneros do discurso*. São Paulo: Editora 34.
- EISBERG, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*. New York: John Wiley & Sons.
- GREENSTEIN, G.; ZAJONE A. G. (2006). *The Quantum Challenge – Modern Research on the Foundation of Quantum Mechanics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers.
- HALLIDAY D., RESNICK, R. (2010). *Fundamentos de Física Volume 4*. Rio de Janeiro, LTC, 8ª ed.
- KINCHELOE, J. L., & TOBIN, K. (2009). The much exaggerated death of positivism. *Cultural Studies of Science Education*, 4 (3), 513-528.
- KUHN, T. (1978). *Black Body Theory and the quantum discontinuity 1894-1912*. New York: Oxford University Press.
- LATOUR, B. (2013). *Jamais Fomos Modernos: Um Ensaio de Antropologia Simétrica*. São Paul: Editora 34.
- MARTINS, R. A., ROSA, P. S. (2014). *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- TIPLER, P., LLEWELLYN (2008). *Modern Physics*. New York: W. H. Freeman and Company.
- VENEU, A. A.; FERRAZ, G.; REZEND E, F. (2015). Análise de discursos no ensino de ciências: considerações teóricas, implicações epistemológicas e metodológicas. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 126-149.
- VOLOSHINOV, V. N. (1981). A estrutura do enunciado [La structure de l'énoncé]. Le principe dialogique, suivi de *Ecrits du Cercle de Bakhtine*, pp. 287-315.

