

ÁREA TEMÁTICA: (marque uma das opções)

- () COMUNICAÇÃO
- () CULTURA
- () DIREITOS HUMANOS E JUSTIÇA
- (X) EDUCAÇÃO
- () MEIO AMBIENTE
- () SAÚDE
- () TECNOLOGIA E PRODUÇÃO
- () TRABALHO

Palestra sobre a interpretação probabilística da entropia para alunos do Ensino Médio

**Enrique Chipicoski Gabrick (UEPG, enriqueerq1@gmail.com)¹
Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG, bernardes@uepg.br)²**

Resumo: Neste trabalho mostramos os resultados da apresentação de uma palestra a uma turma de 21 alunos do Ensino Médio, no Colégio Estadual do Campo de Pinheiral de Baixo, Palmeira-PR, com o título de “Entropia, probabilidade e a seta do tempo”. Nessa palestra abordamos as formulações macroscópicas e microscópica da Segunda Lei da Termodinâmica, contextualizadas historicamente, mostrando como o surgimento desta lei está profundamente ligado à construção de máquinas térmicas com máxima eficiência, durante o período inicial da Revolução Industrial. Como referencial teórico-metodológico usamos a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, na qual o conhecimento prévio e a predisposição do aprendiz são essenciais para a aprendizagem significativa. O conteúdo foi ministrado com auxílio de slides com figuras esquemáticas e demonstrações na lousa, com ativa participação dos alunos. A avaliação se deu por meio de perguntas feitas no início e no final da palestra e, também, através de um questionário apresentado com o objetivo de verificar o que os alunos tinham efetivamente aprendido com a palestra. Podemos concluir que a palestra foi muito apreciada e que o uso da História da Física tornou a disciplina de Física mais atraente para os alunos, tornando conceitos abstratos mais ligados à realidade cotidiana.

Palavras-chave: Entropia. Interpretação probabilística. Contextualização histórica.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas têm sido discutidas formas alternativas de ensinar Física no Ensino Médio (EM), uma vez que o ensino convencional, isto é, aquele em que o professor apresenta fórmulas na lousa e resolve alguns problemas, tem se mostrado muitas vezes desconectado da realidade cotidiana e sem significado para o aprendiz. Dessa forma, esse tipo de ensino tem gerado o preconceito de que a Física é uma área do conhecimento que trata de problemas sem ligação com a vida real dos alunos, sendo produzida por alguns gênios isolados, de forma linear e espontânea, livre de erros. Essa maneira de ensinar exige muito do aluno e não apresenta resultados significativos para ele. Além disso, os sistemas de avaliação

¹ Acadêmico voluntário, projeto Física - da Universidade à Comunidade; Universidade Estadual de Ponta Grossa; Bacharelado em Física e enriqueerq1@gmail.com.

² Coordenador, projeto Física - da Universidade à Comunidade; Departamento de Física, bernardes@uepg.br.

utilizados não permitem que o aluno faça uma reflexão sobre o conteúdo, mas apenas o decore (ROBILOTTA, 1988).

Uma forma de solucionar os problemas apresentados é fazer o uso da História e Filosofia da Ciência aliado ao ensino dos conteúdos da Ciência em si. Desse modo, é possível mostrar que as ideias científicas evoluem dentro de um contexto histórico de forma não linear e suscetível a erros, como apontam os autores (COVOLAN et al, 2005; HÜLSENDEGER et al, 2003; ROBILOTTA, 1988; SOUZA, P. V. S. et al, 2013).

Tendo em vista o que foi exposto nos parágrafos anteriores, mostramos neste trabalho como foi elaborada e apresentada a palestra “Entropia, probabilidade e a seta do tempo”, atividade de extensão ligada ao projeto Física – da Universidade à Comunidade. Essa palestra foi apresentada no Colégio Estadual do Campo de Pinheiral de Baixo, zona rural pertencente ao município de Palmeira-PR, em 04/04/2018, como uma atividade extra para 21 alunos, sendo que a maioria era da segunda série do EM.

OBJETIVOS

- Mostrar aos alunos do EM, de uma forma dialógica, o fato de que a Física é modelada pelo seu contexto social e histórico, sendo construída por um conjunto de cientistas que são influenciados por este contexto.

- Ensinar o conceito de entropia para alunos do EM, usando contextualização histórica, a fim de aumentar o interesse deles por temas da Física.

- Verificar a motivação de alunos do EM em participar de uma discussão teórica sobre um tema mais avançado de Física.

METODOLOGIA

Uma parte do insucesso do ensino convencional de Física se deve à larga aprendizagem mecânica que vem sendo empregada nas escolas do EM, de maneira geral. Para contornar esse problema, uma alternativa interessante é fazer o uso da aprendizagem significativa de David Ausubel (MOREIRA, 2010; MOREIRA, 2000). A aprendizagem significativa é caracterizada pela relação entre o conhecimento novo apresentado ao aprendiz e o conhecimento prévio existente em sua estrutura cognitiva. Essa relação se dá de forma não arbitrária e não literal. É não arbitrária porque a relação é estabelecida entre o conhecimento novo e o prévio que tenha significado para a situação que está sendo analisada. É não literal porque quando o aprendiz está em contato com o conhecimento novo apresentado ou

descoberto poderá dar significado a ele ou não. Desse modo, o significado é dado pelo aprendiz e não pela pessoa que está apresentando o conhecimento (MOREIRA, 2010). Para que a aprendizagem seja significativa é necessário que o material seja potencialmente significativo para o aprendiz e que o aprendiz apresente uma predisposição para aprender (MOREIRA, 2010; MOREIRA, 2000).

Tendo como fundamentação teórica a aprendizagem significativa e influenciados principalmente pelo artigo (SOUZA, P. V. S. et al, 2013), que mostra como ensinar o significado probabilístico da entropia no EM, usando experimento, contextualização e simulação computacional e pelo artigo (COVOLAN et al, 2005), que mostra resultados obtidos através de um minicurso ministrado para uma turma do EM no qual os autores abordaram o conceito de entropia em situações cotidianas e mostraram as evoluções das ideias sobre entropia, elaboramos e apresentamos a palestra “Entropia, probabilidade e a seta do tempo”, com duas horas de duração, para alunos do EM.

Inicialmente, explicamos a diferença entre as visões macroscópica e microscópica na Física. Em seguida, discutimos com os alunos a reversibilidade no tempo das leis da Mecânica, usando um experimento hipotético da queda de uma bola. Após essa discussão, concluímos que as leis da Mecânica são reversíveis no tempo. Dessa forma, um paradoxo surgiu no diálogo com os alunos: o que determina o sentido do tempo, se as leis da Mecânica são reversíveis? (DAHMEN, 2006; MASCARENHAS, 2011). Essa pergunta foi construída em conjunto com os alunos e as respostas deles foram anotadas. Em seguida, explicamos para os estudantes que iríamos responder essa pergunta de acordo com as leis da Termodinâmica. Para isso iríamos voltar para o século XVIII, no qual surgiu a Primeira Revolução Industrial e as primeiras máquinas térmicas (BRAGA et al, 2011; EVANGELISTA, 2014). Explicamos a importância da máquina térmica para a época e a necessidade de aumentar a eficiência dessas máquinas. Para exemplificar, um esquema animado de uma locomotiva a vapor foi usado (BRAGA et al, 2011; EVANGELISTA, 2014). Uma segunda pergunta foi apresentada para os alunos: como aumentar a eficiência de uma máquina térmica? Essa pergunta foi seguida de uma discussão sobre a possibilidade de atingir 100% de eficiência. As respostas dos alunos foram anotadas.

Para responder essas duas perguntas, precisamos conhecer a Segunda Lei da Termodinâmica, tanto na sua formulação macroscópica, dada pelos enunciados de Rudolf Clausius (1822-1888) e Lord Kelvin (William Thomson, 1824-1907), como na sua formulação probabilística dada pela Mecânica Estatística, que teve como um dos seus fundadores o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) (DAHMEN, 2006;

MASCARENHAS, 2011). Para explicar o enunciado de Kelvin usamos uma figura esquemática de um motor térmico. As etapas desse motor térmico foram explicadas de maneira detalhada para os alunos, usando alguns exemplos do cotidiano dos alunos (NUSSENZVEIG, 2014). Então lançamos a seguinte pergunta: como calcular o trabalho realizado por esse motor? Determinado o trabalho, deduzimos, no quadro, uma equação para o cálculo da eficiência da máquina térmica, discutindo-a detalhadamente (NUSSENZVEIG, 2014). O resultado de Clausius foi explicado de maneira similar, utilizando uma figura esquemática de um refrigerador (NUSSENZVEIG, 2014). Após, comentamos que Clausius determinou uma função de estado denominada entropia para a Segunda Lei da Termodinâmica e que a entropia aumenta para processos irreversíveis e se mantém constante para processos reversíveis. Também foi explicada a diferença entre os dois processos (NUSSENZVEIG, 2014). Dando continuidade, apresentamos uma breve biografia do físico Boltzmann, de forma contextualizada ao conhecimento da época, mostrando como seu pensamento era revolucionário (DAHMEN, 2006). Feito isso, fomos para o quadro e discutimos um experimento aleatório do lançamento de três moedas distintas e as possíveis configurações para cada lançamento. Com essas configurações foi possível definir os conceitos de microestado e macroestado. Uma discussão sobre a ocorrência de cada macroestado foi realizada com os alunos (REIF, 1984). Mostramos para os alunos que a entropia é uma quantidade aditiva, através de uma figura esquemática (NUSSENZVEIG, 2014). Uma discussão sobre eventos independentes foi realizada com os alunos, mostrando que a probabilidade desses eventos é multiplicativa (MURRAY RALPH, 1978). Algumas considerações acerca do conhecimento da época (séc. XIX) foram feitas e a relação que Boltzmann realizou entre eventos, entropia e probabilidade. Uma nova pergunta foi lançada aos alunos: como determinar a relação entre a entropia aditiva com uma entropia que dependa da probabilidade? Ou seja, como relacionar uma grandeza aditiva com uma multiplicativa? Que função matemática usar? (DAHMEN, 2006). Mostramos para os alunos que a função logaritmo possui essa propriedade, de transformar uma multiplicação em uma soma. Dessa maneira, obtivemos uma função que foi determinada por Boltzmann para o cálculo de entropia. Para dar um exemplo concreto para os alunos, aproveitamos que estávamos em uma biblioteca e fizemos a suposição que uma estante de livros era um macroestado e que cada espaço formava um microestado – lugar ocupado por um livro. A estante tinha espaço para um livro (um microestado acessível), e o que aconteceria com a entropia se um livro localizado na mesa fosse colocado no seu lugar na prateleira? A organização da biblioteca iria aumentar ou diminuir? A sua entropia iria aumentar ou diminuir? Pelas respostas dos alunos,

eles concluíram que a organização da biblioteca iria aumentar e, portanto, a sua entropia iria diminuir. A partir desse exemplo, os alunos entenderam que a entropia pode ser entendida como a medida da desordem de um sistema, sendo que, neste contexto, desordem significa aumento no número de estados acessíveis de um sistema.

No final da palestra as duas perguntas iniciais foram recolocadas e as respostas dos alunos foram ouvidas e anotadas. Após, foi feita uma comparação entre as respostas iniciais e finais. Por fim, um questionário de avaliação da palestra foi distribuído para que os alunos o preenchessem.

RESULTADOS

Foi possível identificar o interesse e o entusiasmo dos alunos pelas duas perguntas colocadas, em especial sobre o sentido do tempo. Os alunos não tinham conhecimento prévio sobre Termodinâmica, pois ainda não haviam estudado este conteúdo. Durante a explicação dos enunciados de Kelvin e Clausius os alunos apresentaram uma boa compreensão e chegaram sozinhos a uma expressão para calcular o trabalho de um motor térmico, operando entre duas fontes térmicas. Eles também participaram ativamente da dedução da equação para o rendimento.

Ao serem repetidas, no final da palestra, as mesmas perguntas feitas no seu início, pôde-se observar que as respostas dos alunos melhoraram bastante e que a linguagem utilizada pelos alunos se tornou mais científica e precisa. As respostas ao questionário foram positivas, mostrando que os alunos apreciaram a palestra. Alguns sugeriram atividade experimental, um aluno escreveu que a forma como a palestra foi apresentada o motivou para cursar uma faculdade, e, por fim, uma aluna escreveu que a palestra “Ajudou a ver que a física é legal e não um bicho de sete cabeças”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os alunos não tivessem conhecimento prévio sobre Termodinâmica, foi possível notar através da interação com eles que apreciaram a palestra e compreenderam boa parte do conteúdo nela abordado. Porém, não podemos afirmar que a aprendizagem foi significativa, pois para isso precisaríamos realizar mais atividades e mais avaliações ao longo de um tempo maior. Pelas respostas dos alunos, pode-se concluir que a forma de abordagem do conteúdo foi muito boa, mas poderia ser melhorada com auxílio de um experimento ou simulação computacional.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J.C. **Breve história da ciência moderna, vol. 4: A belle-époque da ciência.** 2 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- COVOLAN, S. C. T.; DA SILVA, D. **A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito.** *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.
- DAHMEN, S. R. **A obra de Boltzmann em Física.** *Revista Brasileira de Ensino de física*, v. 28, n. 3, p. 281-295, 2006.
- EVANGELISTA, L. R. **Perspectivas em história da física, volume 2: da física dos gases à mecânica estatística.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- HÜLSENDEGER, MARGARETE J. V. C.; BORGES, R. M. R. **A história da ciência no Ensino da Termodinâmica.** IV Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, nov. 2003.
- MASCARENHAS, S. **A seta do tempo irreversível.** *Norte ciência*, vol. 2, n. 1, p. 70-73, 2011.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica.** *Aprendizagem significativa subversiva*, III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa (Peniche), pg. 33-45, 2000.
- MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, UFMT, Cuiabá, Mt, 23 abr. 2010. Aceito para publicação, *Curriculum*, La Laguna, Espanha, 2012.
- MURRAY RALPH, S. **Probabilidade e estatística.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. (Coleção Schaum).
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 2: fluidos, oscilações e ondas, calor.** 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- REIF, F. **Fundamentals of statistical and thermal physics.** Auckland: McGraw Hill Book, 651 p., 1984.
- ROBILOTTA, M. R. **O Cinza, o Branco e o Preto – da relevância da História da Ciência no ensino da Física.** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.5 (número especial), p. 07-22, jun. 1988.
- SOUZA, P. V. S.; CARDOZO DIAS, P. M.; DOS SANTOS, F. M. P. **Ensinando a natureza estatística da segunda lei da termodinâmica no Ensino Médio.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, 2502, 2013.