
O CONCEITO DE ENTROPIA NO ENSINO MÉDIO EM UMA ESCOLA DA REDE PRIVADA DE NATAL/RN: UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM

THE CONCEPT OF ENTROPY IN THE PRIVATE HIGH SCHOOL IN NATAL/RN: A PROPOSED APPROACH

Ubaldo Fernandes de Almeida¹
Samuel Rodrigues Gomes Júnior²

Resumo

Ensinar conceitos de Termodinâmica como o da entropia para os estudantes do Ensino Médio, principalmente aqueles relativos à Segunda Lei, não é tarefa simples, tendo em vista as poucas atividades propostas pelos livros didáticos para a abordagem desses conceitos em sala de aula. Para minimizar essa dificuldade, o presente artigo apresenta uma proposta de Unidade Didática contemplando o conceito de entropia com uso de vídeos produzidos pelos autores, os quais evidenciam demonstrações experimentais lúdicas. O aporte teórico baseia-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel e nas concepções de José Manuel Moran sobre uso de vídeos em sala de aula. Para demonstrar a contribuição da Unidade Didática, realizou-se uma pesquisa de campo com 156 estudantes distribuídos em quatro turmas do Ensino Médio do Colégio Salesiano Dom Bosco, Natal/RN. Os resultados partiram de uma análise comparativa usando como instrumento de pesquisa um questionário antes e depois da utilização da Unidade Didática. Diante dessa análise, pode-se perceber que a Unidade Didática proporcionou uma melhor compreensão sobre o conceito de entropia, haja vista a média de acertos no pós-teste, que foi de 64%, enquanto no pré-teste a média de acertos foi de 32%.

Palavras chave: Aprendizagem Significativa; Unidade Didática; Termodinâmica; Entropia.

¹ Mestre em Ensino de Física pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus São Paulo do Potengi.

² Doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Natal Central, e do Programa de Pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Abstract

Teaching thermodynamics concepts such as entropy to high school students, especially those related to the Second Law, is not a simple task, given the few activities proposed by textbooks to approach these concepts in the classroom. To minimize this difficulty, this article presents a proposal for a Didactic Unit covering the concept of entropy using videos produced by the authors, which show playful experimental demonstrations. The theoretical contribution is based on David Paul Ausubel's Theory of Meaningful Learning and José Manuel Moran's concepts on the use of videos in the classroom. To demonstrate the contribution of the Didactic Unit, field research was carried out with 156 students distributed across four high school classes at Colégio Salesiano Dom Bosco, Natal/RN. The results came from a comparative analysis using a questionnaire before and after using the Didactic Unit as a research instrument. Given this analysis, it can be seen that the Didactic Unit provided a better understanding of the concept of entropy, given the average number of correct answers in the post-test, was 64%, while in the pre-test the average number of correct answers was 32%.

Keywords: Meaningful Learning; Didactic Unit; Thermodynamics; Entropy.

Introdução

A busca por uma aprendizagem mais significativa do conceito de entropia em detrimento das abordagens essencialmente abstratas da maioria dos livros didáticos utilizados no Ensino Médio é o ponto de partida para o desenvolvimento do presente artigo. Esse ponto de partida tem como alicerce a carência de atividades práticas associadas à Segunda Lei da Termodinâmica uma vez que, na maioria dos casos, a abordagem para essa Lei é simplesmente através de modelos bastante idealizados e, sobretudo, distantes da realidade palpável dos estudantes.

No presente artigo, foram selecionados dez exemplares de livros didáticos utilizados no Ensino Médio. A escolha desses exemplares reflete somente o nosso interesse em identificar o tratamento conceitual dado ao assunto Entropia. Desse modo, optou-se por não analisar um número elevado de exemplares, mas eleger somente alguns aspectos conceituais que se mostraram necessários para uma discussão conceitual. Nesse sentido, escolheu-se os dez exemplares do Ensino Médio por representarem abordagens semelhantes e porque, numa primeira análise, identificaram-se aspectos que dariam suporte para a discussão.

A análise resumida dos livros será apresentada na Tabela 1. Desse modo ficara mais inteligível ao leitor. Os livros foram organizados na segunda linha da tabela, conforme numeração apresentada a seguir, e os conteúdos que devem ser vinculados ao conceito de entropia estão contidos na primeira coluna.

- Livro 1) [Alvarenga, B; Máximo, A., 2011] Física Contexto & Aplicações;
 Livro 2) [Boas, V; Doca, H; Biscuola, J., 2007] Tópicos de Física;
 Livro 3) [Bonjorno, R., 1999] Física História e Cotidiano Fundamental;
 Livro 4) [Calçada, S; Sampaio, J., 1998] Física Clássica Termologia, Fluidodinâmica e Análise Dimensional;
 Livro 5) [Gaspar, A., 2011] Física 2 Ondas, óptica e termodinâmica;
 Livro 6) [Gref, 1999] Física Térmica e óptica 2;
 Livro 7) [Lago, A.; Cabral, F., 2004] Física 2;
 Livro 8) [Torres, A.; Ferraro, N.; Soares. P, 2010] Física - Ciência e Tecn Física
 Ciência e Tecnologia: termologia, óptica e ondas;
 Livro 9) [Oliveira, M.; Pogibin, A; Oliveira, R.; Romero, T., 2011] Física em contextos;
 Livro 10) [Ramalho, F.; Ferraro, G.; Toledo, A., 2010] Os Fundamentos da Física.

Segue Tabela 1, na qual os livros assinalados com X apresentam o conceito citado³:

Tabela 1: Resumo da análise dos livros.

ASSUNTOS ABORDADOS	L I V R O									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Processos reversíveis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Processos irreversíveis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entropia vinculada à desordem	X	X		X	X		X	X		X
Entropia desvinculada à desordem						X			X	
Entropia vinculada ao número de configurações possíveis que um sistema pode assumir			X		X				X	
Degradação da energia	X			X	X			X	X	X
Entropia numa perspectiva da Física Estatística			X		X				X	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Diante da problemática observada nos dez exemplares⁴ utilizados no Ensino Médio e apresentados neste artigo e visando a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1982), o objetivo é apresentar uma proposta de ensino para o conceito de entropia utilizando vídeos produzidos pelos autores, conforme propõe Moran

³ Os espaços em branco significam que a abordagem do assunto não é seguida pela obra.

⁴ A análise detalhada dos dez exemplares encontra-se na Dissertação intitulada “Uma Proposta para o ensino de entropia no ensino médio”, depositada no Memoria (Repositório Institucional da Produção Acadêmica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, no endereço eletrônico < <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/371>>).

(1995). Para tanto, propõe-se uma Unidade Didática⁵, a qual poderá ser utilizada como material impresso ou em formato de *blogger*⁶. A proposta pedagógica de transformar o material impresso em um *blogger* baseia-se na concepção de Gomes (2005). No material impresso constam os *links* dos vídeos propostos e eles são direcionados para um canal do *YouTube*⁷ desenvolvido pelos autores com a intenção de facilitar o acesso aos vídeos por parte dos professores e estudantes.

Aporte teórico

Literatura sobre a Segunda Lei da Termodinâmica e o Conceito de Entropia

Ensinar conceitos de Termodinâmica para os estudantes do Ensino Médio, principalmente aqueles relacionados ao conceito de entropia, não é tarefa simples, tendo em vista as poucas atividades propostas pelos livros didáticos para a abordagem desse conceito em sala de aula.

O plano balizador desses livros, o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLD), foi implantado em 2004 e visa a distribuição e universalização de livros didáticos para os estudantes do Ensino Médio público de todo o país. A Resolução nº 38 do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), que criou o programa, define o atendimento, de forma progressiva, aos alunos das três séries do Ensino Médio de todo o Brasil.

Aliado a esse programa e corroborando a proposição de Oliveira (2008), a utilização dos livros didáticos em sala de aula é uma ferramenta de extrema importância para contribuir no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes. Levando em conta que, na maioria das escolas, o livro é a única forma de transmitir conhecimento o torna peça essencial na construção do conhecimento. Então, advém a preocupação de trazer uma visão crítica e problematizadora sobre o uso do livro didático para a formação de professores, porque nem sempre as informações são expostas de maneira clara nos livros didáticos e, muitas vezes, até a compreensão e transmissão dos conhecimentos é uma tarefa complexa para os professores, o que

⁵ A Unidade Didática (Uma Aula sobre o Conceito de Entropia no Ensino Médio) encontra-se disponível no Memória no endereço < <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/754>>.

⁶ O *blogger* encontra-se disponível no endereço <<http://sobreoconceitodeentropia.blogspot.com.br/>>.

⁷ O canal do *YouTube* encontra-se disponível no endereço <<http://www.youtube.com/channel/UCR8ebymrGUWU57ip81-lnYQ>>.

resulta na exclusão de alguns conceitos durante o processo de ensino no Ensino Médio.

Além disso, muitos livros negligenciam os enfoques histórico, epistemológico e didático na estruturação dos capítulos, como no caso do conceito de entropia. Essa omissão acaba criando uma lacuna entre o momento em que o estudante se depara com a informação e a formação de seu próprio conhecimento, a fim de chegar até esse momento de sua apropriação em bases científicas. Isso, a nosso ver, poderia ocorrer por meio de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1982).

Aliado a essas omissões e/ou simplificações de alguns livros didáticos na apresentação dos conteúdos, temos a natureza peculiar de alguns conceitos, tais como o da entropia, os quais não são simples de compreenderem. Santos e Pernambuco (2008) citam os autores seguintes e suas discussões sobre essas dificuldades associadas à Segunda Lei da Termodinâmica e ao conceito de Entropia. Para Oliveira e Dechhoum (2003) a Segunda Lei da Termodinâmica é uma das construções mais intrigantes de todos os tempos. Já para Styer (2000), o conceito mais difícil da Física Clássica é o de entropia. Como na visão de Styer o conceito de entropia é o mais difícil, para Lambert (2002) esse conceito torna-se o mais temido por estudantes e professores devido às falhas inerentes ao seu entendimento.

Ainda segundo Santos e Pernambuco (2008), as dificuldades evidenciadas nos livros didáticos e, conseqüentemente, o entendimento da Segunda Lei da Termodinâmica e na definição do conceito de entropia, manifestam-se na não correspondência entre o modelo macroscópico e o modelo microscópico, bem como nas maneiras alternativas de conceituá-los.

Na tentativa de reduzir as dificuldades no entendimento da Segunda Lei da Termodinâmica e na compreensão menos abstrata do conceito de entropia, vários autores contribuíram com trabalhos acadêmicos de cunho apenas teórico ou de cunho teórico/prático. Rodrigues (2014) propõe uma abordagem prática/didática sobre a irreversibilidade dos processos naturais e suas relações com a Segunda Lei da Termodinâmica. Essa proposta difere dos livros didáticos analisados para este artigo nos quais a irreversibilidade é tratada de maneira bastante abstrata, pois utiliza-se de vídeos com situações do cotidiano para exemplificar a diferença de processos reversíveis e irreversíveis.

Covolán e Silva (2005) discutem o conceito de entropia no Ensino Médio levando em conta os conhecimentos prévios dos estudantes. Mediante esses

conhecimentos prévios, propõem uma atividade teórica organizada em um minicurso para ser trabalhada em sala de aula de maneira que os estudantes possam, ao longo da atividade, formar o conceito de entropia de forma mais adequada ao conhecimento científico. Além disso, relatam as dificuldades existentes na elaboração de estratégias didáticas para ministrar tal conceito devido às incoerências com os modelos teóricos.

Já Monteiro *et al* (2009) propõem uma atividade prática para abordagem do conceito de entropia no Ensino Médio. Nessa atividade, são apresentados de maneira bastante didática os conceitos de microestado e macroestado⁸ em um sistema formado por N partículas. A partir dessas concepções pode-se, de maneira probabilística, definir o conceito de entropia conforme fez Ludwig Boltzmann⁹.

O ensino de entropia na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel como forma de abordagem didática

As teorias de aprendizagem têm contribuído de maneira significativa nas aquisições de estratégias utilizadas pelos docentes para ministrar aulas nas suas respectivas áreas do conhecimento, muito embora, em algumas dessas práticas docentes, materiais didáticos ou até mesmo as próprias escolas ainda continuam promovendo uma aprendizagem mecânica e memorística.

Um das contribuições das teorias da aprendizagem consiste na proposta de utilização de outros recursos e estratégias para complementar os livros didáticos ou qualquer outro material utilizado durante a aula, de modo a tornar o processo de ensino e aprendizagem mais dinâmicos, sobretudo despertando o interesse dos estudantes em adquirir o conhecimento transmitido para agregá-los a seus conhecimentos prévios.

Diante disso, o aporte teórico apresentado neste artigo baseia-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1982). Assim sendo, levará em conta, de maneira particular, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a Segunda Lei da Termodinâmica. Conforme Ausubel (1980, 2000), no processo de ensino

⁸ O macroestado corresponde ao conjunto de microestados que possuem uma mesma característica global e o microestado correspondem as diferentes distribuições possíveis para um determinado macroestado.

⁹ Para Boltzmann a entropia é uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir.

aprendizagem o aspecto mais relevante é o que o estudante tem na sua bagagem cognitiva. Para Ausubel (1980, 2000 *apud* MOREIRA, 2008, p. 1):

O fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Para ele, aprendizagem significa organização e integração do novo material na estrutura cognitiva. Como outros teóricos do cognitivismo, ele parte da premissa de que existe na mente do indivíduo uma estrutura na qual a organização e a integração se processam: é a estrutura cognitiva, entendida como o conteúdo total de ideias de um indivíduo e sua organização, ou o conteúdo e a organização de suas ideias, em uma determinada área de conhecimento.

Ainda conforme Ausubel (1982), esse “conhecimento prévio” sobre determinado assunto, símbolo, conceito, modelo mental ou proposição é chamado de **subsunçor** ou **ideia-âncora**. Consoante Moreira (2012, p. 6):

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles.

O subsunçor será peça fundamental para a construção do conceito de entropia proposto pelo Produto Educacional. Além do conceito de entropia conectado à Segunda Lei da Termodinâmica, o Produto Educacional também apresenta o conceito de entropia segundo uma perspectiva da Mecânica Estatística, a qual pode ser um subsunçor para alguns estudantes e pode não ser para outros.

Entretanto, mesmo a perspectiva da Mecânica Estatística não sendo um subsunçor para alguns estudantes, o presente Produto Educacional estabelece relações, as quais favoreceram a construção do subsunçor conectando a Mecânica Estatística¹⁰ com a Segunda Lei da Termodinâmica e, conseqüentemente, com o conceito de entropia. Essas interações estão intimamente ligadas à aprendizagem significativa. Assim, Moreira (2008, p. 2) afirma que a “aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos, ideias, proposições interagem com outros

¹⁰ No apêndice C da Dissertação é apresentada uma breve descrição estatística do conceito de entropia. A Dissertação está depositada no Memória (Repositório Institucional da Produção Acadêmica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, no endereço eletrônico <<https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/371>>).

conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade”.

A utilização do vídeo no processo de ensino e aprendizagem e sua conexão com a Aprendizagem Significativa de Ausubel

O vídeo é um meio de comunicação e através dele uma mensagem é transmitida seja ela de caráter educacional, cultural, social, econômico, político, religioso e científico. O vídeo naturalmente se espalha de modo não hierárquico atingindo de maneira subjetiva cada telespectador nas suas mais variadas sensações e emoções.

O vídeo também articula o imaginário e o real apresentando diversas noções espaciais em várias perspectivas. Possibilita para os telespectadores uma dinâmica no processo de informações bem como uma proximidade entre passado, presente e futuro.

De acordo com Moran (1995), a linguagem audiovisual desenvolve várias atitudes perceptivas solicitando demasiadamente a imaginação e molda a afetividade com um papel de mediação primordial no mundo. Além disso, conecta o indivíduo a uma rede de informações a qual beneficiará sua formação intelectual.

Vivemos numa era em que as barreiras impostas pelos obstáculos geográficos se tornaram obsoletas. Guardadas as suas devidas proporções, podemos de nossas próprias casas, conhecer o mundo apenas com um *click*¹¹ em nossos computadores sem falar que a quantidade de informações disponíveis na rede é algo incalculável e de fácil acesso. Sobre esta era, Veen e Vrakking (2009) argumentam que o espaço que as aulas eram ministradas – a sala – no ensino tradicional reduz em grande escala a quantidade de fontes de informação e de atividades que podemos realizar para os estudantes, “mantendo-os fora do controle de que a informação ou tarefa deve ser escolhida – um método de ensino que é altamente artificial para o *Homo zappiens* e, como consequência, prejudicial para o processo de aprendizagem”. Sobre o *Homo zappiens*, Veen e Vrakking (2009, p. 28-29) descrevem que:

¹¹ Essa palavra foi inserida no sentido de pressionar o botão do *mouse*.

[...] a geração que nasceu no final da década de 1980 em diante tem muitos apelidos, tais como “geração da rede”, “geração digital”, “geração instantânea” e “geração ciber”. Todas essas denominações se referem a características específicas de seu ambiente ou comportamento [...] A resposta é que a geração da rede difere de qualquer outra do passado porque cresceu em uma era digital.

Diante dessa nova geração de alunos, a utilização exclusiva do livro didático pelo professor durante a aplicação de sua metodologia de ensino torna-se limitada, ao ponto de em algumas disciplinas, senão em todas, ficar extremamente monótona. E se tratando do conceito de entropia, poucos livros didáticos disponibilizam recursos para tornar o conteúdo mais claro e menos abstrato para os alunos. Diante disso, vemos a necessidade da utilização de outras ferramentas para tornar o conceito de entropia mais inteligível. Para tanto, escolhemos o vídeo como ferramenta para inserir no processo de ensino e aprendizagem.

Assim como toda ferramenta educacional deve ser utilizada de maneira inteligente para não comprometer a compreensão dos estudantes durante o processo de ensino e aprendizagem, o vídeo também não deve fugir dessa perspectiva. Acerca dos diversos tipos de vídeos que são produzidos, Moran (1995) destaca oito propostas as quais podem ser utilizadas durante uma aula: 1) Vídeo como SENSIBILIZAÇÃO; 2) Vídeo como ILUSTRAÇÃO; 3) Vídeo como SIMULAÇÃO; 4) Vídeo como CONTEÚDO DE ENSINO; 5) Vídeo como PRODUÇÃO; 6) Vídeo como AVALIAÇÃO; 7) Vídeo ESPELHO; 8) Vídeo como INTEGRAÇÃO/SUPORTE.

Das propostas sugeridas por Moran (1995), o presente artigo apresentará quatro, as quais são as propostas utilizadas na construção da Unidade Didática: (1) Vídeo como SENSIBILIZAÇÃO, (2) Vídeo como ILUSTRAÇÃO, (3) Vídeo como SIMULAÇÃO e (4) Vídeo como CONTEÚDO DE ENSINO. Todos os vídeos utilizados foram pensados, necessariamente, nessa ordem de proposta sugerida por Moran (1995) – 1, 2, 3 e 4, como veremos adiante na Estruturação da Unidade Didática.

Queremos destacar que, dos dez vídeos utilizados na Unidade Didática, apenas o vídeo introdutório – Vídeo como Sensibilização – não foi produzido pelos autores deste artigo. Esse vídeo introdutório da Unidade Didática servirá de alicerce para os demais vídeos que iremos utilizar no decorrer da explanação dos conteúdos relacionados à entropia.

De acordo com a teoria ausubeliana esse vídeo introdutório funciona como um “organizador prévio”, isto é, tem finalidade de identificar e desenvolver conceitos

subsunçores facilitando a aprendizagem significativa dos conteúdos que serão apresentados posteriormente. Moreira (2012, p. 14) esclarece:

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este.

Moreira (2012), ainda acrescenta que há dois tipos de organizadores prévios: organizador expositivo e organizador comparativo. Para o caso do vídeo introdutório, ele enquadra-se no organizador comparativo, pois o conteúdo do vídeo é familiar com o conteúdo expresso na Unidade Didática. Dessa forma, proporcionará aos estudantes a integração dos novos conhecimentos à estrutura cognitiva como “pontes cognitivas” (Moreira, 2012). Os vídeos utilizados como simulação também se enquadram como organizadores prévios comparativos, uma vez que, Moreira (2008, p. 8) dentre os exemplos de organizadores prévios mencionados em seu trabalho apresenta um exemplo de organizador prévio para o conceito de entropia:

Se conectarmos dois recipientes, um dos quais cheio de gás e o outro completamente vazio, o gás, através do movimento aleatório de suas moléculas, rapidamente ocupará também o espaço existente no recipiente inicialmente vazio. Teoricamente, devido ao fato de que o movimento aleatório das moléculas continua, é possível que no futuro elas retornem ao recipiente onde estavam deixando o outro vazio. Não existe nada na mecânica newtoniana que impeça isso. Porém, a probabilidade estatística contra isso é tão grande que na prática, se considera impossível que ocorra.

Veremos mais detalhes desses vídeos utilizados como simulação no encaminhamento metodológico e, sobretudo, perceberemos que eles se enquadram como “organizadores prévios”, segundo Moreira (2008).

Encaminhamento metodológico

Estruturação da Unidade Didática

Como forma de minimizar a dificuldade no entendimento do conceito de entropia e reduzir a abstração evidente nos dez livros didáticos já citados anteriormente, a Unidade Didática¹² apresenta, inicialmente, o conceito de entropia nas perspectivas da Termodinâmica e da Mecânica Estatística. Em seguida, apresenta uma série de atividades para que os estudantes construam os conceitos de macroestado e microestado. Por fim, traz o conceito de entropia numa escala macroscópica e permite a discussão sobre a flecha do tempo. Essa sequência de conteúdo é trabalhada com o uso de vídeos produzidos pelos autores, os quais evidenciam demonstrações experimentais lúdicas. Cada vídeo tem uma importância durante o tratamento teórico sobre o conceito de entropia e, sobretudo, torna-se peça fundamental na Unidade Didática, de modo que, com a utilização desta por docentes, o conceito de entropia não estará vinculado ao termo “desordem”. A seguir será apresentada a ideia central de cada vídeo desenvolvido seguindo a perspectiva de Moran (1995), já citado anteriormente.

Vídeo como Sensibilização: Apresenta uma motivação para o estudo do conceito de entropia

Mesmo com as constantes mudanças metodológicas utilizadas pelos docentes para abordar assuntos relacionados à Física, ela ainda é taxada como uma “disciplina difícil” por muitos estudantes. Para reverter esse quadro e despertar a curiosidade dos estudantes durante a apresentação dos conteúdos, a aula inicia-se com um vídeo de curta duração para apresentar uma ideia do que se quer ministrar sobre o conceito de entropia.

O vídeo introdutório não foi produzido pelos autores deste artigo. Entretanto, julga-se que sendo bastante interessante, do ponto de vista de sua simplicidade, servirá de alicerce para os demais vídeos que serão utilizados no decorrer da explanação dos conteúdos relacionados à entropia.

¹² A Unidade Didática encontra-se depositada no Repositório Institucional Memória <<https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/754>>

Como já foi citado, esse vídeo não foi editado pelos autores, mas sim obtido após uma pesquisa em *sites* de domínio público. Durante a pesquisa, utilizou-se várias palavras-chave relacionadas ao conceito de entropia, tais como: reversibilidade, irreversibilidade, entropia; encontramos, no *YouTube*, o referido vídeo, intitulado: **A Entropia do Tempo**¹³, conforme Figura 1.

Figura 1: Imagem inicial do vídeo introdutório utilizado como vídeo motivacional introdutório.



Fonte: Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=QIFGL0v5SDc>>.

O vídeo apresenta, inicialmente, um relógio analógico marcando meio-dia. A partir desse momento, o ponteiro dos minutos passa a rotacionar no sentido anti-horário e situações cotidianas começam a ser retratadas como se ocorressem no sentido contrário do que estamos habituados a perceber. O vídeo é finalizado com a expressão “**A Entropia do Tempo**” sendo suprimida a partir do final até o início e em seguida o ponteiro dos minutos passa a rotacionar no sentido horário.

Vídeo como Ilustração: Mostra a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis

Após o vídeo motivacional, para a compreensão do conceito de entropia precisa-se apresentar para os estudantes a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. O formato do **vídeo como ilustração** traz o cotidiano do estudante para a escola, de modo que ele possa perceber a manifestação dos conteúdos trabalhados durante a aula. Diante disso, apresenta-se três vídeos distintos para serem utilizados durante a exposição dos processos reversíveis e irreversíveis.

O vídeo 1¹⁴ apresenta, em câmera lenta, o momento em que milho de pipoca são estourados e na sequência como seria se ocorresse no sentido inverso. Esse

¹³ Esse vídeo encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=QIFGL0v5SDc>>.

¹⁴ O Vídeo 1 encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=9XiJhPR-CXs>>.

vídeo é utilizado como vídeo de ilustração para mostrar a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. O vídeo 2¹⁵ retrata incenso sendo consumido e em seguida, como seria se ocorresse no sentido inverso. Essa situação também ilustra um evento que pode ser utilizado para mostrar a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. O vídeo 3¹⁶ fecha os exemplos utilizados para diferenciar os processos reversíveis e irreversíveis. Durante a apresentação dos vídeos, é esperado que os estudantes se recordem, naturalmente, de outros eventos cotidianos, os quais retratam processos irreversíveis. Caso isso não ocorra, é importante destacar que existem várias situações, as quais podem ilustrar a temática expressa pelos três vídeos.

Vídeo como Simulação: Interpretação do micro a partir de observações macroscópicas

O vídeo introdutório e os vídeos 1, 2 e 3, retratam alguns eventos observados no cotidiano e ao mesmo tempo possibilitam que os estudantes vivenciem de modo concreto a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis, bem como a partir da visualização dos vídeos, atribuir a outros eventos as mesmas características de irreversibilidade. Entretanto, esses eventos revelam um caráter puramente macroscópico.

Para ilustrar de maneira mais elaborada os aspectos microscópicos de um sistema termodinâmico, apresenta-se cinco vídeos como simulação. Esse formato de vídeo é importante, pois em algumas ocasiões não se pode realizar uma experiência em sala de aula devido ao seu grau de complexidade ou de periculosidade. Por exemplo, nem todas as reações químicas podem ser realizadas dentro de uma sala de aula; não conseguimos ver partículas de um gás confinadas dentro de um recipiente; algumas experiências requerem um bom tempo de observação, outras apresentam uma duração bem ínfima. Enfim, dentre esses motivos o **vídeo como simulação** nos permite “**simular**” o movimento de partículas confinadas num recipiente.

¹⁵ O Vídeo 2 encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=KXImFuECiyQ>>.

¹⁶ O Vídeo 3 apresenta a gravação de papel sendo queimado. Encontra-se disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=PYCAIRED_r0>.

Conforme a perspectiva do **vídeo como simulação**, demonstra-se de maneira lúdica os aspectos microscópicos de um sistema termodinâmico, os quais aparecem de modo bastante abstrato nos livros didáticos já citados. Como forma de minimizar essa abstração, os autores deste artigo produziram cinco vídeos para ilustrar tais aspectos microscópicos dos sistemas termodinâmicos. A partir desses cinco vídeos será possível construir e diferenciar gradativamente os conceitos de microestado e macroestado e, sobretudo, permitirá ao estudante fazer a conexão com o conceito de entropia apresentado por Ludwig Boltzmann. O vídeo 4¹⁷ inicia a discussão sobre macroestado e microestado, conforme Figura 2. A proposta inicial é simular um sistema formado apenas por duas partículas¹⁸ diferenciadas pelas cores azul e vermelha, tornando a análise mais simples em um primeiro momento.

Figura 2: Imagem do Vídeo 4 - Simulação de duas partículas movendo-se num sistema.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Durante a execução do vídeo são apresentados os termos macroestado e microestado, bem como os possíveis microestados que o sistema formado por apenas duas partículas pode assumir. Ao término do vídeo será questionado aos estudantes o que vem a ser um macroestado e um microestado. Na sequência, será apresentado o vídeo 5¹⁹, conforme Figura 3. Nesse vídeo são utilizadas quatro partículas, porém a cor delas não será levada em conta.

Dessa forma, queremos mostrar aos estudantes que poderemos obter um número de microestados diferente do vídeo 4. Com isso, será possível perceber que os microestados possíveis que um sistema pode assumir depende de condições impostas ao sistema. O vídeo 6, conforme Figura 4, também contém quatro partículas.

¹⁷ O Vídeo 4 encontra-se disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Mgnf-xi0I_c>.

¹⁸ Utilizando pequenas baratinhas de brinquedo para simular as partículas de um gás denominadas **MÓ BARATO**. Essas baratinhas são movidas por uma pilha de “LR44” 1,5V. Decidimos pela utilização desses objetos, pois eles apresentam um movimento bastante caótico, o que é característico das partículas de um gás.

¹⁹ O Vídeo 5 encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=t2MECHIVMjU>>.

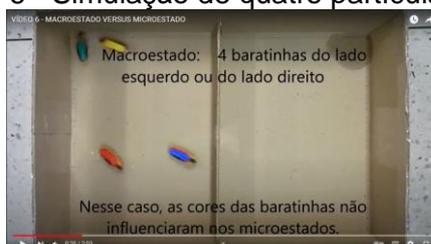
Apesar de elas estarem identificadas por cores, esse aspecto não será considerado para analisar o número de microestados que o sistema pode assumir.

Figura 3: Imagem do Vídeo 5 - Simulação de quatro partículas movendo-se num sistema.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Figura 4: Imagem do Vídeo 6 - Simulação de quatro partículas movendo-se num sistema.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Até esse momento da apresentação dos vídeos 4, 5 e 6 é importante destacar que antes de analisarmos a quantidade de microestados que um sistema pode assumir, temos que escolher o macroestado e, sobretudo, fazer a conexão da simulação das baratinhas com as partículas de um gás confinadas em um compartimento. O vídeo 7²⁰, conforme Figura 5, contém a mesma quantidade de partículas do vídeo 6. Entretanto, o macroestado escolhido para essa nova situação é diferente da situação anterior e, conseqüentemente, o número de microestados também será diferente.

Figura 5: Imagem do Vídeo 7 - Simulação de quatro partículas movendo-se num sistema.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

²⁰ O Vídeo 7 encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=zgtXHwhGtSo>>

Após analisar o vídeo 7 e fazer uma conexão com os vídeos anteriores (vídeos 4, 5 e 6), é esperado que os estudantes percebam que o maior número de **microestados** é atingido para o **macroestado** no qual o mesmo número de partículas nos dois compartimentos é igual. Logo, essa será a configuração de maior probabilidade de acontecer. Além disso, podemos mostrar também que, quanto maior for o número de baratinhas (partículas confinadas em um compartimento), maior será o número de microestados associados ao macroestado no qual o número de baratinhas é igual para ambos os compartimentos. Nesse momento da aula, a partir da compreensão de **macroestado** e **microestado**, pode-se apresentar o vídeo 8²¹, conforme Figura 6, o qual tem o objetivo de fazer uma conexão entre macroestado, microestado, ocupação de estado e o conceito de entropia apresentado por Ludwig Boltzmann.

Figura 6: Imagem do Vídeo 8 - Simulação de ocupação de estado. (a) Partículas movendo-se apenas do lado direito (Compartimento com divisória). (b) partículas movendo-se em todo o compartimento.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

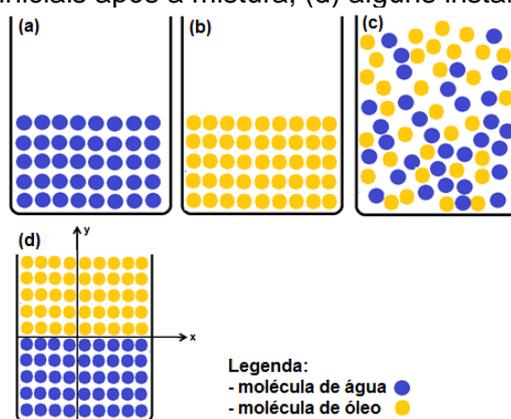
Diferentemente do conceito proposto por Rudolf Julius Emanuel Clausius, o qual contempla uma perspectiva Termodinâmica, Ludwig Boltzmann contempla uma concepção Estatística da entropia. Assim, a entropia pode ser definida utilizando os conceitos macroscópicos de calor e temperatura, como foi proposto por Rudolf J. Clausius. Entretanto, a partir da compreensão de **macroestado** e **microestado** proposta por Ludwig Boltzmann, o vídeo 8 juntamente com os vídeos 4, 5, 6 e 7, mostra que a entropia também pode ser tratada de um ponto de vista microscópico com a análise estatística de movimentos moleculares.

²¹ O Vídeo 8 encontra-se disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_792xDaQbYU>

Vídeo como Conteúdo de Ensino: Apresentação direta da associação equivocada do conceito de entropia ao termo “desordem”

Como já vimos anteriormente, neste artigo, nos livros citados a entropia é interpretada como uma grandeza associada ao grau de desordem de um sistema sem, no entanto, explicar o que vem a ser essa “desordem”. Nesse ponto, a entropia torna-se uma grandeza com uma definição vaga e imprecisa, pois de acordo com as informações apresentadas nos livros, essa desordem está associada à configuração das moléculas num determinado espaço, ou seja, essa desordem é puramente estética. Baseando-se nos vídeos 4, 5, 6, 7 e 8, pode-se definir o conceito de entropia numa escala microscópica fazendo uma conexão com o número de microestados associados a um determinado macroestado e, com isso, desvinculá-lo do termo **desordem**. Como, de acordo com o enunciado de Boltzmann, os macroestados mais prováveis são os com maior número de microestados e os maiores números de microestados estão associados a mais partículas confinadas num sistema, **a entropia é uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir**. Utilizando esse raciocínio para um sistema microscópico, o vídeo 9²² evidencia de maneira direta que, em um sistema macroscópico, a entropia não está associada à “**desordem**”. Essa evidência direta observada no vídeo 9 é percebida misturando-se em um becker uma porção de água e uma porção de óleo; após certo intervalo de tempo, a mistura de água e óleo apresenta um aspecto visual descontínuo, possuindo duas fases, conforme ilustração presente na Figura 7.

Figura 7: Etapas ilustrativas da mistura de água e óleo: (a) porção de água; (b) porção de óleo; (c) instantes iniciais após a mistura; (d) alguns instantes após a mistura.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

²² O Vídeo 9 encontra-se disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=R79EGup4dS8>>

O questionário como instrumento de Pesquisa

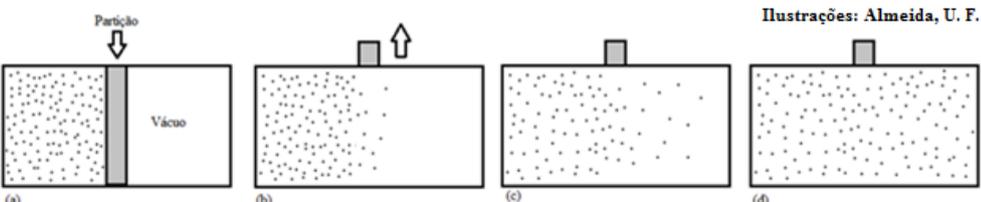
Para compreender e demonstrar que a Unidade Didática proporcionou um melhor entendimento sobre o conceito de entropia, foi elaborado um questionário²³, o qual foi aplicado antes e depois em quatro turmas do Ensino Médio da Escola Salesiano Dom Bosco de Natal, capital do Rio Grande do Norte, para que fosse possível avaliar o que os estudantes aprenderam sobre o conceito de entropia com a Unidade Didática. Todas as questões propostas foram de múltipla escolha. Como forma de organizar a sequência dos questionamentos de cada pergunta conforme a sequência da Unidade Didática, o questionário foi dividido em duas partes.

A **primeira parte** continha cinco questões (**01, 02, 03, 04 e 05**), as quais foram elaboradas levando em conta os conhecimentos prévios dos estudantes do Ensino Médio sobre os conceitos de calor, temperatura, equilíbrio térmico, processos reversíveis, processos irreversíveis e, sobretudo, os conhecimentos prévios sobre o conceito de entropia numa perspectiva da Termodinâmica. Esses conhecimentos prévios foram obtidos do trabalho de Covalan e Silva (2005) e pela experiência docente dos autores enquanto mediadores de tais conceitos em sala de aula. Apresentamos, no Quadro 1 a seguir, duas das cinco questões dessa parte do questionário.

Quadro 1: Questões 04 e 05 que compõe a primeira parte do questionário.

Observe a situação da figura 4 a seguir e responda às questões 04 e 05.

Considere um recipiente isolado de qualquer ação externa dividido em duas partes iguais por uma partição, conforme *figura 4*. Na *figura 4a*, fez-se vácuo no lado direito e do lado esquerdo contém um número N de partículas.



QUESTÃO 04) Em qual situação a entropia maximizou?

- figura 4a.
- figura 4b.
- figura 4c.
- figura 4d.
- a entropia não mudou.

QUESTÃO 05) Na figura 4, em que situação o sistema encontra-se mais organizado?

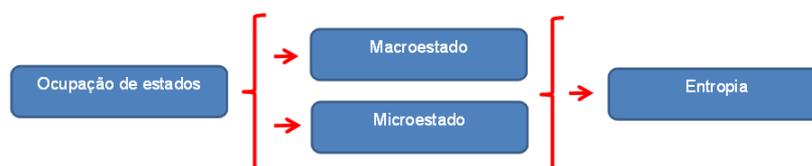
- Figura 4a.
- Figura 4b.
- Figura 4c.
- Figura 4d.
- Em nenhuma das situações.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

²³ O questionário encontra-se na Dissertação (Uma Proposta para o ensino de entropia no ensino médio) disponível no Memória, no endereço < <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/371> >.

A **segunda parte** continha sete questões (**06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12**), totalizando as doze questões do questionário. Como a proposta foi além de apresentar o conceito de entropia numa perspectiva da Termodinâmica, abordar segundo um viés da Mecânica Estatística e, conseqüentemente, desvincular o conceito de entropia ao termo **desordem**, fez-se uma busca na literatura científica sobre os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conceitos necessários para o entendimento segundo uma visão estatística do conceito de entropia. Tais conceitos são: macroestado, microestado, ocupação de estados e, principalmente, a relação entre eles e o conceito de entropia, conforme Figura 8.

Figura 8: Esquema ilustrativo que evidencia a relação entre ocupação de estados, macroestado, microestado e entropia.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Nessa busca encontrou-se trabalhos realizados abordando a entropia do ponto de vista da Mecânica Estatística. Entretanto, nos mesmos trabalhos não se encontrou pesquisas utilizando algum tipo de questionário para levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os termos mencionados na Figura 8. O que se verificou foram somente atividades práticas para serem utilizadas durante uma aula. Dessa forma, elaborou-se as questões da segunda parte sem fazer conexão com outras pesquisas em função da escassez de literatura científica sobre o assunto.

Sendo assim, para essas questões propuseram-se situações e alternativas as quais acredita-se que, se fossem conhecimentos prévios dos estudantes, a Unidade Didática proporcionaria uma mudança de entendimento por parte deles de maneira significativa. Expomos, no Quadro 2 a seguir, duas das sete questões dessa parte do questionário.

Quadro 2: Questões 11 e 12 que compõe a segunda parte do questionário.

- QUESTÃO 11)** Quando o número de estados ocupados por cada esfera aumenta o que ocorre com a entropia?
- Aumenta.
 - Diminui.
 - permanece a mesma.
 - Não há relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.
 - Não conheço a relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.

QUESTÃO 12) Qual o item abaixo melhor define o conceito de Entropia.

- a) É uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir.
- b) Grau de desordem de um sistema.
- c) Quantidade de energia contida em um sistema.
- d) Grau de agitação das moléculas de um sistema.
- e) Não conheço a definição de entropia.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Resultados e Discussão

A pesquisa foi aplicada com 156 estudantes da escola citada anteriormente. Todos eles cursavam o terceiro ano do Ensino Médio e ainda não tinham estudado a Segunda Lei da Termodinâmica²⁴. O primeiro passo foi a aplicação do questionário já citado.

Das quatro turmas mencionadas, em uma delas foi utilizado o método que o professor mediador achava conveniente para ministrar os conteúdos relativos ao conceito de entropia. Essa turma era formada por **37** estudantes e foi denominada **TURMA CONTROLE**, a qual representou o grupo de controle. Optou-se por não ministrar os conteúdos relativos ao conceito de entropia na intenção de não interferir nos resultados do pré-teste. Nas **TURMAS 1 e 2**, as quais eram formadas por **38 e 43** estudantes, respectivamente, foi utilizada a Unidade Didática. A Unidade Didática foi disponibilizada em formato impresso e os *links* dos vídeos foram acessados pelo canal do *YouTube* criado na intenção de facilitar o acesso aos vídeos durante a exposição do conteúdo. Na **TURMA 3**, a qual continha **38** estudantes, foi utilizado o mesmo material impresso utilizado na **TURMA 2**, porém em formato de um *blogger*. Esse *blogger* foi criado na intenção de aproximar o espaço físico da sala de aula à realidade dos estudantes do século XXI, realidade essa permeada de informações via *web*, as quais muitas vezes eles (os estudantes) adquirem muitas informações antes mesmo dos professores. Dessa forma, pensou-se nesse formato do *blogger* seguindo a proposta de Gomes (2005) a qual utiliza o *blogger* como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes. Existem duas possibilidades de utilização de um *blogger*. Segundo Gomes (2005, p. 6):

²⁴ Na época em que a pesquisa foi aplicada na Escola Salesiano Dom Bosco, a grade curricular não seguia o padrão tradicional da maioria dos livros didáticos utilizados no Ensino Médio, ou seja, o conteúdo de Termodinâmica era trabalhado apenas no terceiro ano.

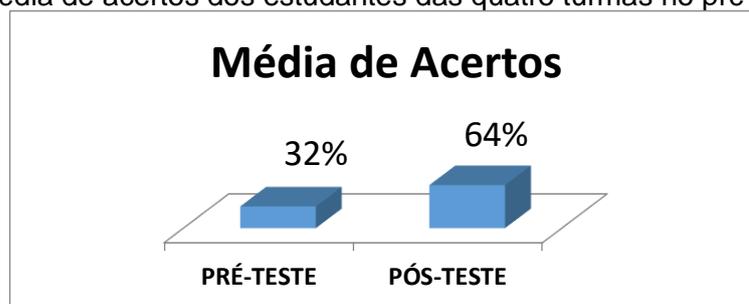
Enquanto recurso pedagógico e enquanto estratégia pedagógica. Enquanto recurso pedagógico os bloggers podem ser: 1. Um espaço de acesso à informação especializada. 2. Um espaço de disponibilização de informação por parte do professor. Enquanto estratégia pedagógica os bloggers podem assumir a forma de: 1. Um portfólio digital. 2. Um espaço de intercâmbio e colaboração. 3. Um espaço de debate – role playing. 4. Um espaço de integração.

Vale salientar que o *blogger* apresenta a mesma sequência da Unidade Didática e com os mesmos questionamentos ao final de cada seção. O diferencial do *blogger* é que os vídeos podem ser acessados diretamente, uma vez que, em virtude da possibilidade de postagens não somente de arquivos em formato de texto, também pode-se postar vídeos.

Análise e discussão dos resultados

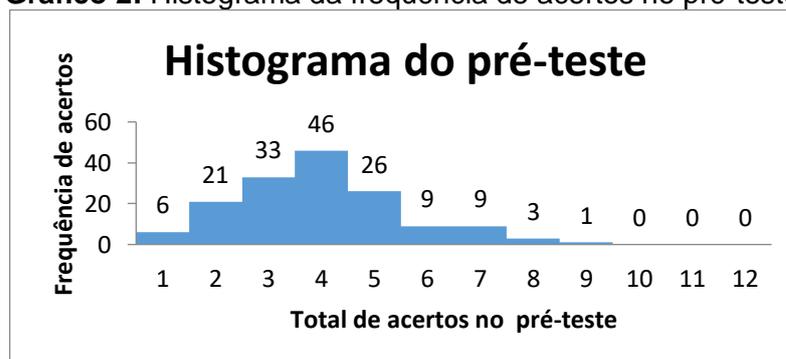
A análise dos resultados tem como base a comparação do desempenho dos estudantes das quatro turmas no pré e no pós-teste. O Gráfico 1 apresenta a média de acertos em cada um desses momentos.

Gráfico 1: Média de acertos dos estudantes das quatro turmas no pré e no pós-teste.



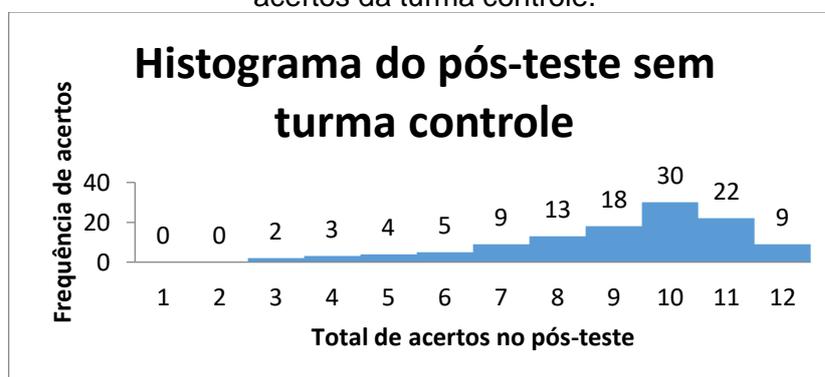
Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Ainda baseando-se no desempenho dos estudantes, mas agora levando em conta o resultado global do número de acertos no questionário no pré e no pós-teste, o Gráfico 2 representa a frequência de acertos em função do total de acertos no pré-teste. Pode-se perceber que o histograma do Gráfico 2 apresenta uma assimetria à esquerda, o que permite inferir que a maior parte dos 154 estudantes (106 estudantes) obtiveram, no pré-teste, um total de acertos entre uma e quatro questões do total de 12. O resultado expresso nesse histograma corrobora com o Gráfico 1, pois a média geral de acertos no pré-teste foi de 32%.

Gráfico 2: Histograma da frequência de acertos no pré-teste.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

O Gráfico 3 mostra a evolução dos estudantes das turmas 1, 2 e 3 após a utilização da Unidade Didática. Como pode-se perceber, o histograma apresenta uma assimetria à direita, ou seja, o máximo do histograma encontra-se mais próximo do total de acertos de 12 questões. As turmas que foram submetidas à Unidade Didática totalizam 115 estudantes. Diante disso, o Gráfico 3 mostra que após a aplicação da Unidade Didática os estudantes conseguiram apresentar um desempenho satisfatório no pós-teste. Como é possível perceber pelo histograma contido no Gráfico 3, 79 estudantes acertaram acima de nove questões e, sobretudo, nenhum estudante acertou apenas uma ou duas questões.

Gráfico 3: Histograma de frequências de acertos no pós-teste sem computar o total de acertos da turma controle.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

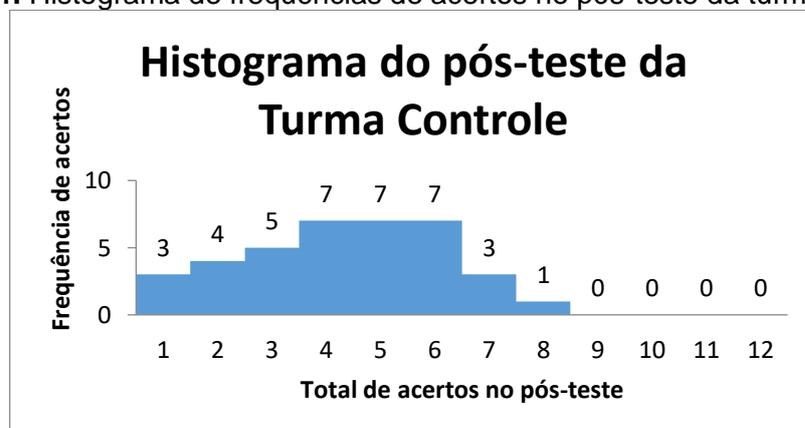
Relacionando os resultados comparativos entre o pré e pós-testes expostos nos Gráficos 1, 2 e 3 com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1982) e com a proposta de utilização de vídeo no processo de ensino e aprendizagem defendida por Moran (1995), ambas apresentadas no aporte teórico do presente artigo, podemos considerar que a Unidade Didática proporcionou uma aprendizagem

menos abstrata do conceito de entropia e, sobretudo, desvinculou-o do termo “desordem”.

O Vídeo introdutório utilizado como “organizador prévio” oportunizou identificar e desenvolver conceitos subsunçores facilitando a aprendizagem significativa dos demais vídeos intercalados com os conteúdos que foram apresentados na Unidade Didática. Esse vídeo, enquadrou-se no organizador comparativo, pois o conteúdo apresentado por ele foi familiar com o conteúdo expresso na Unidade Didática. Dessa forma, proporcionou aos estudantes a integração dos novos conhecimentos à estrutura cognitiva como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2012).

Os resultados dos Gráficos 1, 2 e 3 são significativos e alinham a Unidade Didática ao aporte teórico quando analisamos o Gráfico 4 que engloba os resultados dos estudantes da turma controle no pós-teste.

Gráfico 4: Histograma de frequências de acertos no pós-teste da turma controle.

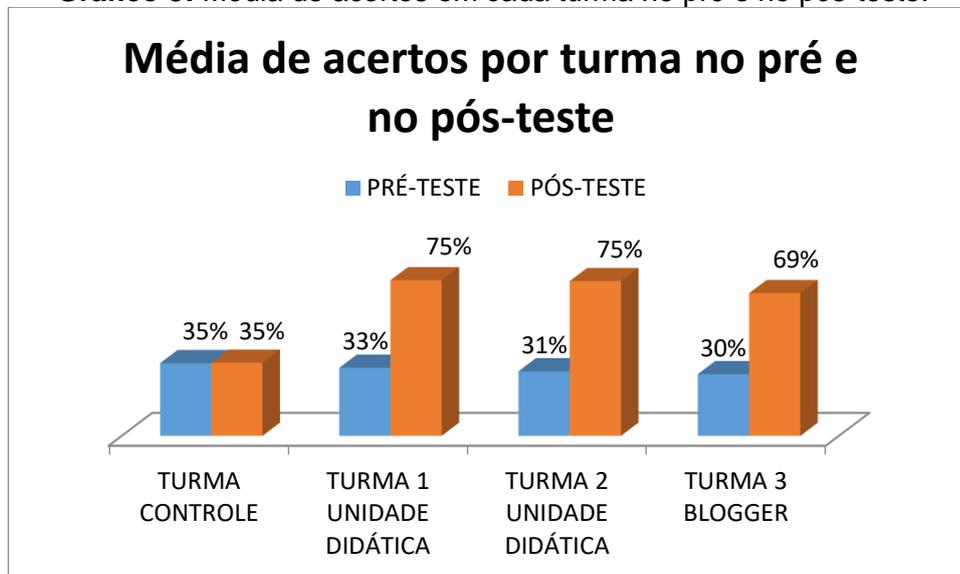


Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Comparando o Gráfico 4 com o Gráfico 3, observa-se que a frequência máxima de acertos ainda se encontra deslocada para a esquerda. Isso é explicado, pois, como o produto educacional não tinha sido aplicado na turma controle, a qual totalizava 37 estudantes, o desempenho dos estudantes dessa turma no pós-teste foi um pouco superior, entretanto manteve-se bem próximo ao desempenho no pré-teste, os quais, de acordo com o Gráfico 2, a média ponderada de acertos foi de 3,96 e, de acordo com o Gráfico 4, a média ponderada de acertos foi de 4,35. Dessa forma, a dispersão dos dados referentes ao total de acertos manteve-se à esquerda, como era de se esperar. Feita essa análise global nas turmas em que a Unidade Didática foi

aplicada e na turma controle²⁵, o Gráfico 5 apresenta, individualmente, a média de acertos no pré e no pós-teste das quatro turmas.

Gráfico 5: Média de acertos em cada turma no pré e no pós-teste.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Como constata-se no Gráfico 5, na turma em que o produto educacional não foi desenvolvido, a média de acertos manteve-se constante (35%), enquanto nas turmas em que o produto foi aplicado o percentual de acertos no pré e no pós-teste teve um aumento significativo. Esse resultado evidencia que os vídeos utilizados, bem como o tratamento teórico abordado, proporcionaram um melhor entendimento sobre o conceito de entropia. Assim, após a aplicação dos vídeos, juntamente com o tratamento teórico no formato impresso, o percentual médio de acertos evoluiu de 33% (pré-teste) para 75% (pós-teste) – TURMA 1 – e 31% (pré-teste) para 75% (pós-teste) – TURMA 2 –, ou seja, uma evolução de mais de 40%, valor bastante considerável.

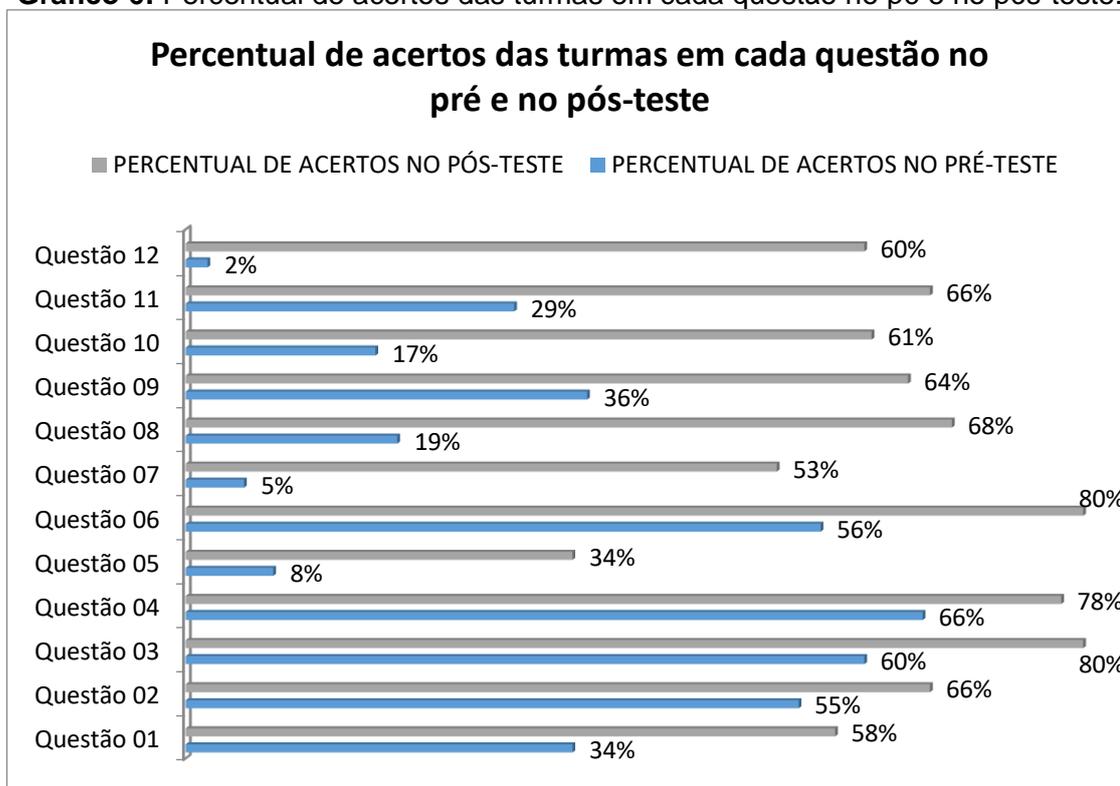
Já na turma em que foi desenvolvido o produto educacional no formato de *blogger* – TURMA 3 – apesar de a evolução percentual média ter sido um pouco inferior, de 30% (pré-teste) para 69% (pós-teste), também representa um valor bastante considerável corroborando com a ideia de Gomes (2005). Essa diferença sutil na evolução dos resultados das turmas 1 e 2 com a turma 3 pode ser justificada pela ausência de um professor mediador no processo de ensino e aprendizagem. Isto

²⁵ Das quatro turmas mencionadas, em uma delas não foi utilizada a Unidade Didática, ou seja, foi utilizado o método que o professor mediador achava conveniente para ministrar os conteúdos relativos ao conceito de entropia. Essa turma era formada por 37 estudantes e foi denominada **TURMA CONTROLE**.

é, os estudantes foram orientados para, de maneira autônoma, acessarem os vídeos e o tratamento teórico pelo *blogger* sem a presença física do professor.

Dessa forma, não se garante que todos os estudantes acessaram efetivamente o *blogger* antes da aplicação do pós-teste. Outro ponto importante que se destaca no Gráfico 5 é que antes da aplicação do pré-teste, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre determinados assuntos abordados no questionário, bem como as ideias âncoras que os estudantes não tinham sobre outros questionamentos, era bem homogênea, pois a média percentual de acertos foi bastante semelhante nas quatro turmas. O Gráfico 6 apresenta o percentual de acertos das turmas em cada uma das questões antes e depois da aplicação da Unidade Didática nas turmas 1, 2 e 3 e da omissão da aplicação na turma controle.

Gráfico 6: Percentual de acertos das turmas em cada questão no pré e no pós-teste.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

No Gráfico 6, mesmo englobando todo o espaço amostral, em todas as questões percebeu-se um aumento nos percentuais médios de acertos em todas as turmas. Entretanto, analisando com mais detalhes, percebe-se alguns aspectos peculiares nesse gráfico.

O primeiro aspecto é observado nas quatro primeiras questões (01, 02, 03 e 04), nas quais o percentual de acertos no pré e no pós-teste não apresentou uma diferença significativa em comparação com os percentuais da questão 07 em diante. Logo, conclui-se que a Unidade Didática reforçou os conhecimentos prévios que os estudantes já traziam consigo em suas bagagens cognitivas. Para Moreira (2012), todo indivíduo trás na sua bagagem cognitiva conhecimentos, os quais permitem dar significado a um novo conhecimento seja apresentado ou descoberto por ele.

O segundo aspecto pode ser visualizado na questão 05²⁶, a qual apresentou um percentual de acertos no pós-teste bem abaixo de 50%, porém comparando com o percentual de acertos no pré-teste (8%), a evolução foi de 28%, evolução essa superior às evoluções das questões anteriores.

O terceiro aspecto é percebido da questão 07 em diante, as quais apresentaram os maiores percentuais de acertos no pós-teste em comparação com o pré-teste. E, em especial, a questão 12²⁷, a qual apresentou o menor percentual de acerto no pré-teste (apenas 2%) e, conseqüentemente, a maior variação percentual de acerto dentre as questões (58%).

Após a análise dos resultados evidenciados nos seis gráficos²⁸ anteriores, destaca-se resultados significativos nas três turmas que foram submetidas à Unidade Didática (turmas 1, 2 e 3) em detrimento dos resultados da turma controle. Entretanto, não se quer com isso afirmar que somente utilizar os vídeos é a melhor ferramenta no processo ensino e aprendizagem. Propõe-se uma forma de reduzir a abstração evidenciada na maioria dos livros analisados neste artigo quando menciona o conceito de entropia e, sobretudo, desvincular tal conceito do termo “desordem”.

Considerações finais

Os resultados obtidos no pré e no pós-teste mostraram que a Unidade Didática proporcionou uma melhor compreensão sobre o conceito de entropia, haja vista, a média de acertos no pós-teste foi de 64% enquanto no pré-teste a média de

²⁶ O Quadro 1 do presente artigo apresenta essa pergunta do questionário.

²⁷ O Quadro 2 do presente artigo apresenta essa pergunta do questionário.

²⁸ Na Dissertação “Uma Proposta para o ensino de entropia no ensino médio” depositada no Memoria, no endereço eletrônico <<https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/371>>, contém uma análise dos resultados mais detalhada e específica do desempenho no pré e pós-teste em cada questão para cada turma objeto da pesquisa.

acertos foi de 32%. Ou seja, um aumento percentual médio de 32%. Além disso, evidenciam que a Unidade Didática está alinhada com os ideais da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1982), a qual leva em consideração a “organização e integração do novo material na estrutura cognitiva” (Ausubel, 1980, 2000 *apud* Moreira, 2008).

Aliado a esse resultado, podemos inferir que os vídeos utilizados como organizadores prévios comparativos (MOREIRA, 2008) e para Moran (1995) vídeos como simulação promoveram interação entre novos conceitos, ideias, proposições com os conhecimentos prévios dos estudantes possibilitando a assimilação cognitiva.

Destaca-se que, diante dessas interações entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, reforça-se mais ainda o conceito de entropia na perspectiva da Termodinâmica, pois analisando os resultados do pré e do pós-teste nas primeiras quatro questões do questionário (Dados apresentados no Gráfico 6), os desempenhos dos estudantes foram muito semelhantes. Moreira (2008), esclarece que a aprendizagem significativa “ocorre quando novos conceitos, ideias, proposições interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados”.

Além disso, apresenta-se uma maneira de interpretar o conceito de entropia segundo a Mecânica Estatística. Com isso, conseguiu-se, parcialmente, desvincular o conceito do termo “desordem”, pois antes da aplicação do produto educacional, para um universo de 154 estudantes, apenas 2% não associavam entropia a “grau de desordem de um sistema” ao nosso ver, forma equivocada de interpretar o conceito de entropia e, após a aplicação do produto nas três turmas, mas ainda totalizando o espaço amostral, o percentual de estudantes que optaram pelo conceito coerente foi de 60%, conforme resultado da questão 12 apresentada no Gráfico 6.

Diante dos resultados, chama-se atenção à maneira pela qual os livros didáticos do Ensino Médio apresentados neste artigo abordam o conceito de entropia. Neste ponto, a entropia torna-se uma grandeza com uma definição vaga, imprecisa e abstrata, pois de acordo com as informações apresentadas nos livros, essa “desordem” está associada à configuração das moléculas num determinado espaço, ou seja, ela é puramente estética. Conclui-se que os autores muitas vezes não apresentam o cuidado com a linguagem utilizada, ou seja, não conceituam palavras primordiais para um bom entendimento do conceito de entropia. Essas peculiaridades

podem fortalecer/reforçar concepções alternativas, que atuarão como obstáculos na compreensão científica do conceito.

Como aspecto final que se deseja enfatizar é que, apesar da abstração evidenciada na maioria dos exemplares citados neste artigo, o conceito de entropia é extremamente importante para outras áreas do conhecimento, além da Física. Por isso, é imprescindível que o conceito seja abordado no Ensino Médio; para tanto, é preciso utilizar a matemática como suporte para uma abordagem estatística e probabilística do tema. Dessa maneira, haverá um fortalecimento do conceito na perspectiva da Mecânica Estatística, a qual, pelos resultados obtidos, favoreceu o desempenho dos estudantes no pós-teste.

Referências

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Física Contexto e Aplicações**. 1ª ed. São Paulo. Scipione, 2011.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D.P.; Novak, J.D.; Hanesian, J. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.

BOAS, N.; DOCA, H.; BISCUOLA, G. **Tópicos de Física: Termologia, Ondulatória e Óptica**. 18. Ed. São Paulo. Saraiva, 2007.

BONJORNO, R. et al. **Física História e Cotidiano: Termologia, Óptica, Ondulatória, Hidrodinâmica**. São Paulo. FTD, 2003.

CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 2**. São Paulo. Harbra, 2004.

CALÇADA, S.; SAMPAIO, J. **Física Clássica: Termologia, Fluidomecânica e Análise Dimensional**. São Paulo. Atual, 1998.

COVOLAN, S. C. T.; DA SILVA, D. **A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito Entropy in High Schools: using students spontaneous reasoning and aspects of the concept evolution**. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.

GASPAR, A. **Física 2 Ondas, Óptica e Termodinâmica**. São Paulo. Ática, 2011.

GRAF. **Física 2: Física térmica e Óptica**. 4ª ed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

- GOMES, M. J. **Blogs: um recurso e uma estratégia pedagógica**. 2005.
- JUNIOR, F.; FERRARO, N.; SOARES, P. **Os Fundamentos da Física**. 10^a ed. São Paulo. Moderna, 2010.
- LAGO, A.; CABRAL, F. **Física 2**. São Paulo: Harbra, v.2, 2002.
- LAMBERT, F. **Disorder – Cracked crutch for Supporting Entropy Discussions**. Journal of Chemical Education. Vol 49, n^o.2, Feb, 2002. p. 187-192.
- MORÁN, J. M. O vídeo na sala de aula. **Comunicação & Educação**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 27-35, 1995.
- MONTEIRO, M. et al. **Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia no ensino médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 367-378, 2009.
- MOREIRA, M. A. ¿Al final qué es aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, La Laguna, 25: 29-56. 2012.
- MOREIRA, M. A. **Organizadores Prévios e Aprendizagem Significativa**. Revista Chilena de Educação Científica. Porto Alegre. v.7, N^o 2, 2008.
- OLIVEIRA, M. A. **Uma proposta de análise de livros didáticos de ensino de física / Manoel de Araújo Oliveira**. São Paulo. SP: [s.n.], 2008. 99 p.
- OLIVEIRA, P.M.C.; DECHOUM, K. **Facilitando a compreensão da Segunda lei da Termodinâmica**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol 25, n^o4, dezembro, 2003.
- OLIVEIRA, M. P. P.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R. C. A.; ROMEIRO, T. R. L. **Física em Contexto**. São Paulo. Editora do Brasil, 2011.
- RODRIGUES, C. **Irreversibilidade e Degradação da Energia numa abordagem para o Ensino Médio**. Tese (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.
- RAMALHO J. F.; FERRARO, N. G.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física**. São Paulo: Moderna, 10 ed., v.2, 2010.
- SANTOS, Z. T. S.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Uma Perspectiva Histórica e Epistemológica para o Ensino de Entropia no Ensino Médio**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba, 2008.
- STYER, D. F. **Insight into Entropy**. American Journal of Physics, ano 68, vol.12, 2000. p.1090-1096.
- TORRES, C. et al. **Física - Ciência e Tecnologia: Termologia, Óptica e Ondas**. São Paulo: Moderna, 2010.

Unidade Didática. **Uma Aula sobre o Conceito de Entropia**. Disponível em <<https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/754>>. Acesso em 05/07/2023.

VEEN, W.; VRAKING, B. **Homo zapiens: educando na era digital**. Porto Alegre: Artmed, 2009. pp. 28-29.

Vídeo Introdutório. **A entropia do Tempo**. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=QIFGL0v5SDc>>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 1. **Irreversibilidade**. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=9XiJhPR-CXs>>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 2. **Irreversibilidade**. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=KXImFuECiyQ>>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 3. **Irreversibilidade**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=PYCAIRED_r0>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 4. **Macroestado versus Microestado**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Mgnf-xi0l_c>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 5. **Macroestado versus Microestado**. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=t2MECHIVMjU>>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 6. **Microestado versus Microestado**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pQ_fz1qq634>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 7. **Macroestado versus Microestado**. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=zgtXHwhGtSo>>. Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 8. **Ocupação de Estados**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_792xDaQbYU> . Acesso em 05/07/2023.

Vídeo 9. **A entropia em um sistema macroscópico formado por um número N partículas!** Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=R79EGup4dS8>>. Acesso em 05/07/2023.