

## LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E ASPECTOS GRÁFICOS: UMA ABORDAGEM VISUAL NO ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

Débora Amaral Taveira Mello<sup>1</sup>

Giovana Blitzkow Scucato dos Santos<sup>2</sup>

Marcos Cesar Danhoni Neves<sup>3</sup>

Alexandre José Tuoto Silveira Mello<sup>4</sup>

### Resumo

Livros didáticos são ferramentas de apoio ao ensino e vêm se modificando ao longo das décadas para atender as necessidades da educação tanto no Brasil quanto no mundo. O modo como o livro didático é planejado e desenvolvido, não apenas no que se refere ao conteúdo, mas também na forma como apresenta seus tópicos transforma a maneira como se ensina e se aprende. Neste artigo serão explorados como os livros didáticos de Física abordam e apresentam o fenômeno das Ondas Estacionárias, comparando dois momentos diferentes do ensino, um primeiro com livros do início do século XX e outro analisando livros atuais. Para fazer tal análise foram considerados aspectos como diagramação, imagens, impressão, tipografia e demais princípios do Design Gráfico. Foram utilizados seis livros para o comparativo, três deles eram do período de 1906 a 1913 e mais tarde outros três livros de 1995, 2016 e 2018. Como resultado foi percebido que a limitação das tecnologias gráficas do início do século XX não permitiam utilizar uma grande variedade de elementos visuais para dar suporte a comunicação dos conceitos, bem como o não desenvolvimento de teorias de comunicação visual. Em contramão, os recursos atuais facilitam a representação dos fenômenos através de ilustrações, fotos, cores, formas, modificando como o conteúdo ampara o entendimento.

**Palavras-chave:** Livro Didático. Ensino de Física. Representação Gráfica.

### PHYSICS TEACHING BOOKS AND GRAPHIC ASPECTS: A VISUAL APPROACH IN THE TEACHING OF STATIONARY WAVES

**Abstract:** Textbooks are tools to support teaching and have been changing over the decades to meet the needs of education both in Brazil and worldwide. The way the textbook is planned and developed, not only in terms of content but also in the way it presents its topics, transforms the way it is taught and learned. In this article, we will explore how Physics textbooks approach and present the phenomenon of Stationary Waves, comparing two different moments of teaching, one first with books from the beginning of the 20th century and another analyzing

<sup>1</sup> Pós-doutoranda no Programa de Pós Graduação da Universidade Estadual de Maringá. <http://orcid.org/0000-0002-0418-1713>

<sup>2</sup> Graduada em Bacharelado em Design pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. <http://orcid.org/0000-0002-2002-6027>

<sup>3</sup> Professor Doutor da Universidade Estadual de Maringá - UEM Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. <http://orcid.org/0000-0002-3724-5373>

<sup>4</sup> Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. <http://orcid.org/0000-0001-9399-0995>

current books. To make such an analysis, aspects such as diagramming, images, printing, typography, and other principles of Graphic Design were considered. Six books were used for the comparison; three of them were from the period 1906 to 1913 and later three other books from 1995, 2016, and 2018. As a result, it was noticed the graphic technologies limitation at the beginning of the 20th century did not allow the use of a large variety of visual elements to support the communication of concepts, as well as the non-development of visual communication theories. In contrast, current resources facilitate the representation of phenomena through illustrations, photos, colors, shapes, changing how the content supports understanding.

**Keywords:** Textbook. Physics teaching. Graphic Representation.

## Introdução

O livro didático é um suporte para o ensino de conteúdos educativos (CHOPPIN, 2002). Com esta ferramenta o professor tem um material que auxilia no processo de ensino-aprendizagem, pois o livro escolar é um material que objetiva uma ação educativa, sendo elaborado para contribuir e auxiliar na prática pedagógica (PASTRO; CONTIERO, 1996).

O presente artigo apresentará a forma como um conteúdo de Física foram abordados em livros didáticos do início do século XX, sendo esses: Hall (1894), Smith e Hall (1902), Poynting e Thomson (1906), (DUFF, 1909) Stewart (1909), Duff (1912) e Spinney (1913); e como o tema é tratado em livros atuais, sendo estes: Tipler (1995), Halliday, Resnick e Walker (2008), Halliday, Resnick e Walker (2018). Assim, será possível observar como foi a evolução de representação gráfica nos livros didáticos de ensino de Física no tema de ondas estacionárias, seguindo um recorte temporal de livros com cerca de 100 anos de distância entre tais. Será abordado também, e brevemente, o conceito e significado dos fenômenos envolvendo ondas estacionárias e a razão do porquê foi escolhido este tema.

Os livros antigos que foram escolhidos para esta pesquisa apresentavam além da explicação verbal do significado do fenômeno, uma representação gráfica para dar suporte à explicação. Outros livros mais antigos foram encontrados, bem como revistas científicas, porém não apresentavam um diálogo didático, mas sim uma comunicação entre pares, como artigos científicos expandidos (a exemplo: JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE, 1826; STANFORD UNIVERSITY, 1835; BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 1845; RUSSELL, 1845;

BOVEY, 1895; BADEN-POWELL *et al.*, 1896; BRADLEY *et al.*, 1899). Neste caso a comunicação se parece mais com o saber sábio, que é o saber científico desenvolvido por cientistas, do que com o saber a ensinar, que se apresenta em material didático e suas formas, não ocorrendo, pois, sua transposição de uma esfera para outra (PIETROCOLA *et al.*, 2000).

Esta comunicação voltada ao saber sábio pode ter relação com como o livro de conteúdos de ensino eram tratados inicialmente. No século XIX a “figura central era a do professor, porém a partir da segunda metade do século XIX passou a se tornar mais claro que o livro didático não era um material de uso exclusivo deste” (FREITAS; RODRIGUES, 2008, p. 304). Nos anos de 1870 e 1880 autores brasileiros adaptavam textos estrangeiros conforme o público que fazia uso, mas ainda com o olhar voltado para o professor (BITTENCOURT, 2004).

O livro mais recente foi escolhido por ser uma das referências em ensino de Física, Halliday, Resnick e Walker (2018) teve sua primeira publicação em 1960 e está atualmente em sua 11ª edição. Este livro foi escolhido por ser amplamente utilizado no ensino superior. Como base, a última edição do livro em inglês, de 2018, foi utilizada para análise da disposição do conteúdo e comunicação gráfica, mas em paralelo foi colocado a versão brasileira de 2016 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Assim, será exposto características das qualidades gráficas, como a imagem pode dar suporte visual para o conteúdo do texto, o design editorial, tal como diagramação e fonte, e como isso interfere na compreensão e leitura, comparando os livros antigos com versão brasileira e, principalmente, a versão original.

Os livros do início do século XX, que são apresentados nesse artigo, diferem do livro de Halliday, Resnick e Walker (2018) e de Halliday Resnick Walker (2016) não apenas pelas limitações gráficas possíveis na época, mas também em virtude dos estudos de Ergonomia Cognitiva e de teorias do design visual não terem sido ainda desenvolvidas. Iida e Buarque (2016) afirmam que a ergonomia cognitiva começa a ser observada como necessária na década de 1970, mas que é na década seguinte que começa a tomar forma conforme conhece-se atualmente. Iida (2005, p. 03) diz que a Ergonomia Cognitiva: “Ocupa-se dos processos mentais, como a percepção,

memória, raciocínio e resposta motora, relacionados com as interações entre as pessoas e outros elementos de um sistema”. Deste modo, se mostra a importância da representação gráfica da forma que se apresenta em livros didáticos.

## Referencial teórico

O tema de ondas estacionárias foi escolhido por ser um conceito que apresenta complexidade dimensionais de se representar. Ondas estacionárias necessitam de um apoio visual, verbal e matemático para que seja explicado. Alguns conceitos da Física podem apresentar simplicidade na explicação, levando em conta que o aluno tem vivência e observa corriqueiramente tais fenômenos. A termos de exemplificação, a disciplina inicial da mecânica, ramo da Física responsável pelo estudo dos movimentos, tende a ser mais intuitiva para os alunos, pois o deslocamento, velocidade e aceleração, por exemplo, são fenômenos observados em suas vidas diárias (ZAMBON; TERRAZZAN, 2010). O ensino inicial de ondas também tende a ser intuitivo, porém quando se chega nas ondas estacionárias, principalmente em mais dimensões, o conteúdo pode ser menos tangível e apresentar dificuldades no entendimento.

O ensino de Física faz uso de modelos de ensino para dar suporte e facilitar a compreensão, assim, dão apoio e podem auxiliar na compreensão (CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2009). Livros didáticos são um modo entre diversas formas de modelos educativos para respaldar o ensino. Os modelos educativos variam de formas podendo ser imagens, gráficos, objetos palpáveis, entre tantos outros. O livro didático apresenta uma linguagem que propicia o ensino e representa os conceitos e fenômenos por meio de algumas formas de modelos de ensino, essencialmente gráficos, visuais e de linguagem escrita. Em alguns casos os livros de Física propõem experimentos que proporcionam os desenvolvimentos de modelos concretos (BUNGUM, 1970; HENTSCHEL, 1999; HARRISON, 2001; DIMOPOULOS; KOULALIDIS; SKLAVENITI, 2003; NUMANOGLU; BAYIR, 2009).

## O livro didático

A relação de livro e ensino vem acompanhando a história da educação mundial há muitos séculos e o livro didático tem sua posição ímpar no espaço da educação formal (CHOPPIN, 2002). No Brasil do século XIX “os bons livros didáticos da época serem (eram) quase exclusivamente de origem francesa” (MOREIRA; AXT, 1986, p. 40) e atendiam, por exemplo, o Colégio Pedro II no Rio de Janeiro. Moreira e Axt (1986) também salientam que a educação tradicional de Física no país não se baseava na experimentação, mas sim na comunicação verbal, oral e escrita. Mais tarde no pós-Segunda Guerra Mundial que se modifica o ensino na busca das experimentações.

Os livros didáticos modificam o modo como o professor atua e sua presença influencia a atuação em sala de aula:

O ensino, os métodos, a avaliação, a imagem dos professores, o conhecimento, dentre outros. No entanto, do ponto de vista da pesquisa, pouco se conhece sobre esses temas. Por um lado, há uma forte tradição de estudar os livros; por outro, são pouco conhecidas as condições pelas quais eles afetam a vida escolar (GARCIA, 2012, p. 146).

Moreira e Axt (1986) salientam que os livros didáticos de meados do século XX “comparados com os de hoje, podem ser considerados de bom nível se analisados do ponto de vista do rigor conceitual e da profundidade com que abordavam o conteúdo” (MOREIRA; AXT, 1986, p. 42).

Na era Vargas (1930 a 1945) com a recém criação do MEC - Ministério da Educação, foi criado o primeiro programa nacional sobre livros didáticos. Neste os diretores das escolas poderiam ter liberdade de escolher qual livro didático seria utilizado, desde que fosse escolhido de uma lista de obras autorizadas. A partir da década de 1950 o panorama educacional do país começou a se espelhar no modelo americano, influenciando, por exemplo, em atividades experimentais em sala de aula com apoio de livros didáticos. Em 2003, foi criado o PNLD - Programa Nacional do Livro Didático. Os livros de Física foram aprovados em 2006 e implantados em 2008 (MORAES, 2011).

Na análise de Gouvêa (2008) a respeito de 12 livros de Física do PNLEM - Programa Nacional do Livro do Ensino Médio, o autor aponta que as imagens

presentes nos livros problematizam o cotidiano e que a diagramação remete a revistas contemporâneas.

Os livros didáticos atuais estão de acordo com as orientações dos currículos oficiais e das diretrizes recomendadas pelo MEC. O guia do PNLD 2018 de Física do Ensino Médio aponta que “é fundamental que professores e estudantes possam contar com materiais didáticos de qualidade, que estejam disponíveis para subsidiar, embasar, acompanhar e enriquecer o desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem da Física escolar” (BRASIL, 2017, p. 08). Além disso o Guia diz que o ensino de Física deve

A Física escolar deve contemplar, portanto, a escolha cuidadosa dos elementos mais importantes presentes na estrutura conceitual da Física como uma disciplina científica, uma área do conhecimento sistematizado em termos de conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos. Deve, ainda, incorporar um tratamento articulado desses elementos entre si e com outras áreas disciplinares, bem como com aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, de modo a propiciar as aprendizagens significativas necessárias aos estudantes e, assim, contribuir para que o Ensino Médio efetive sua função como etapa final da formação educacional básica de todo e qualquer cidadão. (BRASIL, 2017, p. 09).

O texto salienta que o maior desafio da educação brasileira é conseguir a permanência do estudante em sala de aula evitando a evasão, criando uma aprendizagem significativa, de forma que estejam capacitados para o exercício da vida cidadã, criando sujeitos críticos, ativos e com formação adequada para o mercado de trabalho e para dar continuidade na Educação Superior e formação continuada.

O texto não termina antes de ressaltar o papel da contextualização do ensino de Física, as estratégias que os livros proporcionam para a resolução de problemas e atividades experimentais, investigativas e uso de recursos computacionais. O texto prevê uma abordagem humanista em meio a essa era tecnológica.

## **Ondas estacionárias e seu ensino nos séculos XX e XXI**

Sucintamente, o fenômeno das ondas estacionárias integra uma compreensão que indexa um conceito da Física observado por Michael Faraday em 1831. Em 1860 o fenômeno foi demonstrado mediante um experimento com um fio vibrando. Ondas

estacionárias não são fáceis de visualizar sem apoio de algum tipo de modelo didático. Ondas estacionárias são, segundo Avison (2014), um conceito da Física que descreve ondas que oscilam no tempo em um padrão determinado pela frequência, mas que a amplitude da onda não se move no espaço, mantendo-se em superposição e somadas por duas ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos.

O ensino de Ciências, em qualquer que seja o nível de aprendizagem, sendo em ambiente formal e não formal de ensino, propõe empiricamente uma mudança de paradigmas e axiomas detidos pelos alunos. Juntamente, prevê um nível de abstração que pode ser impalpável para os que têm primeiro contato com determinado assunto, como por exemplo ondas estacionárias uni, bi e tridimensionais. Como salientado por Magnusson; Krajcik; Borko, (1999, p. 105) “Para alguns tópicos da ciência, a aprendizagem é difícil porque os conceitos são muito abstratos e/ou não têm nenhuma conexão às experiências comuns dos estudantes”.

O exemplo que será utilizado nesta pesquisa é o ensino de ondas, pois em maiores dimensões requer maior abstração. Abaixo ilustra-se como o ensino deste tema foi abordado em livros didáticos do início do século XX e os atuais.

Em inglês os termos usados são “*stationary waves*” e “*stading waves*”, sendo o primeiro mais recorrente. O período de livros selecionados foi do final do século XIX e o início do século XX, tendo sido encontrados livros didáticos desde 1894 até 1913. Estes livros consultados são: Hall (1894), Smith e Hall (1902), Poynting e Thomson (1906),(DUFF, 1909) Stewart (1909), Duff (1912) e Spinney (1913).

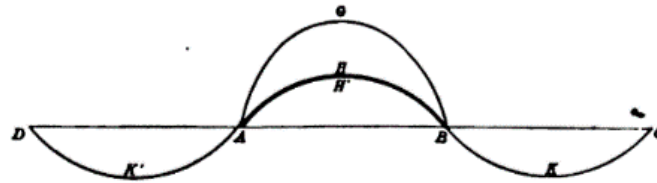
No livro de Poynting e Thomson (1906, p. 98) os autores definem ondas estacionárias com o texto que diz:

Agora considere uma corda fixa em ambas as extremidades e deslocada em uma curva seno como AGB, Fig. 52. Podemos pensar nesta curva seno como consistindo de duas, AHB e AHB, cada uma com metade da altura de AGB e superposta. Quando a corda é liberada, o AHB se move para a direita e o AHB para a esquerda. Imediatamente as reflexões ocorrem contra as extremidades fixas, que contra B é representado supondo que BKC se mova para a esquerda, e que contra A supondo que AKD se mova para a esquerda. Assim, as reflexões continuam a fornecer os trens iguais em movimento oposto. Essa visão da questão nos mostra que, considerando as vibrações de uma corda como composta de dois trens opostos de ondas, não estamos meramente adotando um dispositivo matemático, mas que esses trens têm uma existência Física devido às reflexões finais. Tais vibrações entre nós fixos, devido à superposição de ondas diretas e refletidas, são

frequentemente denominadas ondas estacionárias (POYNTING; THOMSON, 1906, p. 98, Tradução livre).

Na sequência os autores apresentam a explicação com a imagem na Figura 1.

Figura 1 - Representação da explicação de uma onda estacionária, fig. 52 do livro de Poynting e Thomson de 1906



Fonte: Poynting e Thomson (1906, p. 52)

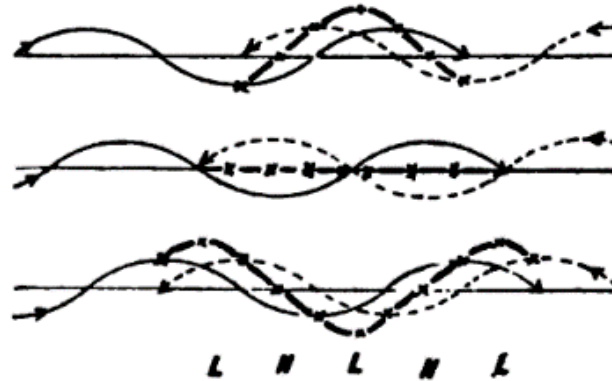
Já Duff (1909) faz uma descrição mais detalhada em seu texto quando explica ondas estacionárias. Ele diz:

Considere uma onda continua em um cabo movendo-se para a direita, enquanto um trem similar (refletido ou independente) se move para a esquerda. Haverá interferência, e o deslocamento resultante do meio em um determinado ponto e tempo será a soma dos deslocamentos individuais. Plote as posições das ondas em instantes sucessivos (digamos, em intervalos de um oitavo de um período). Se o trem de incidente é representado por uma linha de luz, o trem refletido por uma linha pontilhada e o resultante por uma linha pesada (Fig. 195), será visto que sempre há pontos de deslocamentos nulos N (ou de deslocamento mínimo se as diferenças são desiguais) em intervalos de meio comprimento de onda, onde as ondas sempre se encontram em fases opostas. A meio caminho entre esses pontos, em L, as ondas sempre se encontrarão na mesma fase e o deslocamento será o máximo. As posições anteriores são chamadas nós, os últimos loops ou antinodes. Entre os nós, o meio oscila para a frente e para trás, sendo a direção dos deslocamentos oposta nos segmentos adjacentes, de modo que a qualquer momento o cordão tem uma forma mais ou menos sinuosa, exceto em intervalos de meio período, quando passa pela região não perturbada. posição reta (...). As mesmas conclusões se aplicam a ondas longitudinais. Distúrbios desse tipo são chamados de ondas estacionárias. É evidente que, quando estes surgem da interferência de ondas incidentes e refletidas, deve haver um nó em um limite fixo ou restrito, um loop em uma taxa ou limite não forçado (DUFF, 1909, p. 307, Tradução livre).

A figura 195 que ele referencia é a seguinte (Figura 2):

Criar Educação, Criciúma, v. 11, nº2, ago/dez 2022.– PPGE – UNESC – ISSN 2317-2452

Figura 2 - Figura 195 do livro de Duff de 1909 para a explicação de ondas estacionárias



Fonte: Duff (1909, p. 307)

Conforme será possível observar na sequência deste artigo, o conceito do livro atual é fundamentado com equações que suportam as afirmações com desenhos e esquemas ilustrativos, enquanto que os livros antigos quase não trazem equações, confiando apenas na descrição verbal dos fenômenos e desenhos esquemáticos.

Observa-se na Figura 3 e Figura 4 que, no livro Spinney (1913), o capítulo tratando de ondas estacionárias utiliza de imagem, mas o resto da descrição é apenas textual. Isso se repete na maioria dos livros da época, com fórmulas sendo utilizadas esparsamente.

Criar Educação, Criciúma, v. 11, nº2, ago/dez 2022.– PPGE – UNESC – ISSN 2317-2452

Figura 3 - Página 433 do livro de Spinney de 1913 representando ondas estacionárias

**STATIONARY WAVES**

**422.** An important effect is produced by two waves of the same wave length and amplitude which are traveling in opposite

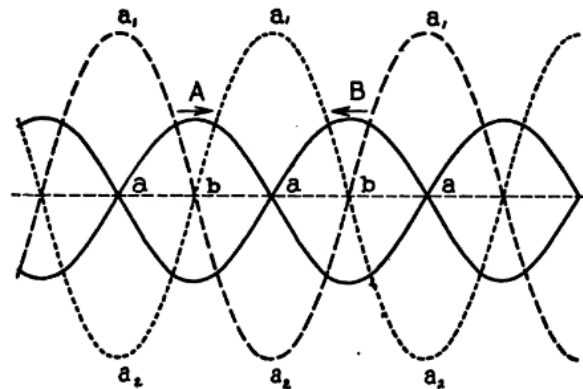


FIG. 279.

directions through the same region. The effect of such a combination of waves will be understood by reference to Figure 279. Let *A* represent a wave traveling toward the right, *B* a

Fonte: (SPINNEY, 1913, p. 433)

Figura 4 - Página 434 do livro de Spinney de 1913 explicando ondas estacionárias

Considering now the particle *b*, it will be evident that at the moment in which the conditions represented in the diagram are supposed to exist, the particle *b* will remain in its mean position. That is to say, it will be displaced neither up nor down, since the effect of the wave *A* would be to raise it onto a crest, while the effect of the wave *B* is to sink it into a trough. Under the combined influence of the two waves, the particle *b* therefore remains at rest. A moment's consideration will show that this particle is at all times at rest, since at any instant it is elevated by the one wave to exactly the same distance that it is lowered by the other. In other words, the particles *b* remain stationary at all times, while the particles *a* are displaced through amplitudes much greater than those of the individual waves. Particles lying between *a* and *b* vibrate to and fro through amplitudes which are small for those particles lying near *b*, and large for those particles lying near *a*. The dotted lines in the figure represent the stationary wave which results from the combination of the waves *A* and *B*. The stationary points *b* are called nodes, and the regions midway between the points *b* are called loops.

The conditions necessary for the production of stationary waves are :

1. The component waves must be of the same wave length.

Fonte: Spinney (1913, p. 434)

Dado, então, a definição e apresentação do conceito de Ondas Estacionárias e o modo como foram apresentadas até este período, esta pesquisa aprofunda-se no âmbito visual e como estes aspectos podem influenciar na percepção e entendimento do conteúdo aqui abordado.

## **Análise das qualidades gráficas dos livros didáticos**

Como apresentado anteriormente neste artigo, o modo como se apresenta visualmente um conteúdo influencia na forma de comunicar uma informação. Dado isto, analisa-se as diferentes formas de apresentar o tema de Ondas Estacionárias em livros didáticos dos séculos XX e XXI.

A Figura 4 dá um título ao capítulo do fenômeno a ser explicado, utilizando nele a mesma fonte (peso e estilo de um design de letra) e tamanho de caracteres que o resto do texto, porém, em caixa alta. O título é seguido de uma explicação escrita e uma imagem ilustrativa referenciando ao texto que acompanha. Na Figura 5, que possui blocos de texto continuando uma explicação, há a diferenciação apenas entre o texto normal, com as mesmas qualidades de texto da Figura 4, e o texto em negrito, para evidenciar informações. Porém, as passagens impressas com fonte normal e as com fonte em negrito têm pouca diferença entre si, sendo a qualidade supostamente contrastante pouco perceptível.

Na década de 1910, na qual as imagens em questão foram publicadas, o processo de impressão em escala mais comum era a *litografia offset*, sendo que a tinta era aplicada a uma chapa de impressão metálica, transferindo as imagens para cobertores de borracha e, então, para o substrato de impressão (PIRA INTERNATIONAL LTD., 2007). Apesar de ser o método de impressão de maior qualidade na época, o processo ainda era impreciso e recente, fazendo com que o papel (que devia ser molhado), ao receber a tinta impressa, borrar-se levemente a imagem (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, INC., 2020). Por isso, na Figura 4 e na Figura 5, é possível observar que tanto texto como imagem não possuem boa definição, ou seja, as linhas de tinta aparecem “estouradas” nas bordas, ficando grossas e borradas. Isso dificulta a leitura, pois a baixa qualidade de impressão torna

o processo de leitura mais lento e cansativo. O'Shell (2017) ainda diz que o contraste excessivo, o peso do texto preto sobre o branco do papel, torna-se incisivo em excesso, além de ser agressivo aos olhos. Essa quantidade de contraste nos olhos leva o leitor a olhar para outros pontos que não para o texto, tirando a atenção do conteúdo, não favorecendo o estudo. Na Figura 5, devido a esse problema, pode ocorrer uma dificuldade de leitura, especialmente pelo uso das palavras em negrito, decorrente da menor qualidade e definição das formas das letras e grande peso da tinta preta sobre o fundo branco.

A fonte utilizada nos textos das Figuras 4 e 5 possui serifas, leves projeções finalizando os traços de uma letra (IIDA, 2005). Fontes serifadas, segundo Poynter (2007) e Strizver (2014), são as mais indicadas para livros didáticos, devido a sua facilidade de leitura em relação aos outros estilos de fontes, como *sans serif* (sem serifa) e *script* (fac-símiles ou caligrafia). Isso ocorre, pois textos com esse tipo de fonte guiam o movimento dos olhos através da linha escrita. É possível observar também que o texto está alinhado de forma justificada apertada, no qual ele preenche a coluna, reduz o espaçamento entre as palavras para que não haja espaços perdidos, alinhando-se à direita e à esquerda dos limites definidos. Porém, o título (Figura 4) é alinhado ao centro vertical do bloco de texto (AMBROSE; HARRIS, 2007, p. 90).

Nos livros de Física atuais, a qualidade da impressão é notavelmente maior, devido às técnicas de criação da imagem (digital) e impressão serem mais precisas do que as utilizadas no início da década de 1910. O livro de Halliday, Resnick e Walker (2018), assim como a maioria dos livros didáticos do século XXI, foi impresso com a técnica de Offset atual. Essa técnica consiste de um laser ou uma matriz de LED que inscreve padrões em uma camada sensível à luz. Então, a chapa de impressão é quimicamente tratada e as partes da placa não impressas são lisas e não captam água e tinta ao passar pelo rolo molhado para umedecer a superfície. Ao imprimir, as peças a serem impressas são mais ásperas e captam tinta ao passar por um rolo encharcado de tinta. O padrão de tinta é transferido (por deslocamento) para outro cilindro rotativo revestido de borracha. O papel a ser impresso passa entre este cilindro de borracha e um outro, pressionando o papel contra o cilindro de borracha. Assim, a tinta é transferida para o papel e a imagem também é transferida sem manchar. Na

impressão em cores, esse processo é repetido em unidades de impressão adicionais, uma para cada cor primária, normalmente C, M, Y e K, Cyan, Magenta, Yellow and 'Key', em português, Ciano, Magenta, Amarelo e Preto (STEINMUELLER, GULBINS, 2008). (STEINMUELLER, GULBINS, 2008). Assim, a qualidade da imagem obtida com essa tecnologia possui boa resolução e longevidade, desde que seja usado um bom papel revestido e sem ácido e a imagem seja visualizada a uma distância correta (de leitura). O livro de Física de Halliday, Resnick e Walker (2018) seguiu esses requisitos ao ser impresso, atingindo uma qualidade visivelmente superior à do livro de Spinney (1913). Além disso, a melhor qualidade de impressão possibilita a utilização de mais elementos gráficos, representações mais detalhadas e fotografias.

A Figura 6 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2018) que é atualmente utilizado amplamente no ensino de Física em nível superior, mostra a definição (caixa azul marcada com uma estrela) e trata do tema com amplo uso de equações matemáticas, mostrando uma estratégia de ensino mais tecnicista.



Unahce  
Unidade Acadêmica  
de Humanidades,  
Ciências e Educação



Criar Educação, Criciúma, v. 11, nº2, ago/dez 2022.– PPGE – UNESC – ISSN 2317-2452

Figura 6 - Página do livro de Física de Halliday, Resnick e Walker de 2018

466 CHAPTER 16 WAVES-I

principle graphically. The outstanding feature of the resultant wave is that there are places along the string, called **nodes**, where the string never moves. Four such nodes are marked by dots in Fig. 16-17c. Halfway between adjacent nodes are **antinodes**, where the amplitude of the resultant wave is a maximum. Wave patterns such as that of Fig. 16-17c are called **standing waves** because the wave patterns do not move left or right; the locations of the maxima and minima do not change.



If two sinusoidal waves of the same amplitude and wavelength travel in *opposite* directions along a stretched string, their interference with each other produces a standing wave.

To analyze a standing wave, we represent the two waves with the equations

$$y_1(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (16-58)$$

and

$$y_2(x, t) = y_m \sin(kx + \omega t). \quad (16-59)$$

The principle of superposition gives, for the combined wave,

$$y'(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) + y_m \sin(kx + \omega t).$$

Applying the trigonometric relation of Eq. 16-50 leads to Fig. 16-18 and

$$y'(x, t) = [2y_m \sin kx] \cos \omega t. \quad (16-60)$$

This equation does not describe a traveling wave because it is not of the form of Eq. 16-17. Instead, it describes a standing wave.

The quantity  $2y_m \sin kx$  in the brackets of Eq. 16-60 can be viewed as the amplitude of oscillation of the string element that is located at position  $x$ . However, since an amplitude is always positive and  $\sin kx$  can be negative, we take the absolute value of the quantity  $2y_m \sin kx$  to be the amplitude at  $x$ .

In a traveling sinusoidal wave, the amplitude of the wave is the same for all string elements. That is not true for a standing wave, in which the amplitude *varies with position*. In the standing wave of Eq. 16-60, for example, the amplitude is zero for values of  $kx$  that give  $\sin kx = 0$ . Those values are

$$kx = n\pi, \quad \text{for } n = 0, 1, 2, \dots \quad (16-61)$$

Substituting  $k = 2\pi/\lambda$  in this equation and rearranging, we get

$$x = n \frac{\lambda}{2}, \quad \text{for } n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{nodes}), \quad (16-62)$$

as the positions of zero amplitude—the nodes—for the standing wave of Eq. 16-60. Note that adjacent nodes are separated by  $\lambda/2$ , half a wavelength.

The amplitude of the standing wave of Eq. 16-60 has a maximum value of  $2y_m$ , which occurs for values of  $kx$  that give  $|\sin kx| = 1$ . Those values are

$$\begin{aligned} kx &= \frac{1}{2}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots \\ &= (n + \frac{1}{2})\pi, \quad \text{for } n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (16-63)$$

Substituting  $k = 2\pi/\lambda$  in Eq. 16-63 and rearranging, we get

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad \text{for } n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{antinodes}), \quad (16-64)$$

as the positions of maximum amplitude—the antinodes—of the standing wave of Eq. 16-60. Antinodes are separated by  $\lambda/2$  and are halfway between nodes.

### Reflections at a Boundary

We can set up a standing wave in a stretched string by allowing a traveling wave to be reflected from the far end of the string so that the wave travels back

Displacement

$$y(x, t) = [2y_m \sin kx] \cos \omega t$$

Magnitude gives amplitude at position  $x$       Oscillating term

**Figure 16-18** The resultant wave of Eq. 16-60 is a standing wave and is due to the interference of two sinusoidal waves of the same amplitude and wavelength that travel in opposite directions.

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 466)

A diagramação do livro atual de Física possui qualidades e elementos gráficos que diferem do livro antigo. Apesar de ambos serem escritos com fontes serifadas e as caixas de texto serem justificadas, no livro atual o texto possui mais parágrafos, dividindo as ideias mais frequentemente, para apresentar suas fórmulas na Física e explicar paulatinamente como elas funcionam.

Existem informações destacadas de diferentes formas, como uso de cores, fontes diferentes do restante do texto, peso (negrito), espaçamento e ícones. Existe uma 'caixa' em cor azul e, no canto superior direito, um círculo preenchido em cor verde, que contém uma estrela vazada. Logo abaixo do círculo com estrela, dentro da caixa azul há um texto que clarifica parte do conteúdo tratado, de forma a chamar a atenção do leitor para essa informação. A caixa se destaca por ser preenchida com a cor azulada clara, enquanto o resto da página é impresso em fundo branco; a estrela soma à forma azul, por ser culturalmente interpretada e ligada à importância, organização racional e simetria pentagonal para a proporção áurea, como notado pelos pitagóricos (CIRLOT, 2013). A caixa em cor verde, abaixo, também salienta uma informação que abrange o resto das explicações do conteúdo – há o desenvolvimento detalhado sobre valores de ondas e, em destaque, a equação principal, que é usada para calcular informações ao redor do tema.

Títulos aparecem em negrito e coloridos, além de apresentar uma fonte sem serifa para ressaltar a mudança de conteúdo. Fontes sem serifa, como visto anteriormente, não são as mais indicadas para textos em livros didáticos, porém, em se tratando de títulos curtos, seu uso é justificado por não prejudicar a leitura e chamar atenção para si (WILLIAMS, 2004, p. 135).

Na versão em português (Figura 7) a página do livro com o mesmo conteúdo é apresentada de forma semelhante, porém com diagramação distinta (Figura 7). Enquanto na versão em inglês a diagramação conta com uma coluna principal e outra com informações adicionais, a página da versão em português faz o uso de apenas uma coluna, inserindo aquelas informações adicionais no corpo do texto. Desta forma, não há tanta ênfase visual desses elementos quanto na versão em inglês. Porém, estando inseridos no texto principal, são tratados como parte essencial do decorrer do conteúdo, não secundários, criando fluidez na leitura.

Figura 7 - Versão em português do livro de Halliday, Resnick e Walker

mesmos instantes  $t$ . (c) Instantâneos correspondentes para a superposição das duas ondas na mesma corda. Nos instantes  $t = 0, T/2$ , e  $T$ , a interferência é construtiva, ou seja, os picos se alinham com picos e os vales se alinham com vales. Em  $t = T/4$  e  $3T/4$ , a interferência é destrutiva, pois os picos se alinham com vales. Alguns pontos (os nós, indicados por pontos) permanecem imóveis; outros (os antinós) oscilam com amplitude máxima.



Se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionária.

Para analisar uma onda estacionária, representamos as duas ondas pelas equações

$$y_1(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (16-58)$$

$$y_2(x, t) = y_m \text{sen}(kx + \omega t). \quad (16-59)$$

De acordo com o princípio de superposição, a onda resultante é dada por

$$y'(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) + y_m \text{sen}(kx + \omega t).$$

Aplicando a identidade trigonométrica da Eq. 16-50, obtemos

$$y'(x, t) = [2y_m \text{sen } kx] \cos \omega t, \quad (16-60)$$

que também aparece na Fig. 16-18. Como se pode ver, a Eq. 16-60, que descreve uma onda estacionária, não tem a mesma forma que a Eq. 16-17, que descreve uma onda progressiva.

O fator  $2y_m \text{sen } kx$  entre colchetes na Eq. 16-60 pode ser visto como a amplitude da oscilação do elemento da corda situado na posição  $x$ . Entretanto, como uma amplitude é sempre positiva e  $\text{sen } kx$  pode ser negativo, tomamos o valor absoluto de  $2y_m \text{sen } kx$  como a amplitude da onda no ponto  $x$ .

Em uma onda senoidal progressiva, a amplitude da onda é a mesma para todos os elementos da corda. Isso não é verdade para uma onda estacionária, na qual a amplitude varia com a posição. Na onda estacionária da Eq. 16-60, por exemplo, a amplitude é zero para valores de  $kx$  tais que  $\text{sen } kx = 0$ . Esses valores são dados pela relação

$$kx = n\pi, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \quad (16-61)$$

Fazendo  $k = 2\pi/\lambda$  na Eq. (16-61) e reagrupando os termos, obtemos

$$x = n \frac{\lambda}{2}, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{nós}), \quad (16-62)$$

para as posições de amplitude zero (nós) da onda estacionária da Eq. 16-60. Note que a distância entre nós vizinhos é  $\lambda/2$ , metade do comprimento de onda.

A amplitude da onda estacionária da Eq. 16-60 tem um valor máximo de  $2y_m$ , que ocorre para valores de  $kx$  tais que  $|\text{sen } kx| = 1$ . Esses valores são dados pela relação

$$\begin{aligned} kx &= \frac{1}{2}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots \\ &= (n + \frac{1}{2})\pi, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (16-63)$$

Fazendo  $k = 2\pi/\lambda$  na Eq. 16-63 e reagrupando os termos, obtemos

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad \text{em que } n = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{antinós}), \quad (16-64)$$

para as posições de máxima amplitude (antinós) da onda estacionária da Eq. 16-60. Os antinós estão separados de  $\lambda/2$  e estão situados no ponto médio dos nós mais próximos.

$$y'(x, t) = \underbrace{[2y_m \text{sen } kx]}_{\text{Fator de amplitude}} \underbrace{\cos \omega t}_{\text{Fator oscilatório}}$$

**Figura 16-18** A onda resultante da Eq. 16-60 é uma onda estacionária, produzida pela interferência de duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda que se propagam em sentidos opostos.

### Reflexões em uma Interface

Podemos excitar uma onda estacionária em uma corda esticada fazendo com que uma onda progressiva seja refletida em uma das

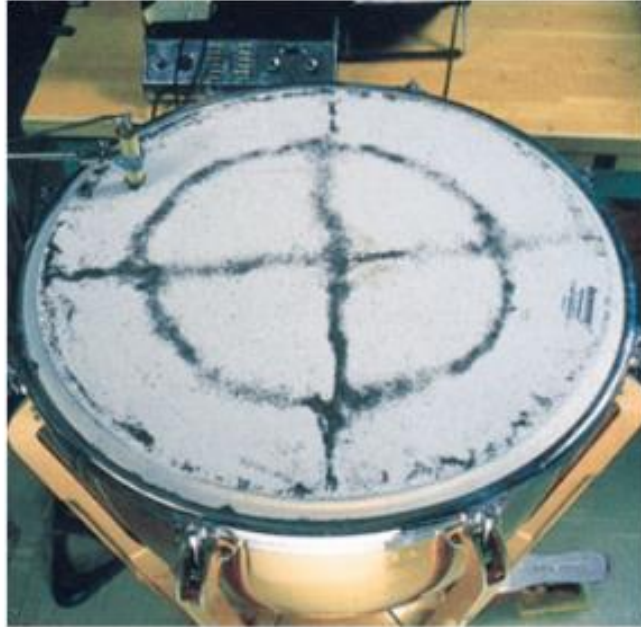
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 195)

No caso da versão em inglês, a coluna secundária, que ocupa menos espaço que a principal, mostra a figura da estrutura de uma equação da Física, explicada em texto com diferentes cores e, abaixo, sua legenda, ocupando pouco espaço e deixando certa área em branco na parte superior desta coluna, e conforme Golombisky e Hagen, (2010), deve-se valorizar o espaço vazio. No caso do livro em português, a página toda é ocupada, porém, com sobras de espaço (por exemplo, nas caixas coloridas de informações). Além disso, o espaço em branco na versão em inglês não é perdido. De acordo com Hagen e Golombisky (2017, p. 37, Tradução livre) é comum o ímpeto de preencher todo o *layout* com imagem e textos, resultando em “uma mensagem visual desordenada, desagradável e confusa. O espaço em branco não é seu inimigo”, o cérebro humano tende a colocar ênfase e importância em elementos de design cercados por espaços em branco, sendo importante para a diagramação da página. A caixa azul marcada com uma estrela também difere entre as duas versões: na versão em português, está completamente dentro da caixa, acima do texto, enquanto na versão em inglês está no canto superior direito, parcialmente fora da caixa colorida. Assim, a mais efetiva em chamar a atenção do leitor para aquela informação é a da Figura 6, pois existe maior contraste dos elementos em relação ao resto do texto. Diferenciação das cores utilizadas nas duas versões não foram consideradas, em se tratando de versões digitais, podendo haver alterações.

Nos livros antigos pesquisados, não aparecem diagramas ou tentativas de representação de ondas com mais de uma dimensão, apesar de Spinney (1913) fazer uma referência à água para tentar explicar ondas com duas dimensões.

Já o livro mais recente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2018) faz uma tentativa de mostrar uma onda bidimensional, através de fotografia de um experimento, como pode ser visto na Figura 8. Isso é feito para demonstrar tal efeito na realidade prática, não apenas na teoria. Fotografias, assim, tornaram-se mais uma ferramenta de apoio em livros didáticos. Este artifício não era possível em livros no começo do século XX, devido às restrições técnicas da época.

Figura 8 - Fotografia representando uma onda bidimensional



Courtesy Thomas D. Rossing, Northern Illinois University

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 468)

Trazer informações traduzidas em diferentes “linguagens” – escrita e visual – é uma forma de ampliar a possibilidade de entendimento pelo público leitor. Peeck (1993) afirma que juntar texto com ilustrações gráficas do conteúdo explicado no texto é benéfico para a compreensão:

É mais provável que os alunos prestem atenção às figuras, e é mais provável que as ilustrações tenham efeitos benéficos, quando o material do texto é difícil de compreender e não é facilmente entendido sem uma figura (...) ou quando os alunos não estão familiarizados com o objeto ou situação descrito no texto e, portanto, a imagem pode visualizar a situação e mostrar como o objeto se parece. (PEECK, 1993, p. 230, Tradução livre)

Na pesquisa de Hochpöchler *et al* (2013), é salientado que o processamento de texto é mais sistemático e menos dependente de outros itens, enquanto o processamento de representações gráficas é mais *ad hoc*, mais dependente de outros itens. Os autores também apontam que vários estudos demonstraram que os alunos geralmente aprendem melhor com texto e gráficos juntos do que apenas com texto. Porém, apontam que os alunos precisam possuir as estratégias de processamento necessárias para integrar informações gráficas e de texto.

Abordando a compreensão da mensagem, Lida e Guimarães (2016) afirmam que uma mensagem bem articulada, no caso em livro didático, deve ser interpretada corretamente. O repertório do receptor deve ser avaliado, tornando o conhecido implícito e não sobrecarregando o novo conhecimento a ser aprendido. Para os autores, a mensagem será compreendida se houver semântica, sintaxe e contexto, ou seja, as informações textuais e gráficas em livro de Física devem ser reconhecíveis e compreensíveis em significado, em conjunto e de acordo com o conteúdo trabalhado. Além disso, os autores salientam que o reconhecimento das imagens e formas gráficas são organizadas pelo cérebro humano, somando as partes, e lhes atribui significado, de acordo com a *Gestalt* (ROCK; PALMER, 1990).

Já Smith (1960) afirma que ilustrações em livros didáticos servem a três funções principais:

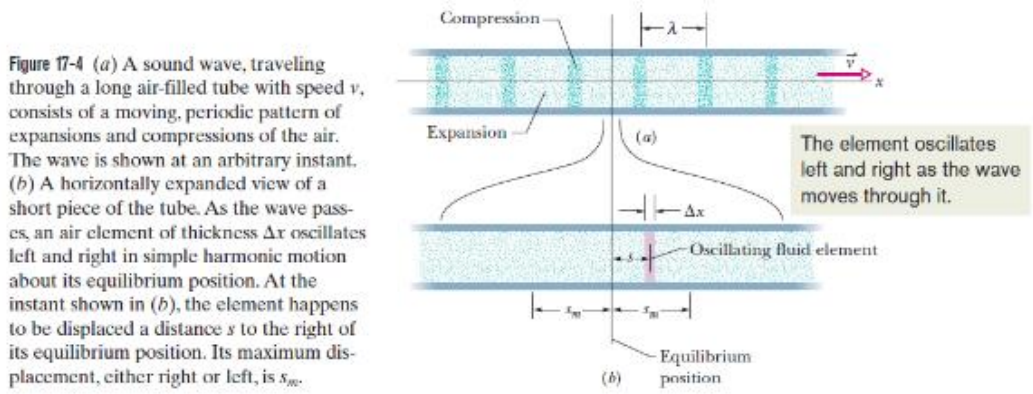
Primeiro, serve para motivar perceptivamente o leitor a atraí-lo para pegar o livro, explorá-lo e, acima de tudo, desenvolver um alto sentimento de expectativa ao virar cada página. Segundo a ilustração artística reforça perceptivamente o que é lido, para que as situações, eventos e relacionamentos descritos nas palavras sejam mais significativos e, portanto, melhor retidos. Por fim, a arte correlacionada *simbolicamente aprimora* e aprofunda o significado do material verbal e, portanto, serve para promover a organização dos materiais verbais para promover o pensamento criativo (SMITH, 1960, p. 29, Tradução livre).

Dessa forma, segundo o autor, os processos de comunicação em livros didáticos exigem que uma ilustração seja “impressionista, representativa e abstrata” (SMITH, 1960, p. 29) para organizá-los de forma eficaz. Além disso, essas ilustrações também atendem às necessidades perceptivas e artísticas do aluno e aprimoram sua compreensão do que está escrito, melhorando sua retenção de conteúdo e estimulando o desenvolvimento do pensamento criativo. Smith continua, ainda, reforçando o papel da ilustração sistematicamente aplicada aos livros didáticos na melhor compreensão da ciência, da matemática, dos valores sociais humanos e de línguas estrangeiras, pois a arte é atemporal e uma linguagem universal (SMITH, 1960, p. 47).

Para representar ondas tridimensionais em dutos, assunto muito importante com aplicações em diversas áreas, principalmente em instrumentos musicais, o autor (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2018) usa de uma visão em corte do interior do

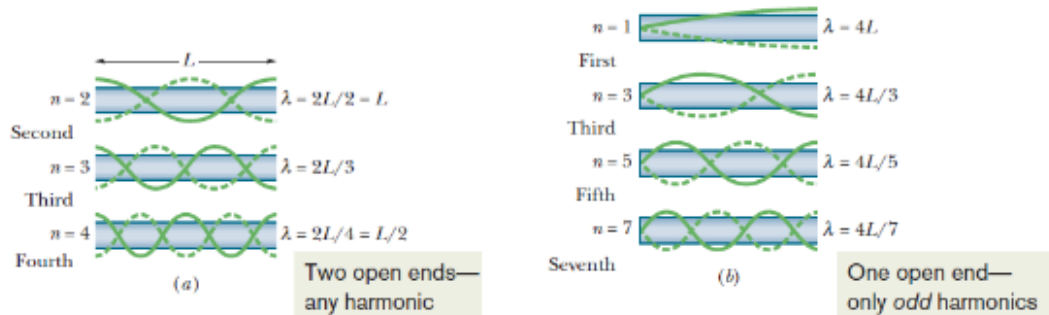
duto, representando regiões de compressão maior ou menor, como pode ser visto na Figura 9 e Figura 10. É interessante ressaltar que devido ao desafio de visualizar, o autor opta por fazer uma comparação com ondas em uma corda, utilizando superimposição de ondas em cordas nos dutos. Este método é muito comum em livros didáticos, pois a onda em uma corda é mais fácil de visualizar, mas pode levar a equívocos de entendimento se não for bem explicado.

Figura 9 - Representação de uma onda tridimensional do livro de Halliday, Resnick e Walker de 2018



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 483)

Figura 10 - Representação de uma onda tridimensional do livro de Halliday, Resnick e Walker de 2018

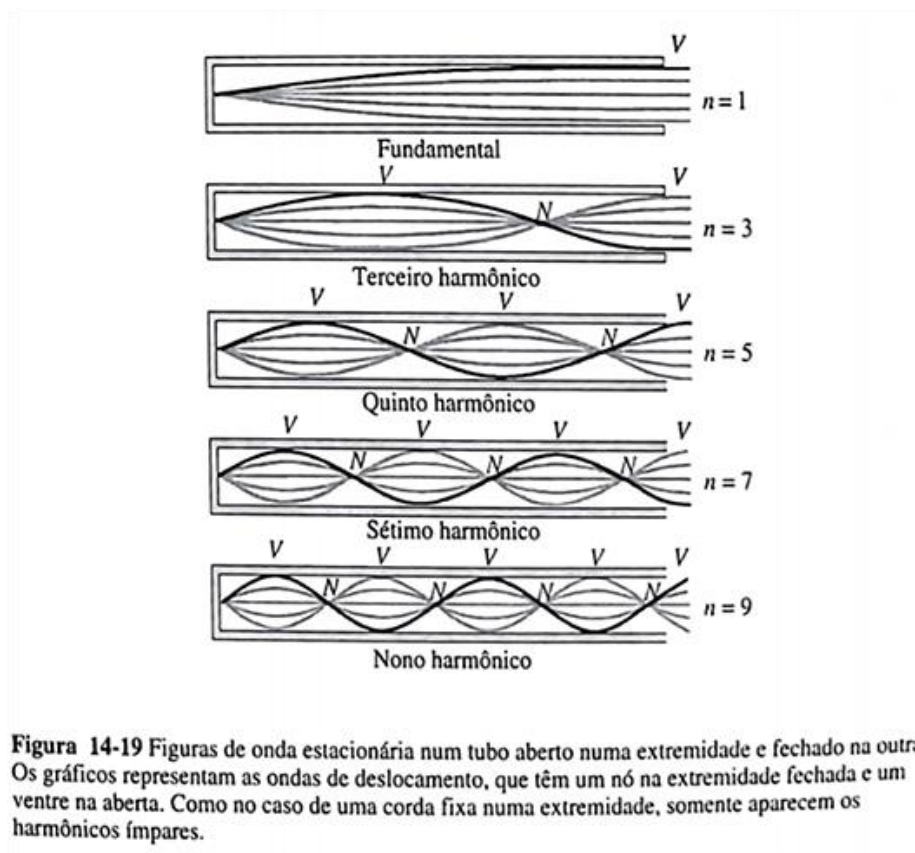


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 494)

Alguns livros optam por ir direto à representação de ondas em dutos como cordas, como por exemplo a Figura 11 do livro Tipler (1995). O perigo desse tipo de ação é que o equívoco de entendimento (IRWIN; WYNNE, 2004) pode se fixar na

mente do aluno que esse seria realmente a forma de disposição da oscilação dentro do duto, e não entender a existência de regiões de densidade do ar maior e menor. Várias outras áreas da Física utilizam desse tipo de analogias quando a representação não é fácil, principalmente em Física moderna, e cuidado deve ser tomado para reforçar ao estudante que se trata apenas de uma analogia para minimizar equívocos de entendimento.

Figura 11 - Figura de ondas estacionárias em dutos do livro de Tipler (1995)



Fonte: (TIPLER, 1995, p. 153)

Estas limitações de visualização podem ser sobrepujadas com exposições interativas de ciência, vivenciando e manipulando o objeto real, demonstrando a importância dos museus de ciência como suporte ao aprendizado. Livros didáticos são limitados a figuras estáticas, enquanto que experimentos reais e animações possuem um poder diferente de transposição didática.

## Discussões e Conclusões

Neste artigo apresentamos uma comparação de livros didáticos antigos com um livro moderno, nas versões em português e inglês. Uma das diferenças mais claras deve-se ao avanço na qualidade de impressão, mas as teorias de Ergonomia Cognitiva (IIDA; BUARQUE, 2016, IIDA, 2005) também tiveram seu impacto. Percebe-se que as técnicas modernas de diagramação são aproveitadas para aplicar as teorias de Ergonomia Cognitiva de forma a otimizar a aquisição de conhecimento, reforçando as ideias mais importantes e conduzindo o leitor de uma forma mais agradável e atrativa, como explicado por Golombisky e Hagen (2010), para citar um exemplo.

Quanto aos textos antigos, fica implícito que as tentativas incipientes de criar leitabilidade (STRIZVER, 2014), com uso de caixa alta e negrito, eram mais baseadas na arbitrariedade do comum uso e sempre limitado pelas restrições tecnológicas.

Já no conteúdo, a maior diferença percebida é na forma de apresentação. Os livros antigos utilizam muito texto explicativo e quase nenhuma equação ou outros recursos imagéticos. O fenômeno está sendo explicado textualmente, de forma que se pode ver a tentativa do autor de fazer com que o leitor entenda o fenômeno visualizando o que acontece com sua imaginação.

Já nos livros atuais as equações são o foco temático, evaporando praticamente o fenômeno físico e utilizando-se de artifícios gráficos. As explicações textuais são um amparo ao entendimento do que as equações estão tentando reproduzir. Muito provavelmente este enfoque tem a ver com uma formação mais tecnicista, em que se pretende que essas equações possam depois ser aplicadas em trabalhos da área de, por exemplo, cursos de graduação em engenharias e ciências exatas. No entanto, a grande diferença dos livros de nossa contemporaneidade com os livros do início do século XX é que estes preocupavam-se mais com uma análise descritiva da Física presente, compreendendo mais o fenômeno físico subjacente, que, necessariamente, construindo uma descrição quase matemática e alienadora da compreensão do processo.

Vemos, assim, que a medida que o conhecimento no que concerne organização de informações conforme o melhor entendimento humano se desenvolve,

o modo de ilustrar um conteúdo acompanha esse passo, objetivando ao fim que seja possível a construção do conhecimento dos alunos. O livro didático é um material de apoio que acompanha a história da educação, entender e estudar suas potencialidades auxilia na construção de aperfeiçoamento e melhorias.

## Referências

AVISON, J. **The World of Physics**. [s.l.] Nelson, 2014.

BADEN-POWELL, B. F. S. et al. (ed.). **Knowledge**. Lansing, US: Wyman & Sons, 1896.

BITTENCOURT, C. M. F. Autores e editores de compêndios e livros de leitura (1810-1910). **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 3, p. 475–491, 2004.

BOVEY, H. T. **A Treatise on Hydraulics**. Harrisburg, US: Wiley, 1895.

BRADLEY, W. H. et al. **The American Journal of Science**. Springfield, US: J.D. & E.S. Dana, 1899.

BRASIL. **PNLD 2018: física – guia de livros didáticos – ensino médio**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017.

BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Report of the fourteenth meeting of the British Association for the advancement of science**. London: J. Murray, 1845.

BUNGUM, B. Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in Norwegian physics textbooks. **Nordic Studies in Science Education**, v. 4, n. 2, p. 132–141, 1970.

CHITTLEBOROUGH, G. D.; TREAGUST, D. F. Why Models are Advantageous to Learning Science. **Educación Química**, v. 20, n. 1, p. 12–17, 2009.

CHOPPIN, A. O historiador e o livro escolar. **História da Educação**, v. 6, n. 11, p. 5–24, 2002.

CIRLOT, J. E. **A Dictionary of Symbols**. [s.l.] Dover Publications, 2013.

DIMOPOULOS, K.; KOULALIDIS, V.; SKLAVENITI, S. Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. **Research in Science Education**, v. 33, n. 2, p. 189–216, 2003.

DUFF, A. W. (ed.). **A text-book of physics**. Philadelphia: P. Blakiston's & Co., 1909.

DUFF, A. W. (ed.). **A text-book of physics**. Philadelphia: Blakiston's Son & Co., 1912.

FREITAS, N. K.; RODRIGUES, M. H. O livro didático ao longo do tempo: a forma do conteúdo. **DAPesquisa**, v. 3, n. 5, p. 300–307, 31 dez. 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.udesc.br/index.php/dapesquisa/article/view/15378>>.

GARCIA, N. M. D. Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino. **Educar em Revista**, n. 44, p. 145–163, 2012.

GOLOMBISKY, K.; HAGEN, R. **White space is not your enemy: a beginner's guide to communicating visually through graphic, web and multimedia design**. Burlington MA: Focal Press, 2010.

GOUVÊA, G. Currículo, livro didático e ensino de física. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2008.

HAGEN, R.; GOLOMBISKY, K. **White space is not your enemy**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2017.

HALL, E. H. **Elementary lessons in physics: mechanics (including hydrostatics) and light**. New York: Henry Holt & Co., 1894.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **FUNDAMENTOS DE FÍSICA - Vol. 4 - óptica e física moderna**. p. 405, 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed ed. Rio de janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of Physics**. Danvers, MA: Wiley, 2018.

HARRISON, A. G. How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? **Research in Science Education**, v. 31, n. 3, p. 401–435, 2001.

HENTSCHEL, K. The Culture of Visual Representations in Spectroscopic Education and Laboratory Instruction. **Physics in Perspective**, v. 1, n. 3, p. 282–327, 1999.

HOCHPÖCHLER, U. et al. Dynamics of mental model construction from text and graphics. **European Journal of Psychology of Education**, v. 28, n. 4, p. 1105–1126, 2013.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

IIDA, I.; BUARQUE, L. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Blucher, 2016.

IRWIN, A.; WYNNE, B. (ed.). **Understanding science: The public reconstruction**

**of science and technology.** New York: Cambridge University Press, 2004.

JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE, F. I. **Journal of the Franklin Institute.** Los Angeles, US: Pergamon Press, 1826.

MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, J.; BORKO, H. Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In: GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (Ed.). **Examining Pedagogical Content Knowledge.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 95–132.

MORAES, J. U. P. O livro didático de física e o ensino de física: suas relações e origens. **Scientia Plena**, v. 7, n. 9, p. 1–4, 2011.

MOREIRA, M. A.; AXT, R. O livro didático como veículo de ênfases curriculares no ensino de física. **Revista de Ensino de Física**, v. 8, n. 1, p. 33–48, 1986.

NUMANOGLU, G.; BAYIR, S. Evaluation of information and communication technology textbooks according to principles of visual design. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 1, n. 1, p. 2140–2144, 2009.

PASTRO, S. M. G.; CONTIERO, D. T. Uma análise sobre o ensino de história e o livro didático. **História & Ensino**, v. 2, n. 0, p. 35, 1996.

PIETROCOLA, M. et al. As ilhas de racionalidade e o saber significativo: O ensino de ciências através de projetos. **Ensaio - Pesquisa em Educação Científica**, v. 02, n. 01, p. 88–105, 2000.

POYNTER, D. **Self-publishing manual: How to write, print and sell your own book.** Santa Barbara, CA: Para Publishing, 2007.

POYNTING, J. H.; THOMSON, J. J. **A text-book of physics: sound.** London: C. Griffin, 1906.

ROCK, I.; PALMER, S. The legacy of gestalt psychology. **Scientific America**, v. 263, n. 6, p. 84–91, 1990.

RUSSELL, J. S. **Report on Waves: Made to the Meetings of the British Association in 1842-43.** Cambridge, US: Harvard University, 1845.

SMITH, A.; HALL, E. H. **The teaching of chemistry and physics in the secondary school.** New York: Longmans, Green, and Co., 1902.

SMITH, K. U. The scientific principles of textbook design and illustration. **Audiovisual communication review**, v. 8, n. 1, p. 27–49, 1960.

SPINNEY, L. B. **A text-book of physics.** Philadelphia: P. Blakiston's & Co., 1913.

STEWART, R. W. **An elementary text-book of physics: Sound.** London: Charles

Griffin & Company, 1909.

**STRIZVER, I. Type Rules! The designers guide to professional typography.**  
Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2014.

THOMPSON, R. B.; QUATE, C. F. Acoustic parametric oscillations in LiNbO 3.  
**Applied Physics Letters**, v. 16, n. 8, p. 295–298, 15 abr. 1970.

TIPLER, P. A. **Física: Volume 2 Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 3a. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos Editora S.A., 1995.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. Analogias e Resolução de Problemas no Ensino de Física. p. 8–12, 2010.

Recebido setembro de 2021

Aceito setembro de 2022.