

DEZ ANOS DEPOIS: UM ESTUDO DE CASO COM LIVROS DIDÁTICOS ENVOLVENDO FÍSICA ACÚSTICA

TEN YEARS LATER: A CASE STUDY WITH TEXTBOOKS INVOLVING ACOUSTIC PHYSICS

Jacson Santos Azevedo¹, Francisco Nairon Monteiro Júnior²

1-2Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). jacsonsantosaazevedo@gmail.com, naironjr67@gmail.com

A análise de livros didáticos é uma realidade consolidada nas pesquisas em ensino de Ciências no Brasil. Em tais análises, considerando os livros didáticos de Física, encontram-se uma quantidade considerável de estudos e pesquisas englobando diversos conteúdos da física, como astronomia, termodinâmica, física moderna e eletromagnetismo, dentre outros. Pretendemos neste artigo dar prosseguimento ao trabalho de investigação iniciado no final dos anos 1990 por Monteiro Júnior e Medeiros (1998; 1999) concernente à avaliação de como o conceito de timbre é apresentado em livros didáticos de física, além de outros conteúdos relacionados ao estudo da acústica. Em seguida, Monteiro Júnior e Carvalho (2011) voltaram a dar continuidade à mesma pesquisa, entretanto, com a adição de um novo parâmetro, a saber, o estudo das paisagens sonoras, conceito este desenvolvido pelo músico e educador canadense Raymond Murray Schafer. Portanto, alinhados com essa tradição, transcorridos dez anos desde a última pesquisa mencionada, analisamos três coleções aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático 2018 (PNLD 2018), componente curricular Física. Para tal, adotamos como recurso metodológico um estudo de caso, utilizando as mesmas categorias da última pesquisa, mas lançando mão de mais uma, relacionada à acústica musical, denominada 'Escala de igual temperamento'. Os resultados obtidos apontam para algumas melhorias nos livros analisados, muito embora antigas lacunas ainda persistam.

Palavras-chave: Livros didáticos. Ensino de Física. Física Acústica. Paisagens Sonoras. Acústica Musical

The analysis of textbooks is a consolidated reality in science teaching research in Brazil. In such analyses, considering the Physics textbooks, there is a considerable amount of studies and researches encompassing different themes such as Astronomy, Thermodynamics, Modern Physics, Electromagnetism, among others. In this article, we intend to continue the research work started in the late 1990s by Monteiro Júnior and Medeiros (1998, 1999) concerning the evaluation of textbooks and the concept of timbre, in addition to other contents related to the field of acoustics. Next, Monteiro Júnior and Carvalho (2011) continued the same research, however, with the addition of a new parameter, namely the study of soundscapes, a concept developed by Canadian musician and educator Raymond Schafer. Therefore, in line with this tradition, ten years after the last survey mentioned, we analyzed three collections approved by the National Textbook Plan 2018 (PNLD 2018), a Physics curriculum component. To this end, we adopted a case study as a methodological resource using the same categories as the last research, but using another category related to Musical Acoustics called 'Equal Temperament Scale'.

Keywords: Textbooks. Teaching Physics. Soundscapes. Musical Acoustics

INTRODUÇÃO

Considerando a centralidade que os professores de Ciências/Física dão ao livro didático em suas aulas, sendo, em muitas situações, seu único recurso didático-pedagógico, acaba por elevar nossa investigação para um patamar de considerável responsabilidade, uma vez que visamos aperfeiçoar tais instrumentos instrucionais. Tal exclusividade no livro didático também é dada pelos estudantes que, em geral, se apoiam em tais instrumentos de ensino-aprendizagem de modo dogmático, pois o assumem como detentor de verdades inquestionáveis, cabendo ao estudante reproduzi-las sem criticidade (BALDOW; MONTEIRO JÚNIOR, 2010). Nesse sentido, almejamos fornecer mais subsídios aos professores e professoras de Física na escolha do livro didático a ser adotado nas escolas, bem como auxiliar os autores e as autoras na melhoria de seus materiais e também como forma de contribuir na análise feita pelos especialistas e avaliadores do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD).

Um quadro geral muito interessante no campo da análise e do papel para o ensino de ciências desempenhado pelos livros didáticos é esboçado pela pesquisa de Occelli e Valeiras (2013). As autoras tecem um panorama formativo dos livros didáticos, dos quais podemos elencar: seu uso instrucional responsável pela difusão de concepções deformadas da ciência, de transportar os interesses mercadológicos das grandes editoras e servir de reprodutor ideológico do aparato governamental (SCHIVANI et al., 2020). Noutras palavras, os livros didáticos estão muito longe da suposta neutralidade dos saberes científicos, deslocando consigo aspectos políticos, sociais e culturais inerentes a produção do conhecimento científico de determinado momento histórico. Em relação à metodologia, a pesquisa documental adotada pelas pesquisadoras, de cunho qualitativo e estatístico, se valeu da varredura de publicações em treze periódicos internacionais que enveredassem pelo estudo de livros didáticos de ciências. Entre os resultados apontados pela investigação de 127 publicações em três idiomas (espanhol, inglês e português), compactados em três grupos de artigos e nove categorias de análise, Occelli e Valeiras (2013) salientam o tratamento reducionista e descontextualizado de conceitos científicos, omissões nos processos de construção da ciência ao fornecer resultados prontos, fortalecimento de uma perspectiva indutivista da Ciência por meio da ênfase na experimentação, o apagamento do papel das mulheres na Ciência, exercícios que não exploram os conhecimentos prévios e alternativos dos estudantes, uma excessiva centralização no uso do livro didático na sala de aula, a pouca presença de artigos focados na avaliação de livros de textos a partir de critérios/parâmetros e, por último, um predomínio de metodologias investigativas híbridas, qualitativas e quantitativas integradas, nos estudos com textos didáticos.

O preocupante cenário parcialmente desnudado por Occelli e Valeiras (2013) pode servir de aporte significativo para as pesquisas sobre livros de ciências aqui no Brasil, pesquisas estas que vêm se consolidando cada vez mais enquanto referencial para o aprimoramento da educação em ciências no país. No entanto, a análise de livros didáticos é uma preocupação internacional. Um exemplo intrigante aparece em nosso vizinho sulamericano Chile. Nos livros de física chilenos, conforme relata Babe et al. (2017), ocorre um fenômeno curioso de “empobrecimento matemático” dos conteúdos. Segundo os pesquisadores, este problema, além de reconhecer o papel das desigualdades sócio-econômicas dos estudantes da rede pública, é determinante para o baixo rendimento das escolas públicas chilenas nos principais exames de avaliação da educação, como, por exemplo, o PISA. Os pesquisadores suspeitam que este fenômeno seja uma realidade em outros países.

Nessa perspectiva de investigação envolvendo distorções conceituais em livros didáticos, bem como deformações a respeito da natureza da ciência e a forte presença de biografias científicas descontextualizadas, o ensino de Física no Brasil é agraciado por diversos estudos que permeiam tópicos relacionados à física térmica, astronomia, acústica, física moderna, dentre outros. Dito isto, na sequência vamos apresentar alguns destes estudos, visando inserir o leitor nos meandros de algumas produções nacionais em textos didáticos de física.

Baldow e Monteiro Júnior (2010) fornecem um panorama preocupante da história da termodinâmica apresentada em textos didáticos, partir da análise de cinco livros didáticos de física, largamente usados no ensino médio. Segundo os autores, o desenvolvimento da termodinâmica se deu paralelamente à expansão da

revolução industrial inglesa, inicialmente buscando suprir as necessidades práticas e técnicas dos industriais, na ampliação de sua produtividade e, como efeito, de seus lucros, englobando disputas de concepções teóricas a respeito da natureza do calor, como, por exemplo, a teoria do calórico, assim como no surgimento das primeiras máquinas térmicas. No entanto, fazendo uso de vinte e sete categorias de investigação, os pesquisadores encontraram omissões de personagens históricos fulcrais como químico escocês Joseph Black (1728-1799) e sua contribuição na elaboração da teoria do calórico, da máquina de Thomas Savery (1650-1715) e da máquina de Thomas Newcomen (1663-1729), ignorando detalhes a respeito de seu ciclo de funcionamento, além do apagamento da contribuição que a revolução industrial deu ao desenvolvimento da termodinâmica. Diante disso, os autores reforçam o cuidado de um uso equivocado da história da ciência meramente biográfica e pouco contextualizada que os livros didáticos fortalecem.

Da história da termodinâmica passemos à óptica, mais especificamente, à abordagem dada à construção histórica da magnitude velocidade da luz e das experiências realizadas para sua determinação. Azevedo e Monteiro Júnior (2020) conduzem uma pesquisa interessante quando pensada a partir do viés histórico dado pelas coleções de Física aprovadas no PNLD 2018. Analisando apenas quatro coleções, os autores elaboraram, lançando mão da perspectiva histórica ressaltada pelo PNLD 2018 (BRASIL, 2017), cinco critérios/parâmetros que subsidiaram a avaliação dos livros selecionados. Nota-se um enfoque excessivo, dado pelos livros didáticos, no continente europeu como único polo de produção de conhecimento em relação, por exemplo, aos contributos dos cientistas árabes no entendimento da natureza finita da propagação da luz e, sendo assim, da ausência de outras civilizações e povos não europeus nesta seara. Os autores elencam ou a ausência ou a superficialidade, nos livros didáticos, de uma reconstrução histórica dos debates envolvendo a finitude ou não da velocidade da luz apresentada pelos gregos antigos, também trilhando pelas explicações subsequentes associadas ao fenômeno da visão. Por fim, com a intenção de aperfeiçoar a temática em estudo, nos futuros livros didáticos, os autores salientam, embora o quantitativo de coleções avaliadas seja reduzido, o quadro significativo tecido pela pesquisa que pode ser tomado como alicerce norteador por docentes na escolha do livro didático a ser adotado pela escola.

Lima et al. (2017) descrevem um panorama com erros historiográficos e uma presença perigosa de elementos do positivismo científico no que tange a tópicos da física quântica nos quatorze livros aprovados no PNLEM 2015. Para tal, o marco teórico-metodológico adotado é a análise bakhtiniana da linguagem dos enunciados e, portanto, inspirados na filosofia da linguagem do filósofo russo Mikhail Bakhtin (1895-1975). Dentre os resultados encontrados, os autores sinalizam uma presença excessiva da velha física quântica (átomo de Bohr, radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico, natureza dual da luz, etc.) a partir de um recorte histórico muito semelhante nos textos didáticos analisados e fielmente extraídos dos textos básicos utilizados no ensino superior. Outro ponto ressaltado foi o já mencionado positivismo nos enunciados dos livros. Os tópicos são apresentados como independentes e neutros, não contendo as conexões existentes, ou seja, as ligações que o conhecimento científico constrói no surgimento do novo conhecimento, fortalecendo uma concepção deformada do trabalho científico (GIL PEREZ et al., 2001), uma história da ciência linear e uma visão simplista do papel da experimentação na física (GIL-PEREZ, 1993). Em suas conclusões, os autores responsabilizam os resquícios da influência da ditadura militar (1964-1985) ainda presente em nossa educação,

pelo caráter positivista e tecnicista dado ao recorte histórico dos tópicos da física quântica, além da formação deficiente da maioria dos autores dos textos analisados.

Nunes e Queirós (2020) analisaram o tratamento dado à teoria da relatividade especial. Os autores fazem uso do catálogo do PNLD 2018 para selecionar as obras que abordam a relatividade restrita para estudar a maneira como a natureza da ciência é apresentada. Munidos de sete categorias analíticas, sugerem uma revisão dos livros investigados por reproduzirem uma concepção do conhecimento científico a-histórica, descontextualizada e individualista. Em meio às críticas e recomendações elencadas, não responsabilizam somente os autores dos livros didáticos e sinalizam o excesso de conteúdo a ser compactado e o tempo exíguo de reelaboração das obras, pensando nos futuros PNLD, como fatores determinantes a serem considerados em pesquisas documentais dessa magnitude.

Alinhados com esta tradição, nossa investigação busca analisar as apresentações textuais da acústica, sua interdisciplinaridade e problematização, a título de exemplos, com as nuances dos estudos de paisagens sonoras, desenvolvidos por Schafer (2001), bem como a interface entre física, história, matemática e música no estudo das escalas cromáticas (MONTEIRO JÚNIOR et al., 2003).

ACÚSTICA EM LIVROS DIDÁTICOS: UM PANORAMA INTRODUTÓRIO

Mesmo tratando com certa cautela o uso exclusivo que os professores fazem do livro didático como único recurso didático a ser adotado na classe (OCCELLI; VALEIRAS, 2013; MOREIRA, 2017), compactuamos com a perspectiva de Monteiro Júnior e Medeiros (1999, p. 2) segundo a qual o livro de texto é um contributo para formação de opinião de educadores e educandos sobre a ciência, caracterizando-se, com efeito, em um importante instrumento ideológico, responsável por alimentar concepções distorcidas da ciência, bem como transportar ideais positivistas e metafísicos nocivos à epistemologia da produção científica (CHAUI, 1991; OCCELLI; VALEIRAS, 2013). Diamentralmente opostos a tais ideais e sustentados em uma concepção construtivista da ciência (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1999; CHAUI, 2000; GIL PEREZ et al., 2001; GIL PEREZ et al., 2005; MOURA, 2014; NUNES; QUEIRÓS, 2020), objetivamos dar continuidade à pesquisa iniciada por Monteiro Júnior e Medeiros (1998; 1999) e Monteiro Júnior e Carvalho (2011), no que tange ao tratamento dado pelos livros didáticos a alguns aspectos fulcrais da acústica e, assim, situar nossa investigação como prosseguimento desses marcos teórico-metodológicos.

Monteiro Júnior e Medeiros (1998; 1999) buscaram focar seus estudos na abordagem conceitual dada ao timbre pelos livros didáticos, bem como delimitando sua pesquisa a um caráter qualitativo (MONTEIRO JÚNIOR, 2012, p. 42-58). Admitindo o papel ideológico que os livros exercem sobre os docentes e na construção de sua concepção de ciência, os autores repousaram sua pesquisa em aspectos históricos e epistemológicos, distorções do conceito de timbre e, por último, no tratamento contextualizado desse conceito fisiológico do som com outros, quais sejam, altura e intensidade. Quanto à seleção dos livros para análise, os autores reuniram um montante de dezenove livros didáticos, de ciências, 8ª série do ensino fundamental, e de física, do 2º ano do ensino médio, mais utilizados nas escolas do Recife/PE. Os resultados apontaram um quadro preocupante no que tange o conceito de timbre, assim como do ensino da acústica. Muitos livros não

explicavam satisfatoriamente o conceito de timbre, sua distinção a partir da fonte sonora emissora e integrada às séries harmônicas. A perspectiva histórica que abarca as disputas em torno da teoria do som a partir do século XVII foram totalmente negligenciadas, assim como os aparatos históricos relacionados ao registro do som. Recursos gráficos pouco presentes e pouco explorados, consistindo num reducionismo histórico e em distorções conceituais.

Passada mais de uma década, Monteiro Júnior e Carvalho (2011) prosseguem com uma nova análise, desta feita a partir de livros didáticos aprovados no PNLEM 2006. Os autores, além de respaldados em categorias formuladas a partir de critérios evocados pela política de avaliação do PNLD 2006, incrementam uma nova categoria que abarca a incorporação de paisagens sonoras nos textos didáticos. Os resultados das análises indicaram poucas mudanças no tratamento dado à acústica em relação às investigações iniciais (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1998; 1999). Metade das coleções avaliadas demonstraram um descaso em relação à história e filosofia da ciência, por não apresentar o desenvolvimento de aparatos históricos associados ao registro do som ou por inseri-la de maneira mutilada ou meramente factual. Além do mais, em nenhuma das coleções investigadas houve uso dos estudos de paisagens sonoras no estudo das relações CTSA. No tocante a precisão conceitual, a noção de timbre, tomado da analogia entre instrumentos musicais, é fornecida de maneira disfigurada pela ausência do papel ressonador dos outros elementos do instrumento musical, responsável por variar a amplitude e a intensidade sonora produzida. Ainda conforme os autores, concepções equivocadas são reproduzidas por determinadas figuras e ilustrações que reforçam, por exemplo, a ideia de som como uma onda mecânica unidimensional. Contudo, os problemas evocados por essa análise de livros de textos acabam por fornecer subsídios para novas investidas. Nesta perspectiva, pretendemos, como apresentado no presente artigo, continuar com as investigações elencadas anteriormente, entretanto, implementando mais um ingrediente na análise dos textos didáticos aprovados no PNLD 2018, qual seja, a interdisciplinaridade desses textos com a acústica musical a partir do estudo da escala de doze semitons e de seu temperamento, como apresentado a seguir.

A METODOLOGIA E AS CATEGORIAS DE ANÁLISE

A metodologia de investigação adotada foi a análise documental qualitativa por meio de um estudo de caso (LÜDKE; ANDRÉ, 1986; GIL, 2002), na qual resolvemos delimitar nossa pesquisa apenas a três coleções das doze aprovadas pelo PNLD 2018 (BRASIL, 2017, p. 33-96), que tratam da acústica, e lançando mão das categorias definidas pelo trabalho de Monteiro Júnior e Carvalho (2011), acrescentando uma nova categoria mais vinculada à acústica musical, trazendo assim a relação entre matemática e música, os recortes históricos relacionados à teoria do som, sua articulação com a música e o estudo das paisagens sonoras.

Explicitar melhor nossa metodologia calcada no estudo de caso, conforme Gil (2002), é buscar minimizar pelo menos dois empecilhos característicos de tais estudos, a saber, a perda de generalidade das conclusões da investigação e o pouco rigor presente nos procedimentos da análise proposta. O primeiro empecilho é incontornável, já que avaliamos somente três das doze coleções aprovadas no PNLD 2018 e, sendo assim, não podemos estender nosso julgamento para as outras nove coleções não consultadas. Schivani

et al. (2020) recentemente trouxeram à luz algumas considerações nesta perspectiva. Os autores apontam deficiências nas pesquisas em avaliações de livros de Física por estas serem essencialmente locais, limitando-se a avaliar coleções didáticas adotadas em determinados municípios ou estados do país, serem investigações que selecionam poucas coleções das aprovadas na edição mais recente do PNLD e, neste caso, nossa pesquisa encaixa-se perfeitamente, o que acarretaria no sério risco de excluir as coleções mais dominantes nas escolas de um estado ou região do país. De acordo com a pesquisa, Schivani et al. (2020) recomendam que as investigações com textos didáticos levem em conta as coleções hegemonicamente presentes nas escolas de determinado estado ou região do Brasil quando se almeja traçar um panorama mais conciso e condizente com aquele âmbito analisado. Contudo, nossa pesquisa é válida uma vez que intencionamos tecer um quadro parcial do último PNLD que almeja subsidiar docentes, estudantes e autores de livros didáticos com materiais instrucionais fidedignos com a construção dos fundamentos teórico-experimentais do som e seus desdobramentos, integrados com os aspectos fisiológicos inerentes a tal temática, bem como sua contextualização com o conceito de paisagens sonoras e a interface entre física e música que os estudos das escalas igualmente temperadas evocam. Além disso, uma das coleções avaliadas neste artigo, intitulada “Física” (BONJORNO et al., 2016), além de liderar o ranking das mais consumidas no país nos últimos dois PNLD (2015 e 2018), foi dominante nas escolas de todas regiões do Brasil, permitindo tecer importantes comentários sobre uma obra que abrange um público tão amplo. A coleção “Conexão com a Física” de Martini et al. (2016) ocupou posição de destaque nas regiões Norte e Nordeste, ficando entre as três mais indicadas, e foi a mais escolhida no estado do Amapá. Para concluir nossa amostra, a coleção “Física em Contextos” de Pietrocola et al. (2016) permaneceu em posições irrisórias nas cinco regiões do país, entretanto, foi bem aceita em estados como Bahia, Goiás, Santa Catarina, Pará, São Paulo e Rio de Janeiro, sendo, neste último, o livro didático mais adotado nas escolas, conforme dados gráficos e tabelados fornecidos pelo levantamento feito por Schivani et al. (2020, p. 5-7). Apesar das pertinentes considerações apontadas por Schivani et al. (2020), recorreremos a critérios/parâmetros extraídos do PNLD 2018, elaborados por especialistas e alicerçados pelos principais documentos nacionais dos quais podemos citar o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA) e a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), bem como sustentados em categorias de análise pavimentadas nas duas pesquisas acima apresentadas, pioneiras na análise da acústica.

Monteiro Júnior e Carvalho (2011) alicerçaram-se em sete critérios avaliativos presentes no PNLEM 2006 para construir suas categorias de análise, a saber: ‘Contextualização do conteúdo e relação CTSA’, ‘Uso da história e da filosofia’ e ‘Precisão conceitual’. Além dessas, uma outra categoria conceitual foi considerada pelos autores e denominada de ‘Paisagens sonoras’, repousada nos estudos de melhorias dos ambientes sonoros, rurais ou urbanos, respaldados nos critérios atualizados, indicados na ficha de avaliação do PNLD 2018 e enunciados nos cinco blocos avaliativos (BRASIL, 2017, p. 97-110), conforme compilado na Tabela 1.

A primeira categoria se ancora nos indicadores 2.5, 2.8, 2.11 e 3.3 extraídos dos blocos avaliativos 2 e 3 da ficha que os pareceristas fazem uso para analisar a coleção de física submetida. A prioridade nessa categoria é a contextualização iniciada pelos conhecimentos prévios dos estudantes, partindo de suas

concepções alternativas e comunicando estas com o saber aceito e convencionado pela comunidade científica, como, a título de exemplo, o equívoco entre volume e altura de um som entendidos no dia a dia como congruentes. A categoria também deve zelar pela presença das relações CTSA nos textos, dos impactos que a produção técnico-científica sobre a sociedade e o meio ambiente, bem como dos contextos reais e cotidianos de professores e educandos por meio da escuta, da música ou do uso de instrumentos musicais, da interface com a cultura popular, da presença da tecnologia na confecção de novos sons, entre outros, contribuindo dessa forma para uma formação mais crítica e menos distanciada do mundo real.

A categoria de análise denominada ‘Uso da história e da filosofia’ teve aporte nos indicadores 2.10, 3.5 e 3.9, repousada pelos blocos avaliativos 2 e 3. Nesta categoria almejamos uma história do desenvolvimento da teoria do som ou de seus aparatos menos factual e biográfica, em consonância com as disputas em torno da solução do problema da corda vibrante, ocorridas ao longo dos séculos XVII e XVIII (WHELLER; CRUMMETT, 1986; MONTEIRO JÚNIOR et al., 2003) ou mesmo em diálogo interdisciplinar com a construção dos fundamentos da música ocidental (BROMBERG, 2010; GRILLO; PEREZ, 2016), ou seja, recortes históricos que salientem o desenvolvimento da acústica, desvelando sua interface com a música, não linear e sem as convicções positivistas indutoras da infalibilidade do saber científico, corroborando com Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 147) quando apontam “que a história não deve se resumir a inserções factuais, mas, ao invés disto, considerar os contextos cultural, histórico e moral nos desenvolvimentos das teorias científicas”. Moura (2014) contribui para este debate ao fornecer subsídios, respaldados em outros trabalhos nesta temática, que problematizam a comunicação entre a natureza da ciência e o ensino, dando visibilidade à mutabilidade do saber científico, à rejeição de um ‘método científico’ algorítmico e universal, à perspectiva distorcida que supervaloriza a experimentação como única ‘juíza’ de teorias científicas, ao reconhecimento do papel jogado pelo meio sócio-político e cultural nas produções científicas e, por fim, à presença da subjetividade do cientista em sua obra. Apesar disso, ainda segundo Moura (2014), não existe nesse campo de pesquisa uma homogeneidade que tomem como definitivas estes pontos enunciados, cabendo ainda muitas discussões.

Tabela 1: Categorias repousadas nos indicadores atuais do PNLD 2018.

INDICADORES SELECIONADOS	CATEGORIAS DE ANÁLISE
<p>Indicador 2.5: Introduce/apresenta tópicos ou assuntos levando em consideração concepções alternativas ou experiências socioculturais típicas de estudantes da educação básica.</p> <p>Indicador 2.8: Utiliza a contextualização e a interdisciplinaridade como elementos de organização didático-pedagógica de assuntos e desenvolvimento de atividades.</p> <p>Indicador 2.11: Propõe discussões sobre as relações ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, possibilitando a formação de um cidadão capaz de apreciar e se posicionar criticamente diante das contribuições e dos impactos da ciência e tecnologia sobre a vida social e individual.</p> <p>Indicador 3.3: Desenvolve os conteúdos e apresenta as atividades de forma contextualizada, considerando tanto a dimensão histórica da produção de conhecimento, quanto a dimensão vivencial dos estudantes no que se refere à preparação para a vida e para o mundo do trabalho.</p>	<p>Contextualização do conteúdo e relações CTSA</p>
<p>Indicador 2.10: Contempla a História da Ciência articulada aos assuntos</p>	

<p>desenvolvidos, evitando reduzi-la a cronologias, biografias de cientistas ou a descobertas isoladas.</p> <p>Indicador 3.5: Apresenta os conteúdos da Física considerando a sua contextualização pertinente a aspectos sociais, históricos, culturais, econômicos ou do cotidiano, evitando a utilização de contextualizações artificiais.</p> <p>Indicador 3.9: Utiliza abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos consonantes com vertentes epistemológicas contemporâneas.</p>	<p>Uso da história e filosofia da ciência</p>
<p>Indicador 3.1: Apresenta conceitos, informações e procedimentos de modo correto, contextualizado e atualizado.</p> <p>Indicador 3.2: Utiliza de modo correto, contextualizado e atualizado os conceitos e informações em exercícios, atividades, ilustrações ou imagens.</p>	<p>Precisão conceitual</p>

Nesta dimensão histórica, Grillo e Perez (2016) problematizam um panorama que muito contribui para compreensão do desenvolvimento da música ocidental, indo da antiguidade clássica, por meio dos estudos da escola pitagórica, até algumas vertentes musicais da atualidade, sem descarrilhar numa narrativa linear da história, mas evidenciando recortes que dialogam com os fatores sociais, políticos e econômicos de tais movimentos. No movimento denominado Classicismo, compreendido entre a segunda metade do século XVIII até a primeira metade do século XIX, o texto relaciona as contribuições musicais de Beethoven (1770-1827) e seu entusiasmo político momentâneo com a ascensão de Napoleão Bonaparte (1769-1821) no início do século XIX, bem como da colaboração de Joseph Fourier (1768-1830) na campanha expansionista de Napoleão no Egito em 1798, enfatizando que os estudos de Fourier foram determinantes para o entendimento do problema das cordas vibrantes, muito embora sua pretensão original fosse o estudo da propagação do calor (WHELLER; CRUMMETT, 1986). Portanto, Beethoven e Fourier, um ligado à música e o outro à ciência, forneceram contributos para a compreensão de ambas, influenciando e influenciados pelo mesmo momento histórico conturbado da primeira metade do século XIX na Europa (GRILLO; PEREZ, 2014). Ademais, o movimento classicista também se caracterizou pelo aprimoramento dos instrumentos musicais e dos corais nas igrejas, de maior investimento por parte da nobreza nos estudos musicais visando proporcionar mais estilo as festas patrocinadas e também do avanço da música instrumental. Outras conexões histórico-contextuais são tecidas pela pesquisa envolvendo outros movimentos artísticos, científicos, assim como sócio-políticos que, em nossa visão, são recursos que podem compor o acervo dos livros didáticos de Física no tema em discussão.

Quanto à última categoria da Tabela 1, sustentada pelos indicadores 3.1 e 3.2 do PNLD 2018, buscamos identificar a precisão dada pelos livros didáticos às qualidades fisiológicas do som, quais sejam, altura, intensidade e timbre, suas articulações com imagens e gráficos primando por uma maior precisão conceitual, assim como uma abordagem que evite promover deformações. Segundo Monteiro Júnior e Carvalho (2011), dentre as coleções investigadas, imprecisões conceituais envolvendo o detalhamento de nosso aparelho auditivo, o conceito de timbre na distinção de instrumentos musicais e as escalas musicais foram identificadas ao tratar da duplicação da frequência no intervalo da oitava.

Outras duas categorias conceituais também compõem nosso acervo avaliativo. Trilhando mais uma vez o caminho traçado pela pesquisa de Monteiro Júnior e Carvalho (2011), incorporamos a categoria ‘Paisagens sonoras’ que, de acordo com os autores, foi inserida pela contextualização suscitada com os estudos das

paisagens sonoras tais como sua integração com ambientes sonoros diversos, urbanos ou rurais, espaços públicos ou privados, sons produzidos por equipamentos eletroacústicos ou não, sonoridade com alta ou baixa fidelidade, e, portanto, inserções que se comunicam com as problematizações decorrentes da poluição sonora do campo advinda com o suposto progresso (SCHAFER, 2001, p. 71-83).

Ainda compondo a base teórico-metodológica desta pesquisa, introduzimos uma nova categoria de análise em nossa investigação, a saber, ‘Escala de igual temperamento’, na qual buscamos analisar se os livros didáticos, ao tratarem da relação entre física e música, evidenciam que a escala de 13 notas e 12 semitons, igualmente temperados, é construída a partir de uma progressão geométrica de , onde os doze intervalos de semitom (distância entre duas notas consecutivas, ou seja, o menor intervalo entre as notas de uma escala) são todos iguais e constituem uma progressão geométrica de razão (MONTEIRO JÚNIOR E CARVALHO, 2011). Na medida que a frequência cresce em um intervalo de uma oitava (13 notas consecutivas), as notas passam do grave para o agudo, muito embora a altura seja a mesma por esta não guardar uma linearidade com a frequência. Isto explicaria o fato do gráfico da Figura 1 não ser uma reta. Vejamos as contas:

$$\rightarrow \rightarrow \rightarrow .$$

Sintetizando, temos as cinco categorias: Contextualização e relações CTSA, Uso da história e filosofia da ciência, Precisão conceitual, Paisagens sonoras e Escala de igual temperamento.

ANÁLISE DA COLEÇÃO “CONEXÕES COM A FÍSICA”

No que tange a ‘Contextualizações e as relações CTSA’, o texto analisado traz o funcionamento do aparelho de ultrassonografia, o uso de instrumentos musicais de corda e sopro, por mais que não aprofunde os vínculos com o estudo das escalas cromáticas, também contando com exemplificações do espectro sonoro de alguns animais e o risco oriundo da poluição sonora dos ambientes. A HFC não é evidenciada no texto que expõe brevemente alguns cientistas sem, contudo, problematizar, por exemplo, com o desenvolvimento de aparatos históricos de registro do som (MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001). A respeito da precisão conceitual do conteúdo, encontramos boas investidas no tratamento dado a velocidade de propagação do som e suas diferentes intensidades, o formalismo matemático que o entendimento físico do Efeito Doppler exige e também as qualidades fisiológicas do som, visibilizando as concepções espontâneas ligadas a altura do som e frequência ou mesmo energia/intensidade sonora e volume, além de recursos gráficos elucidativos da relação entre o nível de intensidade sonora (NIS) e a frequência de uma onda sonora inserida em um contexto delimitado pela escala decibelimétrica (logarítmica) e os limites da sensibilidade auditiva humana (p. 268). Uma atividade experimental (p. 275) fornece subsídios indiretos para a introdução do estudo de paisagens sonoras, principalmente lo-fi e urbana, por incentivar que os estudantes busquem melhorias dos ambientes sonoros, almejando uma qualidade acústica dos espaços e bem-estar social, apesar do texto didático não evocar os distúrbios psicológicos advindos de sons tênues indesejáveis ou ruídos que pode acometer os indivíduos que ficam expostos a eles a longo prazo, de acordo com Schafer (2001, p. 367-368). Esse trecho do texto pode ser aperfeiçoado nas futuras edições e adquirir mais elementos característicos das paisagens sonoras, contribuindo para sua divulgação e inserção nos espaços escolares.

Entretanto, o conceito de timbre é apresentado de modo incompleto, mesmo quando sinalizam corretamente o papel ressonante das partes de um instrumento musical:

Diferentes instrumentos musicais podem tocar a mesma nota, com a mesma frequência e a mesma intensidade. Mesmo assim sabemos distinguir quando essa nota é tocada em um violão ou um violino. Isso acontece porque, embora o músico toque apenas as cordas do violão, todas as outras partes do instrumento também vibram (a madeira, as outras cordas, o ar dentro do violão), produzindo ondas sonoras. A superposição de todas essas ondas emitidas pelo instrumento define uma qualidade fisiológica do som chamada timbre. O violino e o violão têm timbres diferentes. (MARTINI et al., 2016, p. 265. Grifo dos autores).

Moreira (2013) também corrobora com o papel ressonador das partes de um violão na caracterização do timbre do instrumento. Mesmo assim os autores não elencam explicitamente ao timbre de um instrumento musical a existência de séries harmônicas anexas e do harmônico fundamental da nota (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1998; PEREZ BAPTISTA, 2013a) ou mesmo da função de outras variáveis responsáveis por definir o timbre de um instrumento tais como ataque, decaimento e transientes (MONTEIRO JÚNIOR, 2012), apesar de ressaltarem a “superposição de todas as ondas emitidas pelo instrumento”. Ainda nesta qualidade fisiológica, os autores exibem uma correta ilustração de curvas de timbre exibida na Figura 3. Nela não se observam perfis de timbre inexistentes ou, em outras palavras, perfis impossíveis de serem gerados por alguma fonte sonora, como, por exemplo, é possível identificar na coleção de Pietrocola et al. (2016) formatos “dente-de-serra” como suposta curva de timbre para determinados instrumentos musicais. Esta passagem será objeto de análise mais à frente.

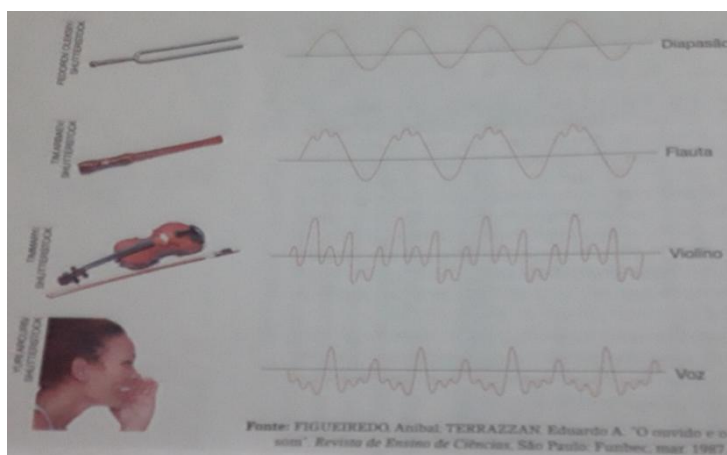


Figura 3: Curvas de timbre compatíveis com suas respectivas fontes sonoras.

Ainda podemos apontar, pensando em futuros aprimoramentos, a concepção equivocada que a Figura 4 pode transmitir ao educador ou ao estudante, a saber, que o som se desloca em uma única direção, embora o fragmento adjacente à figura destaque que uma onda sonora é tridimensional e longitudinal. Problema análogo é encontrado na coleção de Bonjorno et al. (2016) conforme veremos mais adiante.

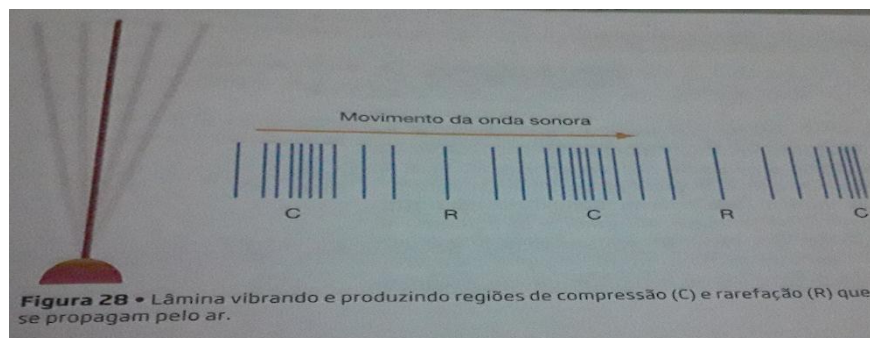


Figura 4: “Onda sonora” unidimensional.

A categoria ‘Escala de igual temperamento’, ao nosso ver, careceu de aprofundamentos, mesmo quando os autores inserem no texto uma tabela com algumas frequências e notas da escala natural (p. 265), citem o intervalo da oitava nesta escala ou mesmo discorra sobre aspectos relacionados a instrumentos de corda ou sopro. Apesar disso não houve um maior detalhamento da acústica musical ou alguma menção da divisão do intervalo da oitava em iguais semitons e, muito menos, que enveredasse pela Matemática e as progressões geométricas da escala cromática, segundo Perez Baptista (2013b) e Monteiro Júnior et al. (2003). A Tabela 3 compacta nossa avaliação do livro de texto de Martini et al. (2016), onde ‘Parcialmente’ significada que a categoria foi parcialmente contemplada.

Tabela 3: Avaliação do texto de Martini et al. (2016).

Contextualização e relações CTSA	Uso da história e filosofia	Precisão conceitual	Paisagens sonoras	Escala de igual temperamento
Sim	Não	Parcialmente	Parcialmente	Não

ANÁLISE DA COLEÇÃO “FÍSICA”

O livro de Bonjorno et al. (2016) dedica a unidade 4 ao estudo das ondas, o qual é dividido em três capítulos: os capítulos 14, 15 e 16. No capítulo 14, os autores apresentam o estudo introdutório das ondas, classificação das ondas, velocidade, diferenciação entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. No capítulo 15 tratam dos fenômenos ondulatórios, tais como reflexão, refração, difração, polarização, interferência e ressonância. Por último, no capítulo 16, objeto da presente análise, apresentam o estudo específico das ondas sonoras, qualidades do som, introdução às escalas musicais, bem como o estudo das cordas e tubos sonoros, além de um estudo sobre a audição humana. Numa perspectiva geral, o capítulo 16 é bem ilustrado e traz interessantes atividades concernentes ao estudo do som, além de um texto introdutório que reivindica a redução de ruídos produzidos por motores, eletrodomésticos, dentre outros, para melhoria da qualidade de vida (p. 240), contando com dados estatísticos que traçam um panorama da deficiência auditiva no Brasil e da importância de uma educação inclusiva para os surdos (p. 249), sendo assim, um texto articulado com as relações CTSA.

Com respeito ao uso da HFC, não notamos no capítulo em análise aspectos que dialogasse com aparatos históricos de registros de vibrações, da história da música ou das disputas travadas nos séculos XVII e XVIII sobre o problema das cordas vibrantes, o qual foi crucial para o desenvolvimento da harmonia

moderna no ocidente. Muito embora o livro apresente o estudo das cordas e dos tubos sonoros, não faz referência às contribuições de August Kundt (1839-1894) e Franz Melde (1832-1901) nos estudos destes aparatos, nem tampouco que se tratam de reconstruções históricas.

A respeito da precisão conceitual, encontramos algumas imprecisões que mereceriam ser revistas. No tópico 1, ao tratar da vibração de uma lâmina, afirma que tal vibração produz som que se propaga em todas as direções. Contudo na figura, ilustra apenas a vibração unidimensional e apenas no sentido da esquerda para a direita, o que pode gerar dificuldade no entendimento por parte dos estudantes, conforme mostra a Figura 5. É preciso dizer ainda que a vibração de uma lâmina pode ou não produzir som. Se pegarmos, por exemplo, uma lâmina de serra de aço e prendermos uma de suas extremidades, deixando-a vibrar livremente em quase a totalidade de sua extensão, não ouviremos som algum, apesar de haver propagação de vibração através do ar. Isso se dá porque, nestas condições, a frequência de vibração da lâmina estará abaixo da menor frequência audível. Tratar-se-ia de uma onda mecânica, mas não de uma onda sonora, pois sua frequência não se situará entre 20 Hz e 20 kHz. Contudo, se formos, gradativamente, diminuindo o comprimento útil da lâmina, em algum momento, vibrará com uma frequência para a qual o ouvido humano é sensível e, a partir deste momento, o fenômeno sonoro ocorrerá.

Quando a lâmina se desloca no sentido contrário, tudo ocorre simetricamente, comprimindo o ar à sua esquerda e tornando rarefeita a região à sua direita.

O fenômeno se repete a cada ciclo do movimento da lâmina, muitas vezes a cada segundo. Como resultado, essas regiões sucessivas de compressão e rarefação do ar, ao se propagarem em todas as direções pelo espaço ao redor, distinguem o som produzido pela lâmina oscilando. A lâmina possui um modo natural de vibração, caracterizado pelo som emitido por ela ao ser tangida.

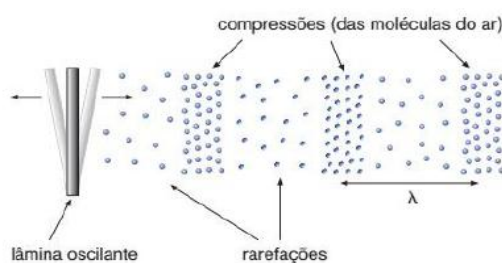


Figura 5: Excerto do texto Bonjorno et al. (2016).

No segundo tópico, o texto trata das qualidades (fisiológicas) do som, quais sejam altura, intensidade e timbre. Na parte referente à altura de um som, relaciona acertadamente com a frequência enquanto grandeza preponderante na determinação fisiológica da altura de um som. Contudo, afirma que a voz masculina se situa entre 100 Hz e 200 Hz, enquanto que a feminina entre 200 Hz e 400 Hz (p. 244), o que nos leva a concluir que, em ambos os casos, alcançam apenas a extensão de uma oitava, o que não está de acordo com os manuais de referência. Segundo Costa et al. (2006), a extensão vocal normal pode variar entre uma e quatro oitavas e meia, o que difere do dito presente no livro. Neste artigo, as autoras apresentam um quadro das extensões vocais, o qual mostra as extensões e tessituras vocais das vozes masculinas e femininas, onde é possível notar que, em todos os casos, do baixo à soprano, todas as extensões alcançam, pelo menos, duas oitavas. Ainda neste tópico, os autores afirmam que a guitarra elétrica emite som agudo (p. 244), quando na verdade sua tessitura vai do , corda mais grave vibrando solta, até um pouco além do , no décimo segundo traste da primeira corda, indo, portanto, do grave ao agudo.

No tópico referente ao estudo do timbre, os autores relacionam acertadamente diferentes timbres a séries harmônicas distintas, sobrepostas ao som fundamental. Contudo afirmam que os harmônicos não são perfeitamente audíveis pelo fato de suas intensidades serem menores do que a do som fundamental. Entretanto, o treino torna possível notar a presença do segundo, terceiro, e até outros mais superiores. Podemos, por exemplo, lembrar uma técnica de afinação do violão, a qual se dá por meio dos harmônicos naturais, se valendo, para tanto, da percepção da presença destes harmônicos, sobrepostos ao som fundamental. Ainda neste tópico, a ilustração (p. 245) mostra dois gráficos (curvas de timbre do violino e do piano) que, equivocadamente, representam ondas sonoras produzidas por um violino e um piano, quando na verdade não existe instrumentos musicais que produzam curvas com esses perfis (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1998). Assim como o perfil “dente-de-serra”, também encontrado no texto de Pietrocola et al. (2016, p. 246), tais “curvas de timbre” não passa de uma abstração matemática, não sendo possível reproduzi-lo por nenhuma fonte sonora conhecida. Quer dizer, existe uma série de Fourier que, nas contas, descreva este perfil de onda, contudo, nenhum instrumento musical ou qualquer outra fonte sonora é capaz de emitir um timbre com tais características.

No tópico seguinte, referente à escala musical, os autores afirmam que as notas musicais foram escolhidas, em parte, pela sensibilidade e seletividade da audição humana, pois não é qualquer frequência sonora que nos agrada. Na verdade, o processo histórico que resultou no estabelecimento da escala de igual temperamento é complexo e envolveu muito aspectos, merecendo um tratamento detalhado e que tem sido até hoje objeto de pesquisa. Contudo, um aspecto que jogou papel fundamental foi, de fato, o questionamento que remonta, inclusive, aos gregos, qual seja: o porquê de algumas relações entre sons serem agradáveis e outras não. Não é a frequência ser agradável ou não, como aponta o livro, mas a relação entre duas frequências (ROEDERER, 1998). Tal estudo, que se desenvolveu principalmente nos séculos XVIII e XIX, com a gênese e a evolução da mecânica dos meios contínuos, impulsionada pela busca de uma representação matemática para a vibração de uma corda (WHELLER; CRUMMETT, 1986) pode revelar que o desenvolvimento de tal ciência esteve intimamente ligado à busca de uma explicação lógica para os princípios da harmonia musical, bem como ao estabelecimento de uma base matemática para o problema da corda vibrante, sendo esta a fonte sonora de grande parte dos instrumentos musicais melódicos da época, estando a família do violino em destaque nesse cenário. O desenrolar desse caso histórico culminou com o estabelecimento das séries de Fourier como estruturante matemático na representação de sistemas oscilantes, simples e complexos, constituindo-se num dos grandes referenciais da Física Clássica e num dos mais fundamentais e poderosos teoremas da Física-Matemática, principalmente por conta da sua simplicidade e aplicabilidade.

No último século, o esforço por entender mais profundamente as bases da harmonia, transpassou o universo das Ciências Físicas, da Fisiologia e da Psicologia, levando ao estabelecimento de uma nova ciência, centrada na interface entre estímulo físico e resposta neurofisiológica, que é a Psicoacústica. Nesta perspectiva, o timbre é a qualidade Psicofisiológica do sistema auditivo que nos permite distinguir dois sons complexos de mesma magnitude e com a mesma frequência fundamental, mas que possam diferir em uma ou mais características físicas, como série harmônica, espectro sonoro, ou outras de caráter temporal tais como o ataque e o decaimento (BARROS; DUBOC, 2013).

A partir desta análise, podemos aquilatar o caráter multidimensional do conceito de timbre. Sua conceituação deve contemplar, obviamente, todos esses detalhes, uma vez que todos influenciam o resultado do som de um instrumento. Qualquer tentativa de conceituação que se limite apenas à série harmônica de um instrumento musical é reducionista, muito embora constitua-se num bom começo e deve estar presente em livros didáticos de Física, desde que isto fique claro (PEREZ BAPTISTA, 2013a). Isto é particularmente importante, pois muitos livros didáticos reduzem o citado conceito a fim de torná-lo mais ‘didático’ e, com isto, acabam por distorcê-lo. Além da série harmônica, outras características do som são também importantes na caracterização do timbre de uma fonte sonora, tais como ataque, corpo, decaimento e transientes. O ataque é a forma como o som se manifesta inicialmente, até alcançar uma certa estabilidade. Por exemplo, podemos produzir diferentes ataques numa corda sonora, se a corda for dedilhada como num violão, percutida como acontece quando batemos com uma haste de madeira na corda de um berimbau ou quando o martelo põe a corda de um piano a vibrar, ou perturbada com um arco tal como acontece com um violino. Em cada um desses casos, a corda é posta a vibrar de uma forma diferente, o que resulta em ataques que modificam o timbre do som produzido. Após esse movimento inicial, a corda passa a vibrar com uma certa regularidade ao que se chama corpo. O decaimento é a parte final do som e que caracteriza a forma como o som encerra. O decaimento pode ser lento ou rápido, dependendo da dinâmica do sistema e das características de amortecimento. O som pode possuir transientes que são sons, geralmente de frequências mais agudas, que ocorrem apenas durante algum tempo e cessam antes do decaimento. Tais transientes podem ser ruídos que aparecem repentinamente no ataque e que enriquecem o espectro do som, caracterizando-o enquanto suave ou metálico, por exemplo.

Na sequência da análise, a respeito dos estudos de paisagens sonoras e educação sonora, não encontramos no livro nenhum uso de tal arcabouço na construção de consciências auditivas nem no sentido de construção de consciência política no cuidar da qualidade dos ambientes acústicos. Não há nenhuma análise das potencialidades da Acústica Física na formação de consciências auditivas, agregando valor por meio da análise quantitativa, que permite comparações por meio das diversas variáveis com que se pode analisar os ambientes acústicos. No tratamento dado à questão da poluição sonora, o livro apenas alerta para os danos que podem ser causados por sons intensos, dada a poluição sonora, também sinalizando para os prejuízos a saúde mental e física, responsáveis até por mudanças de comportamento do indivíduo exposto, oriundas de níveis sonoros abusivos e as possíveis reflexões em torno dessa problemática (p. 246-247). Já a categoria ‘Escala de igual temperamento’, uma seção (p. 253) muito interessante envereda pelo estudo da escala cromática, conectando Física e Música e fazendo uso de um violão na exemplificação, dando destaque a razão que caracteriza as frequências na escala em voga, muito embora não evidencie a existência de uma progressão geométrica com as frequências sucessivas dessa escala (PEREZ BAPTISTA, 2013b). A Tabela 4 sintetiza nossa análise do livro didático de Bonjorno et al. (2016).

Tabela 4: Avaliação do texto de Bonjorno et al. (2016).

Contextualização e relações CTSA	Uso da história e filosofia	Precisão conceitual	Paisagens sonoras	Escala de igual temperamento
Sim	Não	Sim	Não	Sim

ANÁLISE DA COLEÇÃO “FÍSICA EM CONTEXTOS”

A HFC tem papel de destaque nessa coleção (PIETROCOLA et al., 2016, capítulos 12 e 13). Uma contextualização histórica de aparatos de registros sonoros é dedicada pelos autores (p. 273-274). Nela o fonautógrafo de Martinville (1817-1879), elaborado em 1860, é exibido e tem seu funcionamento explicado, também contando com detalhes do fonógrafo de Thomas Edison (1847-1931) que permitia a reprodução de sons, bem como o gramofone de Emile Berliner (1851-1929) (MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001). Este último dispositivo permitia registrar sons em discos de zinco cuja superfície de contato com a agulha continha cera que, na sequência, era imersa em uma solução ácida responsável por preservar a gravação. Ainda nesta perspectiva histórica, a ciência da música é discutida no texto didático em um quadro exclusivo denominado “Entre sons e sensações” (p. 276-277), construindo uma narrativa desde a antiguidade clássica com a contribuição de Arquitas de Tarento (430-350 a.C.) que já relacionava sons graves e agudos a movimentos lentos e rápidos, ou seja, em certa medida aproxima-se de nossa concepção atual da acústica, calcada em sons graves ou agudos com suas frequências. Também o compositor e músico italiano Zarlino (1517-1590) resgatava, no século XVI, os ensinamentos dos gregos antigos e seu “maniqueísmo” que a música podia incitar, bem como o lado mais humanista de Descartes (1596-1650) ao tratar dessa temática por meio de alguns fragmentos de sua obra “Compêndio de Música” (1618) em que é possível reconhecer traços mais afetivos e ligados aos sentidos do que seu difundido mecanicismo lógico-matemático do mundo natural.

Se, em uma mão, temos um quadro interessante envolvendo a categoria ‘Uso da história e filosofia’, em outra mão, os autores não se apropriaram da análise da escala de igual temperamento, a não ser uma citação sobre intervalos de oitava (p. 267) que, diga-se de passagem, nem de longe contempla esta categoria de análise, ao não considerar o diálogo com progressões geométricas. No que diz respeito aos estudos de paisagens sonoras, não identificamos nenhuma problematização que enveredasse por este caminho, ou mesmo que tentasse unir música com os estudos das paisagens sonoras sob uma ótica schafneriana, que fomentasse a educação musical em jovens por meio de exercícios de sensibilização da escuta, almejando uma despoluição sonora dos espaços urbanos ou mesmo sobre o uso equivocado de fones de ouvido, muito popular nesses grupos, formando consciências auditivas.

A ‘Precisão conceitual’ foi muito bem trilhada, principalmente na apresentação do conceito de timbre, mesmo reconhecendo o aperfeiçoamento de algumas passagens do livro didático. Realmente, em nossa concepção, o tratamento dado pelos autores às qualidades fisiológicas do som são precisas e contextualizadas, dedicando uma subseção inteira a tal tópico, a qual engloba as grandezas altura, intensidade e timbre. Por meio de bons recursos gráficos, como a Figura 12.4a e a Figura 12.4b (p. 246), é possível apreender corretamente o conceito de timbre como a superposição de harmônicos a partir de uma frequência fundamental (tom puro), mesmo sem mencionar explicitamente as séries harmônicas de Fourier (1768-1830), muito embora o timbre ainda dependa de outros elementos, tais como ataque e transientes.

O texto didático nos brinda com contextualizações interessantes. Descrevem com precisão o funcionamento do nosso aparelho auditivo, muito embora haja um descompasso entre a razão de amplificação

que ocorre no ouvido médio, onde o livro apresenta a quantidade 22, enquanto que saberes de referência apresentam a valores entre 34,71 e 82,77. Este quesito não retira o brilho da contextualização fornecida pelo livro, mas é possível alinhar esses dados e contribuir para sua melhoria nas próximas edições. Ademais, também notamos uma presença simplificada da "curva dos Sones". O audiograma do livro (p. 242) é uma boa aproximação da "curva dos Sones", a título de comparação, com Figura 2 da pesquisa de Monteiro Júnior e Medeiros (1999, p. 7). O limiar da percepção e da dor demonstra um interessante tratamento fisiológico do som, articulando no texto intensidade física com sensibilidade auditiva humana, assim como fornecendo uma tabela contextualizada na escala decibel (p. 243). Além disso, o texto dos autores não abdica dos aspectos físicos tais como nível de intensidade sonora (NIS) e potência sonora e, sendo assim, evidenciando uma boa precisão conceitual. Em outra passagem, nosso complexo aparato vocal é elucidado pelo livro didático de Pietrocola et al. (2016, p. 261). Para tanto, os autores desnudam a compreensão dos órgãos essenciais relacionados com a produção da voz humana, indo muito além do papel das pregas vocais. Por exemplo, o timbre da voz humana é demarcado por órgãos como boca, faringe, cavidade nasal e caixa torácica, sendo também responsáveis pela amplificação da voz.

No âmbito da acústica musical, o texto fornece uma clivagem interdisciplinar ao pormenorizar o papel do violão, assim como seu processo de afinação, mas carece de aprimoramentos. Sugerimos aos autores adentrar no processo de ressonância de um som provocado pelo violão (p. 258) por se tratar de um instrumento musical muito popular e presente tanto na vida escolar quanto acadêmica dos estudantes. Realmente, o texto poderia fornecer detalhes do instrumento e do seu processo de amplificação do som (MONTEIRO JÚNIOR et al., 2003, p. 9-12). As cordas do violão ficam presas entre o cavalete e as tarraxas, esta última responsável por tracionar as cordas. Por sua vez, o cavalete é preso ao rastilho e também ao tampo superior da caixa do violão. Sendo assim, ao vibrar uma corda do violão, o cavalete também vibra transmitindo essa vibração para caixa de ressonância por meio do tampo que, conseqüentemente, oscila o ar no interior da caixa, resultando na amplificação do som. Exortamos ainda que este processo ocorre dentro de uma determinada faixa/espectro de frequências na qual o fenômeno da ressonância ocorre em cadeia (cordas-cavalete-tampo-caixa-ar) ou, de acordo com Moreira (2013), como um conjunto de ressoadores de Helmholtz, sendo este último um aparato histórico desenvolvido pelo físico e médico alemão Helmholtz (1821-1894) para compreender a vibração do ar em seu interior analogamente a um sistema massa-mola. Este dispositivo foi fulcral para a apreensão da frequência fundamental de um som musical e seus harmônicos, no qual a massa de ar situada no gargalo desempenha a mesma função da massa no sistema massa-mola, enquanto que o ar na câmara interior do ressoador atua como uma "mola" uma vez que o ar pode ser comprimido (MATAR; WELTI, 2009; MOREIRA, 2013). Diante do exposto, compilamos na Tabela 5 nossa avaliação do texto de Pietrocola et al. (2016).

Tabela 5: Resultado da avaliação do material de Pietrocola et al. (2016).

Contextualização e relações CTSA	Uso da história e filosofia	Precisão conceitual	Paisagens sonoras	Escala de igual temperamento
Sim	Sim	Sim	Não	Não

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com respeito à categoria ‘Precisão conceitual’, notamos uma melhoria nos textos analisados em relação aos dois estudos anteriores. Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 143), por exemplo, das quatro coleções pesquisadas, somente uma contemplava satisfatoriamente este critério. Por outro lado, em nosso estudo de caso, duas das três coleções pesquisadas forneceram descrições conceituais sem deformações significativas, principalmente no tratamento dado ao conceito de timbre e sua correspondência com a superposição de harmônicos à frequência fundamental, apesar de reconhecer o papel de outras variáveis na constituição do timbre de um som tais como ataque, decaimento e transientes. Pietrocola et al. (2016), em particular, tem uma seção devotada a cinco variáveis muito presentes no estudo da acústica musical: duração, intensidade, timbre, ataque e altura. Tais conceitos são apresentados sem distorções e, quando possível, associados a concepções alternativas, como, por exemplo, entre volume e altura de um som, já manifestada aqui. O conceito de timbre é muito bem explorado na seção 2 (p. 263), contando com o auxílio de vários gráficos da intensidade em função dos harmônicos na emissão da nota Lá de 440 Hz. É possível observar corretamente que o gráfico do diapasão na emissão da nota Lá permanece no 1º harmônico (tom puro), mas com alta intensidade, enquanto que a mesma nota produzida por um piano ou um trombone fornece uma gama de harmônicos com diferentes intensidades, permitindo identificar e diferenciar instrumentos musicais mesmo quando emitem notas iguais.

O ‘Uso da história e filosofia’ não teve o devido destaque e valorização, constando apenas em uma coleção. Tal fantasma já vem assombrando os livros de textos desde a pesquisa desenvolvida por Monteiro Júnior e Medeiros (1999, p. 8-9). Neste trabalho, das 19 coleções avaliadas, somente duas teceram um panorama histórico mais problematizador, muito embora não tenham mencionado nenhum equipamento histórico relacionado aos registros do som, além de difundir uma concepção de ciência ingênua e unicamente ancorada na verificação empírica, apagando as controvérsias, o caráter humano de sua edificação e os modelos explicativos que acompanham, a priori, os trabalhos experimentais (BASSALO, 1992; GIL-PEREZ, 1993; CHALMERS, 1993; MOURA, 2014). Corroborando com este quadro decadente, na pesquisa de Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 143), 50% das coleções avaliadas não correspondiam a um quadro histórico-crítico do desenvolvimento da acústica, enquanto que a outra metade preencheu parcialmente tal parâmetro. Assim sendo, podemos afirmar, com convicção, que muito deve ser feito nas próximas edições quando se reconhece a existência de um débito persistente nos textos analisados com respeito à HFC, andando na contramão das pesquisas efetuadas nas últimas décadas no ensino das ciências e NdC (MARTINS, 1990; CHALMERS, 1993; MATTHEWS, 1995; MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001; GIL PEREZ et al., 2001; GIL PEREZ et al., 2005; FORATO, 2012; MOURA, 2014; ORTEGA; MOURA, 2020; NUNES; QUEIRÓS, 2020).

Não distante das considerações elencadas na última categoria, a categoria de análise ‘Paisagens sonoras’, em relação ao último trabalho de Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 143), não teve melhoras significativas. Em nosso estudo de caso, dos livros didáticos avaliados, apenas um cumpriu parcialmente a demanda requisitada, implicando em um quadro praticamente idêntico aos resultados encontrados por Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 143) no qual nenhuma coleção investigada contemplou esta categoria. Conforme Monteiro Júnior (2012), no campo do ensino de Física, quase nada ou muito pouco tem sido feito na tentativa de aproximar os estudos das paisagens sonoras da acústica, cujo ensino continua sendo

instrumental e fortemente repousado em análises gráficas, embora essa pesquisa não refute o intrínseco diálogo entre matemática e física

Servindo de contraponto aos resultados obtidos nas duas categorias anteriores, todas as três coleções avaliadas denotavam contextualizações em torno do campo CTSA. Algumas coleções conectaram a acústica ao funcionamento do ouvido humano e seus limites de audibilidade, além de articular essa contextualização com as qualidades fisiológicas do som. Outras contextualizações englobaram o combate à poluição sonora, assim como a redução de ruídos e até mesmo aplicações na medicina tal como a ultrassonografia sinalizada por Martini et al. (2016). A título de comparação com o estudo de Monteiro Júnior e Carvalho (2011, p. 143), houve um salto qualitativo uma vez que, das quatro coleções analisadas por eles, três cumpriam parcialmente os requisitos dessa categoria (75%), explicitando incompletudes nas abordagens dadas nos textos investigados.

O último ponto destas considerações finais é que não apresenta nenhum precedente explícito nos trabalhos concebidos por Monteiro Júnior e Medeiros (1998; 1999) e Monteiro Júnior e Carvalho (2011), foi a categoria ‘Escala de igual temperamento’. Das três coleções analisadas, apenas uma contemplou tal categoria, mesmo levando em conta que algumas coleções devotaram algumas seções ou capítulos para o estudo de instrumentos musicais. Pensando nisto e pelo ineditismo dessa categoria analítica, esta pesquisa pode colaborar mais ainda para aperfeiçoamentos nos textos que buscam articular física, matemática e música. Realmente, todas as coleções por nós avaliadas mencionavam instrumentos de corda e de sopro, dando um tratamento qualitativo e quantitativo, mas não discorriam sobre a escala de 13 notas igualmente temperadas, exceto Bonjorno et al. (2016). Pietrocola et al. (2016, p. 268-269), por exemplo, ao explicarem o processo de afinação de um violão, especificam algumas partes do instrumento, nomeando-as, bem como dos distintos timbres produzidos pelas suas cordas, referenciados na frequência da nota Mi (659 Hz), quando tangidas em posições diferentes. Também acompanha este capítulo uma descrição formativa a respeito da afinação de um violão e sua relação entre frequência, tensão, densidade linear e comprimento útil da corda, resultando em um rico diálogo entre acústica física e acústica musical. Do nosso ponto de vista, essa passagem poderia servir de mote para a introdução do estudo da citada escala.

Em resumo, notamos alguns avanços no tratamento dado à acústica, quais sejam a forte presença de contextualizações em diálogo com a perspectiva CTSA e o aumento da precisão conceitual, em relação aos estudos anteriores, nos quais este estudo de caso repousou, relacionadas com as qualidades fisiológicas do som, por exemplo, ao associar timbre com o princípio da superposição, mesmo sem categorizar o papel das séries de Fourier e de outras grandezas tais como ataque e decaimento. Por outro lado, observamos a manutenção de antigos problemas nos textos avaliados, tais como um quase vácuo na utilização crítica da HFC e da ausência dos estudos de paisagens sonoras ou mesmo de um direcionamento implícito de tais estudos, voltado à educação sonora (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Ademais, mesmo neófito enquanto categoria analítica, as escalas cromáticas já se fazem presente em uma coleção analisada por nós (BONJORNO et al., 2016), o que sinaliza uma intencionalidade por parte dos autores em fortalecer os vínculos entre física e música.

Finalizamos nosso exame afirmando que esta análise de livros didáticos foi concebida com a melhor das intenções, pretendendo aperfeiçoar cada vez mais tais recursos instrucionais e, principalmente, fornecer

para aqueles que estão na “ponta” do processo educativo, docentes e estudantes, um material mais confiável, preciso e criticamente contextualizado.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, J. S.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Tratamento histórico presente em livros didáticos de física concernente à velocidade da luz. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 21, p. 48-64, 2020.
- BABE, J.; ESPINOZA, L.; GELLERT, U. El emprobecimiento matemático de las propuestas de enseñanza de física en los textos oficiales de secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 35, n. 1, p. 71-88, 2017.
- BALDOW, R.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Os livros didáticos de física e suas omissões e distorções na história do desenvolvimento da termodinâmica. **Alexandria**, v. 3, n. 1, p. 3-19, 2010.
- BASSALO, J. M. F. A importância do estudo da história da ciência. **Revista da Sociedade Brasileira da História da Ciência**, n. 8, p. 57-66, 1992.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD 2018: física – guia de livros didáticos – ensino médio / Ministério da Educação – Secretária de Educação Básica – SEB – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação**. Brasília: MEC, SEB, 2017.
- BROMBERG, C. Música e história da matemática. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 6, p. 1-15, 2012.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução Raul Finker. 1ª edição. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.
- CHAUI, M. Histórico do termo. *In*: CHAUI, M. **O que é ideologia**. 34ª edição. São Paulo: Editora Brasiliense, 1991. Capítulo 2, p. 22-31.
- CHAUI, M. A ciência na história. *In*: CHAUI, M. **Iniciação a filosofia**. São Paulo: Editora Ática, 2000, p. 320-333.
- COSTA, P. J. B. M.; FERREIRA, K. L.; CAMARGO, Z. A.; PINHO, S. M. R. Extensão vocal de cantores de coros evangélicos amadores. **Revista CEFAC**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 96-106, jan-mar, 2006.
- FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. *In*: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: Editora da UFRN, 2012. Capítulo 5, p. 123-154.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002, p. 54-55.
- GIL-PEREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.
- GIL PEREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GIL PEREZ, D.; CACHAPUZ, A.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica.

- In:* GIL PEREZ, D.; CACHAPUZ, A.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (Org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Editora Cortez, 2005. Capítulo 2, p. 38-70.
- GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. A verdade histórica buscada através de Beethoven e Fourier. *In:* SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 14., 2014, Belo Horizonte. **Atas [...]** Belo Horizonte: UFMG/SNHCT, 2014, p. 1-11.
- GRILLO, M. L.; OLIVEIRA, C. B. M. M.; COSTA, S. N. Fundamentos da acústica ambiental e musical no ensino de física. *In:* GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. (Org.). **Física e Música**. 1ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. Capítulo 3, p. 21-36.
- GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. Contexto histórico: Antiguidade, Idade Média, Renascimento, Barroco, Classicismo, Romantismo e influências na Música atual. *In:* GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. (Org.). **Física e Música**. 1ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. Capítulo 4, p. 36-60.
- LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de física aprovados no PNLDEM 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986, p. 38-44.
- MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 9, p. 3-5, 1990.
- MATAR, M.; WELTI, R. Capturando la física del resonador Helmholtz con la ecuación de ondas acústica. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 1, p. 127-134, 2009.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MEDEIROS, A.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 3., 2001, Atibaia. **Atas [...]** Atibaia: ENPEC, 2001.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. Distorções conceituais nos atributos do som presentes em sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 2, p. 1-14, 1998.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. Síntese ou distorção: como os livros didáticos tratam o conceito de timbre? *In:* ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **Atas [...]** Porto Alegre: ABRAPEC, IF/UFRGS, 1999, p. 1-15. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/ii-enpec/apresentacoes_orais.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Matemática e música: as progressões geométricas e o padrão de intervalos da escala cromática. **Bolema**, v. 16, n. 20, p. 1-18, 2003.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; CARVALHO, W. L. P. O ensino de acústica nos livros didáticos de física recomendados pelo PNLEM: análise das ligações entre a física e o mundo do som e da música. **Holos**, v. 1, ano 27, p. 137-154, 2011.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora: encontro entre ciências, tecnologia e cultura**. 2012. 315 f. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) – Universidade do Estado de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru/SP.

- MOREIRA, S. A. O fenômeno da ressonância. *In*: PEREZ BAPTISTA, M. L. G.; BAPTISTA, L. R. P. L. (Org.). **A física na música**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2013. Capítulo 6, p. 43-52.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino de física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 8-13, 2017.
- MOREIRA, M. A. Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos. **Revista do Professor de Física**, v. 2, n. 3, p. 80-94, 2018.
- MOURA, B. A. O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.
- NUNES, R. C.; QUEIRÓS, W. P. Visões deformadas sobre a natureza da ciência no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 295-319, 2020.
- OCCELLI, M.; VALEIRAS, N. Los libros textos de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 31, n. 2, p. 133-152, 2013.
- ORTEGA, D.; MOURA, B. A. Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20190114 (p. 1-16), 2020.
- PEREZ BAPTISTA, M. L. G. Uma proposta de utilização da acústica musical no ensino de física. *In*: PEREZ BAPTISTA, M. L. G.; BAPTISTA, L. R. P. L. (Org.). **A física na música**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2013a. Capítulo 3, p. 10-26.
- PEREZ BAPTISTA, M. L. G. As escalas natural e temperada. *In*: PEREZ BAPTISTA, M. L. G.; BAPTISTA, L. R. P. L. (Org.). **A física na música**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2013b. Capítulo 5, p. 37-42.
- ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. 1ª edição. São Paulo: EDUSP, 1998, 312 p. ISBN 85-314-0457-6.
- SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo**: uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora. Tradução Marisa Trench Fonterrada. São Paulo: Editora da Unesp, 2001.
- SCHIVANI, M.; SOUZA, G. F.; LIRA, N. Programa Nacional do Livro Didático de física: subsídios para pesquisa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200011 (p. 1-10), 2020.
- WHELLER, G. F.; CRUMMETT, W. P. The vibrating string controversy. **American Journal of Physics - American Association of Physics Teachers**, v. 55, n. 1, p. 33-37, Jan. 1986. ISSN 0002-9505.

LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS (PNLD 2018)

- MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a física**: estudo do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios. 3ª edição. São Paulo: Editora Moderna, 2016, p. 259-275.
- BONJORNIO, J. R.; RAMOS, C. M.; PRADO, E. P.; BONJORNIO, V.; BONJORNIO, M. A.; CASEMIRO, R.; BONJORNIO, R. F. S. A. **Física**: terminologia, óptica e ondulatória. 3ª edição. São Paulo: Editora FTD, 2016, p. 242-267.
- PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos, 2**: ensino médio. 1ª Edição. São Paulo: Editora do Brasil, 2016, p. 234-277.