

Uma metodologia geral para a Teoria Ausubeliana e sua aplicação no desenvolvimento de um instrumento de subsunção entre conceitos de Música e de Física – Parte 2⁺*

Antony M. M. Polito¹

Instituto de Física – Universidade de Brasília
Brasília – DF

André L. M. de Barcellos Coelho¹

Secretaria de Educação do Distrito Federal
Brasília – DF

Resumo

Na parte 2, desse trabalho, apresentamos uma aplicação concreta da nova metodologia geral para a teoria ausubeliana, cujos elementos teóricos centrais, a saber, os conceitos de prospecto esquemático de subsunção e de instrumento de subsunção, foram apresentados e desenvolvidos, na parte 1. Essa aplicação consiste no desenvolvimento de um instrumento de subsunção voltado para o ensino de conceitos elementares de física ondulatória, a partir dos conceitos musicais/acústicos de altura e de consonância/dissonância. Também apresentamos o suporte histórico e teórico necessário para o entendimento dos problemas específicos relacionados com os conceitos provenientes da música.

Palavras-chave: *Teoria Ausubeliana; Esquema de Subsunção; Instrumento de Subsunção; Física Ondulatória; Consonância /Dissonância.*

⁺ A general methodology for the Ausubelian Theory and its application to the development of a subsumption instrument between Musical and Physical concepts – Part 2

^{*} *Recebido: 14 de março de 2020.
Aceito: 20 de outubro de 2020.*

¹ E-mail: antony.polito@gmail.com; prof.barcellos@hotmail.com

Abstract

In the part 2 of this work, we present an application of the new general methodology to the ausubelian theory, whose central theoretical elements, namely, the concepts of schematic prospect of subsumption and instrument of subsumption, were presented and developed, in the part 1. This application consists in the development of an instrument of subsumption turned to the teaching of elementary concepts of undulatory physics from musical/acoustic concepts of pitch and of consonance/dissonance. We also provide the historical and theoretical support for the understanding of the specific problems related with the musical concepts.

Keywords: *Ausubelian Theory; Subsumption Scheme; Subsumption Instrument; Undulatory Physics; Consonance/Dissonance.*

I. Introdução

Na *parte 1*, do presente trabalho, apresentado no artigo anterior, desenvolvemos nosso primeiro objetivo, que consistiu em apresentar uma *nova metodologia geral para a criação de instrumentos didáticos*, por meio do desenvolvimento de dois constructos, no seio da teoria ausubeliana: o de *prospecto esquemático de subsunção* e o de *instrumento de subsunção*.

Na presente *parte 2*, passamos a desenvolver o nosso segundo objetivo, que consiste na utilização da metodologia e dos constructos desenvolvidos para tratar um caso particular. Esse caso particular consiste em um instrumento didático para o *ensino de elementos de física ondulatória*, a partir de elementos provenientes de um campo diverso, mas, em larga medida, correlato: a *música*.

Para cumprir esse objetivo, essa *parte 2* está dividida em quatro seções, incluídas essa introdução e as considerações finais.

A seção II está dividida em três subseções. Nelas, fazemos uma revisão da história e da teoria que envolvem alguns conceitos de natureza psicofisiológica que têm lugar no campo da música, em particular, *os conceitos de consonância e de dissonância*. Essa seção visa fornecer suporte conceitual para permitir, juntamente com os desenvolvimentos teórico-metodológicos da *parte 1*, o desenvolvimento da aplicação, na seção III.

A subseção II.1 é dedicada a um breve histórico da evolução dos conceitos musicais de consonância e de dissonância, com a intenção de fornecer suficiente contextualização e evidenciar as controvérsias que se estabeleceram no seu entorno.

A subseção II.2 é dedicada a apresentar, em caráter elementar, o que se conhece e entende, modernamente, com respeito à psicofísica dos conceitos de altura e de consonância e dissonância, no âmbito do campo interdisciplinar entre física e música.

Embora, nessa subseção, tenhamos nos restringido apenas à consideração dos conceitos de altura e de consonância/dissonância, eles são apenas uma parte de um conjunto muito mais intrincado de conceitos cujo fundamento são *qualidades* específicas envolvidas nas percepções auditivas – qualidades cuja presença é comum a toda espécie humana, a saber, a *altura*, o *volume* e o *timbre* (ROEDERER, 2008; RODRIGUES, 1999; PARKER, 2010; WOOD, 2007; OLSON, 1967)².

Enquanto elementos *perceptuais*, as qualidades de altura, de volume e de timbre podem ser consideradas “percepções elementares”. Essas percepções elementares podem ser conceptualizadas e definidas de acordo com diferentes campos de investigação e/ou de atividade teórica. No campo da física, essas percepções elementares correspondem, respectivamente, aos conceitos de *frequência mais baixa* (do harmônico fundamental), de *intensidade* e de *espectro dos harmônicos secundários* presentes em cada *tom complexo* – formado por uma combinação de *tons puros*, cujas frequências são únicas e bem definidas³.

A subseção II.3 é dedicada a considerações mais amplas, concernentes ao consenso científico mais moderno – nos campos da fisiologia, da psicologia cognitiva e da epistemologia – envolvendo os processos de percepção e de conceptualização, no que se refere à faculdade auditiva e a atividade musical. Dentre os problemas levantados, é interessante mencionar que *há variados indícios de que pelo menos alguns conceitos musicais mais complexos* – como é o caso, justamente, dos conceitos de consonância e de dissonância – *sejam construções que podem depender, também, de circunstâncias históricas e dos contextos socioculturais* nos quais se desenvolveram (cf. TERHARDT, 1984; ROEDERER, 2008; HAN et al, 2011; COUSINEAU, McDERMOTT, PERETZ, 2012; BOWLING, PURVES, 2015). E isso deve implicar, necessariamente, reflexos em qualquer teoria de educação.

A seção III também é constituída por três subseções. Nelas, apresentamos uma aplicação da metodologia geral – apresentada na seção III, da *parte 1* – que lança mão dos elementos teóricos providos pela seção II, da *parte 2*. Vamos desenvolver esquemas de subsunção específicos e apresentar um candidato a instrumento de subsunção que se utiliza de alguns elementos cognitivos de natureza musical (percepções e conceitos), os quais queremos

² Esses conceitos mais complexos podem ser definidos em termos de conceitos mais simples, cujo fundamento é essas percepções elementares. No âmbito da lógica, fala-se, justamente, na diferença entre *conceitos primitivos* e *conceitos derivados*, estes últimos sendo aqueles cuja definição se dá em termos de conceitos primitivos. Veremos que, um tanto intrigantemente, embora as *sensações*, que permitem a construção das *percepções* elementares, sejam universalmente compartilhadas, esse não é exatamente o caso dos *conceitos* complexos nelas baseados.

³ Observe-se que estamos assumindo distinções rígidas no emprego de termos como ‘percepção’, ‘conceito’, ‘definição’ e ‘qualidade’. Na subseção II.3, retornaremos à discussão dessas distinções, onde procuraremos evidenciar sua importância, no contexto desse trabalho.

que funcionem como potenciais subsunçores para alguns conceitos elementares de física ondulatória.

A subseção III.1 é dedicada à uma discussão preliminar sobre o papel da relatividade cultural e dos conceitos de aprendizagem e de recepção inata do conhecimento, e suas implicações para a aplicação da teoria ausubeliana.

A subseção III.2 é dedicada ao nosso segundo objetivo principal. Nela, apresentamos a construção explícita de esquemas de subsunção, concebidos para partir da prospecção, da identificação e da caracterização de alguns potenciais subsunçores de natureza musical – a saber, os conceitos de altura (sons graves e agudos) e de consonância/dissonância musicais – e alcançar o objetivo de veicular a aprendizagem de conceitos basilares no campo da física ondulatória – dentre eles, os conceitos de *intensidade, frequência, período e comprimento de onda; velocidade de propagação de ondas sonoras; harmônicos e espectro; ondas estacionárias, interferência e batimento*.

A subseção III.3 também é dedicada ao segundo objetivo principal e nela mostramos como os esquemas de subsunção que elaboramos podem ser efetivamente utilizados para construir um *candidato a instrumento de subsunção*.

A propósito, o candidato a instrumento que apresentaremos é um aperfeiçoamento, que foi elaborado a partir do que foi, originalmente, um *produto educacional* desenvolvido no âmbito do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF - SBF) (DE BARCELLOS COELHO, 2017a; DE BARCELLOS COELHO, POLITO, 2016).

II. História e Teoria dos Conceitos de Consonância e de Dissonância

II.1 Uma Sinopse da História dos Conceitos de Consonância e de Dissonância

Noções Intuitivas

Consonância e dissonância são conceitos complementares que desempenham papéis centrais na música⁴. As noções intuitivas – até hoje a eles associadas – passaram, ao longo da história da música e da psicofísica da audição humana, por sucessivos refinamentos, sempre no sentido de tentar defini-las de modo cada vez mais completo e preciso.

A noção *intuitiva* de consonância entre dois sons está associada àquelas experiências perceptuais que são acompanhadas, em sua audição conjunta, de sentimentos geralmente descritos como agradáveis, confortáveis, prazerosos ou que conduzem à satisfação.

Além disso, desde sempre se observou que a percepção de consonância – como é o caso de muitos outros tipos de percepção – possui um aspecto *intensivo*, ou seja, possui graus que, em princípio, podem ser submetidos a uma escala matemática. Desse modo, pares de sons podem ser percebidos como sendo mais (ou menos) consonantes e, quanto mais os sons

⁴ Os termos ‘consonância’ e ‘dissonância’ podem nomear tanto os conceitos (abstratos) quanto as correspondentes percepções (concretas). Isso ficará claro na exposição que se segue.

parecerem colidir um com o outro e tenderem a promover, em sua audição conjunta, uma sensação de desconforto ou apreensão auditivas, maior será seu grau de dissonância⁵.

Essas noções intuitivas capturam, de fato, alguns elementos constitutivos de ou associados com os conceitos correlatos, mas o problema é muito mais complexo, delicado e, em certa medida, ainda aberto, sobretudo porque se sabe que, além dos fatores de ordem biológica, há importantes influências culturais associadas ao modo como se percebe e/ou se concebe consonância e dissonância. De modo que, ainda hoje, nem suas explicações são definitivas, nem suas definições são, exatamente, consensuais (cf. TERHARDT, 1984; ROEDERER, 2008; HAN *et al.*, 2011; COUSINEAU, McDERMOTT, PERETZ, 2012; BOWLING, PURVES, 2015).

Evidentemente, não teremos como fazer, no contexto deste trabalho, mais do que meras alusões a esses problemas, de modo que não nos ocuparemos de detalhes e indicamos, ao leitor interessado, uma bibliografia mínima, mas esclarecedora, a respeito do tema⁶. Independentemente, contudo, de se estar de posse, ao longo da história, de uma solução definitiva (ou absoluta) para esse problema, a percepção da consonância/dissonância sempre foi o elemento mais importante para se estabelecer os *intervalos* e as regras gerais de combinação entre os sons que serviram para estruturar a música e orientar sua *composição*⁷ – mesmo que no sentido de sua superação, como foi o caso, na história mais recente.

A Harmonia das Esferas

Pitágoras (c. 570 – 496 AEC) é reconhecido como tendo sido o primeiro a construir uma *escala musical* baseada em sons que considerava consonantes e que serviu, desde então, como base para o desenvolvimento de toda a música ocidental. A ontologia pitagórica foi construída em torno da crença de que o princípio fundamental de todas as coisas era um elemento abstrato: o *número/logos*.

Com respeito a esse princípio, os pitagóricos sustentavam não apenas a tradicional visão naturalista, normalmente associada aos primeiros pré-socráticos, mas foram além, identificando, metafisicamente, o número com o *princípio de inteligibilidade* de todas as coisas (POLITO; OLAVO, 2013). Ou seja, para os pitagóricos, os números cumpriam o duplo

⁵ Uma forma estritamente musical de apresentação dessa ideia é a seguinte: duas notas na escala apresentam máxima consonância se o ouvido humano não for capaz de distingui-las. Evidentemente, isso acontece no caso de duas notas idênticas (uníssonos). Quanto maior for a propensão de que as duas notas sejam percebidas como uníssonas, maior será a consonância. Alternativamente, quanto menor for essa propensão, maior será a dissonância.

⁶ Uma parte considerável dessa sinopse é proveniente do excelente artigo de revisão de Bowling e Purves (2015) e das referências nele citadas.

⁷ *Intervalos musicais* são as distâncias, em termos de diferenças de frequência, entre os sons musicais. Os sons de diversas alturas (frequências) podem ser combinados para produzirem *harmonia* (quando são produzidos ao mesmo tempo) e *melodia* (quando são produzidos em sucessão temporal), dentro de um certo *ritmo*, que caracteriza sua dimensão temporal. *Harmonia*, *melodia* e *ritmo* são os três pilares nos quais se sustenta a composição musical e a noção de consonância – seja na harmonia, seja na melodia – sempre desempenhou papel preponderante, na história da música ocidental.

papel de constituir o elemento básico para a construção do mundo material e de conferir a ele uma estrutura que se manifestava em sua ordem, sua harmonia e sua perfeição, em sentido cosmológico e, até mesmo, cosmogônico.

Coerentemente, a música seria, para os pitagóricos, a estruturação metafísico-matemática dos sons⁸. *A simplicidade matemática* – interpretada, aqui, como razões de pequenos números inteiros – foi, portanto, *a primeira forma de conceptualização do fenômeno da consonância*. Contudo, *não em um sentido estritamente musical*, ou seja, perceptual, *mas, sobretudo, em um sentido “físico-matemático”*. Isso quer dizer que, nos seus primórdios, a consonância era considerada muito mais uma propriedade intrínseca à natureza – cuja ordem se expressava em termos matemáticos – do que, propriamente, às mentes humanas –, o que podemos denominar, no contexto deste trabalho, de *tese de naturalidade*⁹.

Há diversas versões sobre como os pitagóricos teriam estruturado o argumento para a construção das escalas musicais. Porém, o que há de mais confiável figura no *Sectio Canonis* – livro atribuído a Euclides (cerca de 300 a.C.). Nele, o autor explica que Pitágoras utilizou um *monocórdio* para determinar os intervalos mais consonantes e, partindo deles, definiu um conjunto de símbolos que deviam ser usados para representar os sons musicais (RODRIGUES, 1999).

O monocórdio pitagórico é, essencialmente, um instrumento constituído por duas partes: uma fixa e outra móvel. A parte fixa consiste em um suporte rígido, no qual uma corda de comprimento L é presa e esticada para que possa vibrar livremente entre suas duas extremidades. A parte móvel consiste em um cavalete que desliza, por baixo da corda esticada, de modo a dividir o comprimento L em duas partes e, desse modo, reduzir o comprimento da seção da corda vibrante para uma fração de L (De BARCELLOS COELHO, 2017b).

Conforme relata Euclides, Pitágoras elegeu, como respectivamente mais consonantes com o som emitido pela corda de comprimento L , os sons emitidos pelo monocórdio em três sucessivas posições para o cavalete móvel – definindo, assim, três diferentes comprimentos de corda vibrante – correspondentes a $1/2$ (intervalo de *oitava justa*), $2/3$ (intervalo de *quinta justa*) e $3/4$ (intervalo de *quarta justa*) da extensão total L da corda (PARKER, 2010). Não coincidentemente, essas frações de comprimento também compunham a descrição pitagórica da geometria de um cubo, o que ilustra sua busca por uma lei única responsável pela estruturação de toda a natureza.

⁸ Para alguns autores, como Rodrigues (1999), a relação de causa e efeito seria inversa: a música é que teria desempenhado um papel importante no desenvolvimento da matemática pura, na escola pitagórica.

⁹ A concepção de *natureza* mudou muito, ao longo da história. Aqui, estamos assumindo que *mundo natural* é aquela parcela da realidade que se considera ser independente da mente humana. Desse modo, a “preferência” humana pela consonância seria apenas uma consequência do que podemos chamar, *grosso modo*, de *intencionalidade*: a mente seria, por definição, algo cuja natureza intrínseca seria a de se dirigir para a compreensão de algo que, em nosso caso, é considerada uma realidade que lhe é externa.

Essa filosofia conduziu as civilizações clássica e ocidental a uma concepção conhecida como *harmonia das esferas*, segundo a qual existiria uma perfeita coordenação entre *microcosmo* e *macrocosmo*¹⁰. Foi ao redor dessa crença – no mais das vezes, vaga e/ou tacitamente assumida – que se articularam muitas das concepções de natureza das escolas clássicas, cada uma delas apresentando suas próprias particularidades – as quais definiam, ao menos parcialmente, a natureza da coordenação envolvida.

Platão – que incorporou à sua influente filosofia a maior parte do conteúdo do pensamento pitagórico – lançou mão dos quatro elementos do pré-socrático Empédocles e os associou aos sólidos regulares convexos, definindo harmonia em termos puramente matemáticos – e não em termos musicais, como tinha sido o caso dos pitagóricos (POLITO; OLAVO, 2013).

Essa concepção de harmonia reverberou pela história medieval e encontrou, a partir do *Renascimento* – na esteira de seu afã por superar diversos aspectos ligados ao pensamento escolástico e à cultura medieval –, o ambiente mais fecundo para seu reflorescimento (REALE; ANTISERI, 1990)¹¹.

Nesse sentido, o passo seguinte coube ao compositor e músico italiano Gioseffo Zarlino (1517-1590), que expandiu o sistema pitagórico para incluir os novos intervalos de *terça maior* (4/5), de *terça menor* (5/6) e de *sexta maior* (3/5), novamente, com as relações numéricas dadas em função dos comprimentos de corda vibrante.

Com isso, completava-se a estruturação numerológica da música, cujos fundamentos filosóficos continuavam sendo naturalísticos e associados ao pensamento místico-matemático, o qual se revelava na restrição às razões de pequenos números inteiros e na busca pela compreensão das demais harmonias cósmicas.

Já nos umbrais da Idade Moderna, o pensamento de Johannes Kepler (1571-1630) representou, em diversos sentidos, o cume da retomada do desenvolvimento das ideias ligadas à harmonia das esferas, destacando-se a sua busca por relacionar a música com a astronomia (RODRIGUES, 1999).

Kepler escreveu, em seu livro intitulado *Harmonias do Mundo*, que “os modos ou tons musicais são reproduzidos de uma certa maneira nas extremidades dos movimentos planetários”. Nesse livro, Kepler chega a atribuir – um tanto pitorescamente –, a cada planeta, uma voz específica – Mercúrio era soprano e Marte, tenor, por exemplo – e a relacionar as

¹⁰ *Cosmos* foi um conceito inaugurado no seio da escola pitagórica e pode ser entendido como sinônimo de ordem, harmonia ou organização, mas em um nível alto de complexidade, abrangendo tanto o *microcosmo*, quanto o *macrocosmo*. O *microcosmo* foi entendido, na antiguidade clássica, em acepções diferentes: para a escola estoica, por exemplo, esse termo foi utilizado diversas vezes como sinônimo de homem, ou ainda, mundo. *Macrocosmo*, por sua vez, estava sempre relacionado, na antiguidade, com a noção de universo.

¹¹ Na Idade Média, a importância da música e da concepção de harmonia musical/matemática originada na escola pitagórica se refletiu na composição do chamado *Quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música) que, associado ao *Trivium* (lógica, gramática e retórica), constituíam o *Curriculum* – conjunto de disciplinas básicas que eram ensinadas nas universidades, também conhecidas como *Artes Preparatórias* ou *Artes Liberais*.

distâncias entre eles e o Sol com intervalos musicais. Ao se estabelecerem essas relações, reforçava-se a concepção de que consonância seria algo intrínseco ao mundo natural e, com isso, se explicava a preferência humana por alguns intervalos musicais, em detrimento de outros.

A Revolução Científica

No que concerne ao desenvolvimento ulterior da música europeia, tornava-se cada vez mais claro que as concepções metafísico-matemáticas devidas, originalmente, aos pitagóricos e, em seguida, aos renascentistas, não eram suficientes para esclarecer, de maneira definitiva, por que certas combinações sonoras deviam ser consideradas mais ou menos consonantes que outras, colocando em debate os fundamentos da música ocidental.

Nas Idades Moderna e Contemporânea, músicos, teóricos da música e diversos físicos notáveis, tais como Vincenzo Galilei (1520-1591), Galileu Galilei (1564-1642), Marin Mersenne (1588-1648), Christiaan Huygens (1629-1695), Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonard Euler (1707-1783), Jean d'Alembert (1717-1783), Joseph Fourier (1768-1830) e Hermann von Helmholtz (1821-1894), participaram do debate à cerca da correta definição de consonância e do esclarecimento de seu significado. E, desde o século XVI, o problema do temperamento das escalas musicais – que, em síntese, é também o problema de conceituar consonância – tornou-se uma das principais preocupações desses pensadores.

Foi precisamente Galileu – na esteira do trabalho de seu pai, Vincenzo – quem iniciou o processo de superação da explicação exclusivamente matemática da consonância e colocou o problema na direção de um entendimento físico. Galileu estabeleceu, sem sombra de dúvidas, que as razões consonantes de números inteiros não estavam associadas a propriedades arbitrárias dos instrumentos musicais – propriedades físicas ou puramente geométricas, como peso ou volume –, mas sim a uma única propriedade comum a todas as fontes sonoras, ou seja, associada ao fato de todos eles *vibrarem*.

Essa propriedade comum seria identificada, ulteriormente, com a *frequência* de vibração da fonte – fato já parcialmente reconhecido por Mersenne. Euler chegou a propor uma interessante relação matemática para medir o grau de consonância de um intervalo, levando em conta que, quanto menor fosse a sua fração representativa entre frequências de oscilação, maior seria seu grau de consonância.

Já na Idade Contemporânea, Fourier foi responsável pela criação de uma sofisticada e importante ferramenta matemática conhecida como *análise harmônica*: a ideia de que toda função matemática, submetida a determinadas condições de contorno, poderia ser construída, num intervalo dado, como uma combinação linear de funções circulares (seno e cosseno), denominadas *harmônicos*.

Assim, a forma arbitrariamente assumida pelas cordas com extremidades fixas (como a do monocórdio) podia ser decomposta em uma série de harmônicos que satisfazem às condições de contorno do sistema. Esses harmônicos – que nada mais são do que os *modos*

normais de vibração da corda – correspondem exatamente às *ondas estacionárias*, cujas frequências de oscilação são discretas e bem definidas.

O *harmônico fundamental* corresponde à corda de comprimento L , oscilando em toda sua extensão, sem nós (comprimento de onda $2L$, frequência f_0). O *segundo harmônico* corresponde à corda de comprimento L oscilando com dois segmentos separados por um nó (comprimento de onda L , frequência $2f_0$); o terceiro, em três segmentos separados por dois nós (comprimento de onda $2/3 L$, frequência $3f_0$); o quarto, em quatro segmentos separados por três nós (comprimento de onda $1/2 L$, frequência $4f_0$); e assim sucessivamente.

O que se concluiu, a partir de então, foi que *as consonâncias decrescentes verificadas nos intervalos pitagóricos estavam essencialmente ligadas ao número decrescente de harmônicos coincidentes encontrados entre o tom complexo tocado pela corda de comprimento L (chamada de tónica) e os tons complexos das cordas de comprimento $1/2 L$, $2/3 L$, $3/4 L$, etc.*

De fato, no intervalo de oitava, de máxima consonância, todos os harmônicos superiores da tónica coincidem com os harmônicos da corda de comprimento $1/2 L$. Isso coloca o intervalo de oitava em uma posição totalmente especial.

No intervalo de quinta, as primeiras frequências coincidentes são as do terceiro harmônico da tónica ($3f_0$) e do segundo harmônico da corda de comprimento $2/3 L$ (h_1), de modo que a relação entre as frequências dos respectivos fundamentais se torna $2h_0 = 3f_0$. Porém, as frequências coincidirão também para todos os $2m$ -ésimos e $3m$ -ésimos harmônicos superiores do tom superior e da tónica, com $m = 1,2,3$, etc. Portanto, depois da oitava, o intervalo de quinta é o mais consonante.

Essa mesma estrutura se repete, sucessivamente. No intervalo de quarta, as primeiras frequências coincidentes são as do quarto harmônico da tónica ($4f_0$) e do terceiro harmônico da corda de comprimento $3/4 L$ (j_2), de modo que a relação entre as frequências dos respectivos fundamentais se torna $3j_0 = 4f_0$. As frequências coincidirão também para todos os $3m$ -ésimos e $4m$ -ésimos harmônicos superiores do tom superior e da tónica, com $m = 1,2,3$, etc.

Não é difícil perceber que o número de harmônicos superiores coincidentes diminui, à medida que n cresce, na relação $nj_0 = (n+1)f_0$.

De alguma forma ainda não compreendida, até então, nossos sistemas auditivos percebiam como mais agradáveis, confortáveis ou prazerosas precisamente essas combinações que maximizavam coincidências de primeiros harmônicos, de modo que essas relações matemáticas envolvendo pequenos números inteiros ganharam, pela primeira vez, um fundamento físico sólido, embora não menos obscuro.

Muito trabalho ainda seria necessário para que se compreendesse que o verdadeiro fundamento do fenômeno de consonância deveria ser procurado não na natureza puramente física dos sons, mas, sim, no modo como nossos sistemas cognitivos funcionam, superando, desse modo, definitivamente, a *tese de naturalidade*, como veremos a seguir.

Os Trabalhos Pioneiros de von Helmholtz e von Békésy

O renomado físico e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894) merece destaque, nessa história. Seus trabalhos forneceram a primeira ligação sólida entre a física e a psicologia envolvidas na audição humana. E, no que se refere ao fenômeno da consonância, ele propôs uma ideia extremamente interessante e influente, que alguns autores consideram, até hoje, como tendo sido capaz de capturar a parte mais essencial da psicofísica do problema (TERHARDT, 1984; ROEDERER, 2008).

No intuito de falsear a hipótese da *naturalidade*¹² da consonância, ele enunciou, em seu trabalho “*Die Lehre von den Tonempfindungen*”¹³, a hipótese de que a percepção de dissonância seria resultado da *modulação* da amplitude de uma onda complexa. De acordo com essa ideia, quanto mais rápida fosse a flutuação de intensidade de uma onda complexa – formada por duas ondas superpostas de frequências bem definidas, mas distintas, dada uma escala de tempo definida – ou seja, quanto mais próxima ela estivesse de um padrão de *batimento*, maior seria a sensação de *aspereza* (ou *rugosidade*) e de desconforto na sua audição.

Helmholtz interpretou a intensidade relativa da aspereza produzida na audição conjunta de dois sons como sendo exatamente o que, na música, era interpretado como maior ou menor dissonância. O conceito de *consonância física*, portanto, seria definido como a *ausência de padrões de batimento* entre as ondas puras que representam dois tons distintos, quando combinadas para produzir um tom complexo. A *consonância musical*, por sua vez, seria o *resultado perceptual da consonância física*¹⁴.

Essa hipótese abriu caminho, nos anos seguintes, para várias outras descobertas importantes no campo da psicofísica da audição humana e que começaram, finalmente, a apontar para uma causa estritamente *biológica* para o fenômeno da consonância (BOWLING; PURVES, 2015).

Já no século XX, o extraordinário trabalho do biofísico húngaro Georg von Békésy (1899-1972) (Von BÉKÉSY, 1960) possibilitou um enorme salto na compreensão do funcionamento da *cóclea* – nome reservado ao principal componente do ouvido interno dos mamíferos – e, principalmente, do funcionamento da *membrana basilar*¹⁵. Nesse trabalho,

¹² *Naturalidade*, para Helmholtz, era a tese de que determinadas propriedades, ainda que se referissem a percepções, teriam uma existência objetiva no mundo, independentemente da mente humana. A consonância, portanto, como entendida por Helmholtz, não seria uma propriedade *natural* – na medida em que se entenda que qualquer objeto *mentalmente* constituído não é, exatamente, *natural*. Observe-se que isso não significa que não possam existir elementos físicos do mundo que estejam em compatibilidade com o modo como são constituídas as representações internas, na mente. Porém, o passo dado por Helmholtz é, filosoficamente, muito significativo. O que ele fez foi libertar – talvez, de modo definitivo – a música e a explicação para o fenômeno da consonância de seus laços ancestrais com o pensamento pitagórico-renascentista de harmonia cósmica.

¹³ Em tradução livre: *Nas Sensações dos Tons*.

¹⁴ Observe que estamos fazendo uma inversão lógica, de modo que o conceito musical, que é considerado primitivo, passa a ser derivado. Essa inversão não é necessária e deveria ser evitada, a bem do rigor, mas tem a vantagem de permitir que a definição do conceito físico se torne menos sobrecarregada.

¹⁵ O que lhe rendeu o prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina, em 1961.

von Békésy descreveu um mecanismo biológico capaz de justificar a percepção de sons dissonantes, pela primeira vez corroborando a hipótese seminal de Helmholtz.

A membrana basilar é uma estrutura do ouvido interno que funciona, essencialmente, como um *analisador de Fourier*. Todo estímulo sonoro captado pela membrana do *tímpano* – situado nos limites do ouvido externo – é, essencialmente, uma onda que é uma reprodução do padrão oscilatório da fonte sonora. Esse estímulo é, portanto, uma superposição dos harmônicos que formam o som que penetra o canal auditivo.

Através do tímpano e de outras estruturas intermediárias, o estímulo vibratório é transmitido à membrana basilar, cuja constituição peculiar permite que os harmônicos que compõem o som incidentes sejam *separados*. O que a membrana basilar faz é também oscilar, porém, em virtude de sua densidade não homogênea, para cada frequência da onda que penetra o ouvido interno, existe uma região diferente, ao longo da extensão da membrana, na qual se verifica um pico na amplitude de sua excitação.

Porém, como esses picos não são totalmente concentrados, é possível que haja uma intersecção entre dois deles, justamente na região da membrana que os separa. E isso, de fato, só acontece quando os sons em questão têm frequências muito próximas, que é quando os padrões de batimento aparecem de modo mais evidente e a sensação de aspereza, descrita por Helmholtz, pode ser observada.

A partir desse ponto, uma nova hipótese se estabeleceu: a de que, quando há sobreposição de sinais na membrana basilar¹⁶, o sinal nervoso que é encaminhado para o cérebro seria considerado um tanto “confuso”, o que, por sua vez, seria cognitivamente interpretado como uma sensação desagradável¹⁷.

II.2 O “Estado da Arte” da Psicofísica da Música

Desde então, muito avanço já foi realizado, nesse campo de investigação. O que se sabe de mais moderno, do ponto de vista da psicofísica, pode ser resumido da seguinte forma.

¹⁶ As superposições que têm lugar no sistema coclear são denominadas de *efeitos de superposição de primeira ordem*, enquanto os efeitos que tem lugar após o processamento neural são denominados de *efeitos de segunda ordem*.

¹⁷ Não temos, evidentemente, como sintetizar, neste trabalho, toda a história da psicofísica envolvida com a audição humana. Diversos outros autores já escreveram sobre os mecanismos a ela associados e ao processamento cerebral do sinal auditivo. O primeiro a realizar avanços consideráveis na descrição desses mecanismos foi justamente o físico Hermann von Helmholtz, durante o século XIX. Desde então, muitos trabalhos foram produzidos no sentido de descrever os modelos psicofisiológicos envolvidos e também de entender as relações existentes entre física e música (Von BÉKÉSY, 1960; OLSON, 1967; WOOD, 2007). Para uma descrição mais completa e moderna do funcionamento da audição humana, em especial, do funcionamento da membrana basilar – onde se trata, entre muitos outros temas, das contribuições seminais de Helmholtz e de von Békesy –, indicamos, especialmente, os livros *Good Vibrations: the Physics of Music*, de Barry Parker (2010) e *The Physics and Psychophysics of Music*, de Juan Roederer (2008).

Evidentemente, do ponto de vista estritamente físico, qualquer que seja a diferença entre as frequências de dois tons puros produzidos, o fenômeno de batimento, que é resultado da superposição, estará presente¹⁸.

Porém, em virtude da propriedade analisadora da membrana basilar, se a diferença entre as frequências dos dois tons puros estiver *acima* de um certo limite, denominado de *limiar de discriminação*, *nenhum batimento será, de fato, percebido*: o que se ouvirá são os dois tons puros separados, com suas alturas e volumes correspondentes às frequências e intensidades das duas componentes harmônicas da onda complexa.

Contudo, se esses tons puros serão ouvidos, conjuntamente, como agradáveis ou desagradáveis, depende de a diferença de frequências estar acima de um certo limiar, denominado de *banda crítica*.

Quando a diferença de frequências entre os tons puros estiver abaixo do limiar de discriminação, o sistema auditivo-cognitivo não será mais capaz de realizar a separação dos tons¹⁹. Nesse caso, apenas um tom será, de fato, ouvido, com uma *altura* correspondente à *média* das frequências dos tons puros.

O fato realmente extraordinário, nesse caso, é que – diferentemente da situação em que a diferença de frequências está acima do limiar de discriminação – *os batimentos serão claramente percebidos* – com uma frequência que será igual à diferença entre as frequências dos tons puros –, porém, *apenas quando essa diferença não exceder um certo “limiar inferior de aspereza”*. Ou seja, até certa diferença entre as frequências, ouve-se batimentos; acima dessa diferença, o que se ouve é uma sensação desagradável de aspereza ou rugosidade, justamente aquela à qual Helmholtz se referira.

Na verdade, essa sensação de aspereza não se extingue, abruptamente, quando ultrapassado o limiar de discriminação. Existe um *“limiar (aproximado) superior de aspereza”*, que se situa acima do limiar de discriminação, de modo que, mesmo quando já se pode ouvir dois tons separados, ainda assim eles não são ouvidos sem desagradado.

O intervalo de diferenças de frequência que inclui tanto a região de batimentos quanto a região de aspereza é exatamente a *banda crítica*, acima mencionada, a partir da qual os tons puros já são ouvidos separadamente e (gradativamente) sem desagradado.

As coisas são ainda mais complicadas pelo fato de o limiar de discriminação e o tamanho da banda crítica não serem únicos, mas aumentarem, *grosso modo*, de maneira

¹⁸ A superposição de duas ondas senoidais de frequências distintas sempre resulta em uma onda complexa que é o produto de duas ondas senoidais, uma com uma frequência menor (metade da diferença entre as frequências originais) e outra com uma frequência maior (metade da soma das frequências originais). Se as frequências originais forem próximas, a frequência menor aparece como uma modulação na amplitude da onda. Do ponto de vista da *percepção* do batimento, é importante notar que o sistema auditivo não detecta mudanças de fase. É por isso que a frequência de batimento é apenas a diferença, e não a metade da diferença, entre as frequências das componentes.

¹⁹ É importante notar que o limiar de discriminação diz respeito à capacidade de distinguir os tons quando ouvidos *simultaneamente*. A capacidade de perceber a diferença entre dois tons tocados *separadamente*, ou seja, a capacidade de resolução sonora, é cerca de trinta vezes maior.

proporcional à média da frequência dos tons puros envolvidos. Isso significa que, à medida que as alturas dos tons próximos se tornam maiores, maiores também têm que ser as diferenças entre suas frequências para que se possa discerni-los ou ouvi-los de modo agradável.

Do ponto de vista musical, importa salientar que, em todo o intervalo de variações de frequências usualmente consideradas – entre ~220 Hz (lá 2) e ~4200 Hz (dó 7) –, o intervalo de um tom (p.ex, notas mi-fá) encontra-se dentro da banda crítica. Para notas acima de 3000 Hz, o intervalo de um tom está abaixo, inclusive, do limite de discriminação. Todos os intervalos de um semitom encontram-se dentro da banda crítica e abaixo do limite de discriminação. Por outro lado, uma terça menor (intervalo de três semitons) estará acima da banda crítica se as notas não forem muito baixas, ou seja, quando suas frequências forem maiores que 700 Hz (fá 5)²⁰.

Todas essas considerações se referem à superposição de *tons puros*. Porém, no que se refere à percepção *musical*, tons puros têm papel insignificante. Os tons produzidos pelas fontes sonoras reais são sempre *tons complexos*, ou seja, são sempre combinações lineares de um harmônico fundamental e de seus (infinitos) harmônicos secundários, e os pesos relativos de cada harmônico, nessa combinação, compõem o *espectro*, ou seja, a explicação física da qualidade sonora que se conhece como *timbre*.

Contudo, a *altura* associada com a *percepção* de um tom complexo é sempre aquela correspondente à frequência de seu *harmônico fundamental*. Por si só, esse já é um problema psicofísico complicado e intrigante, associado com uma capacidade do sistema cognitivo-auditivo denominada de *rastreamento do fundamental*²¹. Para nós, o que importa salientar é

²⁰ Isso explica por que uma terça menor é considerada um intervalo consonante, no caso de tons complexos, se as notas envolvidas não forem muito baixas.

²¹ O fenômeno de superposição de tons complexos – p.ex., da superposição de tons emitidos por diferentes instrumentos reais – é muito mais intrincado e intrigante, pois coloca, entre muitas outras, a questão de como manter a “identidade” de cada tom complexo, uma vez que a membrana basilar analisa todas as componentes das ondas, mas não as “rotula”, para marcar sua origem. Em linhas gerais, contudo, o que se pode constatar é que os fenômenos psicofísicos associados com a superposição de tons complexos se apresentam de maneira mais ou menos análoga àqueles correspondentes aos tons puros, bastando, para tanto, que apenas os respectivos harmônicos fundamentais sejam considerados. Porém, esse não é, como se verá, o caso dos fenômenos de *consonância* e de *dissonância*. A capacidade denominada de *rastreamento do fundamental* é o que está por trás de um extraordinário e importantíssimo fenômeno, associado com a percepção de altura na audição conjunta de tons puros, conhecido como percepção de *altura subjetiva*. Trata-se da percepção de uma frequência f_0 – que pode, inclusive, estar *ausente* do espectro do tom complexo –, denominada de *taxa de repetição* e que está associada com o *período* da onda correspondente ao tom complexo. Em particular, *quaisquer dois harmônicos sucessivos de frequências $n f_0$ e $(n+1) f_0$, da série harmônica de f_0 , formam tons complexos que produzem exatamente a mesma percepção subjetiva de altura. Os intervalos musicais entre esses harmônicos secundários sucessivos são exatamente aqueles correspondentes a uma quinta justa ($2f_0$ e $3f_0$), a uma quarta justa ($3f_0$ e $4f_0$), a uma terça maior ($4f_0$ e $5f_0$), a uma terça menor ($5f_0$ e $6f_0$), etc. O fato realmente extraordinário associado com a percepção de altura subjetiva está na expectativa de que a audição conjunta de dois harmônicos sucessivos seja sempre percebida como dois tons separados, já que correspondem à uma diferença de frequências que, pelo menos para os primeiros harmônicos, está acima, inclusive, da banda crítica. E, de fato, experimentos mostram que cerca de metade dos indivíduos ouve sons nitidamente separados. Porém, a outra metade ouve não os tons puros componentes, mas a altura subjetiva, que está associada ao seu fundamental.*

que, quando se fala em intervalo entre tons complexos, o que se está referindo é à diferença entre as frequências de seus respectivos harmônicos fundamentais.

Com relação ao problema da consonância/dissonância, a questão realmente importante surge agora: o que são, afinal, consonância e dissonância naqueles casos em que a diferença entre as alturas dos tons está acima da terça, ou seja, quando a diferença entre as frequências de seus harmônicos fundamentais já está acima da banda crítica em, praticamente, todos os intervalos e, portanto, tais tons já deveriam, em princípio, ser percebidos como nitidamente separados?

Com respeito a esse problema, existe uma diferença radical entre os casos de audição conjunta de tons puros e de tons complexos. De fato, *experiências realizadas com a audição conjunta de tons puros cujos intervalos estão acima da terça demonstram que suas percepções são sempre descritas como igualmente consonantes, ou seja, independentemente de qual seja o intervalo considerado*²². Por outro lado, para haver dissonância perceptual entre tons puros, é necessário que o intervalo entre eles esteja dentro da banda crítica, como já foi explicado.

Porém, no que se refere à audição conjunta de tons complexos, a situação muda radicalmente porque, se é bem verdade que o que se percebe, como altura, são as frequências dos fundamentais, *para estabelecer o que se considera como consonância ou dissonância, o que importa é determinar uma certa “quantidade total” de interferência mútua existente entre todos os seus respectivos harmônicos.*

E, nesse caso, sejam quais forem os intervalos entre os fundamentais de dois tons complexos, muitos dos seus respectivos harmônicos superiores apresentarão intervalos, entre si, que estarão dentro da banda crítica. É nesse ponto que a ideia seminal de Helmholtz volta à cena.

Para saber quão mais consonantes ou dissonantes são determinados intervalos entre tons complexos, deve-se fazer uma análise espectral de ambos, de modo a identificar as frequências de todos os seus harmônicos. (Isso, como vimos, é o que a membrana basilar faz.) Em seguida, deve-se analisar, para cada um dos possíveis pares formados pelos harmônicos provenientes dos diferentes tons complexos em questão, se é o caso ou não dos intervalos entre esses pares caírem dentro de sua respectiva banda crítica. Ou seja, analisar se cada par poderia ou não, caso fosse ouvido isoladamente de todos os demais pares de harmônicos, apresentar batimento ou aspereza, exatamente como se se tratassem de dois tons puros.

Não adentraremos mais nos detalhes da teoria envolvida, que se torna extremamente complexa, a partir daqui. Apenas concluiremos dizendo que, não coincidentemente, a sequência de intervalos entre tons complexos que tradicionalmente é considerada como indo do mais consonante para o menos consonante corresponde a, aproximadamente, uma sequência decrescente de números – chamados de *índices de consonância* – que representam a proporção entre o número de pares mútuos de harmônicos que caem fora da banda crítica e o

²² Excetuados os casos de percepção de *altura subjetiva*.

número de pares que caem dentro da banda crítica (e que não são coincidentes) (PLOMP, LEVELT, 1965; KAMEOKA, KURIYAGAWA, 1969).

O que se pode demonstrar é que essa é exatamente a sequência de intervalos que se obtém quando se procura evitar os batimentos entre os dois tons complexos maximizando-se o número de harmônicos coincidentes – desse modo, minimizando o número de harmônicos não coincidentes. E que, matematicamente, essa maximização é equivalente a exigir que as frequências dos seus harmônicos fundamentais f_0 e g_0 estejam em uma relação de números inteiros do tipo $ng_0 = mf_0$, com m e n sendo os menores números possíveis (ROEDERER, 2008).

II.3 Ciência Cognitiva, Biologia e Música

Sensação, Percepção e Conceptualização

Uma conclusão ingênua que se poderia inferir, a partir dessas descobertas, é que, se consonância e dissonância, enquanto *percepções*, têm causas puramente fisiológicas – e, em última instância, *evolutivas* –, então todos os seres humanos dotados das mesmas estruturas funcionais responsáveis pela audição deveriam *reconhecer* os mesmos intervalos como consonantes. Porém, verificou-se que, em variadas situações, esse não era exatamente o caso.

Há vários problemas mais fundamentais embutidos nesse problema maior e que precisariam ser minuciosamente caracterizados. Problemas, por exemplo, suscitados pelas (em larga medida, falsas) dicotomias entre habilidades individuais *aprendidas ou inatas* ou, ainda, entre o papel relativo desempenhado por *fatores biológicos e culturais*²³. Em particular, recentemente, a hipótese simples de que se possa reduzir consonância/dissonância musicais exclusivamente à ideia de aspereza sofreu vários desafios (*cf.* McDERMOTT, LEHR, OXENHAM, 2010; HAN *et al.*, 2011; COUSINEAU, McDERMOTT, PERETZ, 2012).

Para entender por que esses problemas ocorrem, a primeira coisa que devemos observar é que, nesse contexto, *perceber* não é exatamente o mesmo que *reconhecer*, embora, evidentemente, ambos os processos estejam intimamente conectados. E, para entender essa distinção, precisamos definir melhor o que se entende por *percepção*, a fim de que possamos fazer sua distinção com respeito às ideias de *conceito* e de *sensação*.

O estudo da faculdade de *percepção* tem uma história longa e venerável, que remonta aos primórdios da filosofia. Sob o enfoque das epistemologias e dos sistemas filosóficos de diversas épocas, a faculdade de percepção recebeu a maior parte de suas definições e distinções, muitas das quais, em maior ou em menor medida, permanecem válidas até hoje.

Por fim, contudo, acabou por ser assimilada ao contexto da nascente psicologia experimental do final do século XIX e do início do século XX. Para os fins desse trabalho,

²³ O que se sabe, hoje, é que a própria habilidade de aprender, nos seres humanos, tem fundamento em estruturas inatas. Ainda mais significativamente, sabemos que pode haver mútuas interações entre evolução biológica e evolução cultural (MESOUDI, 2011).

viemos, tacitamente, adotando a aceção corrente em psicologia cognitiva que, apesar de sua inegável ligação com as concepções filosóficas prévias²⁴, delas se bifurcou e se desenvolveu no sentido de uma maior especialização e adequação aos padrões tipicamente científicos de concepção, de entendimento e de método (GAZZANIGA; HEATHERTON; HALPERN, 2016; EYSENCK; KEANE, 2000).

A *sensação* é um fenômeno puramente *fisiológico*, resultado da resposta de certos órgãos a estímulos externos, o que resulta na produção de sinais eletroquímicos que, por sua vez, são enviados ao cérebro, para processamento. Assim, a faculdade de sensação deve ser *inata*, ao menos, se considerarmos os indivíduos fisiologicamente saudáveis de determinada espécie.

A *percepção*, por outro lado, é um *fenômeno cognitivo*. Com isso, queremos dizer que ele é um fenômeno de nível mais elevado, cuja fisiologia está associada aos processos superiores e integradores que têm lugar no cérebro. A percepção é, portanto, o resultado do processamento, da organização e da interpretação dos sinais sensoriais, no interior das estruturas cerebrais, no sentido de produzir uma representação simbólica mental (consciente e interna), de caráter analógico (concreto), ou seja, no sentido de produzir um objeto imagético claramente discernível por sua individualidade e integridade.

Observe-se que a percepção não é simplesmente o resultado de uma síntese de estímulos, mas sim o *resultado de uma operação de construção sobre o conjunto dos estímulos, operação esta que obedece a regras bem definidas*²⁵. De igual importância é observar que *essas regras utilizadas na construção das percepções podem ser de origem inata ou podem resultar de processos de aprendizagem*, de modo que *a própria faculdade de percepção pode ser constituída por partes inatas e partes aprendidas* (GAZZANIGA; HEATHERTON; HALPERN, 2016; EYSENCK; KEANE, 2000).

No âmbito da ciência cognitiva, *conceitos* também são representações simbólicas mentais (conscientes, internas), contudo, ao contrário das percepções, *elas são de caráter*

²⁴ A história do conceito de *percepção*, na filosofia, é importante na medida em que, *grosso modo*, ele foi pioneiro no estabelecimento de sua identificação com o conceito de *intuição empírica* e da sua distinção com relação ao conceito de *sensação*. A percepção seria, assim, “*o ato pelo qual a consciência ‘apreende’ ou ‘situa’ um objeto, e esse ato utiliza certo número de dados elementares de sensações*” (ABBAGNANO, 1998). Esse ato pressupõe a existência de uma *consciência subjetiva* (que percebe); de um *objeto*, que é percebido como entidade individual; e das *sensações*, que são “*unidades elementares produzidas, no sujeito, pela ação causal do objeto sobre ele*” (idem). Assim, a percepção é sempre uma representação mental que se caracteriza pela unificação de fragmentos de sensações, no sentido de produzir uma unidade inteligível, denominada objeto (perceptual).

²⁵ A percepção é uma *síntese imagética*, muito embora os objetos construídos não sejam, necessariamente, apenas *imagens visuais*. Por um lado, os objetos produzidos podem ser sínteses exclusivas de estímulos auditivos, cuja operação requer sínteses de sucessões temporais (p.ex. ruídos, fonemas, palavras, frases, orações, notas musicais, temas musicais, frases melódicas, acordes, etc.), ou de estímulos visuais, táteis, olfativos, etc. Por outro lado, eles também podem ser sínteses do processamento dos estímulos provenientes de, possivelmente, todos os sentidos, conjuntamente. Dito de outro modo, a percepção é uma “*representação estável do mundo*”, que emerge na consciência como produto final de uma construção efetuada a partir de uma enorme quantidade de estímulos sensoriais, dos quais o sujeito, aliás, está, quase sempre, inconsciente (GAZZANIGA; HEATHERTON; HALPERN, 2016).

*proposicional e, portanto, abstrato*²⁶. Assim como as percepções, também os conceitos podem ser inatos ou aprendidos²⁷. Por fim, o *reconhecimento*, nos termos acima mencionados, é uma operação que se caracteriza pelo *entendimento consciente dos fenômenos*, enquanto eventos passíveis de categorização, interpretação e coordenação por meio dos *conceitos* já previamente possuídos, seja de modo inato ou aprendido.

De modo que, ainda que os mesmos objetos perceptuais possam ter sido construídos, nas mentes dos sujeitos, o modo como se os entende e os interpreta, conceitualmente, pode ser muito diverso²⁸.

Colateralmente, podemos também concluir que a faculdade de reconhecimento conceitual pode ter partes inatas e partes aprendidas, muito embora seja razoável supor que, a partir de certo patamar de complexidade das estruturas cognitivas, os conceitos que as integram sejam, na sua maioria, aprendidos.

Biologia e Cultura

Como já mencionado, há variados indícios de que os conceitos de dissonância e de consonância são sensíveis a fatores socioculturais, o que, em outras palavras, significa que, no mínimo, uma parte deles deve ser aprendida. Em particular, estudos realizados nas últimas duas décadas apontam para uma importante componente na construção – e, possivelmente, na percepção – desses conceitos: a *linguagem falada*.

Em seu trabalho de revisão recente, Bowling e Purves (2015) apresentam evidências para sustentar a tese de que o sistema auditivo-cognitivo humano evoluiu, basicamente, para a comunicação intraespecífica, ou seja, para a captação e a interpretação de sinalizações vocalizadas de membros de nossa própria espécie.

Esse fato explicaria a preferência humana por sons harmônicos, uma vez que, na natureza, as vocalizações produzidas para fins de comunicação (inclusive, em animais) são justamente o tipo de sons que apresentam padrões periódicos nítidos. Isso não deve ser uma

²⁶ Representações proposicionais são abstratas no sentido de que não estão atreladas a nenhuma origem perceptual exclusiva. Podem, eventualmente, ser analisadas em partes; seu conteúdo ideacional é explícito e são submetidas a regras rígidas de combinação. Por outro lado, representações analógicas são concretas – pois, de fato, não são mais que percepções –; são de natureza holística; seu conteúdo ideacional é implícito e suas regras de combinação são flexíveis.

²⁷ Embora possa parecer estranho que conceitos possam ser inatos, isso de fato é o caso para conceitos bastante primitivos, imediatamente ligados àquelas necessidades básicas de sobrevivência dos indivíduos que evoluíram no ambiente ancestral. Observe que *possuir um conceito é diferente de ser capaz de nomeá-lo ou de enunciar suas definições em conformidade com o conhecimento científico corrente*.

²⁸ E, com isso, não estamos afastando, de modo algum, a possibilidade de que sequer os mesmos objetos perceptuais estejam sendo constituídos, pois *o modo como os sistemas cognitivos operam não se caracteriza pelo isolamento das faculdades de percepção e de conceptualização* (EYSENCK; KEANE, 2000). Sistemas cognitivos evoluem, ao longo de toda uma vida, em razão da mútua interação entre predisposições inatas e história de aprendizagem, de modo que, mesmo que todos os indivíduos possam nascer com o mesmo tipo de predisposições inatas para a constituição de objetos perceptuais, essas regras de construção podem sofrer alterações, em razão de seus contextos de aprendizagem, que são, essencialmente, o que chamamos de *cultura* (MESOUDI, 2011).

surpresa, uma vez que as vocalizações são produzidas com a ajuda de estruturas – tais como as cordas vocais – cujo mecanismo de funcionamento é idêntico ao dos instrumentos musicais, ou seja, opera por meio de vibrações periódicas capazes de exibir, de forma suficientemente definida, uma frequência fundamental e os seus respectivos harmônicos secundários – que é o que também se denomina por *harmonicidade*. Por outro lado, a maior parte dos demais sons naturais são, basicamente, ruídos ou sons sem características periódicas perceptíveis.

O fato de que a evolução tenha operado no sentido de tornar os seres humanos adaptados à percepção e à interpretação de vocalizações não implica, contudo, que essas habilidades sejam totalmente inatas. Pelo contrário, nossa excepcional habilidade para a aprendizagem por imitação (MESOUDI, 2011) sugere que a maior parte dos processos cognitivos superiores, ligados ao processamento auditivo, no cérebro dos indivíduos, é construída pela exposição não a vocalizações arbitrárias, mas, muito mais especificamente, por exposição à *fala* (TERHARDT, 1984; BOWLING; PURVES, 2015).

Uma impressionante evidência para a sustentação de que a percepção da consonância musical está ligada à fala é o fato de que os intervalos considerados mais consonantes são, particularmente, aqueles estatisticamente mais enfatizados na linguagem falada (SCHWARTZ; HOWE; PURVES, 2003).

Por fim, outros trabalhos recentes demonstram que a *harmonicidade* da fala e a percepção de consonância musical apresentam não apenas elevada correlação estatística (McDERMOTT; LEHR; OXENHAM, 2010), mas também fundamento causal, evidenciado por pesquisas em neurofisiologia (KADIA; WANG, 2003).

Ainda assim, Bowling e Purves (2015) alertam para o fato de que, embora presumivelmente preponderantes, esses fatores evolutivo/biológicos não conseguem explicar, de modo exclusivo, toda a complexidade envolvida na percepção e na conceptualização da consonância/dissonância. Em particular, a *experiência* e a *familiaridade* com a música desempenham papéis bastante relevantes.

Exatamente em virtude de sua relação com a linguagem falada, é de se esperar que diferentes culturas, associadas a diferentes línguas, apresentem diferentes concepções de consonância musical. E, de fato, Shui'er Han e colaboradores (2011) demonstraram que características específicas associadas com a tonalidade da música de falantes de *línguas tonais e não tonais*²⁹ estão fortemente correlacionadas com as características prosódicas de suas respectivas línguas.

Em particular, além da correlação da frequência de ocorrência de determinados intervalos melódicos, na música, e da frequência de determinados intervalos prosódicos, na

²⁹ *Línguas tonais* são aquelas que também se utilizam da altura relativa dos sons produzidos durante a fala para conferir significado às palavras e às sentenças que a constituem. Elas são, em sua maioria, línguas asiáticas. O exemplo mais importante é o do *mandarim*, que é a língua mais falada na China – e, de fato, no mundo inteiro. Já as línguas europeias, como o português, não são tonais, de modo que a pronúncia das palavras em diferentes alturas não implica alteração semântica.

fala, os dados de Shui' er Han e colaboradores indicam que a música de falantes de língua tonal tende a reconhecer consonância em alguns intervalos reconhecidamente dissonantes para os falantes de línguas não tonais. Isso parece indicar, claramente, que os *conceitos* de consonância e de dissonância, além de não serem *inatos*, podem não ter caracteres, de fato, completamente *universais*.

Em que exata medida fatores de ordem evolutiva e de ordem cultural (ou que habilidades inatas e aprendidas) interagem para produzir heterogeneidade no que, de outro modo, deveria ser uma característica comum a todos os indivíduos (saudáveis) da espécie humana, é uma questão que permanece aberta.

Se essa e outras conclusões análogas estiverem corretas, a psicofísica da audição (como ciência) e a música (como fenômeno cultural), devem ser continuamente abordadas de maneira interdisciplinar, considerando não somente seus caracteres matemático, físico e biológico, mas também seu caráter historicamente condicionado (linguisticamente e, de modo ainda mais amplo, cultural e antropológicamente).

III. Conceitos Musicais como Subsunoçores para Conceitos de Física Ondulatória

III.1 Conceitos e Percepções

Os fatos expostos na seção precedente podem acabar por implicar importantes limitações no momento de se aplicar as estratégias de ensino e de aprendizagem vinculadas à teoria ausubeliana, possivelmente restringindo-as a espectros sociais e culturais mais circunscritos.

Contudo, argumentaremos que, *para os nossos propósitos presentes, é razoável adotar, como hipóteses de trabalho, que alguns potenciais subsunoçores musicais podem ser considerados suficientemente universais*, pelo menos em uma primeira aproximação.

Com essas hipóteses de fundo, poderemos passar a considerar tanto os conceitos musicais de consonância/dissonância, quanto o conceito musical de altura, como potenciais subsunoçores com o objetivo de elaborar estratégias de ensino envolvendo conceitos de física ondulatória.

Isso posto, é interessante refletir, ainda que de modo incipiente, sobre como os problemas expostos acima se articulam com o problema geral da subsunção. Já assinalamos que o nosso principal objetivo, a partir de agora, é indicar como os *conceitos de consonância e de dissonância musicais* – doravante, CCDM – podem ser utilizados como potenciais subsunoçores dos *conceitos de consonância e de dissonância físicos* – doravante, CCDF.

A ideia básica é de que tudo o que se pode dizer, a respeito da relação de subsunção entre esses conceitos específicos, se estende naturalmente para as possíveis relações de subsunção entre quaisquer outros pares de conceitos.

Também já assinalamos, de passagem, que, a rigor, consonância e dissonância são conceitos estritamente musicais, e não físicos – e, isso, independentemente de se assumir uma

postura naturalista ou biológica/psicológica com relação a esse fenômeno. Contudo, nada nos impede de considerar a existência de certos conceitos físicos associados aos conceitos musicais. Evidentemente, esses conceitos físicos necessitam de definições precisas e essas definições devem ser científicas.

Conceitos: Relatividade Cultural versus Universalidade

Consideradas essas precauções, o primeiro problema geral que é preciso considerar, no que se refere à subsunção, é o seguinte: *em que sentido devemos (ou podemos) considerar que um par qualquer de conceitos é, de fato, um par subsunçor/subsumível, se o conceito subsunçor for culturalmente relativo, enquanto o conceito subsumível é universal?*

Em particular, a pergunta concreta que temos em mente é: *em que sentido devemos (ou podemos) considerar que CCDM e CCDF formam um par subsunçor/subsumível, diante da relatividade cultural dos conceitos musicais, em contraposição com a (pretensa) universalidade dos conceitos físicos?*

Em um primeiro momento, poderíamos supor que o fato realmente importante não é que diferentes culturas possuam diferentes CCDM, mas que todas possuam *algum* CCDM. Isso significaria, então, que, por mais distintos que os conceitos musicais sejam, entre si, ainda seria possível que constituíssem efetivos subsunçores para os conceitos físicos com os quais os consideramos associados.

Observe, porém, que isso soa estranho, na medida em que os conceitos físicos, por serem científicos, só existem e adquirem sua real função em virtude do fato de *explicarem* – eventualmente, em termos de outros conceitos científicos – os correspondentes conceitos musicais.

Há, portanto, uma relação prévia entre o par de conceitos – e que não é a de subsunçor/subsumível, mas a de *explanandum/explanans* – que, se por um lado, parece ser uma daquelas *condições externas suficientes*, a que nos referimos anteriormente, passa também a ser um complicador adicional do problema, porque *parece só cumprir sua função em um único contexto cultural* – no caso, aquele da cultura musical ocidental.

E, embora seja possível, sem dúvida, aceitar que os conceitos físicos possam adquirir independência, a partir do momento de sua criação, de modo que sua função explicativa original seja colocada em segundo plano ou abandonada, esse fato implica ou que a relação subsunçor/subsumível é completamente arbitrária – ou seja, seria função exclusiva do contexto e das estratégias, mas não das relações de proximidade entre os conceitos –, ou que essa relação de subsunção não pode ser jamais estabelecida, se o contexto de aprendizagem mudar para aquele de uma cultura diferente daquela na qual a relação foi originalmente estabelecida.

Não sabemos como decidir entre essas duas alternativas. E, até onde sabemos, esse problema ainda não foi sistematicamente atacado. Isso – nos parece – demandaria um programa de pesquisa de amplo porte – ao que nos parece, jamais tentado –, voltado para a

investigação da consistência dos fundamentos da teoria ausubeliana em contextos interculturais.

Em suma, se as estratégias e o contexto são ainda mais essenciais para que a subsunção aconteça do que a relação de similaridade entre os conceitos, é razoável pensar que mesmas estratégias podem não ser igualmente bem-sucedidas, quando empregadas em contextos culturais diversos. Além disso, não é apenas no contexto da consideração de diferentes culturas que a diversidade se apresenta. E, se o problema existe nesse caso, não é impossível que ele também apareça associado à diversidade de fatores *intraculturais*, como é o caso, por exemplo, da diversidade socioeconômica.

Conceitos e Percepções: Aprendizagem versus Recepção Inata

Existem mais dois problemas gerais que devem ser considerados. O primeiro deles se refere à origem dos potenciais subsunçores, ou seja, se eles são inatos ou aprendidos. Responder a essa pergunta pode ser interessante, na medida em que, se um potencial subsunçor for inato, então não será sequer necessário um trabalho prévio para detectá-lo.

Ou seja, poderíamos assumir, sem maiores preocupações, que ele já deve estar presente nas estruturas cognitivas dos sujeitos aprendizes. Provavelmente, esse não será o caso da maior parte dos conceitos realmente interessantes, de modo que, dificilmente se poderá escapar da necessidade de detectá-los.

Colateralmente, se for, de fato, defensável que os seres humanos possuem conceitos inatos, evidentemente, eles serão, também, universais. Porém, o inverso não é, necessariamente, verdadeiro. Em nosso contexto, devemos nos perguntar se os CCDM podem ser considerados inatos ou aprendidos. Como estamos assumindo que não são universais, então, evidentemente, não podem ser inatos, de modo que, na ausência de outras considerações, nos encontramos na obrigação de identificar sua presença.

O segundo problema se refere à conexão entre a percepção musical e o seu conceito. Como já mencionamos, *o modo como os sistemas cognitivos operam não se caracteriza pelo isolamento das faculdades de percepção e de conceptualização* (EYSENCK, KEANE, 2000).

Isso nos coloca o espinhoso problema de saber em que medida, para cada indivíduo considerado, os conceitos já constituídos estão influenciando em suas respectivas percepções. Como hipótese simplificadora, contudo, vamos partir da suposição razoável de que, no interior de uma cultura, as percepções musicais são majoritariamente as mesmas, quando consideramos indivíduos saudáveis e relativamente leigos em formação musical especializada, que é o caso da maioria dos estudantes, em praticamente todas as faixas etárias.

Por outro lado, os CCDM que, eventualmente, estão presentes nesses indivíduos devem ter, com a máxima probabilidade, sido adquiridos pela sua contínua exposição, ao longo de suas vidas, à música, popular ou erudita, que caracteriza sua cultura. De modo que, também *como hipótese razoável, podemos considerar que, muito embora os CCDM não sejam inatos, uma esmagadora maioria dos indivíduos de nossa cultura devem já, de fato,*

possuí-los. O que, por sua vez, não implica, necessariamente, que esses indivíduos estejam conscientes desses conceitos e/ou saibam defini-los ou mesmo nomeá-los.

Muito embora essas considerações ignorem a diversidade das condições socioeconômicas intraculturais, é também razoável supor que, para uma maioria dos estudantes com que lidamos, elas possam ser desprezadas, ao menos em primeira ordem, em virtude da massificação da informação e da difusão da música, pelos meios midiáticos e comerciais tradicionais.

De qualquer modo, não há, evidentemente, obrigatoriedade alguma de se partir dessas hipóteses e, ao se construir uma proposta didática baseada nessas ideias, ela pode sempre considerar as peculiaridades de cada estudante partícipe do processo – aqueles que têm algum treinamento musical mais especializado, por exemplo, podem possuir esses e outros conceitos subsunçores mais bem desenvolvidos, para o propósito de ensinar os conceitos físicos propriamente ditos.

III.2 Prospectos Esquemáticos de Subsunção entre Conceitos Musicais e Físicos

Além de supor que os conceitos musicais são previamente existentes na estrutura cognitiva dos sujeitos aprendizes, o que vamos exigir, a partir de agora, é que tanto os conceitos musicais quanto os conceitos físicos nos quais estamos interessados possuam aquelas características que já consideramos como sendo *intrinsecamente necessárias* para que, respectivamente, se candidatem a potenciais subsunçores e a potenciais subsumíveis.

Colateralmente, observe-se que a suposição de preexistência dos conceitos musicais nas estruturas cognitivas não implica que os próprios indivíduos estejam conscientes dos conceitos que lhes são internos. De modo que, embora não seja necessária uma etapa de *construção*, um procedimento de *exibição* e de *conscientização* desses conceitos é, no mínimo, conveniente e recomendável.

Quanto ao *problema das condições suficientes para a relação de subsunção*, lembremos que exibir a presença dos e tornar conscientes os conceitos musicais não é o mesmo que identificá-los como reais subsunçores. Como a subsunção é uma relação multiplamente condicionada, para que os conceitos musicais possam ser considerados subsunçores dos conceitos físicos, devemos observar as condições internas e externas que permitiram, em casos concretos, que a subsunção tenha (presumivelmente) acontecido.

Em virtude desse inevitável caráter *a posteriori*, todos os problemas envolvidos com as condições materiais de subsunção serão tratados na próxima seção, inclusive, o problema da construção de *instrumentos de subsunção*.

Passemos, agora, a expor a aplicação do conceito de *esquema de subsunção*, já definido, na parte I, no contexto de nossa discussão. O objetivo que temos em mente é construir esquemas de subsunção específicos e, para tanto, devemos começar discutindo as possíveis relações entre três instâncias distintas: (i) os *conceitos musicais* de altura e de

consonância/dissonância; (ii) os correspondentes *conceitos físicos*; e (iii) a *realidade física*, a qual se supõe ser descrita e/ou estruturada por meio desses conceitos.

Por um lado, temos a relação dos conceitos com a realidade, ou, mais apropriadamente, com o seu preposto: o *fenômeno físico*. Por outro lado, temos a inter-relação entre os conceitos físicos e os musicais.

Com respeito à primeira relação, entendemos como suficientemente esclarecido que tanto os conceitos musicais quanto os conceitos físicos possuem, como referentes últimos, os *mesmos fenômenos empíricos*. É bem verdade que os conceitos musicais são muito mais amplos, porém, estamos estritamente interessados na referência àquelas causas que, em última instância, podem ser identificadas como responsáveis pelo advento das percepções – ainda que essas causas sejam intermediadas pelos fatos concernentes à psicofisiologia da audição humana.

Como consequência, é razoável supor, no que diz respeito à inter-relação entre essas duas formas de descrição – a musical e a física –, a existência de um *campo semântico* comum. Entretanto, na música, pela sua própria natureza artística, os fatos associados com a apreciação estética das percepções são preponderantes. Isso implica que a sua linguagem se torna bastante atrelada a elementos de ordem subjetiva.

Na física, por sua vez, a preocupação preponderante é a de descrever o fenômeno com o máximo de objetividade, como é característico de uma ciência natural, e isso também se expressa na objetividade de sua linguagem, como bem representa o fato de ser a física uma ciência matematizada.

Contudo, a explicitação criteriosa desse campo semântico comum torna possível o estabelecimento de um diálogo proveitoso que conecta desde os fenômenos da percepção auditiva (subjetivos/concretos) até as elaboradas descrições matemáticas (objetivas/abstratas). O que, aliás, sempre foi uma ferramenta útil para os desenvolvimentos em ciência cognitiva.

No que se refere à educação, por sua vez, deve-se ter em mente alguns potenciais riscos associados, por exemplo, com a elaboração de estratégias e de materiais de ensino que busquem associar áreas diversas sem que seu campo semântico comum seja devidamente problematizado e esclarecido.

Dentre os riscos mais evidentes, está uma possível confusão entre sensação, percepção e entendimento, a qual pode induzir os estudantes a pensarem que elementos perceptuais e físicos são a mesma coisa quando, de fato, tratam-se de coisas completamente diferentes³⁰.

³⁰ A ausência de discernimento entre *fenômeno* e *conceito* talvez seja, aliás, um dos problemas mais ignorados pelos professores, no que diz respeito ao ensino de ciências. Porém, ele é também um dos mais sérios, possivelmente estando a levar gerações inteiras de estudantes a confundirem *natureza* com *ciência* e/ou a não perceberem em que nível conceitual se encontra a distinção entre *teoria* e *realidade*. Isso conduz a duas situações opostas, mas igualmente indesejáveis: por um lado, o endeusamento e/ou mitificação do empreendimento científico, que passa a ser revestido de superpoderes que, de fato, não possui; por outro lado, o desprezo pela ciência, que passa a ser encarada como algo inútil ou dispensável, no que se refere à vida cotidiana, seja no seu aspecto prático, seja no aspecto valorativo. Uma vívida ilustração de uma consequência

Nessa parte do trabalho, os objetos de partida (potências subsunçores) são os conceitos musicais de *altura* e de *consonância/dissonância*. Como já dissemos, o conceito musical de altura³¹ está associado à distinção que intuitivamente se faz entre sons graves e agudos. Fisicamente, a altura de um tom está relacionada com a *frequência do harmônico fundamental* do som complexo produzido por uma fonte vibratória.

Além disso, em música, estabelecem-se relações entre as alturas dos sons para construir intervalos musicais ditos consonantes ou dissonantes e, com elas, são elaboradas “regras” para a prática musical.

Fisicamente, consonância e dissonância têm origem na *quantidade relativa de interferência entre todos os pares de harmônicos* (índice de consonância) dos sons complexos que constituem o intervalo. Portanto, deve-se averiguar se, para cada um dos possíveis pares formados pelos harmônicos provenientes dos diferentes tons complexos em questão, se é o caso ou não dos intervalos entre esses pares caírem dentro de sua respectiva banda crítica. Ou seja, analisar se cada par poderia ou não, caso fosse ouvido isoladamente de todos os demais pares de harmônicos, apresentar batimento ou aspereza.

Ambos os conceitos, os musicais e os físicos, possuem uma parte qualitativa e uma parte quantitativa, que deve ser explicitada.

Esquemas de Subsunção dos Conceitos de Qualidade Física

O conceito musical de altura possui, é claro, uma ligação imediata com a percepção, o que lhe confere seu aspecto eminentemente qualitativo – dizemos, do ponto de vista da lógica, que se trata de um *conceito primitivo*.

Porém, a simples possibilidade de *ordenar* as percepções de altura segundo um critério que é *objetivo* já é suficiente para revelar seu aspecto quantitativo³². Da mesma forma, os conceitos físicos de frequência e de frequência fundamental – que, em nosso contexto, não são primitivos, mas sim, derivados – possuem tanto uma parte qualitativa – fundada na ideia de movimento periódico –, quanto uma (de resto, inalienável) parcela quantitativa.

E essa parte quantitativa torna ainda mais objetiva a *ordenação* das percepções, provendo-as, também, de uma *métrica*, ou seja, de uma *escala de medidas*. Portanto, programaticamente, já se pode falar de um primeiro estágio de *ordenação de alturas dos tons complexos* (estrato musical), a qual precede um segundo estágio de construção de uma *escala de frequências desses tons* (estrato físico). (Não deixemos de notar que ambos os estágios são matemáticos.)

nefasta dessa incapacidade de discernimento pode ser encontrada naquela frase feita, repetida à exaustão, até por professores, e que diz que, “na prática, a teoria é outra”, cuja detração da ciência e do seu verdadeiro estatuto epistemológico é evidente.

³¹ A rigor, o conceito de altura é antes auditivo do que especificamente musical, mas ignoraremos a acepção genérica, em virtude dos objetivos da discussão presente.

³² A objetividade a que nos referimos é, na verdade, *intersubjetividade*. O que, de resto, é a única objetividade a que aspira a própria ciência (SCHURTZ, 2013).

Os elementos para a exibição de um primeiro esquema de subsunção estão postos. Nesse caso, a mais simples *relação definidora de um esquema* é claramente uma relação de *associação regular (correlação) entre dois tipos muito distintos de fatos*: por um lado, a *taxa de oscilação de um movimento periódico específico, que ocorre na presença de um meio material*; de outro lado, uma *qualidade de agudeza (ou de gravidade) na experiência perceptiva auditiva*.

A forma mais “simples” de se expressar essa relação definidora (associação regular) é a seguinte: “*a captação de uma onda sonora harmônica com frequência fundamental suficientemente bem definida é sempre acompanhada, nas condições adequadas, por uma clara percepção auditiva de agudeza (ou gravidade), em uma relação biunívoca e em uma escala contínua, de modo que, gradativamente, frequências mais altas correspondem a sons mais agudos (menos graves)*”.

Em nosso contexto, essa definição pode soar um tanto pedante ou, no mínimo, desnecessária. Porém, ao apresentá-la, queremos fazer notar a importância de se saber exatamente quais são as relações definidoras que estruturam nossos esquemas de subsunção, porque são elas que, por sua vez, inspiram e justificam os instrumentos de subsunção.

Observe, por exemplo, que um outro esquema de subsunção, constituído pelos mesmos conceitos, poderia ser construído com a seguinte relação definidora (*relação de causa e efeito*): “*a percepção auditiva clara e distinta da qualidade de agudeza (ou gravidade) de um tom é um efeito produzido por um ‘complicado mecanismo neurofisiológico’, cuja causa física reside na captação de uma onda complexa cuja frequência fundamental é suficientemente bem definida, etc.*”.

Mesmo sendo mais satisfatória do que a primeira relação definidora, dificilmente, é claro, poderíamos nos dar por completamente satisfeitos e aceitar que essa última relação definidora representasse a “derradeira” explicação para o fenômeno perceptivo.

Afinal, sempre esperamos que o mecanismo causal que constitui o “*complicado mecanismo neurofisiológico*” seja, por sua vez, fornecido e esclarecido. Mas essa esperança é, evidentemente, vã e inútil. Vã, porque mesmo a explicação moderna, que envolve toda a fisiologia e a psicofísica da sensação e da cognição auditiva humanas, está longe de ser completa e, talvez, jamais chegue a sê-lo. E, inútil, por dois motivos. Primeiramente, porque é, obviamente, inviável considerá-la, em um contexto didático elementar. Mas, ainda mais importante do que isso, já argumentamos que o sucesso do processo de subsunção não depende exclusivamente do esquema de subsunção, mas também das estratégias para implementá-los, ou seja, do instrumento de subsunção que se elabore.

O que queremos concluir, com isso, é que mesmo a mera asserção de regularidade pode já ser suficiente para que os objetivos didáticos visados sejam alcançados, contanto que as estratégias do instrumento de subsunção utilizadas assim o permitam. Nesse sentido, pode até ser o caso de que um instrumento de subsunção baseado em um esquema cuja relação

definidora seja *mais* sofisticada acabe por ser *menos* eficiente, se as estratégias escolhidas o forem de modo inadequado.

Isso, de modo algum, significa que o papel do esquema de subsunção seja irrelevante. Por exemplo, no caso que estamos considerando, o que se deseja, de fato, ao invocar o conceito de altura, é que ele desempenhe nada mais do que a *função* de subsunção.

Suponha, agora, que o objetivo fosse o *inverso*. Imaginemos que o conceito previamente existente na estrutura cognitiva seja o de frequência e que queremos que ele funcione como subsunção para o conceito de altura. Nesse caso, seria perfeitamente possível que a relação mais sofisticada desempenhasse melhor sua função, no sentido de fornecer melhores condições para a elaboração de instrumentos de subsunção.

Um exemplo extremo é o seguinte: queremos ensinar significativamente o conceito de altura para um sujeito que possua algum grau de deficiência auditiva, mas que já tenha suficientes conhecimentos básicos de física. Um esquema de subsunção mais complexo torna-se mandatório, simplesmente porque o mais simples (associação regular) não fornece meio algum para que um instrumento de subsunção seja construído, já que deficientes auditivos podem não possuir as percepções que dão significado às associações.

Até aqui, falamos exclusivamente sobre o papel das relações definidoras, mas argumentos similares se aplicam ao caso da comparação entre esquemas com conjuntos ligeiramente distintos de potenciais subsunções e subsumíveis. Trata-se, portanto, dos casos já definidos de *extensão* ou de *redução* dos esquemas de subsunção.

Um esquema de subsunção como os que estamos considerando, ou seja, que possua apenas um potencial subsunção e um potencial subsumível, pode não ser o mais conveniente, sobretudo se o repertório de estratégias mostrar alguma limitação. Nesse caso, a deficiência das estratégias do instrumento pode ser compensada por um esquema que, possuindo mais conceitos, tire vantagem da relação interna existente entre eles.

Forneçamos mais um exemplo, baseado na situação que estamos estudando. Um esquema possivelmente mais conveniente para utilizar o conceito de altura seria uma extensão do esquema que ainda manteria apenas o conceito de altura no conjunto dos potenciais subsunções, mas incluiria três outros conceitos no conjunto dos conceitos subsumíveis: *período, comprimento de onda e velocidade de propagação de uma onda*.

Observe que os conceitos de período e de comprimento de onda são, claramente, mais intuitivos do que o conceito de frequência – já que são, respectivamente, definidos diretamente em termos dos conceitos mais elementares de tempo e de espaço. E, para conectar o conceito de comprimento de onda com os demais, é suficiente (mas, também, necessário) o conceito de velocidade.

Observe-se a complexidade que a relação definidora do esquema deve assumir, nesse caso. Porém, independentemente disso, um instrumento de subsunção elaborado sobre esse esquema estendido poderia ser tão (ou mais) eficiente do que o baseado no esquema original. Por exemplo, na impossibilidade de se construir uma escala de frequências diretamente (p. ex.

na falta de um frequencímetro), o instrumento de subsunção poderia lançar mão de estratégias como a representação visual das ondas (ou, ainda, representações em simulações) para, a partir daí, realizar a conexão com o conceito de frequência³³.

De todo modo, não importa muito a complexidade dos esquemas de subsunção. Já comentamos que é completamente desnecessário que os sujeitos aprendizes conheçam, detalhadamente ou não, em que consistem, de fato, suas relações definidoras – o que importa é que aprendizagem significativa ocorra³⁴. Porém, é absolutamente relevante que o educador as conheça, já que a elaboração de instrumentos de subsunção depende crucialmente disso.

Em resumo, do ponto de vista didático-pedagógico ausubeliano, a execução do estágio de ordenação de alturas dos tons corresponde aos procedimentos de exibição e de conscientização da presença prévia dos potenciais subsunçores. A construção de uma escala de frequências dos tons corresponde ao estágio final do que, presumivelmente, se supõe ter sido o processo de subsunção dos conceitos físicos de frequência, período, comprimento de onda, velocidade de propagação e onda estacionária.

Em qualquer que seja a situação, as relações entre altura, por um lado, e frequência, período, comprimento de onda, velocidade de propagação e onda estacionária, por outro, são suficientemente fáceis para oferecer um excelente ponto de partida para a elaboração de instrumentos de subsunção destinados a realizar várias outras inter-relações entre outros conceitos musicais e físicos e aproveitá-las no ensino de conceitos mais complexos de física ondulatória³⁵.

Esquemas de Subsunção dos Conceitos de Consonância/Dissonância

Por seu turno, os conceitos musicais de consonância/dissonância não se apresentam tão imediatamente relacionáveis com conceitos físicos, como, aliás, sugere a complexidade dos problemas, muitos ainda abertos e controversos, já discutidos na subseção II.3.

Uma maneira de iniciar a abordagem desse conceito é procurar estabelecer quais são os intervalos musicais percebidos como sendo mais aprazíveis e quais são aqueles percebidos

³³ O leitor pode estar se perguntando se extensões, como a representada por esse exemplo, não seriam, a rigor, mais propriamente definidas como casos de subsunção em sequência, ao invés de se tratar de um único evento de subsunção concomitante. Contudo, devemos ter sempre em mente o fato já esclarecido de que “processo de subsunção” é, no contexto da teoria ausubeliana, um conceito que designa processos cujos mecanismos cognitivos não estão suficientemente esclarecidos, de modo que discernir entre subsunções em sequência ou subsunção concomitante é, provavelmente, impossível. Mais ainda: do ponto de vista prático, essa distinção pode ser, na maioria das vezes, irrelevante.

³⁴ E se esse objetivo pôde ou não ser alcançado, é algo que apenas testes inteligentes podem ser capazes de constatar. No caso que estamos considerando, um bom teste seria verificar se os alunos conseguem responder a questões que envolvam a relação entre cores e frequências luminosas, apenas sendo suficientemente informados de que estão em analogia com o caso das alturas e das frequências sonoras.

³⁵ A ideia geral é utilizar os conceitos musicais como potenciais subsunçores. Evidentemente, uma grande virtude de se realizar a associação entre música e física, para ensinar conceitos físicos, é o aproveitamento do apelo motivacional da música, a qual, além de dar um sentido de utilidade imediata para a descrição física do fenômeno, possui também importantes aspectos lúdico e estético. Esse apelo motivacional, entretanto, não será, por nós, considerado.

como menos aprazíveis, identificando, assim, as extremidades superior e inferior de uma ordenação mais completa, a ser realizada em etapas subseqüentes. Uma vez completada, essa ordenação supriria a construção da parte quantitativa do conceito musical.

Evidentemente, o *juízo estético*, associado aos sentimentos de prazer/desprazer, é, ao mesmo tempo, tanto o *critério objetivo* que permite realizar a ordenação, quanto o elemento constitutivo da *parte qualitativa* do estrato conceitual musical – cujo fundamento é o estrato perceptivo.

A propósito, como já mencionamos, o problema de ordenação dos intervalos consonantes está intimamente associado ao problema da construção das chamadas *escalas musicais*. *Uma escala musical é um conjunto discreto de notas musicais estruturado de tal forma a maximizar o número de pares de notas consonantes e a minimizar os dissonantes.*

Presumivelmente, o resultado da tarefa de ordenação realizado com base na percepção deverá ser aquele já parcialmente obtido por Pitágoras e que foi sendo sucessivamente estendido, ao longo da história da música ocidental.

Do intervalo mais consonante para o menos consonante (dentro do intervalo de uma oitava), deve-se obter, primeiramente, as chamadas “consonâncias perfeitas”: uníssono, oitava, quinta justa e quarta justa. Esse conjunto é o que se utiliza para se construir o que se conhece como *escala musical pitagórica*.

Em seguida, as “consonâncias imperfeitas”: sexta maior, terça maior, terça menor e sexta menor. Juntas, as consonâncias perfeitas e imperfeitas são utilizadas para se construir o que se conhece como *escala musical justa*.

E, por fim, os intervalos dissonantes, que são os de um tom (segunda maior) e de um semitom (segunda menor). Com esses últimos, se constrói a *escala musical diatônica*: a base da música ocidental.

Em paralelismo com o caso da altura, pode-se falar, programaticamente, nesse primeiro estágio (matemático) de *ordenação das consonâncias musicais entre tons complexos* (estrato musical), o qual deve preceder a um segundo estágio (matemático) de construção de uma verdadeira *escala de consonâncias físicas* (estrato físico).

Para construir essa escala física de consonâncias, é necessário encontrar uma definição que seja suficientemente precisa não apenas para decidir se um intervalo é mais consonante do que outro, mas para decidir o *quanto* cada intervalo é mais consonante do que outro. Esse critério deverá ser, obviamente, independente do critério musical.

A propósito, observe-se que mesmo a definição *matemática pitagórica* – que foi a primeira a fornecer uma verdadeira abordagem quantitativa para o fenômeno – não chega a fornecer um bom critério para a definição de uma verdadeira escala *métrica*.

Lembremos que, de acordo com essa definição, são considerados mais consonantes aqueles tons complexos que se apresentam em relação de pequenos números inteiros, ou seja, cujas frequências dos harmônicos fundamentais f_0 e g_0 estão relacionadas pela fórmula: $ng_0 =$

mf_0 , onde n e m são números inteiros tais que, quanto menores forem, maior é a consonância entre os intervalos.

Lembremos, ainda, que essa definição é, na verdade, consequência de uma definição um pouco mais profunda, segundo a qual *dois tons complexos são mais consonantes quanto maior for a sua harmonicidade, ou seja, a proporção de coincidência entre as frequências de seus harmônicos secundários*. Apesar da evidente superioridade, em termos de objetividade, dessas definições, quando comparadas com o critério estético, é ainda flagrante que não é possível dispor os intervalos em uma escala *métrica*, apenas, novamente, ordená-los.

Ainda assim, do ponto de vista didático, é interessante realizar essa tarefa preliminar de reobtenção da ordenação dos intervalos, através do critério matemático pitagórico, antes de construir a escala física propriamente dita.

Nesse ponto, encontramos-nos com uma pequena dificuldade, já que não se sabe exatamente o que significa serem *pares* de números inteiros “menores” e “maiores”. Um modo improvisado de resolver ao menos parte do problema é impor uma ordenação com base na *soma* das frequências que compõem as razões de números inteiros, pois isso garante, de fato, que pelo menos os intervalos dados acima serão corretamente ordenados.

Portanto, o que se espera é que essa definição mais simples demonstre como as razões entre as frequências dos harmônicos fundamentais se “ordenam” exatamente como os intervalos musicais previamente considerados, ou seja, das chamadas “consonâncias perfeitas”: 1/1 (uníssono, consonância trivial, soma: $1+1 = 2$); 1/2 (oitava, soma: $1+2 = 3$); 2/3 (quinta justa, soma: $2+3 = 5$); 3/4 (quarta justa, soma: 7); passando pelas “consonâncias imperfeitas”: 3/5 (sexta maior, soma: 8); 4/5 (terça maior, soma: 9); 5/6 (terça menor, soma: 11); 5/8 (sexta menor, soma: 13) e, por fim, chegando aos intervalos dissonantes (na escala diatônica justa): um tom ($9/8$ ou $10/9$, somas: 17 ou 19) e um semitom ($16/15$, segunda menor, soma: 31).

Pode-se fazer muito melhor do que isso se, agora, essa mesma ordenação for reobtida por estimativa das proporções relativas de coincidência de harmônicos superiores, fornecendo, dessa forma, uma explicação plausível para a relação entre a harmonicidade e a fórmula pitagórica de pequenos números inteiros.

Os elementos para a exibição de um esquema de subsunção estão, novamente, postos. No conjunto de potenciais subsunçores, encontram-se os *conceitos musicais de consonância* e de *dissonância*, além, é claro, dos conceitos físicos de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação.

No conjunto dos potenciais subsumíveis encontram-se os conceitos de *harmônicos fundamental e superiores (espectro de uma onda complexa)* e de *superposição para a construção de uma onda complexa*. A relação definidora do esquema também é claramente uma relação de associação regular entre dois tipos (muito distintos) de fatos: por um lado, *experiências de consonância/dissonância musical* que acompanham as percepções auditivas conjuntas de tons complexos; de outro lado, *relações numéricas simples entre as frequências*

dos harmônicos fundamentais correspondentes a esses tons, as quais, por sua vez, estimam preliminarmente *proporções relativas de harmônicos superiores coincidentes*. Essa associação regular é biunívoca, discreta, mas ainda não provê uma escala métrica.

Para alcançar uma verdadeira escala, devemos, agora, sofisticar as definições de consonância e de dissonância na direção daquelas que são mais modernas e (ainda) relativamente consensuais. Em vista do que já se discutiu, a resposta deve estar naquela ideia seminal de Helmholtz, segundo a qual “*a consonância/dissonância física entre dois tons complexos são a (progressiva) ausência/presença de padrões de batimento entre todos os harmônicos presentes no espectro de cada um desses tons*”³⁶.

Essa nova definição provê um verdadeiro critério objetivo para a construção de uma escala métrica de consonâncias físicas. A tarefa, agora, é, porém, muito mais complicada, mas ainda plenamente factível.

Para cada intervalo musical entre dois tons complexos, deve-se obter o conjunto das frequências dos primeiros harmônicos de cada tom e calcular a proporção entre os pares de harmônicos que têm uma diferença de frequências que se situa dentro de suas respectivas bandas críticas e os pares cuja diferença se situa fora da banda crítica³⁷.

Como já mencionamos, essa proporção é exatamente o *índice de consonância* (PLOMP; LEVELT, 1965; KAMEOKA; KURIYAGAWA, 1969), um número que é suficiente para ordenar de forma objetiva os intervalos musicais – e que fornece (aproximadamente) a ordenação já obtida –, bem como para dizer quanto um intervalo é mais ou menos consonante/dissonante do que outro.

Observe que a execução dessa última tarefa requer que o conceito de *banda crítica* seja utilizado e, por conseguinte, requer que os conceitos de *batimento musical* e *aspereza* sejam definidos.

Ambos os conceitos são primitivos, na medida em que são fundados na experiência perceptual. Há pouco a mais que se possa fazer com relação ao conceito de aspereza, mas o conceito *musical* de *batimento* pode (e deve) ser assumido como potencial subsunçor para os conceitos físicos de *interferência* e de *batimento físico entre ondas harmônicas*. Se o processo de aprendizagem significativa desses dois conceitos puder ser completado com sucesso, então, abre-se caminho para a construção de uma escala de consonâncias físicas.

Os elementos para a exibição de um esquema de subsunção estão, novamente, postos. No conjunto de potenciais subsunçores, encontram-se os conceitos musicais de

³⁶ Qualquer que seja a definição da qual se parta para a consonância física, a *consonância musical* pode, por sua vez, ser definida como o resultado perceptual da consonância física. Novamente, recorde-se que estamos fazendo uma inversão lógica (artificial), de modo que o conceito musical, que é considerado primitivo, passa a ser derivado.

³⁷ Os primeiros seis harmônicos de cada tom complexo devem ser suficientes. O que ocorre é que as diferenças entre as frequências dos harmônicos sucessivos do *mesmo* tom complexo começam a cair dentro da região de sua respectiva banda crítica mais ou menos em torno do sétimo harmônico. Como consequência, o sistema auditivo passa a não ser mais capaz de discernir as intensidades de cada um desses harmônicos (ROEDERER, 2008, pag.129).

consonância e de *dissonância*, porém, agora definidos em termos da ausência ou da presença de *batimentos musicais*. Completando esse conjunto, temos os conceitos físicos de *frequência*, *comprimento de onda*, *velocidade de propagação* e *harmônicos fundamental e superiores*. Por sua vez, no conjunto dos potenciais subsumíveis, encontram-se os conceitos físicos de *superposição*, de *interferência* e de *batimentos, ou seja, modulação da amplitude, no tempo*.

A relação definidora desse novo esquema já não é mais uma relação de associação regular, mas sim, uma relação de *explicação causal*: “*a percepção auditiva clara e distinta da qualidade de consonância (ou de dissonância) entre dois tons complexos é um efeito produzido por um ‘sofisticado mecanismo neurofisiológico’, cuja causa física reside na captação e na análise harmônica, realizada pelo sistema auditivo, desses tons complexos, e na subsequente computação da quantidade relativa de padrões de batimento existentes entre todos os pares constituídos pelos seus respectivos harmônicos fundamentais e superiores. Essa quantidade relativa é representada por um parâmetro denominado por índice de consonância*”.

Essa relação explicativa é biunívoca, discreta e, finalmente provê uma escala métrica que permite especificar quanto um intervalo é mais consonante do que outro. Observe, novamente, que não é importante que a relação definidora seja explicitamente fornecida, aos sujeitos aprendizes, mas é importante que o professor a tenha clara.

Prosseguindo com o paralelismo com o caso da utilização do conceito de altura, podemos dizer que, de um ponto de vista didático-pedagógico ausubeliano, o estágio de ordenação das consonâncias musicais corresponderia exatamente ao processo de exibição e de conscientização da presença dos potenciais subsunçores musicais, enquanto o estágio de construção de uma escala de consonâncias físicas – passando pelo estabelecimento das relações de harmonicidade e chegando no índice de consonância – seria o resultado final dos (presumíveis) processos de subsunção, nos quais os conceitos de harmônicos fundamental e secundários, superposição, interferência e batimentos são os conceitos físicos (potencialmente subsumíveis) que se pretende que sejam significativamente aprendidos.

Nos quadros 1 a 4, apresentamos uma sinopse dos esquemas de subsunção que foram discutidos.

III.3 Instrumentos de Subsunção: Implementação dos Esquemas de Subsunção entre Conceitos Musicais e Conceitos Físicos

Um Candidato a Instrumento de Subsunção

De acordo com a teoria ausubeliana, para atingir, na prática, um objetivo didático-pedagógico, os esquemas de subsunção fornecidos na subseção III.2 são, obviamente, insuficientes. De fato, as considerações que fizemos na *parte I* indicam que o processo de subsunção e suas condições suficientes (internas e externas) são fatos que, no máximo, só podem ser estabelecidos *a posteriori*. São apenas essas condições que permitem afirmar, com alguma probabilidade, que os conceitos prévios supostos como subsunçores se concretizam

Quadro 1 – Esquemas básicos de subsunção para o conceito de frequência.

Percepções Musicais	Potenciais Subsunoçores	Potenciais Subsumíveis	Possíveis Relações Definidoras
<i>Sons graves e agudos</i>	<i>Altura de um tom complexo.</i>	<i>Frequência de uma onda complexa em um meio com contornos fixos (onda estacionária).</i>	<p>1. Associação Regular: a <i>captação auditiva de uma onda sonora estacionária com frequência fundamental suficientemente bem definida é sempre acompanhada, nas condições adequadas, por uma clara percepção auditiva de agudeza (ou gravidade), em uma relação biunívoca e em uma escala contínua, de modo que, gradativamente, frequências mais altas correspondem a sons mais agudos (menos graves).</i></p> <p>2. Causação Física: <i>a percepção auditiva clara e distinta da qualidade de agudeza (ou gravidade) de um tom complexo produzido por uma fonte externa é um efeito produzido por um ‘complicado mecanismo neurofisiológico’, cuja causa física reside na captação e na reprodução, pelo tímpano, de uma onda sonora estacionária complexa, com frequência fundamental suficientemente bem definida, em uma relação biunívoca e em uma escala contínua, de modo que, gradativamente, frequências mais altas correspondem a sons mais agudos (menos graves).</i></p> <p>Estrutura Quantitativa das Relações Definidoras:</p> <p>Relação biunívoca entre as ordenações dos potenciais subsunoçores e subsumíveis.</p>
	Estrutura Quantitativa do Conceito: Ordenação de alturas de tons pela percepção auditiva.	Estrutura Quantitativa do Conceito: Ordenação e escala métrica de frequências pela sua medição direta (frequencímetro).	

Quadro 2 – Esquemas estendidos de subsunção para os conceitos de frequência, período, comprimento de onda e velocidade de propagação.

Percepções Musicais	Potenciais Subsunoçores	Potenciais Subsumíveis	Possíveis Relações Definidoras
<i>Sons graves e agudos</i>	<i>Altura de um tom complexo.</i>	<i>Frequência, período, comprimento de onda e</i>	1. Associação Regular: a <i>captação auditiva de uma onda sonora, com</i>

	<p>Estrutura Quantitativa do Conceito:</p> <p>Ordenação de alturas de tons pela percepção auditiva.</p>	<p><i>velocidade de propagação de uma onda complexa em um meio com contornos fixos (onda estacionária).</i></p> <p>Estrutura Quantitativa dos Conceitos e suas Relações:</p> <p>Representações visuais/espaciais para a definição de comprimento de onda.</p> <p>Representações visuais/temporais para a definição de período.</p> <p>Definição de velocidade de propagação a partir de comprimento de onda e período.</p>	<p><i>velocidade de propagação constante em um determinado meio, e com comprimento de onda, período e frequência fundamental suficientemente bem definidos, é sempre acompanhada, nas condições adequadas, por uma clara percepção auditiva de agudeza (ou gravidade), em uma relação biunívoca e em uma escala contínua, de modo que, gradativamente, frequências mais altas e comprimentos de onda mais curtos (vice-versa) correspondem a sons mais agudos (mais graves).</i></p> <p>2. Causação Física: <i>a percepção auditiva clara e distinta da qualidade de agudeza (ou gravidade) de um tom complexo produzido por uma fonte externa é um efeito produzido por um 'complicado mecanismo neurofisiológico', cuja causa física reside na captação e na reprodução, pelo tímpano, de uma onda sonora estacionária complexa, com velocidade de propagação constante em um determinado meio, e com comprimento de onda, período e frequência fundamental suficientemente bem definidos, em uma relação biunívoca e em uma escala contínua, de modo que, gradativamente, frequências mais altas e comprimentos de onda mais curtos (vice-versa) correspondem a sons mais agudos (mais graves).</i></p> <p>Estrutura Quantitativa das Relações Definidoras:</p> <p>Relação biunívoca entre as ordenações dos potenciais subsunçores e subsumíveis.</p>
--	---	--	---

		<p>Definição de frequência como o inverso do período ou a razão entre a velocidade e o comprimento de onda.</p> <p>Ordenação e escala métrica de frequências/comprimento de onda pela sua medição/observação direta (frequencímetro ou câmera de alta velocidade para visualizar os comprimentos de onda).</p>	
--	--	--	--

Quadro 3 – Primeiro esquema de subsunção para os conceitos de consonância/dissonância física, harmônicos fundamental e superiores (espectro) e de superposição para a construção de uma onda complexa.

Percepções Musicais	Potenciais Subsunoçores	Potenciais Subsumíveis	Relação Definidora
<i>Sons consonantes e dissonantes.</i>	<p><i>Consonância/Dissonância entre dois tons complexos.</i></p> <p><i>Conceitos físicos de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação de uma onda estacionária.</i></p>	<p><i>Conceitos de harmônicos fundamental e superiores (espectro) e superposição para a construção de uma onda estacionária complexa.</i></p> <p><i>Conceito de Consonância/Dissonância Física: grau de harmonicidade, ou seja, proporções relativas de coincidência entre todas as frequências dos harmônicos superiores de seus respectivos espectros.</i></p>	<p>Associação Regular (e Relação Matemática Auxiliar): <i>as experiências de consonância/dissonância musical, que acompanham as percepções auditivas conjuntas de tons complexos, estão em relação biunívoca com o seu grau de harmonicidade, ou seja, com as proporções relativas de coincidência entre as frequências de seus respectivos harmônicos superiores (grau de consonância/dissonância física), de modo que proporções maiores de coincidência estão associadas a percepções de maior consonância. Por sua</i></p>
	Estrutura Quantitativa do		

	<p>Conceito Musical:</p> <p><i>Ordenação das consonâncias entre tons pela percepção auditiva conjunta (construção da escala musical justa).</i></p>	<p>Estrutura Quantitativa dos Conceitos e suas Relações:</p> <p><i>Ordenação das consonâncias/dissonâncias pelas definições matemática e física.</i></p> <p><i>Definição Matemática: pela fórmula pitagórica de pequenos números inteiros. São considerados fisicamente mais consonantes aqueles tons complexos cujas frequências dos harmônicos fundamentais f_0 e g_0 estão relacionadas pela fórmula: $ng_0 = mf_0$, onde n e m são números inteiros tais que, quanto menores forem, maior é a consonância entre os intervalos. As relações de pequenos números inteiros estimam a harmonicidade.</i></p> <p><i>Definição Física: pelo grau de harmonicidade, ou seja, proporções relativas de harmônicos superiores coincidentes entre os tons.</i></p> <p><i>Observação: o maior grau de harmonicidade é equivalente à menor proporção de harmônicos secundários que se combinam produzindo batimentos. A ordenação da harmonicidade, por sua vez, está de acordo com a escala mais precisa dos índices de consonância.</i></p>	<p><i>vez, o grau de harmonicidade está matematicamente relacionado com a fórmula pitagórica de pequenos números inteiros.</i></p> <p>Estrutura Quantitativa da Relação Definidora:</p> <p><i>Relação biunívoca entre as ordenações dos potenciais subsumíveis e subsumíveis. Essa associação regular é biunívoca e discreta, mas ainda não corresponde a uma escala métrica.</i></p>
--	---	---	---

Quadro 4 – Segundo esquema de subsunção para os conceitos de consonância/dissonância física, harmônicos fundamental e superiores (espectro), de superposição para a construção de uma onda complexa, de interferência e de batimento físico entre ondas harmônicas.

Percepções Musicais	Potenciais Subsunçores	Potenciais Subsumíveis	Relação Definidora
<p><i>Sons consonantes e dissonantes.</i></p> <p><i>Batimentos Auditivos.</i></p> <p><i>Aspereza.</i></p>	<p><i>Banda Crítica: batimentos auditivos e aspereza.</i></p> <p><i>Consonância/Dissonância entre dois tons complexos: ausência de batimentos e aspereza na audição conjunta.</i></p> <p><i>Conceitos físicos de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação de uma onda estacionária, harmônicos fundamental e superiores.</i></p> <p>Estrutura Quantitativa do Conceito:</p> <p><i>Ordenação das consonâncias entre tons pela percepção auditiva (construção da escala musical justa).</i></p>	<p><i>Conceitos de superposição, de interferência e de batimentos, ou seja, modulação da amplitude, no tempo.</i></p> <p><i>Conceitos de Consonância/Dissonância Física: índice de consonância, ou seja, a proporção entre o número de pares mútuos de harmônicos dos respectivos espectros que caem fora da banda crítica e o número de pares que caem dentro da banda crítica (e que não são coincidentes).</i></p> <p>Estrutura Quantitativa dos Conceitos e suas Relações:</p> <p><i>Ordenação das consonâncias/dissonâncias por meio dos índices de consonância. Para cada intervalo musical entre dois tons complexos, deve-se obter o espectro de cada tom. Em seguida, calcular a proporção entre os pares de harmônicos que têm uma diferença de frequências que se situa dentro de suas respectivas bandas críticas e os pares cuja diferença se situa fora da banda crítica.</i></p>	<p>Explicação Causal: <i>a percepção auditiva clara e distinta da qualidade de consonância (ou de dissonância) entre dois tons complexos é um efeito produzido por um ‘s sofisticado mecanismo neurofisiológico’, cuja causa física reside na captação e na análise harmônica, realizada pelo sistema auditivo, desses tons complexos, e na subsequente computação da quantidade relativa de padrões de batimento existentes entre todos os pares constituídos pelos seus respectivos harmônicos fundamentais e superiores. Essa quantidade relativa é representada por um parâmetro denominado por índice de consonância.</i></p> <p>Estrutura Quantitativa da Relação Definidora:</p> <p><i>Relação biunívoca entre as ordenações dos potenciais subsunçores e subsumíveis. Essa associação regular é biunívoca e discreta, e corresponde a uma escala métrica.</i></p>

--	--	--	--

como subsunçores reais e que permitem concluir que os esquemas de subsunção concebidos são, de fato, úteis.

Portanto, vale a pena, agora, fazer uma descrição abreviada a respeito de um *candidato* a instrumento de subsunção, que pôde ser elaborado com base nos esquemas de subsunção que delineamos na seção anterior.

As razões pelas quais decidimos por nos restringir, nesse trabalho, a uma descrição abreviada de um exemplo concreto de um instrumento de subsunção são, por um lado, o espaço exigido para uma descrição completa – o que demandaria um outro artigo –, mas, por outro lado, o desejo de apresentar as indicações de um fecho para todas as ideias já desenvolvidas. Em publicação posterior, nos dedicaremos a apresentar o candidato a instrumento de subsunção em todos os seus detalhes.

O candidato que temos em mente já é um aperfeiçoamento realizado sobre um instrumento de subsunção que, de fato, passou por uma aplicação real e obteve um resultado parcialmente positivo, embora esse sucesso relativo tenha se dado em um único evento educacional. Trata-se de uma sequência de aprendizagem, elaborada no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (De BARCELLOS COELHO, 2017a; De BARCELLOS COELHO; POLITO, 2016).

Um ponto extremamente importante que se deve, desde o início, salientar, é o seguinte. Para realmente demonstrar que um *candidato* é um *verdadeiro* instrumento de subsunção, não basta uma ou poucas aplicações. Para isso, um trabalho de campo sistemático, de larga monta, deve ser realizado, durante tempo suficiente para que muitas *repetições bem-sucedidas* de aplicação do candidato produzam suficiente convencimento de que se trata de um verdadeiro instrumento de subsunção.

Procedimentos sistemáticos de *validação* de instrumentos de subsunção são, por sua vez, um assunto do qual não nos aproximamos, muito embora acreditemos que um estudo realmente profundo desse tema seja extremamente bem-vindo. Ele é muito mais complicado do que parece, à primeira vista, uma vez que não se resume a eger e aplicar metodologias genéricas, mas sim, metodologias cujos critérios de aceitação levem em conta a especificidade do evento altamente elusivo que é o de subsunção.

Procedimentos cuja ideia é completamente diferente, ou seja, que nada tem a ver com validação de um instrumento de subsunção, são *averiguações de indícios de aprendizagem significativa*. Embora tais procedimentos não sejam parte obrigatória do instrumento, eles são desejáveis, na medida em que cumprem demandas da prática docente. Porém, tais averiguações, no contexto de atividades de simples aplicação, não necessitam ser *sistemáticas*. Por outro lado, qualquer tentativa de validação deve, evidentemente, passar por averiguações desse tipo que tenham algum tipo de sistematicidade envolvida.

Passemos, pois, à descrição abreviada. Como já definimos, na *parte 1*, um instrumento de subsunção deve possuir, além dos esquemas de subsunção, um *sistema bem-sucedido e bem estruturado de estratégias de aplicação e execução das ideias centrais que*

fundamentam os esquemas. O sistema de estratégias é o que caracteriza o instrumento, mas ele deve compartilhar elementos ideacionais com os esquemas. Além disso, diferentemente dos esquemas de subsunção, o sistema de estratégias é dependente de contextos e subjetividades.

Os esquemas de subsunção constitutivos desse candidato a instrumento de subsunção referem-se àqueles apresentados na subseção III.2, no quadro 2 – *esquema estendido de subsunção para os conceitos de frequência, período, comprimento de onda e velocidade de propagação, com a relação definidora sendo a de associação regular* – e no quadro 3 – *esquema de subsunção para os conceitos de consonância/dissonância física, harmônicos fundamental e superiores (espectro) e de superposição para a construção de uma onda complexa.*

Devemos recordar que os esquemas de subsunção não necessariamente precisam ser apresentados explicitamente aos alunos. Porém, caso o sejam, é bastante recomendável que essa apresentação seja feita por meio de *organizadores avançados*. Nosso candidato a instrumento, contudo, não faz uso de organizadores avançados.

As Estratégias do Sistema

Uma forma convencional de implementar um sistema de estratégias é elaborar o que se conhece como uma *sequência de aprendizagem*. Essa é a forma que adotamos para o nosso candidato a instrumento de subsunção. Evidentemente, essa não é a única forma de implementação e talvez não seja sequer sempre a mais adequada. Além disso, não supomos que possa haver uma metodologia única para a elaboração de sistemas de estratégias ou para a sua implementação.

Contudo, no que se refere especificamente ao problema de como aplicar a teoria ausubeliana (AUSUBEL, 2000), existe, sim, pelo menos uma metodologia que já foi criada por Moreira. Em seu trabalho *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*, o autor propõe um método genérico para a formulação de sequências de aprendizagem, em sete passos (MOREIRA, 2012). Na sequência de aprendizagem que constitui o nosso candidato a instrumento de subsunção, algumas ideias e linhas gerais do trabalho de Moreira estão presentes, mas não seguimos sua metodologia de modo estrito.

A *estratégia geral* que define nosso candidato a instrumento de subsunção consiste na execução de *três estágios sucessivos*.

O *objetivo do primeiro estágio* é *explicitar, tornar conscientes e nomear os elementos que constituem os esquemas de subsunção* adotados – mas, não, necessariamente, explicitar suas relações definidoras. Para tanto, o primeiro estágio deve consistir em empregar *estratégias* e instrumentos específicos para realizar a *apresentação inicial das percepções musicais*, dos *potenciais subsunçores musicais* e dos *potenciais conceitos físicos subsumíveis*.

O *objetivo do segundo estágio* é *realizar o processo de subsunção*, propriamente dito, dos conceitos físicos nos quais estamos interessados. Para tanto, o segundo estágio deve

consistir em empregar *estratégias* e instrumentos específicos para *construir uma representação concreta das relações definidoras tacitamente adotadas*.

O objetivo do *terceiro estágio* consiste em *empregar estratégias e instrumentos específicos para consolidar o processo de subsunção*, através do que Ausubel chamava de *reconciliação integrativa*: uma (presumida) reorganização da estrutura cognitiva do aprendiz após o processo de aprendizagem significativa. Ela dá consistência ao processo de subsunção, demonstrando como os conceitos físicos presumivelmente subsumidos se referem a e se articulam em um âmbito integrado de fenômenos físicos e, eventualmente, de outros conceitos derivados. No caso de nosso candidato a instrumento de subsunção, o objetivo desse estágio deverá ser alcançado *concomitantemente* com uma *averiguação de indícios de aprendizagem significativa*.

Como fica claro, cada estágio de implementação dessa estratégia geral possui seu próprio conjunto específico de subestratégias. Dentre elas, sem dúvida, a mais importante é a subestratégia que escolhemos para realizar a tarefa principal do segundo estágio.

Ela consiste em uma atividade de *manipulação* e de *execução de procedimentos* (proto-) experimentais, roteirizados, desenvolvida em torno de um *modelo “físico-musical”*: um *monocórdio de baixo custo de produção*.

Essa montagem de um monocórdio simplificado foi concebida e construída para desempenhar uma *dupla função didático-pedagógica*: a de ser tanto um “*experimento de física elementar*”, quanto um “*instrumento musical elementar*”. É justamente essa dupla função que se espera fornecer a conexão entre os conceitos e percepções musicais e os conceitos físicos, em torno da qual todos os demais objetivos didático-pedagógicos se articulam.

As demais subestratégias são, portanto, predominantemente auxiliares. As principais são as seguintes: (i) a utilização de *materiais didáticos (textos e roteiros)* produzidos especificamente para estudo, orientação e realização de tarefas específicas contidas na sequência de aprendizagem; (ii) a utilização de *áudios*, de *vídeos* e de *instrumentos musicais reais* (violão, teclado, etc.), para dar suporte à produção das experiências perceptuais durante as atividades de aulas, dos testes prospectivo e de aprendizagem, etc.; (iii) a utilização de *instrumentos analógicos* (cordas e molas) para ilustrar de modo mais eficiente e apreensível os fenômenos associados à propagação de ondas; (iv) a utilização de *tecnologias prontas*, amplamente disponíveis e de fácil acesso (*simulações e dispositivos eletrônicos*); (v) a produção e a utilização de *mapas conceituais*; (vi) a produção e a utilização de *testes de prospecção e de aprendizagem*; (vii) a utilização de *um site de internet*, desenvolvido para centralizar e organizar as atividades previstas na sequência de aprendizagem³⁸.

³⁸ O *site* que foi elaborado para a sequência de aprendizagem original foi desenvolvido utilizando a ferramenta gratuita Google Sites. Endereço completo: <<https://sites.google.com/site/introducaoondulatória/>>. Nele, encontram-se os materiais didáticos produzidos e utilizados no projeto original; o teste prospectivo prévio, com os áudios e vídeos necessários para a sua realização; o material de apoio, contendo diversas referências de *sites* e de simulações interessantes, encontradas na internet, sobre os temas tratados; uma enquête avaliativa do produto

O Sistema de Estratégias: Estrutura e Conteúdo

Passemos a descrever a estrutura do candidato a instrumento de subsunção, de acordo com sua organização em estágios.

No *primeiro estágio*, devemos *explicitar, tornar conscientes e nomear os potenciais conceitos subsunçores e subsumíveis*, bem como as *percepções auditivas/musicais* que são a base para os respectivos conceitos subsunçores (cf. quadros 2 e 3, subseção III.2).

Para realizar, prevemos que os seguintes passos devem ser cumpridos:

(i) Passo 1: aplicação de um *teste prospectivo prévio*. Há, evidentemente, muita liberdade na confecção de um teste como esse. Nós propomos que esse teste seja *iterativo* e, no presente caso, foi dividido em três partes: (i) verificação sobre a capacidade de discernimento dos estudantes, em testes de percepção auditiva envolvendo *intensidade, altura, consonância e dissonância*, através de áudios gravados com um *software* capaz de fazer sintetização de sons de diversos instrumentos (GuitarPro); (ii) verificação sobre a capacidade de discernimento e de compreensão de alguns conceitos elementares de música (*altura, volume, timbre, consonância e dissonância*) e de física ondulatória (*frequência, intensidade, superposição, etc.*), quando apresentados no contexto de experiências musicais concretas, através de perguntas sobre vídeos de instrumentistas executando peças musicais; (iii) verificação sobre o nível de compreensão prévia do funcionamento da montagem experimental (*monocórdio*), que será utilizada no segundo estágio, sem, contudo, antecipar esse fato aos estudantes.

(ii) Passo 2: uma ou mais aulas, destinadas a fazer *exposições teóricas, explicações qualitativas e demonstrações ilustrativas*, abordando os *elementos perceptuais e conceituais de natureza musical* nos quais estamos interessados, preferencialmente com auxílio de um instrumento musical de corda, como um violão. Nesse passo, devem ser exploradas (i) a *percepção e a definição do conceito de altura sonora (sons agudos e graves)*; (ii) a *relação qualitativa entre a percepção de altura (sons agudos e graves) e os comprimentos, densidade linear e espessura da corda vibrante*; (iii) a *percepção e definição dos conceitos musicais de consonância e de dissonância*, através de acordes tocados no instrumento de corda.

(iii) Passo 3: *exposições, explicações qualitativas e demonstrações* que abordem os *conceitos ondulatórios mais elementares*, com auxílio de instrumento musical de corda; de outros instrumentos analógicos, como corda e mola; e de simulações de computador: (i) *definição de propagação de pulso e de onda*; (ii) *definição de comprimento de onda*; (iii) *definição de frequência e de período de uma onda senoidal*; (iv) *velocidade de propagação de ondas em uma corda e relação fundamental da velocidade da onda expressa em termos da frequência e do comprimento de onda*.

educacional original; além de informações gerais, tais como o cronograma original das aulas, informações sobre a composição dos grupos para a realização da atividade experimental, etc. Esse site ficou disponível, para os alunos, desde o início da aplicação da sequência de aprendizagem.

(iv) Passo 4: *tarefas de execução individual*, envolvendo os conceitos físicos já (parcialmente) abordados: (i) exercícios envolvendo raciocínios e cálculos simples; (ii) construção de um primeiro mapa conceitual.

Algumas palavras de alerta: nesse ponto da aplicação do candidato a instrumento, é perfeitamente possível, embora não esperado, que alguns estudantes sejam capazes de alcançar a aprendizagem significativa dos conceitos físicos abordados, *meramente por terem sido expostos aos elementos do esquema de subsunção*.

Isso pode acontecer porque o processo de subsunção real é sempre individual e, portanto, altamente suscetível a muitos fatores impossíveis de se verificar ou controlar. O que, obviamente, é algo positivo, e demonstra que nem sempre um instrumento de subsunção é estritamente necessário³⁹.

Porém, o que se espera é que os conceitos ainda não tenham sido, de fato, assimilados, ou que, no máximo, a aprendizagem tenha se dado de forma (ainda) exclusivamente mecânica. O único modo de discernir entre essas três situações – não aprendizagem, aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa – é executar, exatamente, nesse ponto, testes, contendo questões convencionais e questões inusitadas.

Esses testes de aprendizagem podem, contudo, ser aplicados apenas ao fim de toda a sequência de aprendizagem – principalmente se a viabilidade e a praticidade forem cogentes. Não consideramos, portanto, de importância fundamental a aplicação dos testes, nesse ponto, até mesmo porque outros conceitos físicos ainda não chegaram a ser apresentados.

No *segundo estágio*, devemos empregar *estratégias* e instrumentos específicos para *construir uma representação concreta das relações definidoras dos esquemas, tacitamente adotadas*. Todo esse estágio se articula em torno do uso do monocórdio para viabilizar procedimentos de medidas e inferências. Espera-se que sua dupla função como um “experimento de física elementar” e um “instrumento musical elementar” permita concretizar o processo de subsunção dos conceitos físicos pelos conceitos musicais. O cumprimento desse segundo estágio é realizado em dois passos:

(i) Passo 1: *preparação para a atividade prática* através da execução de tarefas de leitura e exercícios de um *roteiro pré-experimental* por meio de: (i) leituras de textos de apoio e (ii) respostas a um questionário produzido para este fim.

Tanto nos textos do roteiro pré-experimental quanto no questionário são abordados alguns conceitos que não figuravam explicitamente no esquema de subsunção delineado no primeiro estágio⁴⁰. Ressalvamos que a omissão de tais conceitos do esquema de subsunção posto no primeiro estágio não é particularmente danoso para o processo, uma vez que, para

³⁹ Especulativamente, é possível que, em casos como esses, alguns alunos já possuam, interna e inconscientemente, as estratégias de subsunção requeridas. Desse modo, a mera exposição ao esquema pode desencadear a aplicação automática dessas estratégias, no sentido de produzir a subsunção real.

⁴⁰ A saber: é abordado o conceito de onda estacionária e série harmônica para justificar o uso do dobro da medida do tamanho da corda vibrante como comprimento de onda da onda formada na corda - informação importante para a análise dos dados obtidos na atividade experimental.

fins didáticos, eles cumprem um papel auxiliar de justificar determinadas escolhas nas análises dos dados recolhidos na atividade experimental.

(ii) Passo 2: *atividade prático-experimental* propriamente dita. Para tanto deve-se empregar: (i) um *roteiro experimental* detalhando o que deve ser executado no laboratório, passo a passo, e com emprego de tabelas e gráficos para coleta e registro de resultados; (ii) *instrumentos tecnológicos* para viabilizar a coleta de dados.

Dentre os instrumentos tecnológicos que podem ser empregados em ambos os estágios, encontram-se *simulações computacionais*, como as do PHeT Colorado⁴¹ (WIEMAN, 2010; PERKINS, 2006), *softwares* livres de processamento de sinais sonoros, para utilização durante as aulas teóricas, e *aplicativos (apps)* de *frequencímetros* para celular e para *tablets*, para utilização na atividade experimental.

No *terceiro estágio*, devemos empregar *estratégias* e instrumentos específicos para *consolidar o processo de subsunção e averiguar indícios de aprendizagem significativa*. Para tanto, aplicamos a prescrição normativa ausubeliana da reconciliação integrativa, e a nossa estratégia principal, aqui, é submeter o estudante a uma exposição a um ambiente diverso daquele onde aconteceu o processo de subsunção propriamente dito. O cumprimento desse terceiro estágio é realizado em dois passos:

(i) Passo 1: requisitar dos estudantes envolvidos no processo inferências e deduções a partir dos dados coletados no segundo estágio. Para tanto aplica-se um questionário guiado que exige: (i) manipulação dos dados experimentais no formato de gráficos e tabelas e (ii) inferências sobre os significados físicos de tais resultados e (iii) inferências que extrapolem o contexto imediato do conhecimento adquirido.

Além de exigir habilidades ligadas ao domínio de métodos de experimentação, exige-se a utilização de conceitos matemáticos abordados em outro contexto, o que põe à prova a capacidade dos estudantes de articularem os conceitos elencados previamente como subsumíveis.

(ii) Passo 2: verificação de indícios de aprendizagem significativa. Para tanto, devemos realizar atividades como: (i) debate sobre os resultados e análises feitas no passo anterior. Em momento posterior à aplicação da atividade experimental, promove-se um fórum no qual os estudantes são estimulados a compartilharem seus resultados, inferências e dificuldades encontradas para a realização do passo 1 deste estágio. (ii) realizar um teste de aprendizagem.

Parte do sistema de estratégias, nesse candidato a instrumento, é representada pelo instrumento de avaliação, realizado de modo a expor o estudante a um contexto diferente daquele em que o instrumento foi, efetivamente, aplicado. Essa é a prescrição ausubeliana,

⁴¹ Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/>.

segundo a qual as avaliações de aprendizagem devem possuir forma e conteúdo capazes de discernir a aprendizagem significativa da mecânica.

No quadro 5, apresentamos a estrutura básica do candidato a instrumento de subsunção.

Quadro 5 – Estrutura básica do candidato a instrumento de subsunção.

Estágio	Passos	Descrição Abreviada
1. Emprego de estratégias para a explicitação, conscientização e nomeação das percepções e dos potenciais conceitos subsunçores e subsumíveis (cf. esquemas de subsunção dos quadros 2 e 3, seção III.2)	1. Teste prévio para a prospecção das percepções e dos potenciais subsunçores de natureza auditiva/musical e dos subsumíveis de natureza física.	(i) verificação da capacidade de discernimento prévio, em testes de percepção auditiva, das percepções de <i>intensidade, altura, consonância e dissonância</i> . (ii) verificação sobre a capacidade de discernimento prévio de conceitos elementares de música (<i>altura, volume, timbre, consonância e dissonância</i>) e de física ondulatória (<i>frequência, intensidade, superposição, etc.</i>), quando apresentados no contexto de experiências musicais concretas. (iii) verificação sobre o nível de compreensão prévia do funcionamento da montagem experimental (<i>monocórdio</i>).
	2. Apresentação das percepções e dos potenciais subsunçores de natureza auditiva/musical.	(i) Percepção e definição do conceito de <i>altura sonora</i> (sons agudos e graves). (ii) Relação qualitativa entre a percepção de altura (sons agudos e graves) e os <i>comprimentos, densidade linear e espessura da corda vibrante</i> . (iii) Percepção e definição dos <i>conceitos musicais de consonância e de dissonância</i> , através de acordes tocados no instrumento de corda.
	3. Apresentação dos potenciais subsumíveis de natureza física: conceitos ondulatórios.	(i) Definição de <i>propagação de pulso e de onda</i> . (ii) Definição de <i>comprimento de onda</i> . (iii) Definição de <i>frequência</i> e de <i>período</i> de uma onda senoidal.

		(iv) Definição da <i>velocidade de propagação de ondas</i> em uma corda expressa em termos da <i>frequência e do comprimento de onda</i> .
	4. Tarefas de execução individual	(i) Exercícios de raciocínios e cálculos simples. (ii) Construção de mapa conceitual.
2. Emprego de estratégias para construir uma representação concreta das relações definidoras implícitas dos esquemas de subsunção.	1. Preparação para a atividade prática com o <i>monocórdio</i> .	Tarefas de leitura e exercícios de um <i>roteiro pré-experimental</i> por meio de: (i) Leituras de textos de apoio. (ii) Respostas a um questionário.
	2. Atividade prática com o <i>monocórdio</i> .	Execução baseada em (i) <i>Roteiro experimental</i> , com tabelas e gráficos para coleta de resultados. (ii) <i>Instrumentos tecnológicos</i> para a coleta de dados.
3. Emprego de estratégias e instrumentos específicos para consolidar os presumidos processos de subsunção, realizar reconciliação integrativa e averiguar indícios de aprendizagem significativa.	1. Requisição de inferências e de deduções, a partir dos resultados da atividade prática.	Aplicação de questionário que exige: (i) Manipulação dos dados experimentais no formato de gráficos e de tabelas. (ii) Inferências imediatas sobre os significados físicos dos resultados obtidos. (iii) Inferências no sentido da extrapolação do conhecimento adquirido para outros contextos de aplicação.
	2. Verificação de indícios de aprendizagem significativa.	Atividades de: (i) Debate sobre os resultados e as análises (ii) Realização de teste de aprendizagem.

IV. Considerações finais

Nessa *parte 2*, de nosso trabalho, apresentamos uma aplicação da metodologia geral para a teoria ausubeliana, em conformidade com o que desenvolvemos e apresentamos, no artigo que corresponde à *parte 1*.

Como já mencionamos, teorias de aprendizagem, provenientes da psicologia pura, não são facilmente adaptáveis para que passem a funcionar como teorias de educação. Essa

adaptação requer trabalho metodológico e a metodologia geral que criamos, baseada nos conceitos de *prospecto esquemático de subsunção* e de *instrumento de subsunção*, busca prover essa articulação.

A aplicação da metodologia, contudo, requer que o educador não apenas domine os conceitos basilares da teoria ausubeliana, mas também que tenha clareza sobre quais são os objetivos da metodologia, pois, muito embora ela seja um esquema rígido de definições e de operações, esse esquema é abstrato e genérico. Isso significa que a metodologia fornece um caminho para arregimentar a construção de instrumentos didáticos, porém, sua construção propriamente dita está sempre por fazer, e esperamos que isso se dê nas suas futuras utilizações.

Como também já mencionamos, o trabalho de construção de instrumentos didáticos, com base nessa metodologia é duplamente desafiador. Em primeiro lugar, a construção dos prospectos esquemáticos de subsunção requer que o educador tenha conhecimento profundo sobre o que os seus estudantes sabem e sobre o que pretende ensinar-lhes, pois isso é essencial para que ele seja capaz de criar ou descobrir as relações definidoras que sustentam os esquemas. Em segundo lugar, a construção dos instrumentos de subsunção requer a utilização criativa dessas relações definidoras para ajudá-lo a construir um sistema de estratégias que seja eficiente.

Apresentamos um exemplo de como isso pode ser feito, com a construção explícita de esquemas e de um candidato a instrumento de subsunção em uma situação que, em particular, coloca dificuldades particularmente grandes, em virtude de requerer o conhecimento de e a aproximação entre dois campos distintos: a física e a música.

Nosso principal interesse residiu na possibilidade de utilização dos conceitos musicais de consonância e de dissonância como potenciais subsunçores para a aprendizagem significativa de conceitos basilares da física ondulatória, tais como os de frequência, comprimento de onda, harmônicos de uma onda complexa, espectro, batimentos, etc.

O principal esquema de subsunção que foi proposto baseou-se na relação definidora segundo a qual as experiências de consonância/dissonância musical, que acompanham as percepções auditivas conjuntas de tons complexos, estão em relação biunívoca com as proporções relativas de coincidência entre as frequências de seus respectivos harmônicos superiores (grau de consonância/dissonância física), de modo que proporções maiores de coincidência estão associadas a percepções de maior consonância. Tais proporções relativas estão matematicamente relacionadas com a fórmula pitagórica de pequenos números inteiros.

Por sua vez, o candidato a instrumento de subsunção que criamos consistiu em um sistema de estratégias desenvolvido em torno de um modelo “físico-musical”: um monocórdio de baixo custo de produção, cuja montagem foi concebida e construída para desempenhar uma dupla função didático-pedagógica: a de ser tanto um “experimento de física elementar”, quanto um “instrumento musical elementar”. É justamente essa dupla função que se espera fornecer a conexão entre os conceitos e percepções musicais, por um lado, e os conceitos

físicos, por outro, em torno da qual todos os demais objetivos didático-pedagógicos se articulam.

Evidentemente, nem todos os exemplos precisam ser extremos. Porém, outros exemplos podem ser ainda mais extremos. Esperamos que, sejam quais eles forem, a metodologia apresentada seja capaz de ajudar o educador, em sua tarefa.

Referências

ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. Tradução: Alfredo Bosi. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

AUSUBEL D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: a Cognitive View**. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2000.

De BARCELLOS COELHO, A. L. M. **Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, UnB, Brasília.

De BARCELLOS COELHO, A. L. M. Física e Música: A desafinada história da consonância. **Physicae Organum**, Brasília, v. 3, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/13366>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

De BARCELLOS COELHO, A. L. M.; POLITO, A. M. M. Proposta de sequência didática aplicando um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória. **Physicae Organum**, Brasília, v. 2, n. 2, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/12320>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

Von BÉKÉSY, G. **Experiments in Hearing**. Ed. Ernest Glen Wever. New York: McGraw-Hill, 1960. v. 8.

BOWLING, D. L.; PURVES, D. A biological rationale for musical consonance. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 36, p. 11155, 2015.

COUSINEAU, M.; McDERMOTT J. H.; PERETZ, I. The basis of musical consonance as revealed by congenital amusia. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 48, p. 19858-19863, 2012.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Cognitive Psychology: a Student's Handbook**. Hove (UK): Psychology Press, 2000.

GAZZANIGA, M. S.; HEATHERTON, T. F.; HALPERN, D. **Psychological Science**. 5. ed. Nova York: W.W. Norton & Company, 2016.

HAN, S. *et al.* Co-variation of tonality in the music and speech of different cultures. **PLoS One**, v. 6, n. 5, e20160, 2011.

KADIA, S. C.; WANG, X. Spectral integration in A1 of awake primates: neurons with single- and multipeaked tuning characteristics. **Journal of Neurophysiology**, v. 89, n. 3, p. 1603-1622, 2003.

KAMEOKA, A.; KURIYAGAWA, M. Consonance theory Part II: consonance of complex tones and its calculation method. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 45, p. 1460, 1969.

LAWTON, J. T.; SAUNDERS, R. A.; MUHS, P. Theories of Piaget, Bruner, and Ausubel: explications and implications. **The Journal of Genetic Psychology**, v. 136, p. 121-136, 1980.

McDERMOTT, J. H.; LEHR, A. J.; OXENHAM, A. J. Individual differences reveal de basis of consonance. **Current Biology**, v. 20, n. 11, p. 1035-1041, 2010.

MESOUDI, A. **Cultural Evolution: How Darwinian Theory Can Explain Human Culture and Synthesize the Social Sciences**. Chicago: University of Chicago Press, 2011.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS**. Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal, RN: EDUFRN, 2012.

OLSON, H. F. **Music, Physics and Engineering**. New York: Dover Publications, 1967.

PARKER, B. **Good Vibrations: the Physics of Music**. Baltimore: John Hopkins University Press, 2010.

PERKINS, K. *et al.* PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 1, p. 18-23, 2006.

PLOMP, R.; LEVELT, W. J. M. Tonal consonance and critical bandwith. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 38, p. 548, 1965.

POLITO, A. M. M.; OLAVO, L. S. F. A filosofia da natureza dos pré-socráticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 323-361, 2013.

REALE, G.; ANTISERI, D. **História da Filosofia**. São Paulo: Ed. Paulus, 1990. v. 1, 2 e 3.

RODRIGUES, J. F. **A Matemática e a Música**. Lisboa: PT 200, 1999.

ROEDERER, J. **The Physics and Psychophysics of Music: an Introduction**. New York: Springer, 2008.

SCHURTZ, G. **Philosophy of Science – A Unified Approach**. New York: Routledge, 2013.

SCHWARTZ, D. A.; HOWE, C. Q.; PURVES, D. The statistical structure of human speech sounds predicts musical universals. **Journal of Neuroscience**, v. 23, n. 18, p. 7160-7168, 2003.

TERHARDT, E. The concept of musical consonance: A link between music and psychoacoustics. **Music Perception**, v. 1, n. 3, p. 276-295, 1984.

WIEMAN, C. E. *et al.* Teaching Physics using PhET simulations. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 4, p. 225-227, 2010.

WOOD, A. **The Physics of Music**. 6. ed. UK: Davies Press, 2007.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).