



Relato

OS MÓBILES SÃO ESTÁVEIS OU INSTÁVEIS? - CIÊNCIA E ARTE PARA PROFESSORES

Mário Sérgio Teixeira de Freitas

Milene Dutra da Silva

José Marconi Bezerra de Souza

RESUMO:

A partir de uma série de oficinas realizadas num curso de formação de professores, questionamos até que ponto é essencial para o ensino de ciências a sua integração com outras áreas do conhecimento, tais como a linguagem cotidiana e as artes visuais. Exemplificamos com a oficina de móveis que utilizou os conceitos de centro de massa e equilíbrio, integrados com a arte cinética de Alexander Calder, o movimento *grand jeté* da dança clássica, a interpretação da palavra *libra*, e alguns critérios de composição nas artes visuais. Argumentamos que a presença de elementos dessa natureza nas atividades de ensino oportuniza a ressignificação dos conceitos científicos e propicia uma renovação das relações aluno/disciplina e professor/aluno.

Palavras-chave: *Ensino de física; ciência e arte; centro de massa; grand jeté; móbile.*

UMA QUESTÃO PROVOCATIVA

Do ponto de vista da linguagem, qual a etimologia de “equilíbrio”? Significaria de fato “pesos iguais”? O termo, conforme é empregado nos livros de física, tem um significado muito divergente daquele presente na cultura popular. Ignorar aspectos como este pode obstruir os caminhos para a aprendizagem. O contato cotidiano do estudante com os fenômenos de equilíbrio envolve situações que não deveriam ser desvinculadas da teoria. Por exemplo, mesmo sem ter aprendido as leis da física, as pessoas em sua maioria sabem do risco corrido por empilhar numa pia os pratos grandes em cima dos pequenos. Nos livros, isso seria chamado de equilíbrio instável, ao passo que o equilíbrio estável seria obtido pelos pratos pequenos em cima dos grandes (Figura 1). Mas é curioso lembrar que no cotidiano só seria dito deixar equilibrado no caso dos grandes sobre os pequenos, tanto que um dos significados da palavra equilibrista se refere a quem tem “... capacidade de lidar com situações difíceis ou com condições de estabilidade precária” (EQUILIBRISTA, 2019).

Figura 1 - A terminologia dos livros de física e suas discrepâncias com o cotidiano do estudante: Na cultura popular, “deixar equilibrado” não costuma se referir a situações como a da foto à esquerda, mas sim como a da direita, significando colocar pratos pequenos embaixo e grandes em cima; contudo, do ponto de vista da física, as condições matemáticas para caracterizar equilíbrio são atendidas por ambas, seja este estável ou instável (fotos de M.S. Freitas, Curitiba, 2018).



Outra discussão importante envolvendo centro de massa e conhecimento empírico remete à construção dos monumentos de pedra, desde os templos greco-romanos até as catedrais góticas. Muitos estão de pé até hoje, mesmo tendo sido erigidos antes da descoberta das leis das forças e dos torques (Figura 2). Isso significa que as noções sobre equilíbrio, estabilidade e centro de massa não se restringem às relações matemáticas e aos problemas envolvendo cálculos. O exercício de identificar essas noções em exemplos da história da arquitetura não apenas ilustra a apresentação do tópico, mas envolve processos cognitivos como a problematização, a atribuição de significado e a mudança conceitual, reconhecidos como evidências de aprendizagem (MORTIMER, 1996).

Figura 2 - Sobre o comportamento dos pesos em repouso, há indícios de conhecimentos humanos muito anteriores ao desenvolvimento do formalismo vetorial das forças e momentos que, nos livros didáticos atuais, é a base para resolver qualquer problema envolvendo equilíbrio estático. Neste arco de um templo do imperador Adriano, o bloco de mármore com uma divindade em relevo parece estar suspenso no ar, quando na verdade dá sustentação a todo o restante da estrutura (foto de M.S. Freitas, Éfeso, atual Turquia, 2006).



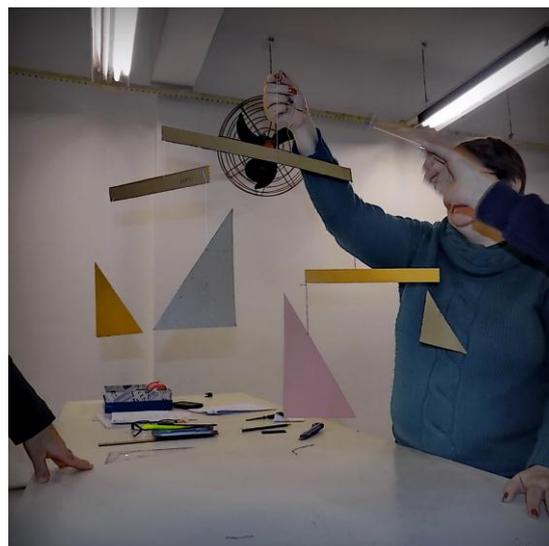
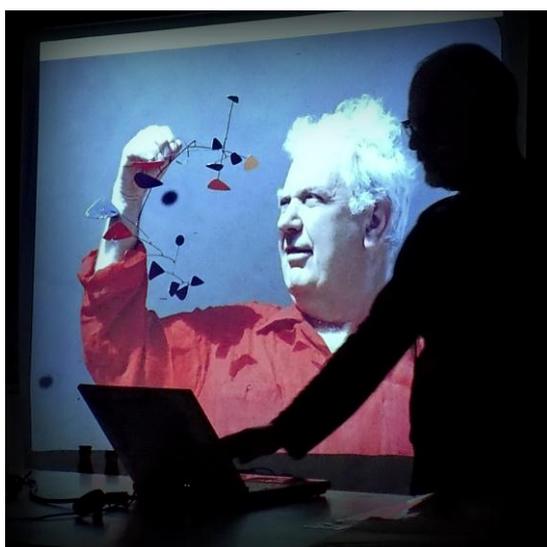
Ainda na história da arte, a técnica artística dos móveis de Alexander Calder, no século XX, explora uma configuração espacial que nos livros de arte é caracterizada como instabilidade, no sentido de seu estado de equilíbrio ser *perturbável*. Entretanto, de acordo com a física, um sistema que volta ao estado inicial quando perturbado não seria chamado instável, mas *estável* (Figura 3).

Figura 3 - Móvil de grandes proporções de A. Calder. Quando as perturbações do vento tiram do equilíbrio os elementos suspensos, o conjunto tende a oscilar vagarosamente, voltando aos poucos para sua posição original. Segundo a física, tal comportamento caracteriza estabilidade, ao passo que na arte, o fato de ser perturbável já caracteriza instabilidade (foto de M.S. Freitas, Basiléia, Suíça, 2014).



Justamente a construção de móveis é um dos recursos possíveis para levar ao estudante um estímulo à criatividade, numa atividade de aula que propicia a integração de elementos de diferentes naturezas: a aplicação das relações matemáticas, o exercício das medidas de comprimento, a identificação estética do material produzido com a arte de Calder, a oportunidade de experimentar vendo e sentindo (Figuras 4a e 4b).

Figura 4 - (a) Apresentação de slides sobre aspectos da obra de Calder, no contexto das oficinas referentes à nossa proposta; (b) Móvil construído por participantes das mesmas oficinas, aplicando os conceitos científicos e estéticos apresentados em aula (fotos de M.D. Silva, 2016)



Ou seja, até que ponto é produtivo ensinar uma física mediada por uma linguagem que se encontra encapsulada nos livros didáticos, conceitualmente discrepante da cotidiana, mesmo referindo-se ambas ao mesmo conteúdo?

No ensejo de buscar uma experiência didática nesse sentido, desenvolvemos a oficina descrita nas seções subsequentes.

CIÊNCIA E ARTE: OFICINA DE MÓBILES

A oficina que produzimos dialoga com diferentes autores que se aprofundam nas relações entre ciência e arte. A concepção norteadora que apontamos é a teoria de Paulo Freire, por termos como principal objetivo ampliar os horizontes de leitura de mundo, mediante a aquisição de múltiplos conhecimentos, tais como ciência, linguagem, as diversas modalidades de arte, e história (FREIRE, 1987). O processo permite a interação mais autônoma do estudante com esses conhecimentos.

Em termos ideais, tanto a ciência como a arte constituem um patrimônio acessível a todos que se interessem por seu usufruto. Por outro lado, entre os diversos campos da cultura humana, interagem com o mundo perceptível segundo critérios e métodos distintos e, por vezes, conflitantes (SNOW, 1995). E quando estamos no contexto dos processos de

ensino e aprendizagem e na disciplinarização inerente aos currículos escolares, tais diferenças são exacerbadas. Consideramos assim que a vivência com a arte, tanto do professor quanto do estudante, potencializa a dimensão humana da construção do conhecimento científico e o rigor crítico a ele inerente.

Tais conceitos estão presentes em trabalhos como o de Braga e Medina (2010), que exploraram o desenvolvimento de habilidades e competências referentes à física, à Astronomia e a outras áreas afins, tomando como recurso para a integração dos conteúdos a encenação da peça de Bertold Brecht “A Vida de Galileu Galilei”. A proposta foi parte de uma ação pedagógica mais ampla sobre a revolução científica, técnica, artística, econômica e social ocorrida durante os séculos XVI e XVII.

Cachapuz (2014, p.104) defende uma possível libertação da rotina burocrática à qual estão sujeitos os alunos no contexto da educação em ciências, mediante o reconhecimento das semelhanças que aproximam a ciência e a arte. Uma visão menos segmentada do conhecimento pode conduzir à formulação de novas perguntas redirecionando o futuro da educação em ciências. Como exemplo, Alcântara e Braga (2017) trabalharam o ensino dos instrumentos ópticos contextualizando seu advento na cultura holandesa do século XVII. Foram articulados aspectos da ciência em geral, focada na figura de Huygens, assim como da pintura, da filosofia, da religião e do comércio.

A história está permeada de um processo contínuo de inspiração de poetas e artistas tendo como fonte as teorias e aplicações vindas da ciência e da tecnologia, e ainda, de princípios estéticos como os frequentemente constatados no desenvolvimento do trabalho dos cientistas, como apontado por Russell (1967, p. 158) sobre a matemática, com sua “beleza fria e austera, como a da escultura”. Tudo isso questiona um senso comum que não admite um diálogo integrador entre as culturas artística e científica e tende assim a afastá-las, levando ao empobrecimento de ambas (SNOW, 1995; ZANETIC, 2006). Com nossa proposta didática, pretendemos contribuir para que o estudante amplie seu olhar para essas duas grandes áreas do conhecimento, percebendo a presença de relações autênticas, e a importância desses conhecimentos quando são solicitados para expor um conteúdo que, além de ser admirado, pode também ser compreendido (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Um exemplo do rigor científico presente na arte: O método da perspectiva, desenvolvido pelos arquitetos do Renascimento como Filippo Brunelleschi, aplica o formalismo geométrico preciso do ponto de fuga na representação de objetos tridimensionais (fonte da figura: EDGERTON, 1973).

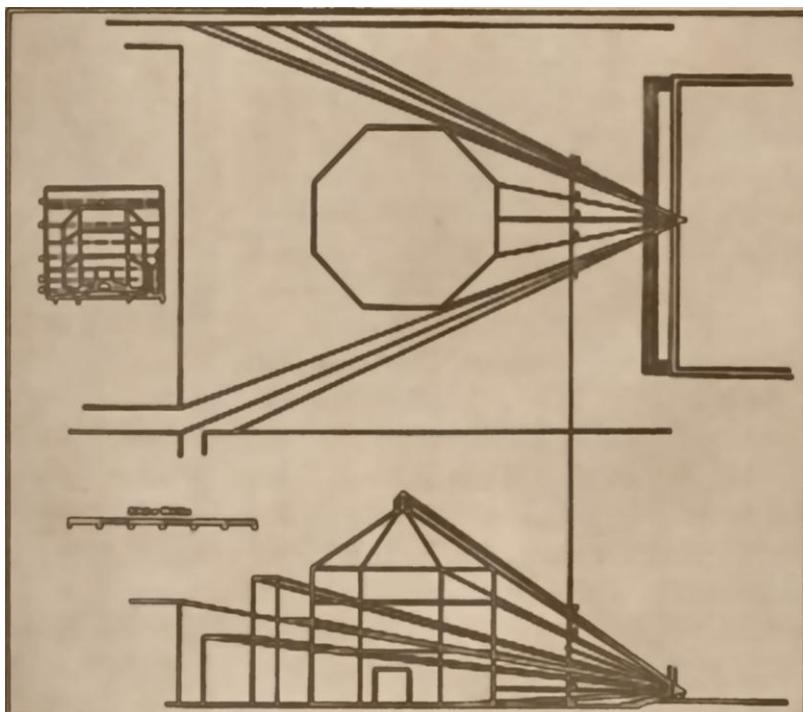


Figura 6 - Um exemplo da arte presente na ciência: todos os fenômenos da Natureza envolvendo o comportamento dinâmico dos campos elétricos e magnéticos podem ser resumidos no conjunto das quatro equações de Maxwell, expressas por igualdades matemáticas que conectam relações de dependência espacial e temporal, e cujos significados são notáveis por seu alto grau de elegância, concisão, e senso de simetria (FRENKEL, 1997, desenho digital de M.S. Freitas).

Equações de Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = - \partial \mathbf{B} / \partial t$$
$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$$

Nesse contexto, desenvolvemos um ciclo de oficinas de ciência e arte, ofertadas na forma de uma disciplina optativa semestral num programa de mestrado profissional destinado a professores de ciências, biologia, química e física da educação básica. Um dos temas dessas oficinas foi a teoria física do centro de massa aqui adotada como exemplo, mas a disciplina também envolveu, entre outros tópicos, a formação de fósseis, as interações químicas do amido com o iodo, a construção de padrões de ladrilhamento e a geometria das órbitas elípticas. As diferentes modalidades de arte selecionadas de acordo com o tópico de interesse incluíram literatura, cinema, dança, música, arquitetura e artes visuais.

Para dar ao leitor uma ideia mais precisa das atividades viabilizadas por nossa proposta, nos parágrafos seguintes relatamos a sequência didática adotada na oficina sobre centro de massa.

Realizada num total de 6 horas em espaço de aula, a oficina envolveu a produção coletiva de um único trabalho de arte no formato de móbile, no caso, um conjunto de figuras planas em papelão (triângulos retângulos) suspensas por fios que foram conectados a hastes do mesmo material. O trabalho foi montado gradativamente, a partir de construções individuais, respeitando configurações de equilíbrio pré-estabelecidas. Como subsídio teórico, foi introduzida a lei das forças e dos torques, com os cálculos necessários para determinar a posição do centro de massa no espaço, tanto para um corpo extenso (triângulos verticais), quanto para um sistema de partículas (pares de triângulos verticais suspensos por fios nas duas extremidades de uma mesma haste). Aplicando estes conceitos à resolução de problemas, os alunos determinaram matematicamente as posições dos furos por onde passar os fios, de forma a atender aos requisitos.

As etapas da elaboração do móbile foram intercaladas com quatro inserções de conteúdo interdisciplinar, distribuídas entre os dois professores na seguinte ordem: uma abordagem do movimento de dança clássica conhecido como *grand jeté*; a contextualização da técnica dos móveis na história da arte, tendo como foco as obras de Alexander Calder; uma digressão sobre a palavra “libra” incluindo a divergência das interpretações que a linguagem científica e a cotidiana fazem do equilíbrio; na última, articulou-se o conceito de equilíbrio mecânico a aspectos da composição nas artes visuais.

O *grand jeté* e o movimento do centro de massa

Numa apresentação de slides (duração 15 minutos), que incluíram algumas imagens tomadas pelos próprios professores, o conceito físico de centro de massa foi articulado a vários aspectos presentes nas artes, seja em situações de movimento (por exemplo, a dança), seja em exemplos de situações caracterizáveis como equilíbrio estável ou instável (na escultura, nos móveis e na arquitetura). Com isso, alertamos os estudantes para a contribuição insubstituível que as ciências exatas fornecem a estas artes, ampliando seu

olhar nas duas áreas do conhecimento e assimilando relações autênticas entre os diferentes saberes, tanto em termos de apreciação como de compreensão.

O cálculo formal da determinação das coordenadas espaciais do centro de massa foi desenvolvido numa discussão integrada entre a arte do balé e as leis físicas do movimento. Como exemplo, foi tomado o salto conhecido como *grand jeté*, no qual o artista parece flutuar no ar (KALICHOVÁ, 2011; HALLIDAY *et al.*, 2016, p. 518). No palco, o efeito estético produzido no público é de uma surpreendente leveza, numa conciliação entre as ideias aparentemente contraditórias de dinamismo (saltar) e estaticidade (flutuar), que pode ser mediada por noções de fundo científico sobre o centro de massa.

Essas noções se referem principalmente ao fato de o centro de massa (do corpo humano, por exemplo) ser um ponto imaginário no espaço, cuja trajetória - observada de um referencial externo - não é influenciada pelos movimentos relativos entre as partes constituintes do corpo (cabeça, tronco e membros), como se a gravidade atuasse apenas nesse ponto. Uma vez que os pés tenham perdido seu contato com o solo, para produzir o *grand jeté* os braços e pernas devem se movimentar no ar de forma sincronizada com a ação da gravidade (KALICHOVÁ, 2011). Apesar de todo o sentido lógico que podem ter as suas coordenadas no contexto da física, para o espectador do teatro a trajetória *do centro de massa* não é visualizável, consistindo em pura abstração. Por outro lado, a *cabeça* do bailarino é um alvo que atrai continuamente o olhar da audiência, chegando a causar a sensação de que conduz o movimento do corpo inteiro. Em termos cognitivos, é sugerida ao público a aparente flutuação do bailarino; é justamente a variação apropriada do afastamento vertical entre o invisível (centro de massa) e o visível (cabeça) que causa no público a ilusão de estaticidade durante o salto.

Num primeiro momento, foi discutida a física do *grand jeté* em sua forma mais simples, sem ser combinado com deslocamentos horizontais, ou seja, quando o salto acontece numa única linha vertical, ficando a cabeça em repouso. Para ilustrar este caso nos slides, fugindo à concepção do senso comum que restringe a dança clássica à cultura europeia e ao universo feminino, foi escolhido o vídeo de um bailarino contemporâneo de origem oriental (TRENDACOSTA, 2014). O formalismo matemático presente nos livros didáticos para o cálculo das coordenadas foi contextualizado detalhadamente em um dos quadros capturados. Além disso, nos demais quadros selecionados deste mesmo vídeo, foi assinalada a posição do centro de massa, evidenciando as variações na sua distância à cabeça (Figura 7).

Figura 7 - Num grand jeté, o artista não tem como controlar o movimento de subida que faz no espaço o seu centro de massa (marcado em vermelho), mas erguendo os braços e pernas durante a subida, faz com que sua cabeça (marcada em amarelo) se mantenha quase estacionária em relação ao solo (KALICHOVÁ, 2011; HALLIDAY et al., 2016; imagens capturadas de TRENDACOSTA, 2014).



No caso em que o artista acrescenta ao grand jeté um forte impulso horizontal (como o salto em distância dos atletas) a trajetória do seu centro da massa passa a ser uma parábola. Por analogia com o caso anterior, percebe-se que a cabeça (e com a consequente ilusão do público, o corpo inteiro) parece descrever uma reta paralela ao solo. Nos slides, esse efeito foi comentado com a narrativa da estreia histórica do espetáculo “O Espectro da Rosa”, protagonizado em 1911 por Vaslav Nijinsky, em que o personagem abandona o palco simulando um voo que atravessa a janela do cenário (BALANCHINE, 1975).

A busca de um equilíbrio delicado nas esculturas de Alexander Calder

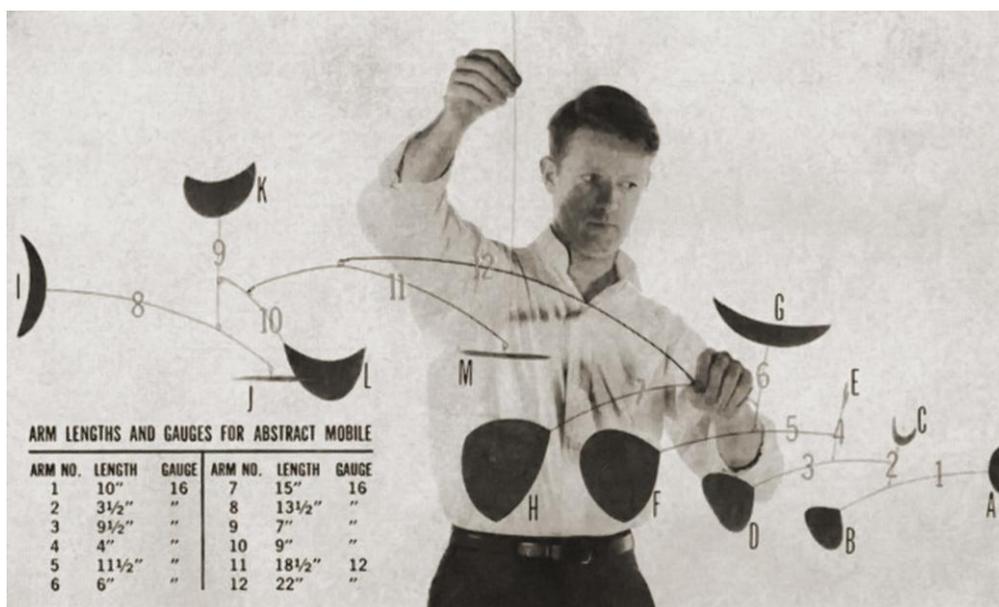
Uma vez que a tarefa solicitada aos estudantes era a confecção de um móbile, atividade que envolve a aprendizagem da teoria do equilíbrio e os modelos matemáticos envolvidos, bem como aspectos da composição artística, foi introduzido um breve histórico da arte cinética.

A arte cinética é uma corrente das artes plásticas que explora efeitos visuais por meio de movimentos fisicamente factuais ou sugeridos. Dentre os artistas que exploraram essa modalidade de arte, tais como Marcel Duchamp (1887-1968), Alexander Calder (1898-1976), Vasarely (1906-1997), e o brasileiro Abraham Palatnik (1928), julgamos mais de acordo com nossos objetivos optar por apresentar imagens da obra de Calder, por se tratar de composições nas quais se aplicam os mesmos conceitos físicos exigidos no trabalho desenvolvido em sala.

O conteúdo dessa apresentação incluiu a formação de Calder como engenheiro mecânico, a forma como sua trajetória profissional levou à produção dos móveis e aos critérios que caracterizam um objeto como móbil.

Calder foi o primeiro a explorar o móbil como uma escultura que se agita tocada pelo vento, assumindo as formas mais imprevisíveis (FIGURA 8).

Figura 8 - Alexander Calder com um de seus móveis (fonte: CORINNE, 2009).



A palavra latina *libra* na ciência e no cotidiano

Essa etapa consistiu numa conversa em grupo explorando aspectos diversos do termo *libra* e seus possíveis significados, estendendo-se a áreas do conhecimento como dietas alimentares, saúde mental e economia. Da parte dos participantes da oficina, foram reveladas divergências notáveis com respeito à linguagem cotidiana e às tentativas de relacioná-la com o jargão encontrado nos livros de física.

A palavra latina *libra* se refere à balança de pratos, instrumento que, numa descrição cientificamente rigorosa, mede o valor de uma massa gravitacional desconhecida, comparando-a a de um conjunto de corpos com massas previamente aferidas. O critério que permite afirmar que as duas massas são iguais faz uso da lei dos torques: para pesos iguais (*equilibrium*), a haste da balança se estabiliza na posição horizontal, como estado final de um movimento oscilatório amortecido.

A situação da balança equilibrada motivou analogias com expressões adotadas atualmente, como "ter uma alimentação balanceada", "ponderar os prós e os contras", "adotar uma atitude equilibrada", ou "servir como fiel da balança".

A atividade descrita evidenciou que não trazer à tona essas questões de linguagem pode chegar a obstruir, no processo cognitivo do aluno, uma compreensão apropriada do discurso científico.

O equilíbrio nas composições artísticas

Uma abordagem didática do conceito de centro de massa que articule ciência com arte é palco para que sejam exploradas semelhanças e diferenças no significado de equilíbrio nessas duas áreas. De forma simplificada, se na física o equilíbrio estático se refere, sobretudo, à segurança, o conceito nas artes visuais e no design é critério para organizar os elementos compositivos buscando uma harmonia, de forma que estes não se mostrem desproporcionais, apertados demais, desalinhados, e assim por diante (LUPTON e PHILLIPS, 2008, p. 29).

A busca de estratégias de equilíbrio visual nas artes plásticas remonta às esculturas gregas de figura humana. No estilo arcaico, os pesos do corpo são distribuídos adotando um equilíbrio simétrico (Figura 9a), o que também ocorre na arquitetura dos templos, sugerindo estaticidade (DONDIS, 1991). Já no estilo conhecido como *contrapposto* (Figura 9b), as partes do corpo se distribuem de modo assimétrico, buscando um equilíbrio análogo ao da aplicação da lei dos torques numa balança. Isso leva a uma representação mais dinâmica, valorizando as curvaturas sutis da coluna vertebral ou a flexão dos joelhos (JANSON e JANSON, 1988, p. 60). Essa naturalidade foi readotada nas esculturas renascentistas, como o Davi de Michelangelo (Figura 9c). No século XX, chegamos aos móveis desenvolvidos pelo escultor Alexander Calder, abordados no desenvolvimento da proposta aqui descrita.

Figura 9 - (a) Escultura grega de Kouros, com pose no estilo arcaico rigidamente simétrica, início do século VI AC (NATIONAL ARCHIVE OF MONUMENTS, sem data); (b) Doríforo de Policeto, em pose assimétrica de *contrapposto*, século V AC, cópia romana (DHWTY, 2018); (c) Versão renascentista com a assimetria ainda mais acentuada, no Davi de Michelangelo, século XVI (SACK, 2018).

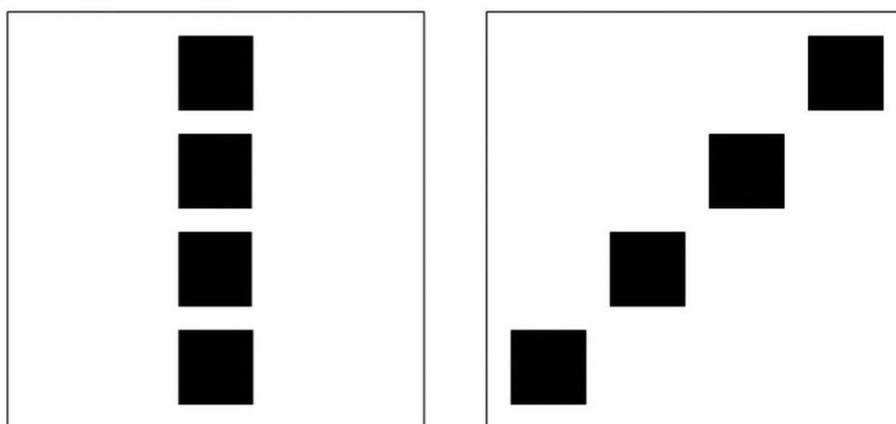


Naturalmente, se o *contrapposto* é contextualizado numa figura humana, não há diferença entre os pesos das metades esquerda e direita, não correspondendo portanto ao modelo físico de uma balança de contrapeso com fulcro deslizante - assim como na maioria dos seres vivos em que a simetria bilateral está associada às forças físicas envolvidas na locomoção (GÁBOR, 2017). No caso, o equilíbrio assimétrico é obtido adotando diferentes graus de flexão e extensão para os membros, compensados por distâncias desiguais em

relação ao centro de massa, sendo respeitado, em todas as situações mencionadas, o princípio científico da soma dos torques anti-horários ser igual à soma dos torques horários.

Quanto à composição visual em geral, indo além da figura humana, segundo Lupton e Phillips (2008) é o artista quem deve agir como *um equilibrista na corda bamba*, controlando o efeito visual dos elementos envolvidos. Para isso foram criadas estratégias para *contrabalançar* ou *ênfatizar* o peso de um objeto, atingindo assim o sentido de equilíbrio dinâmico de um acrobata. Nesse sentido, uma composição artística admite, como referência para a proporcionalidade, um *centro de massa visual* (WONG, 1998, p. 44), para cuja determinação leva-se em conta algumas variáveis que conferem contrastes entre *pesos visuais*, como tamanho, textura, valor, cor, forma, ou *poder de alavancagem*. Na disposição visual de uma obra de arte, a sugestão de desequilíbrio (ou de instabilidade) causaria efeitos claramente distintos do ponto de vista de um espectador (Figura 10).

Figura 10 - (a) Composição organizada num eixo vertical: o centro de massa visual aprumado com a base confere a sensação de equilíbrio estável. (b) Composição organizada num eixo inclinado: o afastamento horizontal entre a base e o centro de massa visual gera desequilíbrio (fonte: os autores)



Uma interpretação do conceito de equilíbrio como a abordada acima pode complementar a compreensão do estudante sobre os exemplos expostos nos livros de física.

Os elementos selecionados como base das etapas descritas nesta seção não representam uma solução única para promover uma discussão integrada envolvendo o conceito físico de equilíbrio. Reconhecemos que há grande variabilidade na formação inicial de professores quanto a um repertório que extrapola os conteúdos científicos. Porém, defendemos que independente disso, iniciativas nesse sentido podem ser experiências pedagógicas enriquecedoras.

AVALIAÇÕES E POSSIBILIDADES DE DESDOBRAMENTO

Os resultados da atividade aqui relatada, bem como as contribuições que esta pode oferecer ao ensino de ciências, devem ser apresentados considerando que fez parte de um percurso, o ciclo de oficinas ofertadas como disciplina de ciência e arte num mestrado profissional. Também deixamos claro que nossa narrativa visa, sobretudo, encorajar

professores a adotar novas propostas didáticas, não tendo as avaliações realizadas a intenção de emitir juízo de valor comparando o nosso trabalho a quaisquer outros que envolvam ciência e arte.

Ao longo do semestre investigado, em que tivemos 12 matriculados, a assiduidade e participação se mostraram muito acima da média para uma disciplina optativa de pós-graduação, tendo sido todos aprovados, sem desistências. Creditamos o êxito de tal resultado à constante discussão das relações de tópicos das ciências da natureza com modalidades variadas de arte, o que trouxe ao ambiente de aula uma dimensão de acolhimento e afetividade raramente verificada.

Como critério para a avaliação final, foi computada a média de 24 itens trabalhados no semestre letivo e baseados na realização das atividades propostas. Para cada item, foram estabelecidas três possibilidades de nota: 10 (objetivo previsto atendido), 5 (parcialmente atendido), ou zero (trabalho não desenvolvido). Por exemplo, na oficina sobre equilíbrio obtivemos uma resposta altamente positiva: os 10 mestrandos que compareceram demonstraram merecimento da nota integral, desenvolvendo com correção e êxito a sequência de procedimentos.

Estendendo tais critérios ao semestre inteiro, tivemos ao final 3 aprovados com conceito A (média de 9,0 a 10,0), 7 com B (de 8,0 a 8,9), e 2 com C (de 7,0 a 7,9).

Apesar de não ter sido adotado para atribuição de nota, mostrou-se relevante em nosso planejamento um diagnóstico que aplicamos no primeiro dia, levantando as atividades de arte que cada um lembrava de já ter vivenciado, seja na vida pessoal como na profissional. Entre as respostas, foram mencionadas peças de teatro, cinema, literatura, música, dança, desenho, e visitas a museus.

Além disso, como todos os participantes das oficinas atuavam como professores de ciências, contribuíram discutindo suas próprias experiências com a falta de interesse dos seus alunos e os problemas causados pela linguagem dos livros.

O último instrumento aplicado foi um questionário de balanço semestral, seguido de uma discussão em grupo buscando a sistematização das ideias trocadas no período. No quesito "Que oficina(s) você repetiria como professor(a) com seus alunos?", a atividade sobre equilíbrio aqui descrita foi a mais citada, estando presente em 5 das 12 respostas.

Com base no exposto acima, concluímos que o aproveitamento como um todo ocorreu plenamente dentro das nossas expectativas.

O que foi exposto neste relato chama a atenção para um universo de ricas e abrangentes relações a serem exploradas no ensino de ciências. Tais relações envolvem, por exemplo, o confronto entre duas linguagens distintas. O jargão apresentado nos livros de física está cheio de termos já conhecidos do estudante em sua vivência cotidiana. Contudo, é frequente que uma mesma palavra tenha significados discrepantes, levando a uma multiplicidade de concepções acerca do conceito abordado. Um enfoque criterioso visando esclarecer tais divergências para o estudante certamente contribui para que a aprendizagem

evolua para além do mecanicismo, consistindo assim num processo de interpretação, compreensão e ressignificação.

Por outro lado, a aprendizagem de um assunto científico ganha em muito se a discussão incluir elementos de outras áreas do conhecimento a ele relacionados. No nosso exemplo, situações ditas de equilíbrio estão presentes em áreas aparentemente distantes das ciências exatas, como arquitetura, dança e composição visual. Essas manifestações do conhecimento humano compõem uma rede imbricada que representa melhor o mundo natural e o socialmente construído. Ou seja, apresentar essas relações possibilita uma educação viva, curiosa e estimulante, em oposição à artificialidade de compartimentalizar assuntos.

Dentre as muitas áreas das quais poderíamos ter destacado elementos para essa discussão, tais como economia, alimentação ou psicologia, por que foram escolhidas as diferentes formas de expressão artística? Nas artes em geral, o rigor formal se concilia com a liberdade criativa de maneira mais perceptível, oferecendo uma referência abrangente de percepção do mundo (pois na verdade, a criatividade está presente na física, porém muito mais na pesquisa científica do que nos currículos escolares). Defendemos uma educação que permita e oportunize o diálogo entre ciência e arte, com o objetivo de atender às demandas da escola contemporânea.

A partir da nossa prática com atividades didáticas no enfoque ciência e arte, reconhecemos o desafio enfrentado pelo professor para estruturar o ensino de cada assunto científico segundo essa ideia. Recai sobre o docente o trabalho e o compromisso de elaborar, planejar e ousar adotar tais abordagens; porém é justamente essa superação que vai trazer uma nova dinâmica ao processo de ensinar e aprender. Muito além de consistir em mais uma metodologia de ensino, o enfoque de ciência e arte propicia uma renovação das relações aluno/disciplina e professor/aluno. Qualquer professor que já tenha ensinado física na educação básica sabe o quanto isso é desejável.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. C.; BRAGA, M. Elementos histórico-culturais para o ensino dos instrumentos ópticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 109-130, abr. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p109> Acesso em: 16 dez. 2019.

BALANCHINE, G. **101 Stories of the Great Ballets**. New York: Anchor Books, 1975.

BRAGA, M. A. B.; MEDINA, M. N. Teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino Física**, v. 27, n. 2, pp. 313-333, ago. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n2p313>. Acesso em: 16 dez. 2019.

CACHAPUZ, A. F. Arte e Ciência no Ensino das Ciências. **Interacções** n. 31, pp. 95-106 (2014). Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/6372>. Acesso em: 16 dez. 2019.

CORINNE, M. How to make a mobile. In: Joie de Vivre, página de internet, publicado em 21/10/2009. Disponível em: <https://mollycorinne.wordpress.com/tag/alexander-calder/> Acesso em: 16 dez. 2019.

DHWTY. Doryphoros: Greek Art Imitating Ideal Form. Página de internet, publicado em 23/4/2018. Disponível em: <https://www.ancient-origins.net/artifacts-other-artifacts/doryphoros-greek-art-imitating-ideal-form-009942>. Acesso em: 16 dez. 2019.

DONDIS, D. A. **A Primer of Visual Literacy**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

EDGERTON, S. Y. Jr. Brunelleschi's first perspective picture. **Arte Lombarda**, Milano, vol.18, pp. 172-195, 1973. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43133328?seq=1> Acesso em: 16 dez. 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FRENKEL, J. **Princípios da Eletrodinâmica Clássica**. São Paulo: EDUSP, 1997.

EQUILIBRISTA. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. Disponível em < <https://dicionario.priberam.org/equilibrista> >. Acesso em: 16 dez. 2019.

GÁBOR, H. Demystification of animal symmetry: Symmetry is a response to mechanical forces. **Biology Direct**, vol. 12, n. 10, sem paginação, maio 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física - Mecânica**. Vol. 1, 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JANSON, H. W.; JANSON, A. F. **Iniciação à História da Arte**. 2.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

KALICHOVÁ, M. Biomechanical Analysis of the Basic Classical Dance Jump – The Grand Jeté. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation** vol. 5, n. 11, pp. 1363-1367, 2011.

LUPTON, E.; PHILLIPS, J. C. **Novos Fundamentos do Design**. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, vol. 1, n. 1, pp. 20-39, 1996.

NATIONAL ARCHIVE OF MONUMENTS (NAM). Funerary statue of the Anavysos kouros. Sem data. Disponível em: < http://nam.culture.gr/portal/page/portal/deam/virtual_exhibitions/EAMS/EAMG3851 > Acesso em: 16 dez. 2019.

RUSSELL, B. (1967). **Autobiography**. London: George Allen and Unwin Ltd, vol. 1, 1967.

SACK, H. Not Simply a Piece of Marble – Michelangelo’s David. Página de internet, publicado em 8/12/2018. Disponível em < <http://scih.org/marble-michelangelos-david/> > Acesso em: 16 dez. 2019.

SNOW, C. P. **As Duas Culturas e uma Segunda Leitura**. São Paulo: EDUSP, 1995.

TRENDACOSTA, K. Slow-Mo Video of Ballet Dancers Defies Gravity. Gizmodo, página de internet, publicado em 27/5/2014. Disponível em:

<https://io9.gizmodo.com/do-you-know-anyone-that-can-jump-like-six-feet-into-the-1581932516>. Acesso em 29/10/2019.

WONG, W. **Princípios de Forma e Desenho**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ZANETIC, J. Física e Arte: Uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, São Paulo, vol.17 n.1, pp. 39-57, jan-abr 2006.

Sobre os autores

Mário Sérgio Teixeira de Freitas

Doutorado em Física (UFPR). Docente recentemente aposentado pela UTFPR, desenvolveu projetos conectando a linguagem científica com a artística. Atualmente produz esculturas, desenhos e fotografias, participando de salões e exposições. Também tem trabalhos reproduzidos em livros e periódicos, e fotos de ciência publicadas com descrição em inglês na página EPOD (USRA/NASA).

msergio58@gmail.com

Milene Dutra da Silva

Doutoranda pelo PPGE - UFPR. Mestre em Ensino de Ciências – UTFPR (2015). Experiência na Educação Básica. Atua na formação inicial de professores de física e matemática. Pesquisa as relações entre ciência, arte e ensino. Faz parte do grupo de pesquisa Linguagem, Ensino de Ciências e Formação de Professores (UFPR).

milenedutra13@gmail.com

José Marconi Bezerra de Souza

Doutorado em Design da Informação pela Universidade de Reading na Inglaterra (2008). Atuou na UFPR, UFPB, UFPE e UNIFOR. Pesquisa em instruções técnicas e materiais didáticos para ensino de ciência. Produção na área de ilustração, calçados esportivos e segurança. Membro fundador do coletivo Croquis Urbanos Curitiba.

marconi2006@gmail.com

ARE MOBILES STABLE OR UNSTABLE? - SCIENCE AND ART FOR TEACHERS

Abstract:

Based on a series of workshops that we offered in a teacher training course, we discuss the extent to which it is essential for science education connecting with other areas of knowledge, such as everyday language and the visual arts. We exemplify with the workshop on artistic mobiles in which we used the physical concepts of center of mass and equilibrium, together with the kinetic art of Alexander Calder, the grand jeté movement of classical dance, the interpretation of the latin word libra (pound), and some composition criteria in the visual arts. We argue that the presence of such elements in teaching activities allows the re-signification of scientific concepts and provides a renewal of student / discipline and teacher / student relations.

Keywords: Physics teaching; science and art; center of mass; grand jeté; mobile

LOS MOVILES SON ESTABLES O INESTABLES? - CIENCIA Y ARTE PARA LOS PROFESORES

Resumen:

A partir de una serie de talleres realizados en un curso de formación de profesores, cuestionamos hasta qué punto es esencial para la enseñanza de las ciencias su integración con otras áreas del conocimiento, tales como el lenguaje cotidiano y las artes visuales. Ejemplificamos con el taller sobre móviles artísticos en el que utilizamos los conceptos físicos de centro de masa y equilibrio, integrados con el arte cinético de Alexander Calder, el movimiento grand jeté de la danza clásica, la interpretación de la palabra latina libra, y algunos criterios de composición en las artes visuales. Argumentamos que la presencia de elementos de tal naturaleza en las actividades de enseñanza oportuniza la resignificación de los conceptos científicos y propicia una renovación de las relaciones alumno / disciplina y profesor / alumno.

Palabras clave: Enseñanza de física; ciencia y arte; centro de masa; gran jeté; móvil.