

Percepção e representação do espaço: possíveis abordagens no ensino de física

Perception and representation of space: possible approaches in physics education

Maria Beatriz Fagundes

Universidade Federal do ABC

mbeatriz.fagundes@ufabc.edu.br

Silvana Pavão Teixeira Papalardo

Universidade Federal do ABC

spavaoteixeira@gmail.com

Marcelo Zanotello

Universidade Federal do ABC

marcelo.zanotello@ufabc.edu.br

Resumo

Apresentamos uma reflexão buscando “religar a ciência e os cidadãos” a partir do diálogo entre “duas culturas”: física e humanidades. Este ensaio consiste em um estudo sobre o conceito de espaço e suas formas de expressão, experimentadas a partir de vivências perceptivas e representativas em diferentes áreas do conhecimento, sinalizando o potencial de múltiplas linguagens e leituras de mundo na formação de um “novo espírito científico”. Novo espírito científico no sentido bachelandiano, que “se experimenta, precisa raciocinar; se raciocina, precisa experimentar”, mas também no sentido preconizado por Morin, reivindicador da reforma do atual ensino que “dilui tudo o que é subjetivo e criador”. Analisando aspectos do conceito de espaço na geografia, pintura, literatura e física, são sugeridas atividades para trabalhar tal conceito no âmbito do enfoque educacional proposto, objetivando mostrar que o espaço da física pode ser apreendido somente como uma abstração racional do espaço sensorial.

Palavras-chave: ensino de física, espaço, espacialidade, humanidades, cultura

Abstract

The goal of this study is develop a discussion to "reconnect science and citizens" from the dialogue between "two cultures": physics and the humanities. This paper consists of a study of space's concept and its forms of expression and representation in different areas of knowledge

for indicate the potential of different languages and multiple readings of the world in formation of a "new scientific spirit ". The new scientific spirit is understood according Bachelard's philosophy and also like Morin, who advocates the reform of current education. Analyzing aspects of space's concept in geography, painting, literature and physical, we suggested teaching activities to work the concept in this educational approach. We intent show that the physical meaning of space is developed in a rational and formal structure.

Key words: physics education, space, spaciality, humanities, culture

Introdução

Eu poderia viver recluso numa casca de noz e me considerar rei do espaço infinito...
Shakespeare, Hamlet, Ato 2, Cena 2 (O universo numa casca de noz, Stephen Hawking).

Assumindo uma posição alicerçada em concepções socioculturais (FREIRE, 1974) e multipluralistas (LABURÚ, 2003) para investigações sobre o papel da educação científica na formação geral do cidadão contemporâneo, apresentamos neste ensaio uma síntese de reflexões sobre a construção de um caminho para estabelecer um diálogo nas aulas de física entre as "duas culturas": física e humanidades (ZANETIC, 2006), buscando "religar a ciência e os cidadãos" (MORIN, 2008, p. 47).

Partimos de um estudo exploratório sobre a construção do conceito de espaço e de formas de expressão da noção de espacialidade, como percebida e representada em algumas áreas do conhecimento, com o intuito de sinalizar a importância do diálogo entre diferentes linguagens e culturas e das múltiplas leituras de mundo como elementos formativos do "novo espírito científico". Um "novo espírito científico" tanto na concepção bachelardiana, atento à polarização epistemológica da atividade científica que, "*se experimenta, precisa raciocinar; e se raciocina, precisa experimentar*" (BACHELARD, 1978a, p. 92), como no sentido preconizado por Edgar Morin (MORIN, 2008), reivindicador de uma reforma no pensamento para reformar o atual ensino de ciências

que recorta, isola, permite que especialistas e experts tenham ótimo desempenho em seus compartimentos, e cooperem eficazmente nos setores não complexos de conhecimento, mas que ignora, oculta ou dilui tudo o que é subjetivo, afetivo, livre, criador.¹ (MORIN, 2008, p. 15).

No curso desta pretendida reforma, temos como objetivo no presente trabalho pensar o ensino e a aprendizagem do conceito de espaço, que é um conceito fundamental da física, porém bastante complexo e abstrato. As estratégias são propostas como forma de potencializar discussões e reflexões acerca do papel dos códigos culturais e dos subjacentes aos nossos sentidos imediatos no processo constitutivo dos conceitos do universo da física (ROBILOTTA, 1985).

Na escola somos treinados a apreender o mundo de forma atomizada, compartimentando-o em disciplinas específicas e isoladas o que, em geral, nos faz esquecer que apreender a realidade é apreendê-la também em sua complexidade.

Quando as crianças aprendem a contar, é relativamente fácil ensiná-las somar e multiplicar. Muito mais difícil é ensiná-las subtrair e dividir, talvez porque reduzir o mundo seja uma habilidade dos adultos.² (WINTERSON, 1997, p. 35).

Atentos ao risco de uma educação por demais especializada, limitada à fragmentação e à

¹ Grifos dos próprios autores.

² Tradução livre da edição alemã de "Das Schwester Universum" de J. Winterson.

"coisificação" do objeto estudado (MORIN, 2010, p. 106) e que restringe as possibilidades de reflexão sobre nossas ações no processo de construção do conhecimento, reduzindo assim o próprio sujeito à condição de objeto, defendemos que o ensino e a aprendizagem dos conceitos da física podem e devem nos tirar da cômoda posição de simples observadores inertes e impor-nos ao movimento: o duplo movimento de aproximação e distanciamento da realidade.

É preciso *simplificar a realidade imediata* (BACHELARD, 1978a) e extrair dela as partes, aproximando-nos delas, observando-as nos seus pormenores, mas também é preciso reconstruí-la e, portanto, saber recompor novamente as partes em um todo coerente, atribuindo significado ao que antes estava *desligado*. É religando-a no contexto cultural onde foi forjada e em toda a sua complexidade que a realidade abstrata dos conceitos da física, ressonante no ensino da física, pode adquirir seu maior sentido.

Física, nesta perspectiva, é também cultura (ZANETIC, 2005 e 2006); e cultura é mais do que especialização. A partir desta prerrogativa, pensar o ensino e a aprendizagem dos conceitos da física implica pensar a multiplicidade de culturas que interiorizamos ao longo de nossa história individual e social e, assim, pensar numa sociologia do conhecimento científico e em sua realidade como reconhecida socioculturalmente. (BERGER, 2009, p. 14 – 15).

A construção da percepção de espacialidade, como alguns autores nos mostram, pode ilustrar bem o caráter sociocultural da realidade física.

Thuillier [por exemplo] enfatiza a visão espacial como um fenômeno complexo, pois “envolve a aprendizagem, a memória, os processos de ‘compensação’, as relações com as informações táteis, etc” (THUILLIER, 1994, p. 83, apud Leite, 2008).

A percepção da qualidade tridimensional do espaço é tratada no âmbito do ensino e da aprendizagem da física por Robilotta (ROBILOTTA, 1985), que afirma que "no caso do espaço, conhecer é tanto sentir como saber" e complementa citando como exemplo o depoimento de um pesquisador inglês que narra sua experiência ao projetar filmes para uma comunidade africana. O pesquisador observou que, ao final da projeção, os espectadores não eram capazes de relatar a história completa do que tinham “visto” na tela, pois "inspecionavam a tela em busca de detalhes" sem apreender a imagem da tela como um todo, diferentemente de uma audiência acostumada ao filme, que está habilitada a "enxergar" a tela toda porque aprendeu a focalizar os olhos um pouco à frente da tela de projeção (A Galáxia de Gutemberg de M. McLuhan in: ROBILOTTA, 1985).

Se, é na medida em que as sociedades se redimensionam e se localizam histórica e geograficamente que a experiência humana se cria, recria, nega e, pela superação, se redefine como novas formas de percepção e de representação do mundo, então também é historicamente e socialmente que o conceito de espaço é construído, desconstruído e reconstruído até transformar-se no conceito de espaço abstrato e formal da ciência moderna.

Nas seções seguintes buscamos aprofundar esta discussão e apresentar algumas atividades planejadas com o intuito de subsidiar o ensino e a aprendizagem do conceito de espaço nas aulas de física de acordo com o contexto educacional apresentado.

O conceito de espaço na geografia: a esfericidade da Terra e sua representação no plano

Pode parecer um desvio longo adotar a geografia e a cartografia como ponto de partida, já que nosso principal objetivo é discorrer sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de espaço na física.

Justificamos nossa opção de início tomando como referência o argumento de Santos, para quem "a noção de espaço ultrapassa os limites de sua identificação como objeto e se apresenta a nós mais como uma categoria da metafísica do que da física" (SANTOS, 2002, p. 17). O espaço, finito ou infinito, relativo ou absoluto, receptáculo ou invólucro dos objetos, é habitualmente percebido e representado em nossas relações sociais como o local onde estamos e onde as coisas acontecem. A percepção do espaço como localização é constituinte de nossa própria identidade, já que nos realizamos (somos) na construção dessa identidade nos lugares de nossa geografia (SANTOS, 2002, p. 23).

Por isso, por exemplo, podemos vislumbrar as mudanças ocorridas na cotidianidade feudal, fundamentada nas relações de suserania e vassalagem, na produção de subsistência e numa concepção de mundo limitada por uma Terra fixa no centro do Universo, não somente como uma superação de limites impostos por práticas e técnicas de uma época, mas também como superação da "espacialidade feudal" (SANTOS, 2002, p. 38).

A espacialidade feudal, como representada na cartografia dos mapas T-O ³, que sem o propósito de servir à localização de fenômenos e distante até mesmo dos "conhecimentos geodésicos" já disponíveis na época (SANTOS, 2002, p. 34), reflete muito bem a hierarquia do mundo das relações sociais daquele período histórico.

Assim, quando emancipada, a noção de espaço que emerge da necessidade de localizar fenômenos e de determinar distâncias com precisão, transforma-se modificando a própria natureza de nossa percepção do espaço, que passa a ser representado pela técnica da perspectiva, inaugurada no século XV por Leonardo da Vinci.

O espaço métrico, calculado e então reconstruído no cenário das novas práticas sociais e das grandes navegações, impõe uma nova cartografia que permite calcular complexas rotas de navegação somente com o auxílio da bússola.

O desenrolar da história da cartografia é fascinante:

Da Terra fixa à construção de uma concepção de planeta móvel, girando em torno de si mesmo e do centro do Universo (o Sol), do mapa em T-O ao mapa de Mercator, da Europa como centro do Universo à Europa como continente hegemônico [...] o que se observa é uma transformação radical na concepção ocidental de espaço e espacialidade [...] (SANTOS, 2002, p. 30).

Porém, para o fim a que se destina este trabalho e, certamente, pelos limites que nossa área de especialização nos coloca, não arriscaremos a dissertar sobre os detalhes dessa história. Em vez disso, limitaremos nosso olhar buscando problematizar a percepção e a representação do espaço tridimensional a partir da projeção de Mercator e da necessidade de se representar a esfericidade da Terra reduzindo as coordenadas espaciais, relativas às três dimensões do globo terrestre, a um plano de duas dimensões.

A projeção [de Mercator] não foi elaborada para a simples representação do mundo, mas servia a finalidades práticas, à navegação. Tratando-se de uma projeção conforme (conservação dos ângulos entre os meridianos e paralelos no globo), a forma de qualquer pequena área, tanto no globo como no mapa, é a mesma, enquanto, dada a variação da escala no mapa, áreas extensas, sobretudo nas altas latitudes, são objeto de deformações consideráveis. [...] Ao elaborar esta projeção, Mercator não pensava [...] nos impactos socioculturais e políticos da sua projeção. Visando apenas a oferecer um auxílio aos navegadores, "Mercator erra para que os marinheiros possam acertar" (SANTOS, 2002, p.110).

O que era uma ajuda de navegação para os capitães do Renascimento tornou-se uma

³ Fenômenos observados no interior de um círculo (mundo), dividido em três terras distintas: Europa (no quadrante inferior esquerdo), África (no quadrante inferior direito) e Ásia (na parte superior).

representação ideologizada do mundo (SEEMANN, 2003).

O conceito de espaço pode ser problematizado nas aulas de física a partir de questões relacionadas à necessidade de se adotar uma escala variável como forma de representar as três dimensões do globo terrestre em um planisfério de duas dimensões e da conseqüente deformação da imagem representada. Neste cenário, propomos como atividade a construção de uma anamorfose.

Anamorfose é uma imagem distorcida de certa maneira, de modo que o verdadeiro conteúdo da imagem só se mostra quando a anamorfose é observada a partir de um determinado ângulo, ou como imagem produzida por um determinado espelho, como ilustra a figura 1. A origem etimológica da palavra anamorfose, que vem do grego, expressa a ideia de retorno da forma.

O principal objetivo desta atividade é atentar para a problemática que envolve a representação do espaço e a percepção da visão espacial.

Se, de um lado, precisamos aprender a perceber o espaço tridimensional por meio da composição de diversos estímulos sensoriais que nem sempre nos são acessíveis de forma consciente, por outro, temos que desacostumarmo-nos ao que parece imediato e nos faz acreditar que a espacialidade é apreendida somente pela sensação.

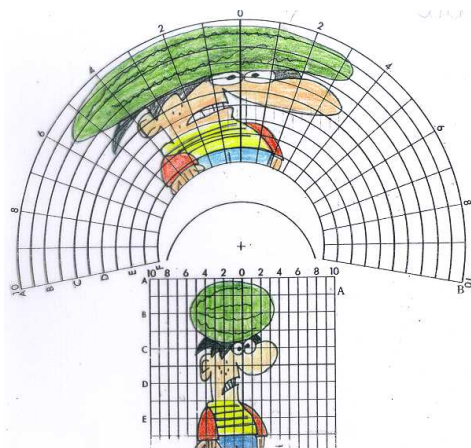


Figura 1: exemplo de anamorfose disponível em
<http://www.aps.org/units/fed/newsletters/spring2002/images/chris_004.gif>

O conceito de espaço na pintura: a ubiquidade do observador no espaço pictórico

A noção de espaço na pintura, assim como na cartografia, também se transforma ao longo da história, alterando nossas próprias formas de percepção e de representação da espacialidade. Ao vislumbrarmos, por exemplo, o “conflito entre superfície e espaço” constante na obra de Escher, podemos nos surpreender com a metafísica da nossa própria sensação do espaço.

O nosso espaço tridimensional é a única realidade que conhecemos. A bidimensionalidade é tão fictícia como a tetradimensionalidade, porque nada é plano, nem mesmo o espelho mais polido. Mas mesmo que partamos do princípio de que uma parede ou uma folha de papel é plana, não deixa de ser estranho que nós, como se desde sempre fosse a coisa mais normal do mundo, representemos ilusões de espaço sobre uma tal superfície. Não é muitas vezes absurdo desenhar meia dúzia de linhas e depois afirmar: Isto é uma casa? (ESCHER, 1994, in: <<http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/opombo/seminario/escher/gravuras9.html>>. Acesso em: julho 2011).

A perspectiva de um corredor curvo que se fecha em outro ambiente, diante da qual Escher nos coloca quando “entramos” em sua "Print Gallery" (figura 2), provoca-nos e nos coloca diante da possibilidade, até mesmo da necessidade, de observar o espaço a partir de diferentes posições, diferentes pontos de vista que se completam numa “evidente” tridimensionalidade, contradizendo o próprio plano que a contém. Tal contradição só pôde surgir com a nossa *deslocalização* do/no espaço imediato, como movimento no espaço da representação mental.

Ao compor o espaço com cores, formas e sombras, o artista atinge os sentidos, negando-os, libertando o espaço da espacialidade imediata do mundo físico, confundindo espacialidade e temporalidade.



Figura 2: Print Gallery - Litografia
(Escher, M. C., 1956)



Figura 3: Natureza morta com cesta de frutas
(Cézanne, P., 1889)

Na “Natureza morta com cesta de frutas” de Paul Cézanne (figura 3),

[...] os objetos interagem com o espaço e são afetados por ele. As frutas e os objetos não cabem sobre a mesa. A cesta de frutas, por exemplo, parece estar flutuando, a borda frontal da mesa é claramente descontínua, numa flagrante violação da perspectiva clássica. Aproxima-se, dessa forma, da concepção de espaço e matéria da relatividade, onde o primeiro não pode ser concebido como uma caixa vazia que pode ser preenchida [...] o espaço só se define pela presença da matéria que lhe confere significado.[...] (REIS, 2002).

Na medida em que Cézanne nos mostra os objetos na mesa, ele nos desloca para diferentes pontos de vista e nos apresenta o espaço como uma negação do vazio:

[...] ele quer o espaço, mas questiona os meios convencionais de obtê-lo, o espaço deixa de estar sujeito ao objeto do mundo representado, o espaço e os objetos, [são produzidos] simultaneamente sem hierarquia [...] (GOMES, 2007, p.108).

Ele quer a imaginação e se desobriga do espaço euclidiano.

A imaginação não é como sugere a etimologia, a faculdade de formar imagens da realidade; é a faculdade de formar imagens que ultrapassam a realidade, que cantam a realidade. É uma faculdade de sobre humanidade. (...) A imaginação inventa mais do que coisas e dramas; ela inventa vida nova; inventa espírito novo; abre olhos que possuem tipos novos de visão. Terá visões se ela se educar com devaneios antes de se educar com experiências; se as experiências vierem, em seguida, como prova de seus devaneios. (BACHELARD, 1978b)

Para o artista, o espaço pictórico, apreendido pelos sentidos, sugere novas geometrias. Para o físico, o espaço métrico, apreendido pela matemática, sugere novas paisagens. Podemos dizer que o prazer na arte e na ciência deriva dessas leituras da natureza, que estimulam e aperfeiçoam os sentidos na medida em que a razão nos transporta para outros mundos, para além dos nossos tempo e espaço, permitindo-nos uma ampliação da realidade.

A fim de atentar para a posição onipresente do espectador diante de imagens pictóricas, propomos a realização de uma atividade em aula que consiste na descrição, exclusivamente por meio da linguagem verbal, da “Natureza morta com cesta de frutas” de Cézanne para uma platéia que, sem ter conhecimento prévio de qual é a obra a que a descrição se refere e sem ter acesso à imagem, deve reconstruir o quadro. O principal objetivo desta atividade é destacar a dificuldade de se traduzir uma imagem espacial, cujas dimensões são apreendidas simultaneamente, por meio da linguagem verbal hierárquica e vice-versa.

Conceito de espaço na literatura: “tudo num ponto”

Iniciamos esta seção citando trechos extraídos do capítulo “Tudo num ponto”, do romance “As cosmicômicas”, de Italo Calvino:

Compreende-se que todos estivéssemos ali, disse o velho *Qfwfq*, e onde mais poderíamos estar? Ninguém sabia ainda que pudesse haver o espaço. O tempo, idem; que queriam que fizéssemos do tempo, estando ali espremidos como sardinha em lata?

Disse “como sardinha em lata” apenas para usar uma imagem literária; na verdade, não havia espaço nem mesmo para estar espremido. Cada ponto de cada um de nós coincidia com cada ponto de cada um dos outros em um único ponto, aquele onde todos estávamos. [...]

Quantos éramos? Bom, nunca pude dar-me conta nem sequer aproximadamente. Para poder contar, era preciso afastar-se nem que fosse um pouquinho dos outros, ao passo que ocupávamos todos aquele mesmo ponto. [...]

[...] éramos bastantes para estarmos em superlotação; juntem a isso tudo quanto devíamos ter ali guardado: todo o material que depois iria servir para formar o universo, desmontado e concentrado de modo que não se podia distinguir o que em seguida iria fazer parte da astronomia (como a nebulosa Andrômeda) daquilo que era destinado à geografia (por exemplo, os Vosges) ou a química (como certos isótopos de berílio). [...] (CALVINO, 2005, p. 45 - 46)

A partir deste pequeno recorte do texto de Calvino queremos mostrar como o autor, utilizando-se da linguagem verbal em toda sua potencialidade metafórica, consegue nos apresentar uma descrição poética, quase uma “imagem para ser lida”; uma ficção, mas ainda assim um episódio da física do início do universo; o Big Bang, que se “materializa” no desejo da bela senhora (*sra. Ph(i)NK_o*) de fazer um tagliatelle:

Ah, pessoal, que tagliatelle eu prepararia”, um verdadeiro impulso de amor geral, dando início no mesmo instante ao conceito de espaço, e ao espaço propriamente dito, e ao tempo, e à gravitação universal, e ao universo gravitante, tornando possíveis milhares de sóis, de planetas, de campos de trigo [...] (CALVINO, 2005, p. 50)

Já na leitura do título, “Tudo num ponto”, o conto nos remete espontaneamente ao conceito de espaço. A aproximação da obra de Calvino com a física torna-se evidente. Contudo, a intenção aqui é vislumbrar uma superposição entre literatura e física que nos parece ultrapassar uma análise imediata, imposta pelo emprego da palavra espaço no texto.

A literatura de Calvino, assim como as teorias da física, não imita o mundo, mas cria uma realidade alternativa e, nesse sentido, a literatura e a física não diferem essencialmente uma da outra. Como possíveis leituras de mundo em um quadro interpretativo da realidade, tanto a sintaxe da linguagem verbal como as relações matemáticas revelam-se como ferramentas metafóricas poderosas. Pois, se não como metáfora, como Calvino e Newton poderiam descrever a extensão do espaço a partir da falta de extensão do ponto?

Para o artista, a materialidade poética do espaço surge no devir de uma paixão “A *sra. Ph(i)NK_o*, a única que jamais foi esquecida por nenhum de nós [...]” e como “fenomenologia

da imaginação" (BACHELARD, 1978b, p. 184).

[...] O metafísico, segundo Kant, afirma que toda realidade substancial é constituída por unidades mônodas fundamentais indivisíveis; o matemático, por sua vez, afirma que o espaço é infinitamente divisível; e o físico, por último, aplica o espaço à matéria metafísica. Esse estado de coisas só teria sentido se o espaço não fosse uma substância e sim um fenômeno de relações entre substâncias [...] (JAMMER, 2010, p. 173)

As relações são, portanto, meio e mensagem no processo de pensar sobre como percebemos e representamos o mundo.

Para refletirmos sobre as linguagens como constituintes do pensamento, propomos a realização de atividades em aulas de física que consistem na representação do espaço por meio de expressões não verbais. Uma possibilidade é explorar os jogos teatrais, tais como os jogos sensoriais, de movimento e de transformação, com função pedagógica, conforme sugerido por Oliveira (OLIVEIRA, 2004). Por exemplo, podemos selecionar um trecho de um texto como o de Calvino e propor que os alunos realizem uma encenação.

Conceito de espaço na física: onde as ações se manifestam

Conceito de espaço na física clássica

Os fundamentos da física clássica são devidos principalmente a Galileu Galilei e Isaac Newton. Em 1687, é publicada uma das obras monumentais de Newton: "Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural". Após a apresentação das primeiras oito definições, no *scholium* que antecede a proposição das leis do movimento, Newton escreve:

Não defino tempo, espaço, posição e movimento, já que são bem conhecidos de todos. Apenas devo observar que o uso comum concebe essas quantidades somente pelas relações que elas têm com objetos concretos. Por conseguinte, geram certos preconceitos, e para a remoção dos quais será conveniente distinguir essas quantidades em absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e comuns.

I. O tempo absoluto, verdadeiro, e matemático, de si próprio e de sua própria natureza, flui igualmente sem consideração por nada externo, e por outro nome é chamado duração; o tempo relativo, aparente e comum é uma medida concreta e externa da duração por meio de movimento, que é comumente usado ao invés do tempo verdadeiro, como por exemplo, uma hora, um mês, um ano.

II. O espaço absoluto, por sua própria natureza, sem consideração por nada externo, permanece sempre igual e imóvel. O espaço relativo é qualquer dimensão móvel ou medida dos espaços absolutos, que nossos sentidos determinam pela sua posição relativa aos corpos, e que é vulgarmente tomado como o espaço imóvel; tal é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celestial, determinado pela sua posição em relação à Terra.

[...]III. O lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa [...]. (NEWTON apud HAWKING, p.454).

Podemos notar, por esse trecho de Newton, o caráter abstrato das ideias de espaço e tempo na física clássica. Somente o desenvolvimento de uma linguagem formal, matemática, permite a construção destes conceitos sem as ambiguidades envolvidas quando se utiliza a chamada linguagem comum. Mesmo para conceitos empregados de forma aparentemente trivial, como é o caso do espaço e do tempo, seus estabelecimentos como conhecimentos científicos caracterizam-se como processos de ruptura com as concepções de senso comum, processos estes entendidos no sentido bachelardiano. (BACHELARD, 1996).

A noção de tempo absoluto implica na sua independência em relação ao observador e ao

fenômeno. Ao afirmar que o tempo flui uniformemente, Newton atesta sua homogeneidade. Na física só há um sentido para o tempo, que é do passado para o futuro, apesar da maioria de suas equações serem invariantes mediante uma inversão temporal. A noção de que o espaço não tem relação com nada externo e permanece imóvel corresponde a seu caráter absoluto e a de que permanece sempre igual reflete sua homogeneidade. Mesmo não afirmando explicitamente, Newton considera ao longo de sua obra o espaço isotrópico, no qual todas as direções são equivalentes, e utiliza a métrica euclidiana na qual a menor distância entre dois pontos é um segmento de reta (GAZZINELLI, 2005).

Esta visão acerca do espaço e do tempo é constitutiva de toda a física clássica e até o início do século XX somente alguns filósofos, como Kant e Bergson, haviam ponderado sobre o espaço e o tempo como objetos passíveis de conhecimento e sobre como descobrir suas propriedades. Para os físicos do século XIX, a situação era colocada de forma até certo ponto simplista: o espaço é uma espécie de palco onde ocorrem os eventos e onde a matéria e a radiação exibem suas propriedades; o tempo consiste na sucessão de cenas e atos cujas ordens são determinadas unicamente pelas leis dinâmicas às quais toda matéria e radiação estão sujeitas (LAWDEN, 1985). A constância do espaço não é perturbada de modo algum pelo mundo físico que ele suporta e, metaforicamente, podemos dizer que ele “flutua” serenamente no rio do tempo, eternamente inalterado. Espaço e tempo, na concepção clássica, são entidades distintas e independentes.

A ideia de espaço está presente na descrição e compreensão da maioria dos problemas físicos, fazendo com que tenhamos aparentemente intimidade com esse conceito, muitas vezes sem atentar devidamente para seu caráter abstrato. Esta postura se reflete geralmente na prática docente nas relações de ensino e aprendizagem da física clássica em qualquer nível.

Conceito de espaço na teoria da relatividade

Galileu, em seus estudos de cinemática, afirmava que as leis da mecânica conservam sua forma quando transformadas de um referencial inercial para outro. Este enunciado constitui o princípio da relatividade de Galileu (PRG) e a transformação das coordenadas, quando se muda do referencial inercial $S(x,y,z)$ para outro referencial inercial $S'(x',y',z')$ que se desloca com velocidade uniforme “u” na direção “x” em relação a S, é dada por $x = x' + u.t$, onde “t” é o tempo, considerado invariante para os dois sistemas de referência. Esta é a conhecida transformação de Galileu (TG).

Um dos objetivos de Einstein na elaboração da teoria da relatividade especial (TRE) era estender o PRG ao eletromagnetismo, cuja base teórica consiste nas equações de Maxwell. Como as equações de Maxwell não são invariantes mediante uma transformação de Galileu, foi preciso corrigir tais transformações de coordenadas e conseqüentemente a mecânica de Newton que é consistente com as TG. Este trabalho de Einstein resultou em profundas mudanças nas concepções de espaço, tempo, matéria e energia no contexto da TRE e, posteriormente, no conceito de gravitação com a teoria da relatividade geral (TRG).

Os postulados de Einstein na elaboração da TRE são os seguintes (GAZZINELLI, 2005):

1) As leis físicas têm a mesma forma em todos os referenciais inerciais. Nega-se assim a possibilidade de escolher um deles como absoluto. As leis da física não apresentam nenhuma propriedade que corresponda à idéia de repouso ou movimento absoluto, de modo que não se pode detectar um movimento uniforme absoluto. Este primeiro postulado estende o PRG a todas as leis da física, sendo denominado princípio da relatividade (PR).

2) A luz, no vácuo, se propaga com uma velocidade independente do estado de movimento da fonte de luz. Ou, alternativamente: qualquer observador mede sempre o mesmo valor “c” para

a velocidade da luz no vácuo. Este é o postulado da constância da velocidade da luz.

Com o objetivo de mostrar como a TRE modifica radicalmente as noções de espaço e tempo da física clássica, propomos a realização de uma atividade em aulas de física que consiste na dedução das equações da transformação entre os sistemas de coordenadas S e S' à luz dos postulados de Einstein. Tal demonstração, apresentada a seguir, pode ser realizada com alunos em aulas de física no início do ensino superior ou até mesmo com alunos do ensino médio, uma vez que envolve somente a álgebra frequentemente estudada neste nível de ensino.

Considere o espaço livre homogêneo e isotrópico, de modo que o comprimento de uma linha não depende do lugar em que ela se localiza. Isto faz com que as transformações de coordenadas entre os dois sistemas sejam funções lineares:

$$x' = Ax + Bt \quad t' = Mx + Nt \quad (1)$$

No referencial S' podemos escrever expressões para o deslocamento de uma partícula entre dois pontos, para um intervalo de tempo entre dois eventos e para a velocidade da partícula, dadas respectivamente por:

$$\Delta x' = A\Delta x + B\Delta t \quad \Delta t' = M\Delta x + N\Delta t \quad v' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} \quad (2)$$

A velocidade v' resulta em:

$$v' = \frac{Av + B}{Mv + N} \quad (3)$$

onde “v” é a velocidade da partícula no referencial S, escrita como $v = \Delta x / \Delta t$.

Para uma partícula em repouso em relação a S' devemos ter $v' = 0$ e $v = u$, de maneira que a relação (3) implica em:

$$B = -Au \quad (4)$$

Para uma partícula em repouso em relação a S, $v' = -u$ e $v = 0$, de modo que a equação (3) implica em:

$$A = N \quad (5)$$

Para uma onda luminosa se propagando no vácuo, o *segundo postulado* diz que $v' = v = c$. Substituindo estes valores em (3) obtemos:

$$M = -\frac{Au}{c^2} \quad (6)$$

Assim, a partir destas relações entre os coeficientes, as equações de transformação de coordenadas (1) são reescritas como:

$$x' = A(x - ut) \quad t' = A\left(t - \frac{ux}{c^2}\right) \quad (7)$$

Pelo *primeiro postulado*, os dois referenciais inerciais são equivalentes. Por reciprocidade, podemos considerar S' fixo e S deslocando-se com velocidade constante igual a “- u” em relação a S'. Então:

$$x = A(x' + ut') \quad t = A\left(t' + \frac{ux'}{c^2}\right) \quad (8)$$

Substituindo “x” e “t” dados pelas equações (8) nas equações (7), obtém-se:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (9)$$

Em geral, denota-se o coeficiente “A” por “ γ ” e as equações de transformação em suas formas finais são:

$$x' = \gamma(x - ut) \quad t' = \gamma\left(t - \frac{ux}{c^2}\right) \quad (10)$$

As equações (10) são as transformações de Lorentz (TL), que mantém invariantes as leis do eletromagnetismo na passagem do referencial S para S'. Desse modo, as TL, o PR e as equações de Maxwell são mutuamente consistentes.

Os efeitos da dilatação do tempo e da contração do comprimento, que podem neste momento ser mostradas empregando-se alguns exemplos numéricos, são decorrentes das TL que tornam o espaço e o tempo ligados formalmente em uma nova entidade denominada espaço-tempo. A constância da velocidade da luz independentemente do estado de movimento do observador e o PR conduzem a uma resignificação das noções de espaço e tempo absolutos e independentes da física clássica.

Na TRG, ao analisar o movimento relativo acelerado entre os sistemas S e S', Einstein estabelece que o espaço-tempo pode se deformado pela presença da matéria e a gravidade deixa de ser interpretada como uma força, passando a ser um efeito decorrente da curvatura do espaço-tempo. O espaço-tempo torna-se um ente ativo nos fenômenos físicos, geometrias não euclidianas são usadas para investigar suas propriedades e suas distorções remetem a estruturas impensadas antes da formalização, como os buracos negros e o pequeno “ponto” a partir do qual tudo se originou no Big-Bang. Tais estruturas povoam nosso imaginário, encontrando ressonância na obra de artistas e poetas que tentam expressá-los através de suas sensibilidades, apesar do inevitável distanciamento entre o conceito científico e a percepção sensorial de espaço.

Considerações finais

O conceito de espaço, nos contextos da arte e da educação científica, possui grande potencial como tema educativo para ser explorado em suas diversas dimensões: cognitiva, estética, social, semiótica, entre outras. A partir de suas formas de percepção e representação em diferentes áreas do conhecimento, o conceito de espaço e especificamente o conceito de espaço na física, que é nosso principal foco de interesse, pode ser abordado a partir da perspectiva cultural conforme Souza e Zanetic (2008).

Quando se comenta sobre a cultura, de um modo geral, raramente a física comparece de imediato na argumentação, ou outra representante das ciências naturais dá o ar de sua graça. Cultura, quando pensada “academicamente” ou com finalidades educacionais, é quase sempre evocação de alguma obra literária, alguma grande sinfonia ou pintura famosa; cultura erudita, enfim. Tal cultura traz à mente um quadro de Picasso, uma sinfonia de Beethoven, um livro de Dostoyevsky, enquanto que a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel ou num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Gödel ou à equações de Maxwell. (SOUZA e ZANETIC, 2008).

Se as diferentes leituras de mundo nos permitem conhecer, representar e perceber o espaço de diferentes formas, elas também nos mostram que

[...] não há múltiplos mundos, um para cada cientista ou ramo do conhecimento. O

que temos são contradições e problemas diferenciados que se realizam na diferencialidade de um mesmo mundo...

[...] mais do que uma discussão sobre a Natureza (enquanto um substantivo), [...] é uma tentativa sistemática para desvendar-se a "Natureza da Natureza", isto é, os fundamentos últimos (ou primeiros?) da processualidade que torna o real um real-para-nós ou, o que é mesmo, um real-para-o-sujeito (SANTOS, 2002, p. 163)

Portanto, ao abordar o conceito de espaço a partir da perspectiva cultural, se pode proporcionar aos estudantes o contato com diversas áreas do conhecimento e diferentes linguagens, constituindo-se assim um *locus* intelectual privilegiado para contraposição de ideias, percepções, sensações e, conseqüentemente, para promoção de discussões e reflexões sobre importantes temas que entrelaçam as ações e as relações humanas na construção do conhecimento científico.

Referências

BACHELARD, G. O novo espírito científico. In: _____. **Os Pensadores**. Tradução por Joaquim José de Moura Ramos (et al.) São Paulo: Abril Cultural, 1978a. p. 89-158.

BACHELARD, G. A poética do espaço. In: _____. **Os Pensadores**. Tradução por Joaquim José de Moura Ramos (et al.) São Paulo: Abril Cultural, 1978b. p. 181- 354.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento; tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BERGER, P. L.; LUCKMANN, T. **A construção social da realidade**: tratado de sociologia do conhecimento. 30. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

CALVINO, I. **As cosmicômicas**. Tradução Ivo Barroso. São Paulo: Companhia das Letras. 2005.

FREIRE, Paulo. **Uma educação para a liberdade**. 4. ed. Porto: Dinalivro, 1974. (Textos Marginais 8).

GAZZINELLI, R. **Teoria da Relatividade Especial**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

GOMES, P. T. P, **Desenho do Espaço**. Lisboa, Universidade de Lisboa, 2007. 158. p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação de Mestrado em Desenho, Faculdade de Belas-Artes, Universidade de Lisboa, Portugal, Disponível em: <[HTTP://repositoro.ul.pt/biststreaan/1045/650/1/17968-Tes%252pdf](http://repositoro.ul.pt/biststreaan/1045/650/1/17968-Tes%252pdf)>. Acesso em: 19 de abril de 2011.

JAMMER, M. **Conceito de espaço**: a história das teorias do espaço na física. Tradução por Vera Ribeiro. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto: Ed. PUC-Rio. 2010.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. de M.; NARDI, R. Pluralismo Metodológico no Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**. v. 9, p. 247-269. 2003.

LAWDEN, D. F. **Elements of relativity theory**. New York: Wiley, 1985.

LEITE, C.; HOUSOME, Y. Explorando a dimensão espacial na pesquisa em ensino de astronomia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 8, n. 3, 2009. Disponível em: <[htt://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART_Vol8_N3.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART_Vol8_N3.pdf)>. Acesso em: julho 2011.

MORIN, E. **Edgar Morin**: ética, cultura e educação. Alfredo Pena-Veiga, Cleide R. S. de Almeida, Izabel Petraglia (orgs.). 3. ed. São Paulo: Cortez, 2008

- MORIN, E. **A cabeça bem-feita**. Tradução por Eloá Jacobina. 18. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- NEWTON, I. Os princípios matemáticos da filosofia natural. In: Hawking, S. (org). **Os gênios da ciência**: sobre os ombros de gigantes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- OLIVEIRA, N. R. **A presença do teatro no ensino de física**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: FEUSP/IFUSP, 2004.
- REIS, J.C. **Diálogos interdisciplinares: relações entre física e pintura na virada do século XIX para o XX**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2002
- ROBILOTTA, M. **Construção & Realidade no Ensino de Física**. São Paulo, jan. 1995 (Apostila do Instituto de Física da Universidade de São Paulo).
- SANTOS, D. **A reinvenção do espaço**. Diálogos em torno da construção do significado de uma categoria. São Paulo: Editora UNESP, 2002.
- SEEMANN, J. Mercator e os Geógrafos: em busca de uma “projeção” do mundo. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**. n. 3, ano 2, 2003. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewFile/159/127>>. Acesso em: julho 2011.
- SOUZA, P. H. e ZANETIC, J. Um diálogo entre a cultura e o perfil epistemológico do conceito de tempo no ensino de física. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba – 2008.
- WINTERSON, J. **Das Schwester Universum**. 2. Auflage. Berlin: Berlin Verlag, 1997.
- ZANETIC, J. Física e cultura. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 57, n. 3, Sept. 2005. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.phpscript=sci_arttext&pid=S0009-67252005000300014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 June 2011.
- ZANETIC, João. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**. v.17, n.1, p. 39-57. jan./ abr. 2006.