

substituída por outra, em que muitos tipos de atores contribuem para as diversas mudanças sociais que ocorrem em cada lugar, ao longo do tempo. É necessário que a história das ciências ultrapasse também a descrição mítica dos “grandes gênios” e seja capaz de estudar toda a complexidade e riqueza do real desenvolvimento histórico de cada passo.

Roberto de Andrade Martins é físico, doutor em lógica e filosofia da ciência. É professor do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), onde coordena o Grupo de História e Teoria da Ciência. Foi presidente da Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC) e da Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Whittaker, E. T., *A history of the theories of aether and electricity*, New York: Humanities Press, 1973; Miller, A.I., *Albert Einstein's special theory of relativity*, Reading: Addison-Wesley, 1981; Pais, A., *Subtle is the Lord... The science and the life of Albert Einstein*, Oxford: Oxford University Press, 1982; Galison, P.L., Gordin, M., Kaiser, D. (eds.), *Science and society: the history of modern physical science in the twentieth century. Volume 1: Making special relativity*, New York: Routledge, 2001.
2. Einstein, A., “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik* 17: 891-921. 1905.

FÍSICA E ARTE: A CONSTRUÇÃO DO MUNDO COM TINTAS, PALAVRAS E EQUAÇÕES

José Claudio Reis, Andreia Guerra e Marco Braga

INTRODUÇÃO Buscar relações entre física e arte não é uma tarefa fácil. Normalmente, ambas são consideradas territórios distantes, mundos opostos do conhecimento. A física é o campo da razão, do rigor descritivo da natureza e da precisão. Já a arte está associada à intuição, à criatividade, e à liberdade de criação. Entretanto, esse distanciamento é falso uma vez que, tanto a física como a arte, não se resumem àqueles campos, sendo muito mais amplas do que possa parecer.

Muito já se escreveu sobre as relações entre a construção da perspectiva pelos artistas do Renascimento e as novas concepções espaciais da ciência moderna (1). Autores com Pierre Thuillier, Samuel Edgerton, Pierre Francastel, entre outros, escreveram bastante sobre esse tema. Mostraram, por exemplo, a importância dos estudos artísticos de Galileu para que ele, ao olhar a lua com o telescópio, a descrevesse como tendo crateras e montanhas, e não como sendo constituída apenas por manchas, como fez o astrônomo britânico Thomas Harriot, quase no mesmo ano que seu colega italiano. Seria essa relação entre ciência e arte um acidente de percurso ou se poderiam perceber elos entre esses dois campos ao longo da história? Talvez o contexto de desenvolvimento da teoria da relatividade, que agora faz 100 anos, possa nos indicar pistas.

ANTECEDENTES DE 1905 Quando, em 1905, Einstein apresentou seu artigo “Eletrodinâmica dos corpos em movimentos”, ele solucionou alguns problemas que a física clássica, baseada na mecânica de Newton e no eletromagnetismo de Maxwell, não havia sido capaz de vislumbrar. Com isso, estabeleceu uma nova visão de natureza. A física defrontava-se, no final do século XIX, com vários problemas. Muitos físicos, dentre eles William Thompson, acreditavam que a resolução desses problemas levaria a uma explicação final sobre a natureza. Felizmente, para as gerações futuras que se interessaram pelas explicações da natureza, essa crença não se concretizou. A física seguiu rumos absolutamente impensáveis com o advento do século XX.

Um desses problemas referia-se à propagação das ondas eletromagnéticas e, conseqüentemente, à detecção do éter, bem como à aparente falta de simetria entre a mecânica newtoniana e o eletromagnetismo de Maxwell. Este aspecto teve grande influência sobre o desenvolvimento da teoria da relatividade que Einstein iria formular a partir de 1905. Ele tinha uma preocupação estética em relação às explicações para a natureza, fazendo com que a falta de simetria entre a mecânica e o eletromagnetismo lhe parecesse insustentável. Henri Poincaré, em sua célebre conferência: “Os princípios da física matemática”, proferida no Congresso Internacional das Artes e das

Ciências, em 1904, em St. Louis (EUA), colocou vários questionamentos a respeito dos problemas a serem enfrentados pelos físicos do início do século XX.

“A ciência está a ponto de experimentar uma mudança de orientação? Os objetivos e os métodos da ciência se apresentarão dentro de dez anos aos nossos sucessores imediatos com as mesmas luzes que vemos hoje ou, pelo contrário, seremos testemunhas de uma profunda transformação?”

Poincaré estava bem consciente dos problemas da física de seu tempo, chegando a apontar possíveis soluções. Infelizmente não acreditou completamente nas possibilidades que vislumbrou.

Ele teve total condição intelectual de formular a teoria da relatividade, pois compreendia o princípio da relatividade tão bem quanto Einstein (Thuillier, 1994), como podemos ver em sua palestra de St. Louis:

“De todos esses resultados surgiria uma mecânica completamente nova que, antes de tudo, viria caracterizada pelo seguinte fato: nenhuma velocidade poderia ultrapassar a velocidade da luz – como nenhuma temperatura pode ultrapassar o zero absoluto –, porque os corpos oporiam uma inércia crescente às causas que tendessem acelerar seu movimento, e essa inércia se faria infinita ao aproximar-se da velocidade da luz”. (Poincaré, 1986).

Aqui estão resultados importantes da relatividade que Einstein propôs no ano seguinte. O postulado do limite máximo para a velocidade de propagação de qualquer coisa, é a dependência da massa (inércia) com a velocidade. Só que Poincaré recusou as implicações físicas que viriam dessa hipótese e acabou optando pelo éter.

“Assim, em lugar de supor que os corpos em movimento experimentam uma contração no sentido do movimento e que essa contração é a mesma independentemente da natureza do corpo e das forças a que, por ventura, está submetido, não poderíamos fazer uma hipótese mais simples e mais natural?”

Caberia imaginar, por exemplo, que é o éter o que se modifica ao fazer-se em movimento relativo com respeito ao meio material que penetra, e que, uma vez modificado, não transmite as perturbações com a mesma velocidade em todas as direções”. (Poincaré, 1986).

Podemos dizer, com Pi e re Thuillier (1994) e Miller (2001), que Poincaré compreendia o princípio da relatividade, mas não lhe atribuiu o mesmo status que Einstein. Considerou-o apenas um fato experimental que poderia ser ignorado pelos físicos, principalmente se quisessem conservar seus “velhos hábitos”.

Einstein refletindo sobre questões similares rompeu com a tradição e assim chegamos no cerne da teoria de 1905: as mudanças introduzidas por Einstein nos conceitos newtonianos de tempo, espaço, massa, energia e simultaneidade. Todos esses conceitos que até então eram considerados absolutos, ou seja, invariáveis para mudanças de referencial, passam a ser relativos.

A relatividade geral, por sua vez, fez com que as geometrias não-euclidianas passassem a ter uma realidade até então inimaginável. Essas geometrias deixaram de ser apenas uma abstração matemática para ter uma concretude que não possuía na mecânica newtoniana, onde o espaço era descrito a partir da geometria euclidiana.

Como o espaço-tempo einsteniano tem suas características relacionadas com a matéria, esta irá dar-lhe uma conformidade que acabará

por produzir os efeitos gravitacionais que na mecânica newtoniana eram atribuídos ao campo gravitacional. Não temos mais uma atração gravitacional entre os corpos, mas uma matéria que ao deformar o espaço-tempo permite que os objetos que estejam próximos à deformação sintam seu efeito. A órbita da Terra passa então a ser determinada, não pela atração Sol-Terra, mas pela deformação do espaço-tempo que esses corpos produziram ao seu redor. O espaço-tempo não pode mais ser visto como um recipiente vazio que pode ser preenchido da forma que quisermos, ele não é mais independente da matéria, mas está condicionado por ela. Assim, a geometria do espaço não é um *a priori*.

Novamente deparamo-nos com um resultado pouco convencional. Como os efeitos dessa deformação são sentidos também pela luz, ela não percorre sempre trajetórias retilíneas. A luz se propaga através do espaço-tempo, se esse for curvo em alguma região a luz não terá outra opção que não a de seguir esse caminho que foi encurvado pela presença da matéria.

Ao resolver as incongruências da física clássica relativamente ao éter, à propagação das ondas eletromagnéticas e à gravitação, Einstein alterou significativamente a percepção da realidade. Tempo e espaço já não são mais os absolutos newtonianos. A gravidade passa a ser uma propriedade geométrica do espaço-tempo quadridimensional. As implicações das redefinições de conceitos como: espaço, tempo, massa, energia, simultaneidade e outros, foram imensas tanto para a física quanto para outros ramos do conhecimento. Dentro da física, elas inauguraram um novo campo de pesquisas, bem como uma nova forma de conceber a natureza. Fora dela, muitas foram as reações tanto de entusiasmo como de crítica, e até mesmo de repúdio.

FÍSICA E LITERATURA A relatividade introduziu mudanças sobre a forma de interpretação da natureza que extrapolaram em muito os limites da física. Ela, ao mesmo tempo, incorporou muito daqueles anseios do universo cultural europeu do início do século XX. Segundo Lewis S. Feuer, citado por Thuillier (1994), Einstein esteve longe do universo acadêmico por muito tempo, parte de sua formação se processou no ambiente rico e revolucionário da Zurique do início do século XX.

Outra questão a ser destacada, levantada pelo historiador da ciência Arthur Miller (1996), é que não é surpreendente o fato de Einstein ter concebido, ainda em 1895, a experiência de pensamento sobre as conseqüências de se viajar a velocidade da luz, em termos visuais, de imaginação, quando era estudante em Aarau na Suíça. Isto porque a escola em que estudava era dirigida por seguidores do educador Johann Heinrich Pestalozzi, para quem o conhecimento está fundado na visualização e intuição. Esses aspectos particulares da vida de Einstein não refletem a totalidade das questões levantadas no universo cultural da relatividade.

Reflexões sobre o tempo e o espaço não eram exclusivos dos que construía a ciência. As novidades das geometrias não-euclidianas incomodavam muitos que viviam naquele ambiente.

Se voltarmos um pouco no tempo, 1879/1880 encontramos o escritor russo Dostoiévski falando-nos, no livro *Os irmãos Karamazov* sob o impacto das chamadas geometrias não-euclidianas.

“É preciso notar, no entanto, que, se Deus existe, se criou verdadeiramente a terra, fê-la, como se sabe, segundo a geometria de Euclides, e não deu ao espírito humano senão a noção das três dimensões do espaço. En t retanto, encontram-se ainda geômetras e filósofos, mesmo eminentes, para duvidar de que todo o universo e até mesmo todos os mundos tenham sido criados somente de acordo com os princípios de Euclides. Ousam mesmo supor que duas paralelas que, de acordo com as leis de Euclides, jamais se poderão encontrar na Terra, possam encontrar-se, em algum parte no infinito... Essas questões estão fora do alcance dum espírito que só tem a noção das três dimensões”.

Em 1895, o escritor inglês, H. G. Wells publicou o livro *Máquina do tempo* onde em uma passagem significativa ele apresenta uma incrível descrição das relações espaço-temporais. Diz ele:

“Um cubo que não dure absolutamente nenhum tempo pode ter uma existência real? Claramente, qualquer corpo real deve se estender em quatro direções: deve ter comprimento, largura espessura e duração – prosseguiu o viajante do tempo – Mas por uma enfermidade natural da carne, a qual vou lhes explicar em um momento, tendemos a passar por cima desse fato. Há, na realidade quatro dimensões, três das quais chamamos de planos do espaço, e uma quarta, o Tempo. Existe, no entanto, uma tendência a formar distinção irreal entre aquelas três dimensões e esta, porque nossa consciência se move intermitentemente em um único sentido, ao longo dessa última dimensão, do começo ao fim de nossas vidas”.

Essa passagem faz parte de um diálogo em que a personagem “Viajante do tempo” está discutindo com outras o significado do tempo e mostra que as indagações sobre as relações entre espaço e tempo não eram uma exclusividade da ciência. Talvez tenhamos dificuldade de sermos mais claros e didáticos em uma explicação sobre a simbiose espaço-temporal.

É bastante interessante vermos como os dois escritores estão falando de temas científicos sob enfoques diferentes. Enquanto Dostoiévski estava negando um novo conhecimento advindo da matemática e ao mesmo tempo demonstrando saber o que se passava em seu tempo, Wells parece preannunciar o que a teoria da relatividade traria a partir de 1905. Nos dois casos, percebe-se que algumas das indagações fundamentais da física faziam parte do ambiente cultural da época. Esses exemplos são importantes para refletirmos sobre a visão de mundo que estava sendo construída por cientistas e artistas em fins do século XIX.

FÍSICA E PINTURA Os pintores, como os escritores e os cientistas, também estavam envolvidos com a questão do tempo em fins do século XIX. Na segunda metade desse século, o movimento Impressionista passou a substituir a primazia dada aos conteúdos das obras de arte por questões, relacionadas à luz, às técnicas de pintura, ao tempo e à crítica ao objetivismo da transcrição pictórica. Essa nova abordagem passou a aproximar ainda mais o universo cultural da arte e da ciência.

Alguns pintores impressionistas se destacaram nesse sentido. Um caso bastante significativo foi o de Claude Monet, que construiu vários quadros em que repetia o motivo, mas mudava o instante em que pintava. Numa de suas várias séries de quadros, ele pintou diversos montes de feno em diferentes épocas do ano. Numa outra, denominada “Catedral de Rouen”, ele pintou a fachada do templo em diferentes horas do dia. Com isso Monet passou a incorporar a temporalidade à pintura, uma vez que construiu imagens que não existiam apenas no espaço, mas também no tempo. O tempo passou a ser considerado, a partir desse momento, como um fator importante na captação do espaço.

Paul Cézanne foi outro pintor que também mudou a forma de ver o espaço ao não considerá-lo vazio. Por séculos, artistas e físicos arrumaram os objetos sem afetar o espaço ao redor deles. O espaço não alterava o movimento dos objetos. Para Newton, espaço e tempo eram coisas essencialmente separadas, um não perturbava o outro. O mesmo acontecia entre espaço e matéria, o espaço não interagia com a matéria colocada nele. Cézanne no seu quadro: “Natureza morta com cesta de frutas” mostrou que os objetos numa pintura 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.

Se passarmos para o século XX poderemos perceber que as mudanças na concepção espaço temporal introduzidas pelo impressionismo foram aprofundadas. A partir de 1907, com George Braque e

Pablo Picasso, surgiu o cubismo com uma proposta completamente nova de representação do espaço, incorporando totalmente o tempo à espacialidade.

Podemos ver que Picasso transcendeu Monet na representação temporal que este introduziu na pintura. Enquanto Monet pintou vários quadros para mostrar a temporalidade do espaço, Picasso colocou a simultaneidade, a junção espaço-tempo num único quadro. No “Les Femmes d’Alger (O Grande Baie)” a mulher agachada está representada simultaneamente de costas e de frente. Essa representação pode ser pensada como a projeção da quarta dimensão, já que para um mesmo observador vê-la de frente e de costas necessitaria locomover-se entre dois pontos do espaço e isso levaria algum tempo.

Com o cubismo a geometria passou a ser a linguagem da nova arte que Picasso começou em 1907. A grande experimentação e a geometrização presente no “Les Femmes d’Alger (O Grande Baie)” mostra a transformação no trabalho de Picasso e que irá marcar todo o cubismo. A ruptura realizada pelo cubismo foi a conexão entre ciência, matemática, tecnologia e arte. Ele voltou-se para a ciência como modelo e para a matemática como um guia, assim a geometria se tornou a linguagem do cubismo emergente.

O ESPAÇO SÓ SE DEFINE PELA PRESENÇA DA MATÉRIA QUE LHE CONFERE SIGNIFICADO.

Em 1913, Apollinaire afirmava, no livro *Os pintores cubistas*, que a geometria estava para as artes plásticas como a gramática para a literatura e prosseguia:

“Hoje, os cientistas não se atêm mais às três dimensões da geometria de Euclides. Os pintores foram levados naturalmente e, digamos, intuitivamente a se preocuparem com novas medidas possíveis do espaço que, na linguagem figurativa dos modernos, são indicadas todas juntas com o termo de quarta dimensão”.

CONCLUSÃO É importante salientar que, nesse contexto de desenvolvimento da teoria da relatividade e do cubismo, arte e ciência estão construindo uma nova visão de mundo a partir de suas linguagens próprias. Entretanto, em momento nenhum é nossa intenção estabelecer vínculos de influência de um campo sobre outro. Queremos refletir como esses dois universos de compreensão da realidade partiram de alguns elementos comuns como as geometrias não-euclidianas e, ao mesmo tempo, mostraram o esgotamento dos padrões clássicos de apreensão da natureza.

Podemos perceber que arte e ciência compõem um painel de época que se torna muito rico na medida em que somos capazes de fazer uma abordagem ampla de ambos os campos do conhecimento. A arte tem a capacidade de representar o que muitas vezes com a linguagem comum não é possível, dessa forma a conjugação arte-ciência cria um instrumental de interpretação da natureza bastante vigoroso.

Até mesmo a reação às novidades na ciência e na arte são muitas vezes ilustrativas de como ambas servem para mudar as estruturas de interpretação da natureza. Quando da primeira exposição impressionista em Paris, em 1875, o crítico de arte Albert Wolff dizia em seu artigo do *Le Figaro* que o que se via era um espetáculo assustador inaceitável para a inteligência humana. Reação similar aconteceu à relatividade de Einstein, em 1928 um editorial do jornal *The New York Times* dizia que tínhamos que ter fé para aceitarmos as novidades da física, que queria provar que o tempo se traduz no espaço e vice-versa.

Ao construir uma nova forma de interpretar a natureza, arte e relatividade destituíram o homem da sua tranquilidade de pensar o mundo a partir de parâmetros conhecidos e seguros. Assim, compreender a arte e a física constitui uma importante ferramenta para conhecer o espírito de uma época bem como para lançar luz sobre ambos os campos. Arte e física têm mais coisas a dizer uma a outra do que muitas vezes podemos imaginar. Terminamos esse artigo com um pequeno trecho da música *Quanta* de Gilberto Gil que nos parece apropriado para o que falamos acima.

De pensamento em chamadas
 Inspiração
 Arte de criar o saber
 Arte, descoberta, invenção
 Teoria em grego quer dizer
 O ser em contemplação

José Cláudio Reis é físico, professor do Colégio Pedro II e da Escola Dinâmica de Ensino Moderno, no Rio de Janeiro.

Andréia Guerra é física, professora dos colégios Pedro II e São Bento.

Marcos Braga é físico, professor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro (Cefet-RJ) e do Colégio Santo Agostinho.

Os três pertencem ao grupo Teknê.

NOTA

1. Não seria ciência moderna, visto que física moderna seria ligada à relatividade e mecânica quântica.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- De Micheli, M. *As vanguardas artísticas do século XX*. São Paulo, Martins Fontes. 1991.
- Einstein, A. *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Contraponto, Rio de Janeiro. 1999.
- Einstein, A. *La relatividad*. Emecê Editores, Buenos Aires. 1950.
- Einstein, A. *O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da física*. John Stachel (org.). Rio de Janeiro, Editora UFRJ. 2001.
- Edgerton, S.Y. *The heritage of Giotto's geometry: art and science on the eve of the scientific revolution*. Ithaca and London, Cornell University Press. 1993.
- Francastel, P. *Pintura e sociedade*. São Paulo, Martins Fontes. 1990.
- Miller, A. I. *Einstein, Picasso: space, time, and beauty that causes havoc*. New York, Basic Books. 2001.
- Ostrower, F. *A sensibilidade do intelecto*. Rio de Janeiro, Campus. 1998.
- Reis, J.C. "Diálogos interdisciplinares: relações entre física e pintura na virada do século XIX para o XX". Tese de doutorado, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2002
- Reis, J.C., Guerra, A., Braga, M. e Freitas, J. *Einstein e o universo relativístico*. São Paulo, Atual Editora. 2000.
- Thuillier, P. *De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor. 1994.
- Zanetic, J. "Física também é cultura". Tese de doutorado, São Paulo, Faculdade de Educação da USP. 1989.