



# Estrutura e função das imagens na ciência e na arte: entre a síntese e o holismo da forma, da força e da perturbação

Anne MARCOVICH & Terry SHINN



## RESUMO

Este artigo descreve primeiramente algumas categorias de imagens produzidas por instrumentos digitais, e presentes na pesquisa científica em nanoescala; explora como cada categoria de imagem é produzida; estuda os tipos de “conteúdo” das imagens e, finalmente, analisa seus usos nas práticas de pesquisa e seu lugar na cognição. Serão sugeridas três maneiras pelas quais as imagens figuram na operação epistemológica. Em segundo lugar, argumentamos que paralelos e dissimilaridades entre as imagens científicas e as imagens artísticas auxiliam a delinear algumas características gerais das imagens, além de chamar a atenção para particularidades importantes da imagem científica. Em terceiro lugar, examinamos as diferenças entre as imagens experimentais e as imagens por simulação nas pesquisas em nanoescala. E, finalmente, dirigimos nossa atenção para as operações epistemológicas, examinando, em ordem ascendente de significância, a introdução da cor para propósitos cognitivos, a seleção de imagens para exploração crítica e a operação designada “imagem/representação”.

**PALAVRAS-CHAVE** • Imagem científica. Forma. Força. Perturbação. Imagem artística. Epistemologia. Instrumentação. Pesquisa em nanoescala.

## INTRODUÇÃO

As duas últimas décadas assistiram a um crescimento maciço na quantidade de imagens em circulação por toda a sociedade contemporânea. Pode-se argumentar que isso acontece não só na ciência, mas em vários outros domínios. Uma contagem do número de imagens que apareceram no periódico *Nature* para uma amostragem de anos do século passado mostra uma evolução constante e uma avalanche nos últimos anos. Na ciência, por “imagem” referimo-nos especificamente a dados adquiridos ponto a ponto por divisas registradoras, empregadas em protocolos metodológicos, robustos e críticos, para representar, por meio de reproduções visuais, as características físicas de materiais que correspondem à topografia de substâncias ou às relações entre a

topografia e as expressões materiais de forças.<sup>1</sup> Neste estudo, tratamos exclusivamente da “informação” tal como ela é detectada, processada e reproduzida no formato de imagens por instrumentação e divisas eletrônicas digitais contemporâneas, utilizadas com propósitos investigativos, observacionais e cognitivos por oposição aos propósitos de demonstração e comunicação. Os desenhos e os esboços (esquemas) contrastam com as imagens que discutimos aqui. Os desenhos são “projeções” de reflexões, conceitos ou cálculos que são mais ou menos livremente transcritos no papel ou em algum formato alternativo. As imagens envolvidas em nosso estudo são, ao contrário, “detecções concernentes à informação” metrológica de propriedades putativas dos materiais. No curso do século xx, as imagens foram reproduzidas por profissionais gráficos não cientistas que possuíam pouco ou nenhum conhecimento do assunto (a ornitologia e a botânica são exceções importantes). Assim, as imagens aqui consideradas estão baseadas em medidas de materiais, obtidas com hardware por especialistas da experimentação em um domínio particular da pesquisa científica. As representações das estruturas das proteínas publicadas por Pauling em seu artigo de 1940, que são ilustrações de suas imagens mentais, oferecem um bom exemplo da produção de imagem baseada na reprodução ilustrativa de um esboço.

Hoje, muitas imagens são produtos da detecção e processamento de dados digitais. As imagens são aqui consideradas como *informação* – por um lado, informação que expressa entidades físicas tais como as detectadas por divisas metrológicas e transduzidas<sup>2</sup> e, por outro lado, como reproduções visuais, compostas de informação que é detectada pelo olho e transmitida para o cérebro. As imagens consistem, assim, em bits informacionais como pontos de dados registrados por instrumentos e, embora compreendam uma síntese, esta é prontamente decomposta novamente em bits informacionais. É essa arquitetura gêmea da imagem como síntese e da imagem como componente de informação individual, isolável, que dá às imagens sua importância cognitiva nas operações de pesquisa atuais. É possível dizer que, na maioria dos artigos, as imagens acabaram constituindo uma característica comum, a ponto de quase constituírem um tipo de norma. Presume-se que as imagens oferecem uma sólida fonte de informação concernente a algumas características tangíveis do objeto físico que se estuda. Elas são vistas como constituindo uma garantia razoável de que o que elas representam merece discussão e constitui uma base aceitável para a tentativa de enten-

<sup>1</sup> Consideramos como imagens científicas, a fotografia baseada em emulsão dos séculos xix e xx, raios-x (incluindo a difusão por raio-x), tomografia computacional, imagens produzidas na microscopia e espectroscopia de escaneamento tunelado e as imagens computacionais produzidas pelos teóricos no curso da simulação.

<sup>2</sup> Um transdutor é uma divisa que recebe energia ou, como em nosso caso, informação, com base em um sistema e a transmite em uma forma diferente para outro sistema.

dimento. As imagens são representadas por muitos cientistas como descrições robustas e exatas.<sup>3</sup>

Neste ensaio, os três temas da “forma”, da “força” e da “perturbação” são introduzidos, por um lado, como o foco das imagens na ciência e da exploração dos objetos físicos e, por outro lado, elas são usadas como a base para a leitura das duas obras de arte discutidas abaixo (cf. Edgerton, 1976, 1991). Estudamos a utilização pelos cientistas de imagens durante suas pesquisas como veículos para a exploração da forma dos objetos físicos e para a determinação e compreensão das forças coercitivas que condicionam e limitam a expressão da referida forma em um sistema físico. Não estamos sugerindo que a forma constitua, por assim dizer, uma lente, completamente generalizável e a-histórica, que permitiria apreender a matéria e as forças. A relevância da forma é dependente da especialidade e da questão investigada, e mudou com o decorrer do tempo. O lugar do conceito de “forma” no trabalho de ampliação do conhecimento esteve frequentemente ligado às questões das estruturas e relações deterministas. As disciplinas da geologia (cf. Rudwik, 1976), cristalografia (cf. Hoddeson, Braun & Teichman, 1992) e físico-química (Nye, 1993; Francoeur, 1997) são dominadas pelo tema da forma. A biologia molecular também esteve inicialmente associada com as questões das “formas”, mas com o advento da dupla hélice, a terra plana dos códigos substituiu a questão da forma (cf. Kay, 1993, 2000; Cambrosio, 2006). Hoje, entretanto, na conjunção da biologia e da pesquisa em nanoescala, a forma volta outra vez à frente da cena (cf. Marcovich & Shinn, 2010a, 2010b).

Por meio da análise da informação contida nas imagens, os cientistas podem identificar a dinâmica das relações entre a força coercitiva e as especificidades da forma, tais como reveladas pelos sinais de perturbação. Deve-se, entretanto, estar alerta para os limites das imagens na ciência. Além dos obstáculos técnicos para distinguir entre o ruído e o alvo visado, persistem questões vinculadas à produção e à interpretação, e muito mais (cf. Garfinkel, Lynch & Livingston, 1981; Lynch, 2006a, 2006b). Nas palavras de Pauwel:

Seu valor é julgado por sua funcionalidade em resolver um problema, preenchendo vazios de nosso conhecimento, ou facilitando a construção ou a transferência do conhecimento. O reconhecimento tanto dos limites perceptivos dos observadores humanos, como dos limites representacionais de todo meio (e do meio constituído pelas linguagens) *vis-à-vis* a um número infindável de aspectos de

<sup>3</sup> Entrevistas concedidas a A. Marcovich e T. Shinn por Vincent Dubost, Tristan Cren, Jacques Jupille, Catherine Gourdon no Instituto de Nanociências de Paris entre outubro de 2007 e novembro de 2008, e por Gérald Dujardin no Instituto de Ciências Moleculares de Orsay entre abril de 2009 e novembro de 2010.

um evento, objeto ou conceito, obriga-nos a continuar o refinamento de nosso pensamento sobre os diferentes tipos de meios e os diferentes tipos de traduções e de relações entre uma representação e aquilo que ela procura representar. Essa diversidade liga-se à variedade de propósitos a que possam servir as tentativas representacionais e à extensão de seu sucesso (2006, p. viii).

Por “forma” referimos às propriedades de entidades em termos de tamanho, formato, posição, textura, conformação e configuração. Nosso conceito de “forças coercitivas” que afetam a forma inclui itens tais como massa, magnetismo e coerções mecânicas, tais como a elasticidade, a pressão etc.<sup>4</sup> Em um sistema físico, a presença e magnitude de uma força coercitiva agindo sobre a forma é tornada visível e possível de ser estudada por meio de desvios provocados por perturbações que agem como uma dinâmica entre a força e a forma.

A frequência, o potencial tecnológico e a percepção por muitos cientistas do valor das imagens, seu lugar em expansão na análise crítica e sistemática e na reflexão, e a visão de que elas são, apesar de tudo, uma moda inevitável do futuro da ciência, resulta hoje em dia em uma situação frequentemente admitida pelos praticantes, segundo a qual as imagens encontram-se no próprio coração do pensamento e, em virtude dessa realidade, elas agora constituem um elemento chave da epistemologia em alguns domínios da pesquisa científica (McCabe & Castel, 2008). Seu valor é julgado, como vimos, em termos de “sua funcionalidade em resolver um problema, preencher vazios de nosso conhecimento, ou facilitar a construção ou a transferência do conhecimento” (Pauwel, 2006, p. viii).

Finalmente, neste artigo, argumentamos que as representações artísticas e as imagens da ciência exibem especificidades, compartilham vários elementos-chave e são mutuamente iluminadoras. Propomos, assim, a hipótese de que o estudo das imagens na ciência pode contribuir para uma apreciação mais completa das características, da arquitetura e das relações oferecidas nos retratos artísticos. Como corolário dessa afirmação, também sugerimos que a sensibilidade de certas tendências, na re-

<sup>4</sup> As forças podem ser entendidas, por exemplo, em termos da intensidade, extensão e tamanho dos campos magnéticos com relação à posição para cima ou para baixo do spin dos elétrons. A força do campo afeta a orientação magnética e geométrica dos metais em contato com a força. Podem originar-se relações entre a força magnética e o comportamento do objeto sobre o qual a força interage. Essa perturbação pode exibir relações recíprocas. No segundo exemplo de força, em um volume confinado contendo esferas de diferentes dimensões, os objetos maiores situam-se próximo da superfície. Os objetos menores são concentrados no fundo do recipiente porque seu tamanho permite que sejam agrupados mais estreitamente e, portanto, eles constituem, graças a sua densidade, um campo que obriga o objeto menos denso a subir para a superfície. Um último exemplo pode ser dado com a forma das proteínas que depende inteiramente da sequência de átomos na cadeia da molécula da proteína e das interações das forças entre esses átomos.

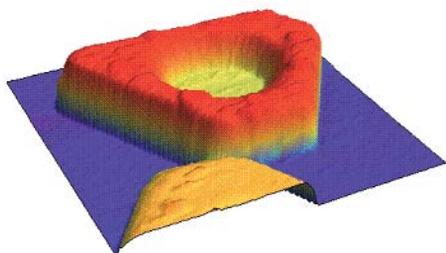


Figura 1.1

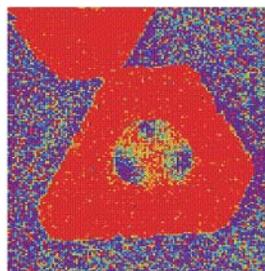


Figura 1.2

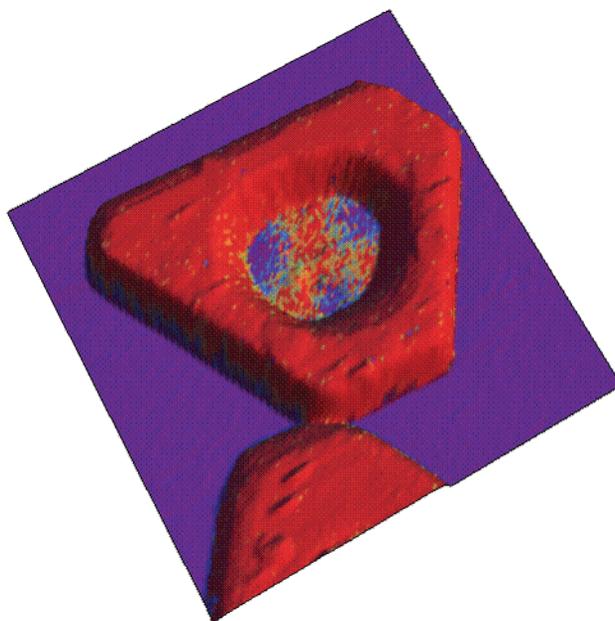


Figura 1.3

Figuras 1.1; 1.2; 1.3.  
Imagens não publicadas, enviadas diretamente  
aos autores por Tristan Cren, do Instituto  
de Nanociências de Paris, em outubro de 2010.

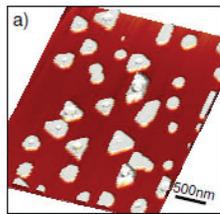


Figura 1.4a

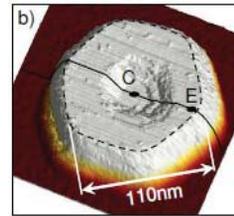


Figura 1.4b

Figuras 1.4a; 1.4b.

Imagens topográficas STM de ilhas-Pb em superfície de Si(111), nas perspectivas (a) de larga escala, (b) de escala local, que mostram a ilha selecionada para estudo (Cren, 2008, p. 3, fig. 1).

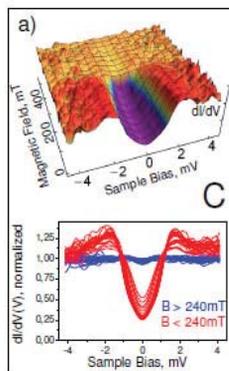


Figura 1.5a

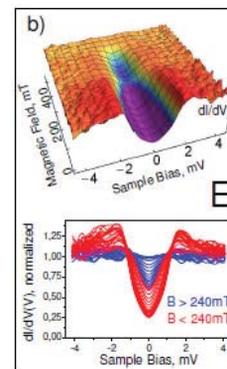


Figura 1.5b

Figuras 1.5a; 1.5b.

Evolução dos espectros  $dI/dV(V)$  do tunelamento local no campo magnético. (a) No centro da ilha, no lugar C; (b) na borda da amostra, na localidade E (Cren, 2008, p. 7, fig. 4).



**Figura 2.1**

*Laocöonte e seu dois filhos atacados por serpentes, Mármore do século II-1 a. C. Atribuído a Agessandro, Polidoro e Atenodoro, artistas pertencentes à escola de Rodas. A obra encontra-se no Museu Pio-Clementino em Roma (Ragghianti, 1968, p. 36).*



**Figura 2.2**

*A grande odalisca, quadro de 1814 do pintor francês Jean Auguste Dominique Ingres (1780-1867), expoente da escola neoclássica que se opunha ao romantismo.*

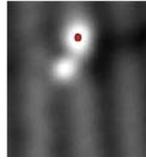


Figura 3.1

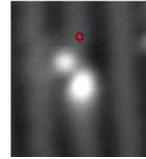
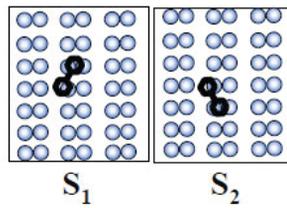


Figura 3.2



Figuras 3.3 e 3.4

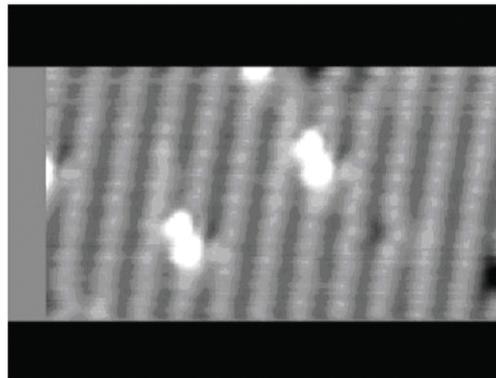


Figura 3.5

Figuras 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5.  
Imagens de uma molécula de difenil ( $C_6H_5-C_6H_5$ ) em superfície de emulsão de Si(100),  
que apresenta uma biestabilidade molecular (Lastapis et al., 2005).

apresentação pictórica e escultórica, pode estimular a consciência de importantes especificidades das reproduções científicas.

As representações esculturais e pictóricas podem aprofundar a compreensão das imagens científicas segundo três linhas. O retrato artístico é holístico. Existe uma lógica e completude da cena que resiste à fragmentação. Diferentemente da ciência, a arte não tolera a subtração, a supressão, de qualquer parte do todo, pois isso constituiria uma amputação visual. Essa qualidade das imagens artísticas sensibiliza-nos para o registro das imagens sintetizadas, mecanicistas, rígidas e talvez até mesmo afetadas da ciência. A representação artística frequentemente passa por cima das diferenças entre os objetos e o ambiente. O observador vê primeira e principalmente o objeto e muito pouco do ambiente. A imagem científica em geral chama claramente a atenção para o contraste entre a entidade e seu ambiente. Uma divisa para a realização disso é o processo de pôr a informação em primeiro plano ou no plano de fundo. Por fim, na arte, as relações entre os objetos a serem representados não são com frequência explicitamente iluminadas. Esta é uma consequência da qualidade holística da arte anteriormente mencionada. Essa falta de realce das relações especificadas torna-nos altamente conscientes do lugar central das relações no interior e entre os fenômenos na informação transmitida pelas imagens científicas. É em parte nesse senso de relação que se baseiam a identificação e o entendimento do ambiente e do objeto, o que contribui para um acesso da causalidade na ciência.

A observação de que as imagens científicas centram-se na forma, na força e na perturbação proporciona um esquema interpretativo rico para considerar a arte, assim como oferece parâmetros rigorosos, e ainda assim abertos, para identificar as entidades e as relações pictoricamente fluidas da arte. De grande importância, as imagens científicas frequentemente tomam a forma de uma síntese baseada em uma matriz gráfica. A obtenção da síntese possui uma lógica aditiva, consistindo na soma de suas partes. Pode-se dizer que ela oferece uma sensação estilizada que representa o que é, entretanto, uma integridade do fenômeno em estudo. Dado que a síntese é aditiva em sua composição, ela pode ser decomposta em suas partes constituintes. Essa possibilidade de movimento planejado do todo para as partes e, de novo, para o todo introduz um novo instrumento poderoso para ver os aspectos alternativos anteriormente despercebidos que estão baseados fundamentalmente na reprodução holística. O terceiro registro, a distinção informacional nas imagens científicas entre as entidades e seu ambiente, promove uma apreensão extremamente nuançada da arte. Na ciência, a informação veiculada em imagens é excepcionalmente suscetível a essa distinção. Na pintura e na escultura, a questão do que conta como “ambiente” e qual é precisamente seu impacto raramente é levantada. Finalmente, as imagens científicas apresentam frequentemente informação que tenciona promover a reflexão sobre a relação específica

entre os elementos; e, ao fazer assim, elas iluminam sítios explícitos de ação e interação pouco comuns nas imagens artísticas. Apesar de suas diferenças, as imagens artísticas e científicas também são complementares. Essa orientação e vocabulário compartilhados mostram-nos exatamente com que profundidade se interceptam o conhecimento, a estética, a tecnologia e a cultura, e como nos oferecem iluminação recíproca.

A primeira seção do texto abre com uma breve apresentação dos dois laboratórios visitados desde 2007 no quadro de nossa pesquisa. A seguir nos dirigimos para uma discussão das três orientações e tecnologias de produção de imagens científicas. Duas delas (as “imagens primárias” e as “imagens secundárias reprocessadas”) são comumente usadas pelos experimentadores, e a terceira orientação é empregada pelos teóricos engajados nas imagens computacionais de simulação.

Apresentamos a seguir uma investigação de nanovórtices, na qual traçamos a produção passo a passo de três imagens científicas conectadas (ver fig. 1.1, 1.2, 1.3). Duas dessas imagens oferecem informação detalhada para dois parâmetros diferentes. Por contraste, a terceira imagem é uma síntese multiparamétrica das duas outras. Essa imagem sintetizada proporciona aos cientistas uma reprodução interconectada do fenômeno do vórtice e, ao mesmo tempo, ela pode ser desconstruída em uma série precisa de seus elementos informacionais constitutivos. Continuamos com uma discussão de uma série de imagens publicadas (ver fig. 1.4.a, 1.4.b, 1.5.a, 1.5.b) que lidam com o sítio, a geometria, as forças e as perturbações conectadas com nanovórtices supercondutores. Essas imagens são julgadas pelos cientistas como proporcionando informação constituída de *input* visual de formas, forças e perturbações que se considera estarem conectadas com os objetos físicos. Aqui identificamos a informação visual que acompanha as discussões científicas do fenômeno. O objetivo dos cientistas de entender a dinâmica e evolução de nanovórtices por meio de imagens recebe atenção particular. O resultado é que as imagens proporcionam uma gramática para a análise e o raciocínio. A reapresentação, a colocação em nova perspectiva, dos dados visuais baseados em informação estável obtida por instrumentação é, assim, crucial e onipresente na pesquisa aqui descrita sobre a estrutura e a formação de vórtices, onde ela opera como o fundamento para a observação, a discussão e os processos dinâmicos de descoberta.

Na segunda seção deste texto, apresentamos a escultura do século II-I a.C, intitulada *Laocoonte* (ver fig. 2.1), que se encontra no Museu Pio Clementino no Vaticano e que foi descrita em um famoso ensaio de Goethe de 1798. Essa escultura é um retrato helenista notável de um homem lutando desesperadamente pela vida contra forças insuperáveis e fornece a chave para apreender as relações entre a forma geral dos sujeitos e as dinâmicas induzidas por forças. A escultura representa três humanos sob o ataque de serpentes. Ao ver pela primeira vez a escultura, a atenção do observador é

atraída para os humanos, seu sofrimento e sua morte iminente. É o retrato holístico da cena que é mais surpreendente. Inicialmente, focamo-nos na forma, e é apenas mais tarde e depois de cuidadoso estudo que um observador torna-se consciente das serpentes como agentes de força que produzem a transformação na forma. Essa reprodução artística integrada, que tende a ocultar a distinção entre a forma, a força e a perturbação, sensibiliza-nos para a centralidade de suas relações nas imagens científicas.

Em segundo lugar, e de modo a explorar mais amplamente os assuntos da reapresentação e da colocação em nova perspectiva das imagens científicas e artísticas, apresenta-se o famoso quadro, *A grande odalisca*, do pintor francês do século XIX, Jean-Auguste Dominique Ingres (ver fig. 2.2). De modo a transmitir uma apreciação da totalidade harmoniosa do corpo feminino aqui pintado, o artista dá nova proporção e reposiciona estrategicamente certos de seus componentes. Essa reapresentação proporciona uma reprodução mais exaustiva da mulher. Isso é discutido à luz de como os físicos remodelam as propriedades intrínsecas de seus objetos.

A terceira seção do artigo explora algumas das diferenças entre a informação contida nas imagens geradas por experimentadores e nas imagens produzidas por simulação pelos teóricos no processo de investigação das características e da dinâmica de uma única molécula na nanoescala. Indicamos, primeiro, como a informação é extraída a partir das imagens experimentais e como ela é empregada durante a pesquisa da morfologia e da mecânica de moléculas isoladas (ver fig. 3.1, 3.2, 3.5). Esse exemplo proporciona uma oportunidade para a introdução da discussão das condições limítrofes das imagens científicas e seus usos. As circunstâncias – que conduzem à produção pelos teóricos das imagens por simulação – e as características de suas imagens são estabelecidas, seguidas por indicações do potencial informacional particular dessas imagens (ver fig. 3.3, 3.4). São traçadas, então, comparações entre a categoria das imagens geradas e usadas por experimentadores e por teóricos especializados em imagens por simulação. Ambas são frequentemente complementares. No caso apresentado aqui, uma categoria de imagem focaliza-se na forma e dinâmica do objeto em estudo, enquanto a outra categoria explora o ambiente do objeto. A relação entre os objetos e o ambiente na arte é então explorada em uma segunda discussão da pintura de Ingres. Não se discerne imediatamente o que constitui o ambiente e como esse ambiente tem impacto nos objetos.

A quarta seção concentra-se nas operações epistemológicas ligadas ao processo imagético na ciência. Indicamos três operações epistemológicas. Em ordem ascendente de significância, são elas: primeiro, a introdução da cor na busca cognitiva das imagens, e, além disso, seus usos nos domínios da comunicação intraespecífica e estética; segundo, a epistemologia de seleção que opera nos processos de pesquisa conectados com a produção e a exploração crítica de imagens; terceiro, a introdução de

uma operação epistemológica em conjunção com a produção de imagens, denominada “imagem/argumentação”, que contém os elementos de reciprocidade, “ajustamento” e “completude”.

## I AS IMAGENS CIENTÍFICAS ANALISADAS EM TERMOS DAS FORMAS, DAS FORÇAS E DAS PERTURBAÇÕES

### I.1 AS TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DA IMAGEM CIENTÍFICA

Exploremos agora casos concretos de produção e uso das imagens no interior do laboratório em conexão com a detecção da forma e de suas relações com as forças coercitivas e as perturbações dinâmicas, e em conexão com a operação de imagens enquanto parte de alguns processos epistemológicos contemporâneos. Nosso estudo das imagens no trabalho de pesquisa científica baseia-se na observação de dois laboratórios franceses entre 2007 e 2010: o Instituto de Nanociências de Paris (INSP) e o Instituto de Fotofísica da Universidade de Orsay, em Paris. Ambos os laboratórios concentram-se principalmente na pesquisa em nanoescala. O INSP é constituído por um grupo relativamente grande de pesquisa do Centro Nacional da Pesquisa Científica (CNRS) que contém cerca de 100 pesquisadores, todos trabalhando em física e cobrindo uma multiplicidade de atividades de pesquisa, que vão desde os efeitos do confinamento em supercondutores nanométricos até o confinamento e transporte na óptica e na acústica, os óxidos de baixa dimensão, o crescimento e as propriedades de sistemas híbridos em placas finas. O Instituto de Fotofísica de Orsay é heterogêneo em sua orientação. A equipe investigada em nosso projeto é o grupo de nanociência molecular. Seu objetivo é a criação de nanomáquinas moleculares capazes de incorporar as diferentes funções computacionais, eletrônicas, ópticas, químicas e mecânicas. Nos dois estudos de caso que se seguem, examinaremos como a dinâmica da forma, das forças e da perturbação é estudada por meio das imagens científicas.

A pesquisa científica origina três categorias de imagens, todas as quais são dependentes do computador – “imagens primárias”, “imagens secundárias” e “imagens científicas de simulação”. As imagens primárias são produzidas por instrumentos de medida que adquirem dados que são então transduzidos por um algoritmo especializado ligado a um computador que gera, por sua vez, uma representação topológica do objeto investigado. O microscópio de tunelamento por varredura (STM) e o microscópio de força atômica (AFM) são divisas típicas que produzem as imagens primárias (cf. Mody, 2006; Loeve, 2009). Os instrumentos e seus pacotes de imagem são vendidos equipados com seus próprios algoritmos de imagem; e, ainda que alguma variabilidade

no algoritmo seja possível, a maioria dos cientistas retém o pacote inicial. Os detalhes técnicos relacionados à produção dessas imagens implicam relativamente poucas decisões acerca dos ajustes. Isso contrasta com as muitas decisões e ajustes necessários para permitir que o instrumento metrológico opere apropriadamente no processo de aquisição de dados. Essas imagens são o resultado da aquisição de informação de alta densidade para uma dada superfície. A informação espacial oferecida pelo instrumento permanece inalterada. Ela é tida como a mais adequada e a mais válida representação do fenômeno considerado. Aqui, uma metrologia da topologia, minimamente interveniente, e os parâmetros relacionados são a unidade informacional fundamental da produção e cognição da imagem. Existe, assim, um tipo de padronização das possibilidades e expectativas da arquitetura e coerções das imagens primárias.

As imagens secundárias, nossa segunda classe, originam-se das imagens primárias e retêm sistematicamente seus dados fundamentais (cf. Allamel-Rafin, 2004). Elas requerem a introdução de um algoritmo adicional especializado no processamento de imagens. Muitos desses programas estão comercialmente disponíveis, tais como o *Paintshop*. Esses programas “rodam” tipicamente em computadores pessoais convencionais. Entretanto, o processamento das imagens secundárias requer competência especial para a transformação e demanda uma bateria alternativa de tecnologias desnecessárias para o trabalho de produzir as imagens primárias. O tratamento que conduz a imagens secundárias é realizado com propósitos ópticos. A informação óptica das imagens primárias é tal que algumas vezes dificilmente pode ser separada. Os dados podem estar estreitamente reunidos e entrelaçados. O reprocessamento da informação permite a introdução de efeitos visuais. Um item que é opticamente pouco perceptível no *background* pode ser movido para o primeiro plano. Um item-alvo em um aglomerado confuso pode ser isolado, um objeto pode ser amplificado para tornar o relevo mais claro e mais prontamente explorado. Finalmente, a cor faz parte do arsenal das imagens secundárias (cf. Goethe, 1983 [1810]; Farge, 1990; Hacking, 2005; Vogl, 2005). Ela é empregada de modo a diferenciar as várias partes de uma imagem, e para distinguir o fenômeno estudado de seu ambiente. As cores são também introduzidas para a comunicação científica, para tornar as imagens atraentes a um público mais amplo e, finalmente, para produzir efeitos estéticos.

O trabalho empregado na produção de imagens secundárias consome frequentemente muito tempo. Ele consiste em grande medida em remendar, à medida que os cientistas introduzem um comando computacional após outro na tentativa de obter a clarificação desejada da imagem.<sup>5</sup> Se um comando falha, outro é tentado. Em muitos

<sup>5</sup> Entrevista de Vincent Dubost concedida a A. Marcovich e T. Shinn no Instituto de Nanociências de Paris, 08/mar./2008.

casos, o resultado não melhora a visão do alvo, de modo que um procedimento alternativo deve ser buscado. Pode-se falar aqui de uma espécie de procedimento que “vai às apalpadelas”. Em outros termos, a informação da imagem primária não é mudada, somente a capacidade de melhorar a informação visual, contida na reprodução inicial, é alterada nessas imagens secundárias. Apesar disso, origina-se a crítica entre os praticantes das imagens primárias de que o reprocessamento constitui um tipo de jogo de computador que ameaça a autenticidade dos aspectos ligados à inteligibilidade física (cf. Mohebi & Fieguth, 2006).<sup>6</sup>

Finalmente, as imagens de simulação, a terceira categoria de imagens aqui apresentadas, baseiam-se em quatro elementos-chave:

- (1) a teoria funcional da densidade (DFT);
- (2) o computador (cf. Lenhard, 2010);
- (3) algoritmos computacionais que expressam os parâmetros e os valores físicos;
- (4) algoritmos de imagem.

A teoria funcional da densidade (DFT) foi desenvolvida durante os anos 1970. Trata-se de um método de modelagem da mecânica quântica usado na física e na química para investigar a estrutura eletrônica (principalmente, o estado de base) de sistemas de múltiplos corpos, em particular átomos e moléculas. A DFT está entre os métodos mais versáteis e populares disponíveis na física da matéria condensada, na física computacional e na química computacional.

O uso da DFT pelos cientistas para prever o comportamento físico de um elemento particular, tal como o carbono ou o boro, implica cálculos numéricos enormes e o uso de algoritmos extremamente complexos. São relativamente poucos os computadores suficientemente poderosos para os propósitos da simulação da DFT. Frequentemente eles estão localizados em instituições especializadas, e o acesso aos computadores é competitivo e deve ser reservado com bastante antecedência (cf. Johnson, 2006).

Os cientistas compram ou desenham programas para seus computadores, com os quais carregam parâmetros físicos ou valores numéricos que tencionam caracterizar os fenômenos físicos com os propósitos de prever seu comportamento.<sup>7</sup> A excelência de um resultado depende amplamente dessas escolhas. Uma família de nível

<sup>6</sup> Workshop “Nano-objets Synthétiques et Bio-inspirés”, acontecido na Universidade de Orsay, Paris-Sud, nos dias 20 e 21 de janeiro de 2011.

<sup>7</sup> Entrevista de Marvin Cohen concedida a T. Shinn no Departamento de Física da Universidade da Califórnia, Berkeley, em 30/jan./2008.

inferior de programas de computador transduz as quantidades físicas e os contornos e relações morfológicas, originadas em parâmetros e valores, em informação óptica na forma de imagens visuais. Diferentemente das imagens secundárias, os cientistas não reprocessam as imagens científicas simuladas. A modificação das imagens deriva exclusiva e diretamente da introdução de novos valores ou parâmetros. Em muitos casos, uma imagem científica simulada bem sucedida é aquela que corresponde a uma imagem instrumental gerada no processo de um experimento físico. Por que muitos cientistas escolhem confiar em imagens no curso de seu trabalho de pesquisa? Desde o início dos anos 1990, milhares de pesquisadores que anteriormente empregavam dados numéricos representados em curvas, gráficos etc. mudaram para a informação baseada em imagens e reproduções, sempre que permitido por seus experimentos. Várias considerações estão associadas a essa mudança (McCabe & Castel, 2008). O trabalho com dados na forma de valores numéricos sequenciais, que são gerados por lasers ou outros instrumentos, é agora visto como problemático. O processo é relatado como tecnicamente desajeitado e lento. Ele requer muito tempo. Ao contrário, as imagens de todas as três categorias de reprodução acima descritas são disponíveis muito rapidamente por razões tecnológicas. O próprio instrumento metrológico ou numérico gera uma imagem como seu principal produto juntamente com os dados numéricos. Com efeito, obtém-se imediatamente algum tipo de achado. Em segundo lugar, os cientistas testemunham que frequentemente mostra-se muito difícil obter algum tipo de sentido imediato a partir de uma tabela ou de um gráfico. Tabelas e gráficos são úteis para transmitir a informação, mas não são uma fonte fácil de inteligibilidade. Uma imagem é uma síntese de objetos interconectados. Observa-se um coletivo de elementos que oferece alguma noção da forma e da relação. Certamente, isso não significa dizer que os cientistas sugerem que eles possuem uma noção clara acerca do que eles estão vendo, mas existe pelo menos alguma combinação ponderável de informação disponível.<sup>8</sup> Parece haver uma forte preferência pela síntese na representação. Aquilo que principalmente aparece nas imagens científicas é a forma, que pode consistir em um privilegiado veículo de inteligibilidade. Afirma-se que as imagens são psicologicamente mais satisfatórias. Também sugere-se que elas estão mais próximas de um tipo de entendimento instintivo.

Há ainda uma consideração adicional a fazer e que está ligada ao que é algumas vezes denominado o potencial “marcante”, ou até mesmo “surpreendente”, das imagens. Ouve-se sem cessar o caso em que os cientistas viram as letras “IBM” escritas

<sup>8</sup> Entrevista com G. Dujardin concedida a A. Marcovich e T. Shinn, no Laboratório de Fotofísica Molecular de Orsay, em 06/nov./2010.

átomo por átomo.<sup>9</sup> Os pesquisadores associaram pontos visuais, obtidos por um STM, com átomos individuais e apreenderam as relações espaciais entre os átomos. As imagens de materiais atômicos e moleculares podem, com efeito, ser maravilhosas para um observador informado. Paralelamente, o uso frequente da cor nas imagens pode torná-las visualmente atrativas, algumas vezes até sedutoras.

Finalmente, essa tendência favorável às imagens também está ligada a aspectos profissionais e institucionais. Em muitos campos da ciência, há uma grande expectativa, quase uma norma, pela introdução de imagens em artigos. Assim, em alguns periódicos de prestígio, tais como *Nano Letters* e *Nature Nano*, as imagens são postas isoladas antes do resumo do artigo, ou elas acompanham o resumo. Muitos cientistas inserem imagens em suas páginas pessoais na Internet, e muitos laboratórios documentam e tornam público seu trabalho com base em imagens coloridas e chamativas.

## 1.2 COMO SE TRABALHA AS IMAGENS

No estudo de caso que se segue, relatamos uma exploração detalhada, que combina o STM com a espectroscopia de escaneamento por tunelamento (STS), de um supercondutor em um forte regime de confinamento em um vórtice. Enquanto se aprendeu muito sobre a supercondutividade desde a descoberta do fenômeno por Heike Kamerlingh Onnes em 1911 (cf. Gavroglou & Goudaroulis, 1989; Waysand & Matricon, 1994), continua o estudo sobre essa família de eventos e, particularmente, sobre a dinâmica e o ambiente dos vórtices supercondutores na escala nano.

Examinaremos aqui as imagens científicas, relacionadas com a formação de vórtices em um ambiente supercondutor, produzidas por uma equipe do INSP. Nessas pesquisas, estão ausentes os tipos de complexidade e incerteza associados com as pesquisas de campo e algumas investigações biológicas. Nesse estudo a baixas temperaturas o próprio objeto de investigação é “criado” e o ambiente não parece constituir um fator que corrompe o estudo (Lynch, 2006a). Os eventuais “artefatos experimentais” não seriam derivados do ambiente, mas antes da própria montagem experimental. Nossa discussão das imagens de laboratório trata primeiro das imagens associadas com os estágios iniciais da investigação. Daremos atenção a seguir a uma série de imagens que apareceram publicadas.

Associado ao interesse pela supercondutividade, a equipe do INSP engajou-se no desenho e construção de um arranjo experimental inovador com o objetivo de induzir vórtices supercondutores nanométricos. O objetivo era o de identificar a forma,

<sup>9</sup> Entrevista com G. Dujardin concedida a A. Marcovich e T. Shinn, no Laboratório de Fotofísica Molecular de Orsay, out./2010.

a posição e o movimento dos vórtices, as formas internas dos vórtices e tentar entender as forças físicas que subjazem ao todo. O aparelho experimental foi construído e testado por um período de aproximadamente cinco anos. Ele dispõe de uma nova ponteira STM, de uma câmera melhorada, bombas e condutos de baixa vibração, e um criostato de longa duração. A vantagem do instrumento sobre os competidores é que ele possui alta estabilidade, gera pouco ruído, permite ensaios experimentais de longa duração e oferece vantagens no controle experimental. Esse programa de pesquisa privilegia o uso de imagens como método de aquisição de informação e, particularmente, o emprego de imagens na análise dos fenômenos. Vários membros da equipe possuem grande experiência na produção de imagens secundárias e na interpretação dessas imagens, de modo que sua reflexão sobre as imagens incorpora uma espécie de epistemologia voltada para as imagens. A pesquisa desse grupo deu origem a muitos experimentos, produzindo muitas imagens e parte desse trabalho foi publicada (cf. Cren *et al.*, 2009).

Em uma carta que nos foi escrita por um dos cientistas do INSP, acompanhada por três imagens, ele descreve com detalhe o trabalho de produção de imagem durante um estágio particular da investigação da supercondutividade na nanoescala. Como são precisamente produzidas essas imagens e para quais propósitos?

A passagem de uma imagem primária para uma imagem secundária no trabalho dos pesquisadores não é distinta, nem claramente discernível. Características que estão frequentemente associadas às imagens primárias parecem ser transgredidas, na medida em que o processamento pode ocorrer em um estágio bastante preliminar da produção das imagens. O estudo de vórtices na supercondutividade aqui apresentado implica duas fontes de informação: uma adquirida por um STM que fornece a topologia do objeto, o segundo é adquirido por um STS, por meio do qual se mede a intensidade da relação entre a corrente e a voltagem. Consideremos as três imagens ilustrativas de experimentos laboratoriais (ver fig. 1.1, 1.2, 1.3).

A primeira imagem (1.1) apresenta uma região supercondutora que se parece com uma ilha em um mar não condutor; ela mostra uma depressão na ilha que constitui o vórtice supercondutor. O estudo dos cientistas concentra-se na posição, dimensão e dinâmica desse vórtice. De modo a escrutinar mais detalhadamente a depressão do vórtice, eles reproporcionaram, nesta imagem, as dimensões ópticas relativas da ilha e da profundidade da depressão acentuando a finura da primeira. Os autores modificaram as impressões ópticas de modo a fornecer mais completamente a realidade do fenômeno. A imagem consiste de uma grade de detecção de 200 pontos por 200 pontos. Cada ponto individual indica a altura do fenômeno medido pela ponteira do STM. A imagem resultante é tridimensional com o acréscimo de cores artificiais. Aqui a cor está na dependência da altura. Em acréscimo a essa coleção de dados topológicos, os

cientistas geraram imagens baseadas em dados espectrais. Para cada um dos pontos de dados do precedente, um espectro de tunelamento foi registrado, isto é, a corrente de tunelamento,  $I$ , foi medida como uma função da voltagem,  $V$ , de tunelamento. Isso dá um espectro  $I(V)$ . Já foram medidos trezentos e vinte valores diferentes dessa voltagem, o que fornece uma medida da força do campo magnético. Essas medidas permitem identificações de regiões “normais”; normais por oposição às regiões que são caracterizadas pela supercondutividade.

Na figura 1.2, a *informação baseada* em espectroscopia é representada em duas dimensões, por oposição à imagem tridimensional da primeira figura. A informação na reprodução bidimensional não pode visualmente assinalar três dimensões e, portanto, não pode indicar a depressão. Ela, entretanto, revela a posição da depressão na ilha, por meio da introdução de cor que assinala sua forma. O violeta da depressão e do mar contrasta com o púrpura da ilha. A cor funciona, assim, para distinguir os diferentes espaços; ela também indica o estado de supercondutividade de cada espaço: vermelho para a supercondutividade; violeta, para o estado de não condutividade (estado normal). Assim, a figura 1.2 revela acima de tudo a heterogeneidade de remendos das regiões supercondutoras.

A operação final (figura 1.3) consiste em combinar a imagem topográfica tridimensional da figura 1.1 com a imagem espectroscópica bidimensional da figura 1.2, que representa as forças do campo magnético. A distribuição de cores como marcadores de nós específicas de supercondutividade da figura 1.2 é superposta à figura 1.1, cuja tridimensionalidade proporciona informação acerca da geometria e da intensidade da depressão, que é objeto de investigação. As cores da figura 1.2 são atenuadas de modo a atenuar as pequenas variações de voltagem nas regiões não condutivas que envolvem as ilhas supercondutoras. Isso constituía um ruído de fundo perturbador. Por que se faz isso? Segundo Tristan Cren, em sua carta de outubro de 2010, “o ruído visível no ambiente próximo às ilhas não acrescenta informação relevante, e arrisca distrair o olho de quem vê. A imagem tridimensional também é modificada; a perspectiva é levemente deslocada de modo a ter-se uma visão melhor do interior da ilha onde as coisas interessantes acontecem”. Assim, foi introduzida uma modificação visual, mas ela não altera a informação coletada durante o experimento. A imagem resultante (fig. 1.3) exhibe dramaticamente a correlação entre topografia e espectroscopia: “tudo está mostrado na imagem: não há necessidade de discurso. A imagem fala por si para aqueles que conhecem minimamente o assunto”.<sup>10</sup> Comentários como este caracterizam uma posição não problematizada dos cientistas na conclusão de um ciclo de pesquisa. A imagem é considerada como independente das muitas decisões tomadas

<sup>10</sup> Carta de Tristan Cren para Anne Marcovich e Terry Shinn (22/out./2010).

durante sua produção e processamento. A imagem não é simplesmente autônoma de suas condições de produção, ela é vista como representando os elementos que estão sendo investigados como autoevidentes no sistema de referência da imagem. A própria ideia de que as imagens científicas, tal como imagens artísticas, sempre implicam “deformações” e “reperspectiva” está inteiramente abandonada. As questões de perspectiva, reperspectiva e deformação serão examinadas em detalhe abaixo neste texto.

Na última citação, proferida pelo nosso informante, confrontamo-nos com o difícil problema, no estudo das imagens científicas, relativo à tentativa de imbricar a imagem como informação com a imagem como veículo de comunicação (cf. Lynch, 2006b). Pode-se pensar que a informação constitui um espectro e que a comunicação constitui um segundo espectro, de modo que os dois espectros superpõem-se parcialmente, mas não coincidem. Nessa visão, pode-se dizer razoavelmente que o potencial de informação na apresentação e discussão de imagens é extremamente elevado e que as considerações de comunicação são relativamente marginais, enquanto, em outras circunstâncias, o equilíbrio entre a informação e a comunicação é tal que as duas estão organicamente interconectadas.

### 1.3 PUBLICAÇÃO DE IMAGENS DE PESQUISA

Com base em sua longa série de experimentos sobre os vórtices supercondutores, a equipe do INSP publicou um importante artigo, que trata do “confinamento básico de vórtices estudado por espectroscopia de escaneamento por tunelamento”, no periódico *Physical Review Letters* (cf. Cren *et al.*, 2009). O tema desse artigo é a formação e evolução do regime de confinamento de vórtices poderosos em ilhas de nanochumbo supercondutor. Dentre as imagens apresentadas nesse artigo, dois pares são mostrados aqui. A figura 1.4a transmite a informação usada pelos cientistas de modo a identificar e explorar a posição, a geometria, a forma e o tamanho das ilhas supercondutoras. A imagem revela que somente algumas dentre um grupo de ilhas supercondutoras possuem depressão, enquanto outras não. Para as ilhas que exibem depressão, a imagem indica que uma perturbação está provocando e desenvolvendo um novo formato interno.

A imagem 1.4b mostra uma ilha com um formato hexagonal. A forma da depressão é idêntica à forma da ilha. O conteúdo dessa imagem torna visível as características detalhadas da superfície da ilha, que é plana e amplamente lisa com alguma granulação. A finura da ilha é surpreendente. A informação mais relevante nessa imagem para o cientista é que se podem observar características da forma da depressão que constitui o vórtice, tais como a geometria, que também é hexagonal. Essa imagem também permite aos pesquisadores determinar que a descida em direção ao fundo da depressão é irregular; algumas vezes toma a forma de degraus descendentes e, na região oposta, ela

consiste em uma colina. Pode-se deduzir disso que a depressão é o produto de uma força em ação. A assimetria morfológica é uma consequência de variações nas perturbações, que geram formas visíveis alternativas no interior da depressão. Nesse ponto, o que constitui a cognição é uma combinação de conhecimento de fundo com uma hipótese fortemente documentada e com informação visual.

As figuras 1.5a e 1.5b foram criadas para explorar as correlações entre as diferentes formas no interior de uma depressão e seus diferentes níveis de energia na presença de um campo específico subjacente de força magnética. A informação, nessas imagens, permite aos pesquisadores identificar duas regiões espaciais no interior da depressão: uma próxima da borda da depressão e a outra no centro da depressão. No artigo, essa imagem acompanha a discussão dos cientistas da evolução do vórtice espacial. Vemos, então, que, dado um campo magnético constante, o valor da condutividade do tunelamento STS local é mais elevado na periferia. Nessa imagem, o vórtice toma a forma de um sino invertido cuja borda corresponde a valores de tunelamento superiores. A perturbação é similar em cada região da ilha, mas por meio dos contornos da depressão, representados nas figuras 1.5a e 1.5b, os cientistas discernem que a inter-relação entre a força de perturbação e a resistência do material, entre a força e a contraforça, determina diferentes formatos.

Numerosas imagens científicas de fenômenos são acompanhadas por dados numéricos paralelos e esse é o caso das imagens nas figuras 1.5a e 1.5b. Os cientistas podem, assim, relacionar valores específicos a pontos particulares em uma geometria de vórtices. As imagens são a expressão sintética de valores numéricos; e a inclusão dos valores imediatamente depois da imagem permite aos cientistas quantificar passo a passo a evolução da topografia do vórtice. As imagens e os dados quantitativos são complementares e iluminam-se mutuamente. Os valores numéricos permitem que o leitor científico analise a imagem acompanhante. A presença da quantificação contribui para a legitimidade científica das imagens.

## 2 ENTRE A ARTE E A CIÊNCIA

### 2.1 A ESCULTURA *Laocoonte*: FORMA, FORÇA E PERTURBAÇÃO NA ARTE E NA CIÊNCIA

Ao observar a arte pela lente da forma, da força e da perturbação tal como fornecida pelas imagens científicas, torna-se possível ir além dos assuntos, principalmente da descrição de *o que compõe* uma representação em termos da impressão visual proeminente e, ao contrário, identificar os componentes cruciais e a dinâmica que faz acontecer aquilo que está ocorrendo em uma obra de arte.

A escultura *Laocoonte* (ver fig. 2.1) foi talhada no início do século I a. C. na escola de Rodas (cf. Petitot, 2004). Esta obra de arte exibe uma relação entre as propriedades de forma, força coercitiva e perturbação equivalente às imagens da ciência. A escultura representa três pessoas – um pai e seus dois filhos – sob o ataque de duas serpentes. O pai que é a figura mais alta e poderosa encontra-se no centro do grupo. Ele é franqueado pela direita por seu filho mais novo que está quase que totalmente dominado por uma serpente constritora e parece não ser mais capaz de resistir. À esquerda do pai, o filho mais velho é o menos atacado dos três. Os dois constritores estão tão inter-relacionados que eles constituem uma forma difícil de diferenciar. As três figuras estão conectadas pelas serpentes entrelaçadas e dirigem-se uma à outra, o que pode ser observado na forma da postura corporal recíproca de seus corpos e na mútua consciência implícita. É isso o que gera uma impressão de coesão e completude na escultura.

Ao examinar pela primeira vez essa obra de arte, o observador é comovido pelos atores humanos e, em particular, pelas atitudes corporais que eles assumem, que sobressaem como expressões importantes das formas que contra-agem aos ataques das serpentes. As pernas do pai estão envolvidas por espiras de serpente, mas ele é suficientemente forte para resistir temporariamente, ainda que por pouco tempo. As pernas são ainda suficientemente vigorosas para permitir sua resistência, liberando-o para usar seus braços na luta. O braço direito estende-se para cima e luta contra a serpente envolvente. A mão esquerda não teve sucesso em agarrar uma das serpentes para afastar sua cabeça e, como reação, a serpente volta seus dentes aflitiva e perigosamente na direção lombar do homem. À medida que suas forças físicas se desvanecem, sua expiração é somente uma questão de tempo. O drama da cena é reforçado pelo formato, volume e tamanho compacto do corpo do pai. O menino mais jovem e mais fraco está próximo da morte. Sua forma pequena e leve torna-o incapaz de enfrentar as forças do ataque violento do constritor que tenta sufocá-lo. A serpente ergue suas pernas acima do chão e aperta seus dois braços, e está no processo de sufocar seu peito. Quanto ao irmão mais velho, uma perna está igualmente manietada, um ombro foi levemente envolto, e as formas de seus membros mostram como ele está tentando desalojar uma espira de um pé. Sua posição é muito perigosa, mas não desesperada. Nessas três figuras, temos uma expressão das interrelações entre força e contraforça que se torna visível através da forma dos componentes e que aparecem analogamente nas imagens das ciências físicas e biológicas.

É importante notar que esta primeira descrição da escultura focaliza-se nos humanos e interpreta as serpentes principalmente como uma ameaça. O tema da escultura é a luta humana e a inexorabilidade. A forma, as forças e a dinâmica da perturbação das serpentes passam despercebidas. Se mantido, esse silêncio teria implicações cognitivas importantes para a apreciação completa da escultura. Enquanto a represen-

tação dos três humanos dirige nossa atenção principalmente para a forma, são as interconexões transformativas entre as serpentes e os humanos que revelam a tríade da forma, força e perturbação que oferece um entendimento dinâmico preciso e multidimensional dos eventos e fenômenos. O drama da escultura reside em sua capacidade de iluminar a relação dinâmica entre as forças coercitivas e a forma. Isto é realizado através de perturbações que iniciam movimentos e contramovimentos. Torna-se agora imperativo considerar as serpentes como forças que induzem formas específicas, em vista da morfologia, da posição e do volume das figuras humanas.

Note-se que existem duas serpentes que têm sucesso em provocar a morte de três pessoas, incluindo um adulto bastante forte. Como indicamos acima, a mistura quase orgânica de serpentes e humanos e a retorcida complexidade da posição das serpentes tornam compreensivelmente difícil explorar as serpentes. Entretanto, suas características em termos de forças constrictivas constitui a chave de todo o drama.

Para entender o que acontece aos humanos, é necessário apreciar as forças exercidas pelas serpentes, seu peso (massa), potência (poder), flexibilidade (elasticidade) e o fato de que elas possuem dois modos de ataque: constrição e mordida. De modo a enlaçar tão completamente três vítimas, as duas serpentes devem ser consideravelmente longas e ágeis. Note-se que a massa dos animais deve ser apreciável, pois eles imobilizam os humanos em virtude, em parte, ao peso de seus adversários. A força e a contraforça, o movimento e o contramovimento, entre o homem e a serpente permite-nos dizer muito acerca da forma dos músculos, tendões, ligamentos e ossos de cada pessoa. A força da serpente é revelada como ondulações do poder dos músculos e pele do animal, que são particularmente visíveis no caso dos constritores. A forma da anatomia reativa, os contornos e o volume da musculatura abdominal do pai e os músculos de seus braços em contração reativa são tornados visíveis como perturbações que emanam do exercício pelas serpentes da força constrictora. A força exercida, em outro campo de movimento, pode ser vista nas constrições de pressão causadas pela compressão coletiva produzida pela serpente, que supera a resistência do pai e das duas crianças, tal como aparece pela morfologia, claramente resistente, protuberante e marcante, de todos os atributos externos das figuras. As imagens apresentadas na primeira seção deste artigo proporcionam um sistema de referência para uma releitura de *Laocoonte*. Pode-se ver esse tipo de relação de causa e efeito entre a força e a reatividade da forma em ambas as imagens 1.5a e 1.5b, que mostram os vínculos entre a morfologia do vórtice e a intensidade do campo magnético, assim como na escultura que mostra os vínculos entre as formas contorcidas dos humanos e as forças exercidas pelas serpentes. A apresentação da associação entre a força e a forma nessas duas categorias de representação enfatiza como a leitura de uma informa a da outra.

A representação holística dos três humanos e das duas serpentes é iluminada em contraponto pela abordagem aditiva segmentada da informação apresentada nas figuras 1.1 e 1.2, onde uma síntese aditiva dos fenômenos é associada com informação segmentada. A imagem 1.3 fornece uma visão sintética do formato e das forças geradas em um vórtice e constitui uma adição interconectada das imagens 1.1 e 1.2, as quais separadamente transmitem informação em parâmetros diferentes. Generalizando, a representação artística é sinônima de *holismo*, relacionando-se com processos de integração. Por contraste, as imagens científicas são sinônimas de *interconexão de segmentos*. Um tipo de expressão de interconexão é a síntese, a qual é uma construção por meio da adição compilada de informação. Toda síntese está sujeita a uma desconstrução de retorno a seus segmentos genéticos individuais.

## 2.2 REPROPORÇÃO E REPERSPECTIVA NA ARTE E NA CIÊNCIA

Uma segunda obra de arte, um quadro do pintor neoclassicista francês, Jean-Auguste Dominique Ingres (1780-1867), será usado para elaborar mais as relações de complementaridade e de contraste entre as imagens científicas e as imagens artísticas. Muitos dos quadros de Ingres são retratos de corpo inteiro. Podemos ver, na figura 2.2, *A grande odalisca*, um de seu mais famosos retratos. A pintura representa o perfil de costas de uma mulher nua preguiçosamente reclinada em um sofá coberto por tecidos coloridos. Ela está apoiada sobre seu cotovelo, que descansa sobre uma almofada, o que acentua a curva de seu corpo. A luz nuançada de sua pele acentua o profundo azul da cortina que se desdobra em queda do lado direito da pintura. A relevância para um comentário sobre as imagens na ciência e na arte de *A grande odalisca* reside na postura da mulher e no que essa postura implica. Ingres é bem conhecido como o introdutor das reproporções anatômicas estratégicas. Na representação artística da anatomia, a reproporção é utilizada naquilo que se refere ao reposicionamento de um componente, de modo a ver melhor as relações entre as diferentes partes do corpo e sua harmonia. Isso é análogo à rerepresentação ou à reperspectiva empreendida no reprocessamento das imagens pelos cientistas, utilizado para focalizar melhor os objetos ou acentuar partes relevantes deles.

Por que consideramos que essa pintura e sua comparação com as imagens científicas é de interesse? Ingres opera por meio de uma reelaboração de seu assunto; ele oferece uma perspectiva nova e inesperada de formas bastante conhecidas, e essa nova perspectiva acentua certos traços que ele deseja marcar. Ele introduz três vértebras ao pescoço de modo a alongar o sentido lânguido do corpo e, acima de tudo, para tornar possível que a mulher gire sua face para o espectador, de outro modo a teria deixado

menos visível. A mesma lógica de reperspectiva é visível na figura 1.1, onde os físicos modificaram, em sua imagem, as proporções entre o comprimento, a largura e a profundidade do vórtice, de modo a examinar mais detidamente a depressão.

Retornando à pintura de Ingres, como desejasse pintar uma vista por trás de uma mulher e, ao mesmo tempo, enfatizar suas curvas sensuais, Ingres migrou um seio para seu flanco. O quadro de Ingres constitui uma perspectiva integrada notável. Na ausência de reproporção e de reposicionamento dos componentes do corpo da mulher, seria preciso que Ingres pintasse um total de três pinturas separadas a partir de perspectivas claramente diferentes, para capturar a visão frontal, a visão das costas e a visão lateral. É somente por meio da reperspectiva que o artista consegue integrar os componentes, incorporando-os em um mesmo todo. A realização e a significância dessa pintura reside em sua integridade. Por meio dessa reprodução integrada, Ingres consegue trazer para um único campo visual, numerosos componentes que estão, via de regra, visualmente obscurecidos entre si. Ele gera assim uma integração que deixa o corpo humano intacto, respeita completamente suas características e comunica uma harmonia transcendente. O espectador não percebe imediatamente a migração do seio e a alongação do pescoço, devido à contribuição intrínseca desses elementos para essa harmonia.

A representação holística da mulher pode ser lida comparativamente à operação da imagem 1.3 na discussão acima acerca do vórtice. A imagem 1.3 incorpora a informação topográfica da imagem 1.1 e a informação da distribuição de energia da imagem 1.2. Por combinação dessas duas imagens na forma de uma terceira imagem (fig. 1.3), a informação que, de outro modo, seria segmentada é reunida e, por meio dessa síntese, gera-se uma reprodução mais rica e, acima de tudo, mais completa de um vórtice. Entendendo a estrutura holística do retrato de Ingres, vê-se mais distintamente as especificidades do caráter aditivamente sintético das imagens na ciência. As estratégias da arte ajudam-nos a melhor compreender a organização da informação na ciência.

### 3 AS IMAGENS EXPERIMENTAIS E AS IMAGENS DE SIMULAÇÃO

O laboratório de Orsay, anteriormente referido, conduz pesquisas sobre moléculas isoladas com particular atenção a sua capacidade de mudar reversivelmente de maneira estável sua forma interna, operando assim como um interruptor (*switch*). Aqui temos novamente um caso de forte relação entre uma força (o pulso eletrônico que os cientistas induzem em uma molécula), as diferentes formas adotadas pela molécula em resposta à perturbação eletrônica e as imagens através das quais essas dinâmicas são identificadas e exploradas. Essa pesquisa envolve experimentalistas e teóricos, ambos os quais geram sua categoria particular de imagens.

No laboratório de Orsay, um STM foi usado a baixa temperatura (5° Kelvin) para controlar, através de excitação eletrônica ressonante, a dinâmica molecular de uma molécula individual de difenil<sup>11</sup> absorvida por uma superfície de silicone. Diferentes movimentos moleculares reversíveis foram seletivamente ativados, ajustando a energia do elétron e selecionando as localizações precisas para a excitação no interior da molécula. Tanto a seletividade espacial quanto a dependência energética do controle eletrônico são mantidas por mensurações espectroscópicas com o STM. Emprega-se também o STM para identificar a forma da molécula através de dados topográficos. A informação topográfica permite o desenvolvimento de uma cartografia que revela as posições relativas mutáveis das duas partes da molécula de difenil. A imagem está baseada nas medidas numéricas das propriedades de materiais físicos concretos. Uma mudança na conformação refere-se a uma mudança nas posições relativas de uma parte da molécula com referência à outra parte estática que compõe a molécula de difenil, deixando intacto os vínculos entre elas; é o que induz a funcionalidade da molécula como um interruptor.

A série de imagens mostradas acima proporcionou aos cientistas informação que lhes permitiu apreender as seguintes características e dinâmicas de sua molécula alvo:

- (1) parte da molécula pode mudar de posição quando as propriedades ambientais são favoráveis;
- (2) a molécula pode assumir pelo menos duas posições específicas;
- (3) essas posições são estáveis e, portanto, sua cartografia pode ser predita;
- (4) as imagens mostram que as moléculas podem ser seletivamente controladas.

O conjunto de imagens aqui apresentado contém imagens de dois tipos: as imagens 3.1 e 3.2 são imagens experimentais, as imagens 3.3 e 3.4 são imagens de simulação, finalmente, a imagem 3.5 é uma imagem experimental maior e mostra várias moléculas de difenil no substrato.

Nas figuras 3.1 e 3.2, as duas partes da molécula de difenil são muito visíveis. Visualmente, uma é maior do que a outra. Essa é uma impressão devida à posição da ponteira do STM por meio da qual os dados são coletados. A ponteira “vê” a molécula de cima; a parte móvel da molécula, que aparece como sendo a maior, está, de fato, fisicamente acima da outra e, assim, mais próxima da ponteira, mostrando uma dimensão amplificada. Essas imagens mostram a aplicação de um pulso (indicado por um ponto vermelho) em uma parte da molécula. Esse pulso constitui uma força que

<sup>11</sup> A molécula de difenil,  $C_6H_5-C_6H_5$ , também chamada de fenilbenzeno, é uma molécula do grupo aromático fenil:  $C_6H_5$ .

perturba a localização do segmento. A posição relativa desse segmento com a parte imóvel da molécula é modificada, e uma forma inteiramente nova é assim constituída.

Aqui, tal como no caso da escultura *Laocoonte*, as relações entre a forma, a força e a perturbação são evidentes (ver fig. 3.1, 3.2). A injeção de força (o pulso) modifica visivelmente a forma da molécula, dando às duas partes da molécula de difenil uma nova posição e configuração relativas. Essa configuração é o resultado do equilíbrio entre o campo de força injetado e a estrutura interna da molécula da qual ela deriva sua forma. Isso tem paralelo na dinâmica das relações entre as serpentes e os humanos na representação escultural de *Laocoonte*, na qual a relação dinâmica entre a força e a forma (serpente e humano) é representada em um momento muito preciso como um estado de “equilíbrio” entre as serpentes e os humanos. Na molécula de difenil, as imagens mostram que a aplicação seletiva de força resultará na reorganização do formato da molécula, que se traduz em controle, como no caso de um interruptor. A obra de arte representa um momento petrificado que atrai a atenção para as singularidades da condição dinâmica, e acentua as propriedades instáveis, inconstantes da molécula, que se tornam visíveis através da informação nas imagens 3.1 e 3.2.

Em todas as imagens experimentais (fig. 3.1, 3.2, 3.5), a informação transmitida para os cientistas revela muito pouco acerca do ambiente da molécula, que consiste do substrato. Nas figuras 3.1 e 3.2, o ambiente é apresentado sem informação como linhas que se assemelham a cordas, e na figura 3.5, apenas como um tipo de depressão de livre configuração. Para os experimentalistas, o ambiente no qual a molécula está situada é percebido como apenas um pano de fundo de suas imagens. De fato, o ambiente é aqui considerado pelos pesquisadores como uma dificuldade e frequentemente como um problema crítico, uma vez que, em muitos casos, a transferência da molécula para seu substrato produz ruptura e, em outros casos, perturba a possibilidade de controlar os processos de mudança de configuração no interior da molécula e entre a molécula e suas vizinhanças.

Nesse episódio de pesquisa sobre as moléculas individuais, o estudo dos experimentadores conduziu-os a “ver” e, portanto, a apreender a bilocalidade da molécula. Essa apreensão baseou-se na percepção da forma da molécula e da alteração de posição de segmentos que compõem a forma em diferentes momentos, quando o segmento era perturbado por um impulso. Entretanto, os cientistas não veem nas formas das imagens informação que poderia capacitá-los seja a localizar a “articulação” em torno da qual o movimento ocorreu, seja especificar as forças empregadas nas rotações. Em outras palavras, eles não podiam asseverar a partir da imagem qual era o elemento necessário para apreender a dinâmica das ações de sua molécula. Em suma, suas imagens não permitiam apreender precisamente as forças e perturbações envolvidas na transposição dos segmentos da molécula estudada.

Na procura dos dados necessários e de *insights*, eles encomendaram aos teóricos a realização de imagens de simulação correspondentes ao dilema. As imagens de simulação possuem a capacidade de focalização muito específica de um espaço visado, para identificar a presença de um tipo particular de átomo e para calcular as forças induzidas pelo átomo e as forças de interações entre o átomo e os átomos vizinhos. Os teóricos devem agora gerar informação precisa no nível atômico do substrato abaixo da molécula e de onde o substrato conecta-se com a molécula. As imagens simuladas deixam visualmente claro a presença de um átomo de hidrogênio: a localização alvo. Os teóricos calcularam suas forças e a perturbação causada por essa força sobre a molécula. Os experimentalistas não a tinham detectado em sua imagem, embora um exame detalhado mostre que ela tinha sido assinalada por uma espécie de sombra. Essa sombra juntamente com suas vizinhanças nunca haviam sido submetidas ao processo de colocação em primeiro plano e de ampliação. Ela simplesmente passou despercebida. Isso aponta para uma importante dificuldade na observação e reflexão baseada em imagens. Os cientistas veem somente o que veem, e existe sempre uma profusão de presenças visuais que passam despercebidas. Elas são opticamente sentidas pelo olho e, ainda assim, não são vistas. A atenção dos teóricos dirigiu-se para essa região das imagens experimentais, porque a imagem sugeria que as forças associadas com aquela região e aquele átomo interferiam fortemente nos átomos vizinhos da molécula. O hidrogênio agia como um tipo de fulcro que afetava a liberdade de movimento dos outros átomos.

A pesquisa teórica baseada em simulação em conexão com o interruptor molecular mostrou-se particularmente significativa nas contribuições para uma descrição do ambiente da molécula e do ambiente da perturbação. As imagens 3.3 e 3.4 proporcionam informação exata acerca das duas partes da molécula no substrato. A informação acerca do ambiente, disponível nas imagens experimentais, é muito sumária e indeterminada para servir a propósitos analíticos. No curso de sua pesquisa, em um ponto os experimentadores viram-se frustrados por uma falha intermitente no controle da ação do interruptor molecular. Os simuladores conduziram um trabalho detalhado sobre o substrato e descobriram que a presença de impurezas interferia no movimento molecular. Sua informação também indicava que a performance molecular estava ligada à polaridade do ambiente e que a introdução de agentes dopantes específicos aumentava a performance da molécula. O potencial do trabalho e imagem teóricos de transmitir informação acerca do ambiente é especialmente significativo porque coloca a molécula em seu contexto mais amplo, e esse contexto mostra-se tão determinante para a dinâmica da molécula, quanto o são sua própria configuração e forças internas. Retornando à leitura de *A grande odalisca* de Ingres, o ambiente da mulher elucida a interdependência entre os temas já mencionados da forma, da força e da perturbação. As formas de seu corpo e as posturas que ele expressa não podem ser enten-

didadas na ausência da compreensão das interações entre o ambiente e o corpo. A posição do corpo é determinada pela presença de um sofá sobre o qual ela descansa, e a orientação da parte superior de seu torso é definida pela almofada na qual descansa o cotovelo da mulher. Essa ação de alavanca do cotovelo sobre a almofada determina a distribuição de seu peso e obriga a rotação corporal. O dado da almofada torna ainda mais sensível a postura lânguida da personagem. Nesse sentido, a almofada constitui uma peça de informação importante para entender a elasticidade da interação entre a mulher e seu ambiente. Essas considerações deixam explícito na pintura e, em geral, o fato de que o ambiente é um determinante maior nas condições de possibilidade do objeto que se investiga, e foi o caso para o comportamento molecular acima descrito com referência ao seu substrato.

O retrato específico de algumas das características da mulher pode ser introduzido na pintura unicamente em virtude da existência dos elementos do ambiente. O cabelo da mulher é mantido preso atrás de sua cabeça por um turbante, deixando livres e visíveis seus ombros e suas costas, e permitindo que a curva de seu corpo e sua postura lânguida não seja obscurecida pelo cabelo pendente. Percebe-se, desse modo, que aquilo que frequentemente é uma parte despercebida do ambiente, no caso, o turbante, de fato, tem um papel central na constituição da forma geral de um objeto. A mão direita da mulher segura um abanico. Esse elemento determina um movimento dos dedos para agarrar o abanico. Essa postura da mão, configurada pelas coerções impostas pela presença do abanico, contribui para um tipo de dinâmica circular que faz parte da perspectiva da postura lânguida alongada. Tratando o ambiente como uma parte ativa da reprodução, tal como é feito no caso das imagens científicas, transforma-se sua função de um elemento de embelezamento para um elemento determinador. Traduzidos na gramática da figuração científica, o turbante ou o abanico não são mais vistos como adereços, mas como essenciais e como partes de um todo.

Quando visto como uma reprodução artística holística, o ambiente não pode ser separado da mulher! Eles compõem um todo. Sem a almofada, o sofá, a cortina azul, a mulher teria veiculado uma visão inteiramente diferente.

#### 4 RUMO A UMA EPISTEMOLOGIA DAS IMAGENS NA CIÊNCIA?

Na discussão feita até aqui, houve pouca menção das muitas incertezas, problemas e malogros algumas vezes ocasionados pelo uso de imagens na pesquisa científica. Entretanto, a realidade é que inúmeras dificuldades e impedimentos com frequência atrapalham a produção, reprocessamento, análise e, finalmente, o uso de imagens para alcançar conclusões analiticamente rigorosas.

Três tipos de dificuldades agudas podem ser identificadas. Primeiro, a informação contida em imagens é tal que a identificação dos componentes associados com qualquer forma reconhecível escapa à compreensão do cientista. O campo visual é tido como caótico e impossível de interpretar.

Como segundo exemplo típico de desapontamento e decepção, os comportamentos de duas formas, que estão claramente presentes em uma imagem (de dois nanoeletrodos), interagem quando as formas são submetidas a uma corrente elétrica. O espaço entre os eletrodos não era visualmente distinto na imagem. Os cientistas interpretavam a transmissão de pulso de um eletrodo para o outro como constituindo a passagem de uma corrente elétrica. Isso era uma hipótese em resposta a seu entendimento dos fenômenos e em reação à zona intereletrodo visualmente indistinta. Os cientistas introduziram conseqüentemente uma forma pequena que foi interpretada como uma espécie de fio transmissor. Isso originou o dramático problema da introdução de dados, que não transformariam a informação presente na imagem, mas antes desnaturalizariam a imagem por meio das adições. A desnaturalização assoma como um perigo constante no jogo das imagens da ciência. Posteriormente, por meio do estudo de imagens suplementares, percebeu-se que o espaço intereletrodo estava vazio. Nenhum fio passava entre os eletrodos. A representação de um fio havia sido pura invenção. Nesse cenário, foi a autenticidade da imagem alterada ou, ao contrário, algumas vezes é justificado inserir partes para dar lugar a uma hipótese?

Em um terceiro tipo de deficiência das imagens, alguns subcomponentes de uma forma complexa não estão apropriadamente adequados à arquitetura geral do todo. Existe inconsistência entre a composição da forma e essas partes anômalas. Para o cientista põe-se o seguinte dilema: ele valida a forma geral oferecida na imagem porque ela corresponde a suas expectativas ou, ao contrário, ele põe o foco nos componentes anômalos e valida-os como itens autênticos de informação? Dito de outro modo, quais são as regiões selecionadas para a validação e quais são os itens desqualificados? Em resumo, quais itens contam como informação?

Reagindo a isso, os cientistas desenvolveram práticas e processos de raciocínio que enquadram e estabilizam a utilização de imagens nas atividades laboratoriais. Sugerimos que a introdução extremamente maciça e difundida de imagens ao longo das duas últimas décadas originou um conjunto específico e, até certo ponto, novo de práticas e requisitos epistemológicos. Três referentes epistemologicamente relacionados são recorrentes na pesquisa científica baseada em imagens. Em ordem ascendente de significância (de modo a chegar a conclusões verificadas e consensuais), são eles: a justificação para a introdução das cores, as práticas de seleção de imagens e a dinâmica entre a imagem e a argumentação visando atingir a “completude”.

A introdução da cor nas imagens é motivada por duas considerações – uma relacionada com a cognição; a outra relacionada com a estética, que está algumas vezes, mas nem sempre, ligada à tentativa de atrair uma audiência mais ampla. Durante o longo processo de trabalho de pesquisa, complicado e contraditório, os cientistas que empregam a cor (tal como na pesquisa sobre os nanovórtices descrita na seção 1), acrescentam a cor especificamente para estimular sua própria atenção para o que são consideradas como as partes mais relevantes da informação visual. A cor é também usada de modo a tornar mais preciso o foco na presença de múltiplas formas. Funciona, então, como uma divisa contrastante. A cor nas imagens opera, assim, como uma divisa para revelar aos cientistas possíveis regiões relativamente uniformes no interior de um campo complexo, heterogêneo. Elas são todas aplicações da cor relativas ao conhecimento, seja para tornar algo mais visível do que seria de outro modo, seja para facilitar o estudo de uma imagem focando o olho. Critérios altamente críticos de extração de informação e descrição robusta sustentam essa categoria de aplicação da cor (cf. Welsh; Ashikhmin & Mueller, 2002). A cor constitui uma questão viva no interior da comunidade e ela não é aplicada sem cuidadosa consideração. A cor pode ser, com razão, considerada como um componente da epistemologia atual das imagens.

Contudo, nos esforços dos cientistas, a cor é algumas vezes uma armadilha. Cores de um nuance atraente ou dramático são introduzidas para chamar a atenção para a imagem enquanto imagem, por oposição ao interesse crítico estimulador na imagem como informação. De modo a dar mais um passo no uso da cor, ela pode ser aplicada contrariamente à possibilidade de leitura da informação científica da imagem, mas antes com o propósito consciente de usar a imagem como um veículo para propósitos estritamente estéticos. Essa estetização é feita por um pequeno grupo de cientistas ou por especialistas em mídia e imagens no interior das grandes instituições científicas, assim como por artistas. Exemplos disso são abundantes na Internet.

A segunda questão epistemológica concerne à seleção. Existem três contextos de seleção de imagem. O primeiro contexto está ligado à seleção da “melhor” imagem. Os experimentadores frequentemente produzem uma vasta quantidade de imagens. Algumas são descartadas porque se vê que houve um sério erro nos ajustes dos instrumentos, ou que será provavelmente necessário outro material ou outro ambiente. Em total contraste, em poucos casos, os cientistas julgam que as imagens transmitem imediatamente informação analiticamente útil que permita a obtenção de conclusões. Na maioria dos casos, entretanto, os experimentos dão origem a uma diversidade de imagens que mostram, na maior parte das vezes, as mesmas formas ou as mesmas relações entre as formas etc. Embora o principal objetivo do projeto seja adequadamente satisfeito por essa profusão de imagens, estas não são idênticas e permanecem apenas toscamente convergentes. Assim, em certas circunstâncias, torna-se essencial sele-

cionar uma imagem específica, a mais “reveladora” da série. Esse imperativo da seleção da imagem em termos da superioridade de uma única imagem como fonte de informação e inteligibilidade introduz um dos desafios epistemológicos mais comumente encontrados. Por exemplo, os teóricos especializados em simulação de imagens geralmente requerem que uma imagem experimental faça parte de seu trabalho. Existem dois diferentes cenários. No primeiro, o trabalho inicial dos teóricos é feito sem levar em consideração as imagens já produzidas pelos experimentadores. As imagens dos experimentadores são introduzidas apenas após os teóricos terem gerado suas reproduções iniciais. A imagem de simulação é então cotejada com a imagem experimental. O segundo cenário implica que, desde o início, as imagens apresentadas pelos experimentadores aos teóricos servem como uma chave de *input*. Com base nas imagens experimentais, os teóricos usam certos modelos, parâmetros e seleções numéricas para referenciar seus esforços. Quando isso ocorre, a discrepância entre as imagens simuladas e as imagens experimentais é normalmente interpretada de acordo com a seguinte alternativa: ou (1) o teórico errou nos parâmetros ou nos valores e ele deve recomeçar usando *inputs* alternativos de modo a identificar as formas, forças e relações necessárias apresentadas na imagem do experimentador; ou (2) a imagem do experimentador pode ser satisfatória segundo alguns critérios e expectativas experimentais, mas a informação transmitida na imagem não parece corresponder a (ou ser plausível em) alguma concretização física, de acordo com a teoria e os modelos disponíveis no domínio de pesquisa, tal como reproduzida pela imagem do simulador. No segundo caso, é necessário que os experimentadores selecionem uma imagem diferente (entretanto, uma imagem que aponte na mesma direção), ou eles devem recomeçar com uma nova série de experimentos para gerar outras imagens. Nesse caso, o experimentador deve selecionar uma imagem diferente para apresentação, o que introduz processos epistemológicos de avaliação trans-imagem.

Qual imagem? Uma epistemologia da seleção trans-imagem, que empregue critérios avaliativos estáveis, é fundamental para o argumento neste ponto. A coerência entre as múltiplas imagens de regiões essenciais reproduzidas nas imagens de um único fenômeno compreende um critério de seleção. Torna-se necessário decidir exatamente quais regiões são significativas, e essa seleção frequentemente está ligada à riqueza informacional de cada imagem diferente. Uma gramática interpretativa deve ser estabelecida, a qual é indutivamente gerada a partir da informação que vem do coletivo de reproduções, de modo a criar uma lista standardizada de itens de controle, em cuja base toda imagem é examinada e avaliada.

O segundo critério de seleção de imagem consiste em designar uma imagem a partir das muitas imagens existentes, que transmite maior informação visual especificamente sobre as forças e as perturbações que expressam uma forma, em vez de prio-

rizar a reprodução clara da própria forma. Isso implica deslocar a atenção visual para uma categoria alternativa de informação e, acima de tudo, implica ênfase na informação sobre as relações e as dinâmicas por oposição à morfologia das coisas. A detecção da força e da perturbação exige frequentemente atenção visual para a informação menos marcante e contrastante das imagens. O foco deve deslocar-se para o fundo dos objetos e para as consequências no ambiente. Essa situação foi explorada acima no caso das imagens dos teóricos para o ambiente da molécula e o impacto ambiental. A simulação da informação relacionada às forças e perturbações decorrentes de um ambiente também foi discutida acima na composição da pintura de Ingres e na escultura *Laocoonte*.

A terceira divisa de seleção requer a seleção não de uma imagem preexistente, mas antes de duas ou mais imagens, que conjuntamente permitem a geração de uma síntese na forma de uma terceira imagem. Essa terceira imagem combina ou até mesmo integra em um espaço a informação apresentada em duas ou mais reproduções múltiplas e, desse modo, aumenta o âmbito discernível de reproduções plausíveis. Um exemplo disso é apresentado acima para o estudo dos vórtices, onde a imagem 1.3 reapresenta a informação que as imagens 1.1 e 1.2 fornecem. Aqui o último estágio de uma imagem é uma síntese de várias imagens. Ela oferece, ao mesmo tempo, uma visão dos elementos combinados, incluindo muitas relações, e um acesso através da decomposição nas partes de informação incluídas nas imagens separadas. Encontra-se aqui um potencial essencial das imagens na ciência. Uma imagem oferece uma visão sintética constituída de um objeto (forma) e seu ambiente (força e perturbação). Ela constitui, assim, uma visão coletiva e integrada. A imagem holística sintética pode ser simultaneamente desconstruída nos vários *bits* de informação a partir dos quais ela é gerada. Na pesquisa científica, muitas imagens servem, assim, para um propósito duplo e complementar. Elas são, ao mesmo tempo, um todo que permite uma visão integrada, e são suscetíveis de decomposição nos menores segmentos de informação que compreendem o todo, de modo a esclarecer as relações entre a “parte” e o “conjunto” e identificar a partir daí o lugar dinâmico da força e da perturbação. Em suma, discerne-se que a seleção de trans-imagens constitui um processo. A comparação das imagens é frequentemente central para isso. A comparação pode ocorrer em vista do exame crítico das reproduções, que se originam de um instrumento ou de um programa de reprocessamento de imagens no interior de um único laboratório, ou pode tomar a forma do exame de diferentes categorias de imagens (experimentais ou simuladas) para um único fenômeno. Um elemento adicional é a complementaridade. O que inicia como uma contradição entre imagens torna-se complementaridade. Aqui, as imagens podem ser vistas como entrando em uma espécie de diálogo entre si e, por meio dessa interação, aspectos relevantes do fenômeno podem ser observados; ou propriedades relacionais

e dinâmicas podem ser identificadas via a sobreposição de imagens. Os dois itens que mais sobressaem são:

- (1) a complementaridade em muitas imagens entre a visão de um todo sintético e simultaneamente o acesso a *bits* de informação fundamentais a partir dos quais a síntese é construída. Conjuntamente as partes constituem o todo, e o todo é divisível em suas partes constituintes.
- (2) Os registros visual e interpretativo das imagens incluem uma categoria de forma e uma categoria de ambiente, esta última expressa em termos de força e perturbação. Uma exploração sensível e completa das imagens científicas requer atenção a ambos esses registros e à interação entre eles.

A consideração epistemológica final é aqui designada “imagem/argumentação”. É importante notar que o procedimento epistemológico descrito acima foca-se exclusivamente na arquitetura e na seleção de imagens, onde a imagem constitui o único referente. Nesse processo epistemológico final, um componente extraimagem é central, a saber, a argumentação. A argumentação pode ser aqui considerada como uma contribuição enriquecedora para a imagem, na verdade, como uma contribuição chave. Segundo a apresentação correta de Lynch (cf. 2006a) e outros, as imagens perfazem a função de “naturalizar”. Isso é realizado em parte por meio da eliminação do ruído do sinal visado, que é subsequentemente apresentado como uma parte da “natureza”. A operação de pesquisa científica, entretanto, incorpora atividades que estão para além da descoberta do conhecimento da natureza e de sua certificação. A ciência também requer a inteligibilidade; é precisamente em uma conjunção entre as imagens naturalizadas e a argumentação que se originam as referidas explicação e inteligibilidade.

O que se entende por argumento? Um argumento é um conjunto de asseverações que tencionam validar conclusões concernentes a uma questão que pode tomar a forma de palavras ou de equações. Para nossos propósitos, a argumentação contém quatro elementos principais:

- (1) o conhecimento de fundo específico ao domínio;
- (2) a coerência e a lógica internas à proposição do argumento;
- (3) a conexão coerente entre o argumento, o conteúdo e a orientação da questão;
- (4) a consistência entre o argumento e outros argumentos formulados para o mesmo domínio.

A definição enfatiza a qualidade e as funções discursivas da argumentação.

Por que deveriam existir conexões entre o argumento e a imagem? Ambos estão enraizados na resposta a uma mesma questão. Seu objetivo é lançar luz sobre a questão, e, nesse caso, a imagem e o argumento realizam essa função a partir de diferentes perspectivas. Como a imagem dialoga com o argumento e vice-versa? A própria questão secreta as sementes de um argumento, e esse argumento está à procura de uma elaboração mais completa e a informação contida na imagem pode constituir uma fonte rica para essa elaboração mais completa. Essa fonte implica três dimensões: ela pode indicar informação sobre a forma, sobre as relações e sobre a dinâmica. Ela pode também sugerir um vocabulário e uma gramática de relações. O argumento pode fazer perguntas para a imagem que requerem uma lógica muito rigorosa e maior desenvolvimento. Em muitos casos, os argumentos visam entendimento em termos de causalidades e essa fonte de raciocínio é menos prevalente entre as imagens ou, em outras palavras, a imagem constitui uma fonte de informação e uma fábrica de questões. De um lado, temos uma maquinaria para o raciocínio rigoroso, para a explicação, para a lógica e a investigação (os argumentos) e, de outro lado, temos uma maquinaria de informação, respostas e novas questões (imagens).

O binômio argumento/imagem desenrola-se em um diálogo acordado. As perspectivas e a referência dos dois elementos que constituem o binômio não obrigam ao desenvolvimento de uma linguagem comum ou de critérios comuns de avaliação. Entretanto, ambas manifestam uma complementaridade e imbricação mutuamente acordada sobre as contribuições e entendimentos que iluminam a questão inicial. Esse é um processo que implica que as imagens são reativas a demandas que se originam no argumento e, reciprocamente, que os argumentos mudam em resposta às exigências originadas nas imagens. Denominamos esse processo cognitivo de “ajustamento”. O ajustamento é uma operação chave da epistemologia das imagens científicas. O objetivo implícito dos ajustamentos é a completude – no sentido do alinhamento engrenado e consensual de entendimentos, originados no argumento e nas imagens – e o mútuo acordo dos entendimentos compreende um todo que ilumina a questão associada à pesquisa inicial. A completude não se refere à argumentação *per se* nem à imagem isoladamente; ela se aplica exclusivamente ao equilíbrio entre os elementos do binômio. Enquanto contribuição para a ciência e para seu processo cognitivo, a imagem não pode operar com sucesso na ausência do argumento. Alguns argumentam que as imagens podem bastar por si mesmas (cf. a nota 10), mas pode-se duvidar seriamente disso; em resposta, alguns argumentam que a imagem é suficiente, quando acompanhada por comentário, e disso também se deve duvidar. Por que é assim? Porque o comentário tem como seu referente somente a imagem e, quando a imagem é separada da argumentação e da elucidação da ideia que a estimulou, ela se torna um desvio.

As imagens científicas requerem referentes, mas isso não acontece nas imagens artísticas. O conceito de completude evidencia a síntese, e a síntese é precisamente a medida das imagens científicas.🌐

*Traduzido do original em inglês por Pablo Rubén Mariconda.*

*Anne* MARCOVICH

Pesquisadora da Maison des Sciences de l'Homme,  
Paris, França.  
*Anne.marcovich@free.fr*

*Terry* SHINN

Pesquisador do GEMAS (UMR 8598),  
Maison des Sciences de l'Homme de Paris, França.  
*shinn@msh-paris.fr*

#### ABSTRACT

This article, first, describes some categories of contemporary instrument-produced digital images present in nanoscale-related scientific research, explores how each category of image is produced, studies the kinds of “content” of images, and finally analyzes their uses in research practices and their place in cognition. Three ways in which images figure in epistemological operations will be suggested. Secondly, we will argue that parallels and dissimilarities between images in science and the images of art helps delineate some general characteristics of images, and draw attention to important particularities of the scientific image. Thirdly, we will examine the differences between experimental and simulation images in nano scale research. And finally, we focus on the epistemological operations examining, in ascending order of significance, the introduction of colour for cognitive purposes, the selection of images for critical exploration, and the operation termed “image/argumentation”.

KEYWORDS • Scientific Image. Form. Force. Perturbation. Artistic image. Epistemology. Instrumentation. Nano-scale research.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAMEL-RAFFIN, C. *La production et les fonctions des images en physique des matériaux et en astrophysique*. Strasbourg, 2004. Thèse (Doctorat de Philosophie, d'Epistémologie et d'Histoire des Sciences et des Techniques). Université Louis Pasteur – Strasbourg I.
- CAMBRIOSO, A.; JACOBI, D. & KEATING, P. Arguing with images. Pauling's theory of antibody formation. In: PAUWELS, L. (Ed.). *Visual cultures of science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Dartmouth: Dartmouth College Press, 2006. p. 153-94.
- CAMPILHO, A. & KAMEL, M. (Ed.). *Image analysis and cognition*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

- CARRIER, M. & NORDMANN, A. (Ed.). *Science in the context of application: methodological change, conceptual transformation, cultural reorientation*. Dordrecht: Springer, 2010.
- CREN, T. et al. *Ultimate vortex confinement*. Paris: Institut des Nanosciences de Paris, 2008.
- CREN, T. et al. Ultimate vortex confinement studied by scanning tunnelling spectroscopy. *Physical Review Letter*, 102, 1, p. 74-8, 2009.
- EDGERTON, S. *The Renaissance rediscovery of linear perspective*. New York: Harper and Row, 1976.
- \_\_\_\_\_. *The heritage of Giotto's geometry: art and science on the eve of scientific revolution*. Ithaca: Cornell University Press, 1991.
- FARGE, A. L'imagerie scientifique. Choix des palettes de couleur pour la visualisation des champs scalaires bidimensionnels. *L'Aéronautique et l'Astronautique*, 140, 1, p. 24-33, 1990.
- FRANCOEUR, E. The forgotten tool: the design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, 27, 1, p. 7-40, 1997.
- FYFE, G. & LAW, J. (Ed.). *Picturing power: visual depiction and social relations*. London/New York: Routledge, 1988.
- GARFINKEL, H.; LYNCH, M. & LIVINGSTON, E. The work of a discovering science construed with materials from the optically discovered pulsar. *Philosophy of the Social Sciences*, 11, p. 137, 1981.
- GOETHE, J. W. *Le traité des couleurs*. Traduction H. Bideau. Introduction et notes R. Steiner. 3 ed. rev. Paris: Triades, 1983 [1810].
- GRAVROGLOU, K. & GOUDAROLIS, Y. *Methodological aspects in the development of low temperature physics 1881-1957: concepts out of context(s)*. North-Holland: Kluwer Academic, 1989.
- HACKING, I. Another world is being constructed right now: the ultra-cold. *Conference The Shape of Experiment*. Berlin: Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, 03-05/June/2005.
- HODDESON, L.; BRAUN, E. & TEICHMAN, J. *Out of the crystal maze: chapters from the history of solid state physics*. New York: Oxford University Press, 1992.
- JOHNSON, A. The shape of molecules to come. In: KUEPPERS, J.; LEHNARD, J. & SHINN, T. (Ed.). *Simulation: pragmatic construction of reality*. Dordrecht: Springer, 2006. p.25-39.
- KAY, L. *The molecular vision of life: Caltech, the Rockefeller Foundation and the rise of the new biology*. New York: Oxford University Press, 1993.
- \_\_\_\_\_. *Who wrote the book of life? A history of the genetic code*. Stanford: Stanford University Press, 2000.
- KUEPPERS, J.; LEHNARD, J. & SHINN, T. (Ed.). *Simulation: pragmatic construction of reality*. Dordrecht: Springer, 2006.
- LASTAPIS, M. et al. Picometer-scale electronic control of molecular dynamics inside a single molecule. *Science*, 308, 5724, p. 1000-3, 2005.
- LENHARD, J. *Recipes for any occasion: computational quantum chemistry and the desktop computer*. 2010. (Manuscript)
- LOEVE, S. *Le concept de technologie à l'échelle des molécules-machines. Philosophie des techniques à l'usage des citoyens du nanomonde*. Paris, 2009. Thèse (Doctorat de Philosophie, d'Epistémologie et d'Histoire des Sciences et des Techniques). Université de Paris-Ouest.
- LYNCH, M. The production of scientific images: visions and re-vision in the history, philosophy and sociology of science. In: PAUWELS, L. (Ed.). *Visual cultures of science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Dartmouth: Dartmouth College Press, 2006a. p. 26-41.
- \_\_\_\_\_. Discipline and the material form of images. An analysis of scientific visibility. In: PAUWELS, L. (Ed.). *Visual cultures of science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Dartmouth: Dartmouth College Press, 2006b. p. 195-232.
- MARCOVICH, A. & SHINN, T. Padrões sociointelectuais da pesquisa em nanoescala: laureados com o Prêmio Feynman de Nanotecnologia, 1993-2007. *Scientiae Studia*, 7, 1, p. 11-39, 2009.

- MARCOVICH, A. & SHINN, T. Socio/intellectual patterns in nanoscale research Feynman Nanotechnology Prize laureates, 1993-2007. *Social Science Information*, 49, 4, p. 615-38, 2010a.
- \_\_\_\_\_. Cognitive, instrumental and institutional origins of nanoscale research: the place of biology. In: CARRIER, M. & NORDMANN, A. (Ed.). *Science in the context of application: methodological change, conceptual transformation, cultural reorientation*. Dordrecht: Springer, 2010b. p. 221-42.
- MCCABE, D. & CASTEL, A. Seeing is believing: the effect of brain images on judgments of scientific reasoning. *Cognition*, 107, 1, p. 343-52, 2008.
- MODY, M. Corporations, universities, and instrumental communities: commercializing probe microscopy, 1981-1996. *Technology and Culture*, 47, p. 56-80, 2006.
- MOHEBI, A. & FIEGUTH, P. Posterior sampling of scientific images. In: CAMPILHO, A. & KAMEL, M. (Ed.). *Image Analysis and Cognition*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. p. 339-50.
- NYE, M.-J. *From chemical philosophy to theoretical chemistry: dynamics of matter and dynamics of discipline 1800-1950*. Berkeley/Los Angeles: University of California Press, 1993.
- PAULING, L. A theory of the structure and process of formation of antibodies. *Journal of the American Chemical Society*, 62, p. 2643-57, 1940.
- \_\_\_\_\_. Molecular architecture and biological reactions. *Chemical and Engineering News*, 24, p. 1375-7, 1946.
- PAUWELS, L. (Ed.). *Visual cultures of science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Dartmouth: Dartmouth College Press, 2006.
- PETITOT, J. *Morphologie et esthétique*. Paris: Maisonneuve et Larose, 2004. (Dynamiques du Sens)
- RAGGHIANI, C. L. (Ed.). *Museus do Vaticano/Roma*. Milano: Mondadori, 1968. (Enciclopédia dos Museus).
- RUDWICK, M. The emergence of a visual language for geological science, 1760-1840. *History of Science*, 14, p. 149-95, 1976.
- VOGL, J. Goethe's colours. *Conference The Shape of Experiment*. Berlin: Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, 03-05/June/2005.
- WAYSAND, G. & MATRICON, J. *La guerre du froid: une histoire de la supraconductivité*. Paris: Seuil, 1994.
- WELSH, T.; ASHIKHMEN, M. & MUELLER, K. Transferring colour to greyscale images. *ACM transactions on graphics (TOG) – Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 21, 3, p. 277-80, 2002.

