

O papel da Cristalografia no ensino científico e no desenvolvimento económico

A. J. Frueh
(Montréal)

1. Evolução do ensino da Cristalografia

A Cristalografia, a ciência que estuda as propriedades químicas e físicas dos sólidos nos quais existe um arranjo regular e periódico dos átomos que os constituem, pode ser considerada uma ciência nova. Há pouco mais de 50 anos, antes da descoberta da difracção dos raios-X por MAX VON LAUE, considerava-se a Cristalografia como uma especialidade do ramo da Geologia conhecido por Mineralogia. A década que se seguiu à descoberta da difracção dos raios-X viu a determinação de muitas estruturas de cristais que forneceram uma enorme quantidade de indicações sobre distâncias interatómicas e ângulos de ligação. Estas indicações permitiram aos cientistas formular hipóteses sobre as ligações nos cristais e desenvolver teorias sobre as propriedades físicas e químicas dos sólidos cristalinos. Os cientistas ocupados neste trabalho deixaram de ser exclusivamente recrutados entre os mineralogistas passando a ser cada vez mais numerosos os provenientes dos diferentes campos da Física, da Química e, em anos recentes, da Biologia. Nos meados do século, a Cristalografia passou a constituir uma ciência que já não podia ser considerada como uma especialidade de qualquer dos ramos da ciência básica.

A evolução da educação dos cristalógrafos está ainda no início. A maior parte

dos cientistas que trabalham neste campo são autodidatas na sua especialidade. Foram inicialmente educados como químicos, físicos ou mineralogistas e, só posteriormente ao seu treino básico, adquiriram os conhecimentos e as técnicas do seu campo. Embora esta diversidade tenha produzido a estimulante troca de ideias que é, em parte, responsável pelo rápido crescimento da Cristalografia, está, actualmente, a perder a sua utilidade. Diferenças na nomenclatura de alguns dos conceitos mais fundamentais têm surgido (por exemplo «rede») como consequência da diversidade de formações e estas diferenças têm conduzido a confusões e incompreensões. Por causa do tempo limitado de que se dispõe para a reeducação e da necessidade de utilizar parte desse tempo no estudo dos aspectos não cristalográficos das diferentes ciências, torna-se impossível, para o estudante que faz a aprendizagem da Cristalografia numa das ciências básicas, conseguir conhecimentos sobre os aspectos, mesmo os mais elementares, da Cristalografia em outras ciências. Por exemplo, é pouco vulgar um cristalógrafo de formação física ter conhecimentos de Morfologia ou Óptica Cristalográficas.

A evolução do ensino da Cristalografia e a aprendizagem dos cristalógrafos varia consideravelmente de país para país através do mundo. Em França, por exemplo, a Cristalografia continua a ser da alçada da Mine-

ralogia. Por outro lado, na Universidade de Cambridge, em Inglaterra, de há muito considerada como uma pioneira em Cristalografia, a responsabilidade é dividida. Desde 1935 que o ensino da Cristalografia no primeiro ano é feito no Departamento de Mineralogia e Petrologia, sendo da responsabilidade dos professores do grupo de Geografia e Geologia, enquanto que, nos anos posteriores, é feito no Laboratório Cristalográfico, da responsabilidade dos professores do grupo de Física e Química.

Na América do Norte, até há pouco tempo, não havia ensino unificado da Cristalografia ao nível elementar. As secções de Ciências Geológicas proporcionavam cadeiras de Cristalografia Morfológica e Óptica Cristalográfica, as de Física, cadeiras de Física do Estado Sólido e, uma ou ambas destas secções, cadeiras de Difracção dos raios-X. Era, contudo, para o estudante, muito difícil encontrar o tempo necessário para frequentar cadeiras fora da sua própria secção. Um certo número de universidades norte-americanas oferecem licenciaturas em Cristalografia sendo, nelas, o ensino, em geral, ministrado por professores de mais do que uma secção.

Nos últimos anos tem-se reconhecido a necessidade de criar programas de Cristalografia compreendendo as várias ciências interessadas. A Universidade de Mc GILL, em Montreal, Canadá, por exemplo, oferece agora um programa em Cristalografia com contribuição equilibrada da Química, Física e Matemática incluindo, também, cadeiras de Mineralogia com interesse para a Cristalografia.

2. Contribuições da Cristalografia para o ensino de outras Ciências

É óbvio que na preparação dos cristalógrafos é necessário recorrer, em larga medida, a várias Ciências. É, também, evidente

que uns certos conhecimentos de Cristalografia se tornaram indispensáveis à preparação de químicos, físicos, geólogos e metalurgistas. Também, julgando pelos recentes avanços feitos pelas Ciências Biológicas devidos à necessidade de elucidar as estruturas dos D. N. A. R. N. A. e de outros compostos bioquímicos, há poucas dúvidas que o biólogo virá a sentir a necessidade de possuir alguns conhecimentos de Cristalografia. Há, contudo, outras contribuições menos óbvias que a Cristalografia pode dar para o ensino de outras Ciências.

O DR. A. L. LOEB chamou a atenção para uma importante contribuição que a Cristalografia pode dar ao ensino da Matemática. Assim, o estudante de Cálculo encontra na cadeira de Mecânica um excelente campo de treino no qual pode aplicar os conhecimentos matemáticos recentemente adquiridos. O cálculo de áreas e volumes, de figuras geométricas familiares, é outro método que o professor de Matemática usa para familiarizar o estudante com os princípios do Cálculo. Contudo, quando se chega ao ensino da Simetria e da Teoria dos Grupos, pouco esforço se faz para fornecer uma aplicação familiar destes conceitos. Ora, a Cristalografia está especialmente indicada para fornecer ao matemático um campo para aplicar e ilustrar a Teoria dos Grupos.

O Professor H. LIPSON e o Dr. C. A. TAYLOR, têm advogado o uso de técnicas de difracção óptica como introdução à difracção dos raios-X visto que permite perceber os princípios físicos envolvidos muito mais rapidamente que as introduções convencionais. Esta técnica é explicada numa recente comunicação do DR. TAYLOR:

«Baseamos a nossa técnica na microscopia. Num microscópio óptico a imagem é conseguida em duas fases. Primeiro a luz é difracada pelo objecto. Depois é recombinada pelo sistema de lentes para formar a imagem.

Para ultrapassar o limite de resolução,

imposto pelo comprimento de onda da luz, é necessário usar comprimentos de onda mais curtos, daí o uso dos raios-X. Os raios-X, contudo, não podem ser focados e, portanto, só podemos executar a primeira das duas fases, isto é, a difracção. Consideramos o estudo da difracção dos raios-X como o equivalente da operação de focagem no microscópio óptico. Para uma distribuição completamente geral da matéria, o problema seria insolúvel mas, felizmente, a regularidade que se verifica nos cristais impõe uma certa regularidade ao espectro de difracção, tornando a interpretação possível.

Matematicamente, começamos por considerar a difracção de qualquer radiação por uma distribuição geral de matéria e, assim, chegamos à expressão da transformada de Fourier. Consideramos, depois, uma distribuição da matéria idêntica à distribuição dos electrões no seio dum átomo e, daí, derivamos o factor de dispersão. Vários átomos são, então, considerados em conjunto para obter a transformada molecular e, finalmente, vários destes conjuntos ou moléculas são situados numa rede, para formar um cristal; a transformada correspondente é, agora, a expressão do factor de estrutura. Pensamos ser esta uma maneira mais lógica de iniciar o estudo destas questões porque conserva a atenção focada sobre o problema básico — o de obter uma imagem da configuração atómica — e também porque relega a introdução de conceitos hipotéticos, tal como o de rede cristalina, para as fases mais tardias. A difracção óptica fornece um paralelo exacto, que pode ser tratado matematicamente da mesma maneira, e os «motivos» ópticos, que possuem um certo atractivo artístico, constituem uma excelente ajuda visual para a assimilação das ideias básicas. Do ponto de vista da investigação, consideramos as transformadas ópticas muito importantes porque realçam as ligações entre as reflexões dos raios-X. A técnica tradicional

tende a sugerir que cada número, numa tabela de factores de estrutura observados, é uma entidade separada sem qualquer relação com os restantes. Além disso, a técnica visual permite verificar a concordância, entre factores de estrutura observados e calculados, visualmente e simultaneamente. Sustentamos ser possível reconhecer, desta maneira, quando uma estrutura calculada se aproxima da correcção, mesmo quando está, ainda, suficientemente errada para dar uma má concordância pelo cálculo.

O uso das técnicas de difracção óptica é de uma considerável ajuda no ensino da óptica pura, incluindo aspectos tão modernos como a coerência parcial, e constitui uma útil introdução aos problemas de formação de imagens na teoria da informação. Usamo-la, também, para introduzir a transformação de FOURIER em análise de transientes em teoria eléctrica e acústica. Pode, além disso, fornecer uma introdução qualitativa útil à ideia de convolução a qual, por seu lado, pode ser usada para ilustrar coisas como o princípio da indeterminação, a relação entre velocidade de onda e de grupo, e muitas outras ideias que são em geral introduzidas de uma maneira puramente matemática.»

3. Ensino da Cristalografia nos países em desenvolvimento

Os problemas do ensino da Cristalografia nos países em desenvolvimento são mais de ordem administrativa e de organização do que académicos. Do ponto de vista puramente pedagógico, deveria haver pequena diferença entre a Cristalografia ensinada num país em desenvolvimento ou num país que já atingiu a maturidade científica. A Cristalografia, contudo, como as outras ciências, tem os seus aspectos práticos a par dos aspectos teóricos.

Em geral faz-se pressão sobre os corpos académicos no sentido de se dedicarem à formação de técnicos puramente práticos, por vezes com exclusão dos cientistas teóricos ou de investigação. Esta tendência deve ser contrariada pelas organizações científicas, visto ser apenas através da colaboração íntima de ambos os tipos de cientistas que a preparação de cientistas práticos se pode manter actualizada.

Do ponto de vista administrativo e de organização, a Cristalografia, juntamente com outras ciências menos populares, tem um problema especial nos países em desenvolvimento. A Comissão para o Ensino da Cristalografia da União Internacional de Cristalografia tem visto com bons olhos a criação de Departamentos de Cristalografia, Institutos de Cristalografia e Cátedras independentes de Cristalografia nas grandes universidades do mundo. Contudo, nas uni-

versidades mais pequenas e nas universidades dos países em vias de desenvolvimento, esta solução não é nem prática nem financeiramente possível. É necessário, portanto, encontrar outra solução que garanta uma boa preparação cristalográfica dos estudantes.

A maneira mais directa de conseguir esta finalidade é garantir que as estruturas administrativas das principais secções se mantenham extremamente flexíveis, tão flexíveis que seja possível organizar cursos interdisciplinares. Para atrair bons professores de Cristalografia deve ser possível um professor ocupar posições em duas ou mais das Secções interessadas. Um cristalógrafo, nesta situação, estará na melhor posição para recomendar um plano de estudos para os estudantes. Também estará em boa posição para propor o ensino das cadeiras de Cristalografia que são consideradas necessárias na preparação de outros cientistas.

NOTA FINAL

Ao fechar o presente número da «Gazeta de Matemática», queremos manifestar publicamente o nosso maior reconhecimento a instituições e entidades que participaram por qualquer forma na sua realização:

Fundação Calouste Gulbenkian, concedendo um subsídio financeiro;
Departamento de Ciências Exactas e Naturais da UNESCO;
Comissão Interuniões para o Ensino das Ciências;
Academia Mexicana da Educação;
Instituto de Programação da Faculdade de Ciências de Paris;
Associação de Matemática «Bolyai Janos» e Instituto de Matemática da Academia das Ciências da Hungria;
Centro Belga de Pedagogia da Matemática e Sociedade Matemática Belga.

Mencionaremos ainda as colaborações de outro tipo mas igualmente fundamentais:

a dos Jovens matemáticos e físicos portugueses:
no trabalho de tradução de artigos e revisão de provas tipográficas,
na iniciativa e realização completa da árdua tarefa de compilação dos índices dos números 1 a 100.
a do Pessoal da Tipografia Matemática Lda, sempre presente, desde há longos anos, em esforço diário e dedicação ao ensino da Matemática em Portugal.

A todos, a expressão da nossa maior gratidão.

31 de Outubro de 1967.