

ESTRUTURA DOS MINERAIS: UM MODO DE ENSINAR

Alexandre J. M. Leite, Aurora M. F. Silva, José A. C. R. Silva
Dep. de Eng^a. de Minas da Univ. do Porto, Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex, Portugal

... the body of work on minerals is now so vast that it is no longer possible to achieve such a complete account in a reasonable compass"

Bragg, L.
Claringbull, G. F.

RESUMEN

La necesidad tediosa de la clasificación de los minerales y las rocas es un problema didáctico que debe afrontar el profesor de Mineralogía. Esencialmente, la elección es la enseñanza de la Taxonomía de la Mineralogía con un transfondo de fuerte lógica. Una serie de actividades bien planificadas en las que los estudiantes construyen muchas estructuras de los minerales usando bolas de ping-pong resuelve este problema. Al final del proceso de aprendizaje los estudiantes están capacitados para deducir por sí mismos la clasificación estructural de los minerales y sus aplicaciones. En todo caso, el profesor debe conducir la experiencia didáctica, usando como feedback el aprendizaje general que se ha realizado en clase.

El objeto de esta aproximación es la construcción de modelos analógicos, que aunque lejanos a la realidad, tienen capacidad para producir nexos cognitivos para un aprendizaje significativo de estas cuestiones. La metodología adoptada capacita a los estudiantes para una actitud conceptual deductiva hacia la Mineralogía Estructural y sus aplicaciones.

ABSTRACT

The tedious necessity of the learning of minerals and rock's classification is a didactic problem that any Mineralogy instructor faces. Clearly, the challenge is the teaching of Mineralogy's Taxonomy with a strong logic background.

A set of planned class activities where the students build several structures of minerals using Ping-Pong balls solves the problem. At the end of it the students must be able to deduct by themselves the structural classification of minerals and its applications. Nonetheless the tutor must conduct the didactic experiments, using as feedback the general learning pace of the class.

The aim of this approach is the construction of analogical models, that even if far from reality, are able to produce cognitive links leading to a significative knowledge of the taught subject. The adopted methodology conducts the students to a deductive conceptual attitude towards Structural Mineralogy and its applications.

Introdução

Um dos problemas com que se debate o ensino das Ciências da Terra, nomeadamente a área da Mineralogia e da Petrologia, é a fastidiosa necessidade de classificação de minerais e rochas, resultante da diversidade destes constituintes da terra sólida.

Só para quem lida todos os dias com a referida necessidade, profissionalmente inseparável da actividade que exerce, é que não considera as classificações como uma barreira à penetração no mundo da Natureza. Isto passase igualmente noutras áreas como a Botânica, a Zoologia, a Medicina, etc.

Quando a tarefa de um professor passa pela apresentação dessas classificações, necessita nesse momento, de definir estratégias de ensino/aprendizagem que conduzam a uma aproximação

progressiva do aluno aos temas, em vez de um afastamento instantâneo e condicionante do comportamento futuro.

É frequente encontrar alunos com gosto por minerais (e quem não gosta de uma bonita amostra!) inclusive com colecções pessoais (veja-se a popularidade das Feiras de Minerais) e que no entanto são avessos a qualquer tipo de classificação.

O grande desafio encontra-se na descoberta de um suporte lógico em que se apoie a taxonomia do assunto a ensinar. Talvez seja esta a principal e fundamental tarefa de um professor. A descoberta de tal lógica obriga a uma clarificação das ideias do professor o que, naturalmente, irá facilitar o progresso do aluno.

Se tivermos em conta que um qualquer processo de ensino é caracterizado por registos



discursivos diferentes da linguagem comum e familiar a que os alunos estão habituados e que possuem por isso elevados graus de abstracção, mais difícil e exigente, mas ao mesmo tempo mais estimulante, se torna a tarefa do professor. Como despertar o envolvimento do aluno num discurso interactivo promotor de uma aprendizagem significativa? Não existem respostas "feitas" para questão tão importante. Cada professor deve tentar procurar as "soluções" pedagógicas mais adequadas, de acordo com as situações e os contextos específicos em que está envolvido, para desenvolver ambientes de aprendizagem que conduzam a resultados positivos.

Por vezes, a integração no curriculum disciplinar de matérias ou momentos em que se solicite aos alunos habilidades motoras, ou em que estes são confrontados com modelos analógicos, ainda que distantes da realidade, pode ser uma metodologia conducente a uma aprendizagem significativa. Os fantasmas, ou cortinas negras que obstem o caminho, podem ser banidas por instantes. Porque envolventes e motivadoras, estas técnicas são legítimas, desde que perfeitamente enquadradas na matéria que está a ser leccionada, e desde o momento que o professor tenha a consciência da distância dos modelos à realidade para que perceba o tipo de contradições em que os alunos poderão entrar, fruto de tal distância. Podemos considerar que estamos perante um risco controlado.

O Ensino da Estrutura dos Minerais

Quando em 1912 na cidade de Munique Max von Laue, nas provas de Doutoramento de P. P. Ewald, se interroga sobre o comportamento dos raios de comprimento de onda mais pequeno que a distância interatómica ao atravessarem as estruturas cristalinas, inicia-se um longo caminho de descoberta do mundo interno da matéria, tornando-se imagem nos conhecidos Lauegramas (Fig. 1). É nesta óptica de organização interna dos minerais que implementaremos o presente processo de ensino/aprendizagem.

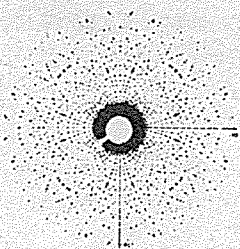


Fig. 1

Apelando aos conhecimentos do léxico comum, constrói-se com os alunos uma taxonomia das grandes famílias de minerais e suas sub-famílias, estabelecendo um encadeamento de raciocínios simples, mas de grande relevância no ensino das Ciências da Terra. No nosso entender, esta metodologia de ensino poderá funcionar como um organizador prévio com o objectivo de preencher o hiato entre o que o aluno já aprendeu e o passo seguinte, a consciencialização de uma hierarquia estrutural dos minerais.

Como base da classificação adoptada está o conceito de ião mono e poliatómico. Exemplificando, os óxidos e sulfuretos, por possuírem esqueletos estruturais dominados pelo posicionamento espacial de iões simples, podem ser considerados minerais de estrutura simples, enquanto que os silicatos, por possuírem uma unidade estrutural constituída por um átomo de silício e quatro átomos de oxigénio, são considerados estruturas complexa.

Os modelos representativos das estruturas minerais que vamos definir, são construídos com bolas de Ping-Pong, coladas umas às outras com cola rápida ou com acetona. A cada bola corresponderá sempre um ião de carga negativa (anião). Naturalmente, porque o enxofre e o oxigénio são dos aniões mais abundantes e porque são característicos do esqueleto base dos sulfuretos e óxidos (em especial, dos silicatos), respectivamente, é com eles que iremos construir modelos de classificação de minerais, ficando assim garantida a representatividade do mundo mineral. Como pressuposto admitimos, relativamente ao tipo de ligação química, uma aditividade de raios, o que corresponderá a um modelo de ligações iónicas. Porém, este não é o único existente, mas em termos de modelo, será esta uma simplificação estabelecida. Ao mesmo tempo, porque estamos a usar um material comum, devido à sua natureza, este permite um ambiente dedescontracção, garantindo assim uma atitude positiva dos alunos perante a aula.

A metodologia usada

Optamos por uma apresentação sequencial das actividades a desenvolver na sala de aula, acompanhada de uma base teórica para as deduções a realizar.

O número de alunos para uma actividade como a que iremos descrever, dependerá de múltiplas condições, que vão desde o tipo de sala, disponibilidade de material, classe etária dos alunos, tempo disponível, etc.

Assim, começamos por dividir os minerais em duas grandes famílias:



- Os que possuem um esqueleto estrutural resultante de um "empilhamento" denso de iões, as chamadas **Estruturas Simples**;
- Os que possuem uma estrutura resultante de uma "polimerização" de iões poliatômicos, as **Estruturas Complexas**.

Estruturas Simples

Se associarmos os aniões a bolas (numa primeira análise trata-se apenas de uma simplificação de forma e tamanho), um empacotamento planar que conduza a uma menor energia potencial corresponderá a um arranjo com uma simetria hexagonal plana (Fig.2).

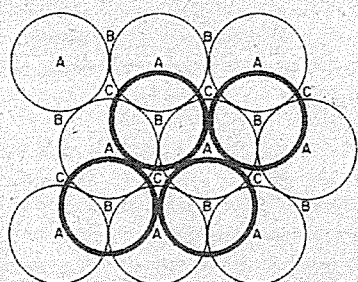


Fig. 2

Com tabuleiros dimensionados para o efeito e com um número suficiente de bolas, os alunos constroem o referido empacotamento planar.

Com este tipo de ordenamento definem-se três posições planares a saber:

Posição A – locais onde se colocam as bolas;

Posição B – locais com geometria triangular (interstício = espaço)

Posição C – locais com geometria triangular (interstício = espaço)

Cada bola contacta com seis bolas, com três interstícios do tipo B e com três interstícios do tipo C.

Como pretendemos agora empilhar uma nova camada de aniões, para passar a uma representação tridimensional, duas alternativas se nos apresentam: ou colocamos esta segunda camada com as bolas na vertical das posições B, ou na vertical das posições C. Qualquer uma das alternativas conduzirá a um empilhamento mais estável e mais denso, logo com um mínimo de energia potencial, como pretendíamos.

Como as duas soluções são iguais em termos de simetria, optamos por uma nomenclatura seqüencial. Assim, a segunda camada toma a designação de posicionamento B (Fig.2).

Analisando agora as alternativas para a colocação de uma terceira camada, reparamos que existem também duas possibilidades para o posicionamento das bolas:

- Na vertical das posições C definidas na camada A;
- Na vertical das bolas da camada A.

Estas duas hipóteses conduzirão a dois tipos distintos de simetria para os esqueletos das espécies minerais:

- Sequência ABABAB... – Simetria hexagonal;
- Sequência ABCABC... – Simetria cúbica.

Neste momento, todo os alunos devem experimentar a construção destes empilhamentos verificando todas as alternativas viáveis

Simultaneamente o professor poderá orientar a actividade projectando imagens em acetato, onde se visualizam os dois tipos de estruturas, ou poderá igualmente mostrar modelos de bolas, previamente construídos (Figs. 3 e 4).

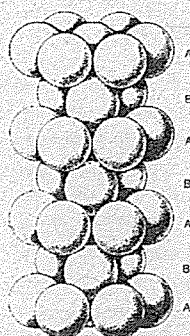


Fig. 3

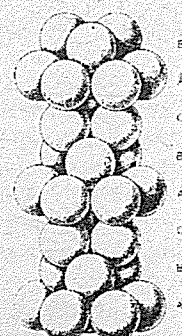
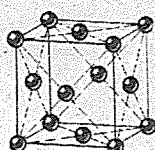


Fig. 4

Se, por um lado, a simetria hexagonal é facilmente observável no empacotamento ABABAB, já a simetria cúbica pode obrigar a um trabalho suplementar e talvez um pouco moroso.



Esta tarefa suplementar pode ser pedida aos alunos: tentar um empacotamento ABCABC, onde 14 bolas coloridas se encontrem estrategicamente colocadas de forma a visualizar um cubo de faces centradas.



Conseguida tal disposição, automaticamente fica visível a simetria cúbica característica deste tipo de empacotamento.

Análise intersticial

Em cada um dos empacotamentos gerados existem dois tipos de volumes livres — interstícios — ou mais simplesmente chamados "sítios", coordenados respectivamente por quatro ou seis bolas. A estes interstícios costuma chamar-se, respectivamente, "sítios tetraédricos" e "sítios octaédricos", uma vez que as bolas que coordenam os mesmos se posicionam nos vértices de tetraédros e de octaédros (Figs. 5 e 6). É nestes espaços que se irão alojar os cátions que neutralizam a estrutura, gerando assim um sólido estável.

Com um pouco de plasticina ou com algumas bolas os alunos podem moldar os volumes gerados por cada uma destas associações de iões.

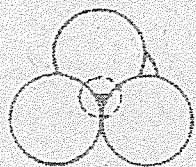


Fig. 5

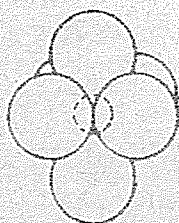


Fig. 6

Verificar-se-à, naturalmente, que o interstício tetraédrico é relativamente menor que o interstício octaédrico. É possível prever o tamanho máximo dos cátions que se podem introduzir em cada um destes sítios, dependendo este unicamente do tamanho dos aniões que lhe derem origem.

- Num espaço tetraédrico é possível colocar um cátion cujo raio seja, no máximo 0.225 o raio do anião;
- Num espaço octaédrico é possível colocar um cátion cujo raio seja, no máximo 0.414 o raio do anião.

Será possível determinar, em média, o número destes tipos de interstícios em cada um dos empacotamentos definidos? Esta análise, a ser possível, conduzir-nos-à à determinação média das densidades relativas dos respectivos empacotamentos.

Por uma observação das estruturas relativas aos empacotamentos descritos e da geometria dos dois tipos de interstícios, os alunos concluirão que:

— Em torno de um "sítio" tetraédrico há quatro aniões;

— Cada anião tem oito interstícios tetraédricos à sua volta.

Logo existe um interstício tetraédrico para cada 0.5 de anião, ou seja **dois interstício por cada anião**.

— Em torno de um "sítio" octaédrico há seis aniões;

— Cada anião tem seis interstícios octaédricos à sua volta.

Logo existe um interstício octaédrico **por cada anião**.

Conclusão, então que num empacotamento denso, cúbico ou hexagonal, **o número de interstícios tetraédricos é duplo dos octaédricos**.

Análise de densidades

Continuando a nossa análise, vamos verificar, para cada uma das estruturas (Figs. 7 e 8), qual a relação entre aniões e interstícios para concluir da densidade das mesmas.

Numa rede cúbica, a célula unitária possui um total de **quatro aniões**. Pela relação determinada anteriormente, podemos deduzir que esta célula engloba um total de oito interstícios **tetraédricos e quatro octaédricos**.

Como actividade extra, mostraremos como se conclui que a célula cúbica, de faces centradas, é constituída por um total de quatro aniões. Fica ao critério do professor se deve deduzir com os alunos este número, ou se simplesmente põe a questão para ser resolvida por eles.

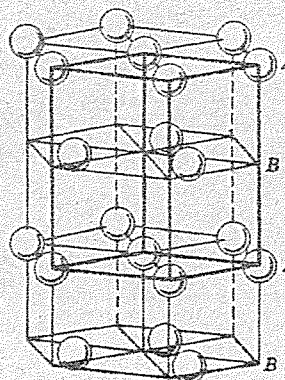


Fig. 7



Cada anião dos vértices, contacta com oito células, "partilhando" 1/8 de si para cada célula. Ora, oito aniões nesta situação corresponde a ter **um anião por célula**. Cada anião do centro de face contacta com duas células "partilhando" metade de si para cada uma delas.

Como temos seis aniões nesta situação, temos **três aniões por célula**. Adicionando os valores anteriormente obtidos, concluímos que na célula unitária cúbica temos um total de **quatro aniões**. Com um raciocínio análogo pode concluir-se que numa rede hexagonal existe um total de **dois aniões** o que corresponde à existência de **quatro interstícios tetraédricos** e **dois octaédricos**.

Tais relações conduzem a uma razão anião/interstício de 0.3333 igual em qualquer dos tipos de empacotamento, o que significa que **ambos os esqueletos possuem a mesma densidade**.

Aos alunos poder-se-à colocar a seguinte questão: Se há minerais que têm uma organização interna baseada em empacotamentos densos, como os descritos, porque razão cada mineral possui uma densidade própria e diferente da dos outros? Esta questão, embora elementar pode ser crucial, numa análise estrutural dos minerais.

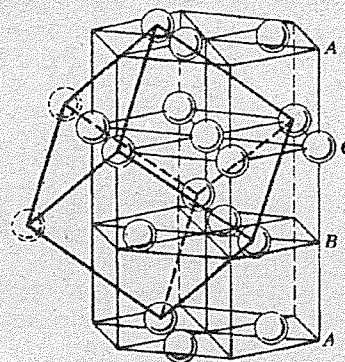


Fig. 8

Alguns exemplo de estruturas minerais resultantes de empacotamentos densos

A abordagem que acabamos de fazer permite elaborar um tipo de classificação para os minerais, nomeadamente óxidos, sulfuretos, haletos, etc., com base somente em três critérios:

- Simetria do empacotamento denso de aniões;
- Tipo de catião;
- Tipos de interstícios ocupados por catiões.

Estruturas hexagonais com ocupação de "sítios" tetraédricos

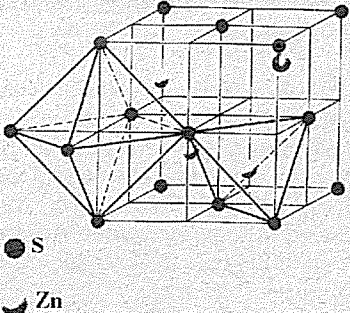
<p>Ocupação de metade "sítios" tetraédricos. Relação catião/anião = 1/1</p>	<p>WURTZITE Zn S CUBANITE Cu Fe₂ S₃</p>	
<p>Ocupação da totalidade dos "sítios" tetraédricos. Relação catião/anião = 2/1</p>	<p>STROMEYERITE Cu Ag S CALCOCITE Cu₂ S</p>	

Estruturas hexagonais com ocupação de "sítios" octaédricos

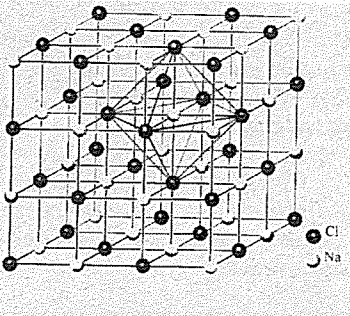
<p>Ocupação da totalidade dos "sítios" octaédricos. Relação catião/anião = 1/1</p>	<p>NICOLITE Ni As TROILITE Fe S MILLERITE Ni S</p>	
--	--	--



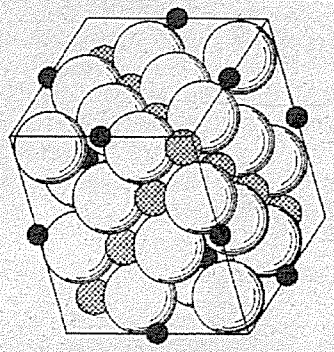
Estruturas cúbicas com ocupação de "sítios" tetraédricos

<p>Ocupação de metade "sítios" tetraédricos. Relação catião/anião = 1/1</p>	<p>BLENDAS Zn S CALCOPIRITE Fe Cu S₂ ESTANITE Cu₂ Fe Sn S₄</p>	
<p>Ocupação de todos os "sítios" tetraédricos. Relação catião/anião = 2/1</p>	<p>DIGENITE Cu₂ S</p>	

Estruturas cúbicas com ocupação de "sítios" octaédricos

<p>Ocupação de todos os "sítios" octaédricos. Relação catião/anião = 1/1</p>	<p>HALITE Na Cl GALENA Pb S PERICLASE Mg O</p>	
--	--	--

Estruturas cúbicas com ocupação de "sítios" tetraédricos e octaédricos

<p>Ocupação de 1/3 dos "sítios" tetraédricos e de 2/3 dos "sítios" octaédricos.</p>	<p>ESPINELA Mg Al₂ O₄ CROMITE Fe Cr₂ O₄ MAGNETITE Fe₃ O₄</p>	
---	--	---

Estruturas Complexas

Enquanto que as estruturas simples aparecem como o resultado do empacotamento denso de íons monoatômicos, as chamadas estruturas complexas são fruto de um empacotamento de

unidades rígidas constituídas por aniões e catiões: os íons poliatômicos, dos quais o paradigma é constituído pelos silicatos. A unidade estrutural base dos silicatos é o chamado tetraedro de silício e oxigênio, íon poliatômico com uma valência 4- (Fig. 9).

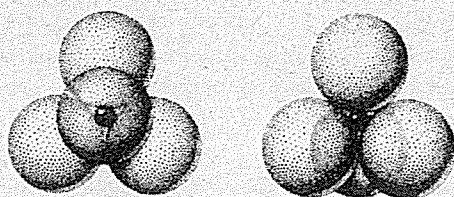


Fig. 9

Para além da construção do tetraedro com as bolas de ping-pong, o professor poderá mostrar as várias representações que é costume usar-se para esta unidade estrutural. Pode igualmente imaginar-se outras construções, por exemplo, com arame e bolas de madeira.



É desta diversidade de representações que os alunos poderão concluir que cada uma não passa de um modelo, e como tal é diferente da realidade.

A razão entre o raio do Si^{4+} (0.42 Å) e o raio do O^{2-} (1.40 Å) indica que uma coordenação 4 é a que permite uma maior estabilidade para o conjunto. De acordo com as regras de Pauling, a ligação entre um átomo de oxigénio e um de silício, atendendo à diferença de electronegatividades, deverá ser 50% tipo iónica e 50% tipo covalente.

Como imagem desta estrutura, podemos dizer que o catião de silício se encontra aprisionado, ou mesmo blindado, no interior de uma construção feita com aniões de oxigénio.

Em alguns silicatos, nomeadamente nos aluminosilicatos, em vez do silício, em alguns dos interstícios tetraédricos podem encontrar-se catiões de alumínio.

Devido à valência negativa destes conjuntos, podem estabelecer ligações entre eles, originando verdadeiros polímeros com diversas geometrias.

Neste momento, os alunos podem construir vários tetraedros com as bolas de ping-pong e tentar estabelecer diversas polimerizações, analisando as valências resultantes dos conjuntos estabelecidos (Fig. 10).

Nos espaços entre tetraedros, vai ser possível alojar outro tipo de catiões presentes nos silicatos, como por exemplo Ca, K, Na, Fe, Mg, etc. Estes catiões, para além de estabelecerem uma neutralidade electrostática, permitem a ligação estrutural entre os diversos componentes dos silicatos, garantindo a coesão dos esqueletos minerais.

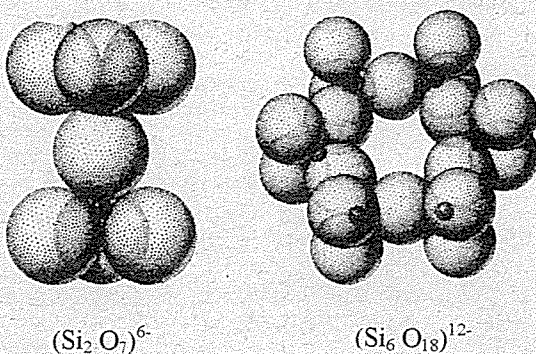
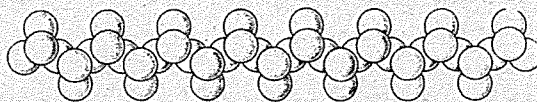


Fig. 10

Com este tipo de construção, é possível passar à classificação dos silicatos, fazendo-a com base no grau de organização dos tetraedros, partindo dos nesosilicatos até ao tectosilicatos. Com uma certa facilidade os alunos podem

"sentir" os diferentes graus de liberdade associados aos esqueletos dos silicatos, associando-os, por exemplo, aos pontos de fusão de cada espécie.



Conclusão

A metodologia apresentada envolve uma análise conceptual dedutiva dos alunos perante os modelos estruturais por eles construídos. A riqueza de tal abordagem é, no nosso entender, resultante do envolvimento, quase que permanentemente, do aluno em toda a aula.

Após a elaboração dos modelos e posterior observação, rapidamente o aluno concluirá da existência de organizações com características próprias, o que lhes permitirá "arrumar" as espécies minerais em grupos ou famílias. Esta abordagem não prescinde da presença do professor, que, atento, conduz os trabalhos, mas deixa que as descobertas se realizem ao ritmo da classe.

Bibliografia

- Bragg, S. L. e Claringbull, G. F. (1965). *Crystal Structures Of Minerals*. G. Bell and Sons Ltd. London.
- Deer, W. A. e Howie, R. A. e Zussman, J. (1963). *Rock-Forming Minerals*. Longmans, Green and Co. Ltd. London.
- Klein, C. e Hurlbut, C. S. (1985). *Manual Of Mineralogy*. John Wiley & Sons, Inc. Singapore.
- Madureira, C. M. N. (1986). *Mineralogia e Petrologia. Um curso para o 2º ano da Licenciatura em Engenharia de Minas*. Departamento de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Novak, J. D. (1981). *Uma teoria de Educação*. Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais. São Paulo. (Traducción española: (1985) *Teoría y Práctica de la Educación*. Alianza Universidad, nº 330, 275 pp.)
- Pereira, M. (1992). *Didácticas das Ciências da Natureza*. Universidade Aberta. Lisboa.
- Smith, J. V. (1982). *Geometrical and Structural Crystallography*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America
- Sousa, M. H. C. F. S. (1975). *Ligação Química. Estrutura e Propriedades*. Livraria Almedina Editora. Coimbra. ■

