

QUÍMICA

BOLETIM DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA



As Plantas, os Solos, os Metais e a Vida Jogos Múltiplos

Instruções aos Autores

Normas Gráficas do *Boletim*

Âmbito do "Química"

As contribuições a publicar no "Química" devem ter sempre em conta o facto de se dirigirem a um público de formação variada pelo que devem ser escritos de forma didáctica. Podem versar sobre qualquer assunto da área da química ou áreas relacionadas (física, matemática, biologia). São particularmente bem-vindas as contribuições de índole pedagógica.

Manuscritos

Os manuscritos, sempre em língua portuguesa, devem ser submetidos em triplicado e enviados a:

Director de Química, Boletim da SPQ

Av. da República, 37-4º, 1050 LISBOA.

Devem ser escritos em processador de texto e impressos em folhas A4 (recomenda-se Times New Roman, tamanho 12 e espaço duplo). As referências, as notas (vulgarmente designadas de "pé de página"), as tabelas, as legendas das figu-

ras, os esquemas e as figuras devem ser colocadas, por esta ordem, no fim do texto e devidamente numeradas. As referências devem ser indicadas no texto entre parêntesis rectos. Na lista de referências devem aparecer sob a seguinte forma:

1. A. M. Fulano da Silva, M. A. Cicrano, *Revista tal*, **00**(volume) (1900(ano)) 000(página).

1. J. Autor1, A. Autor2 in Livro tal, nº Ed.; M. Editor1, A. Editor2.; Editora tal; Cidade, 1900; Vol. 0, p 000(página).

Os desenhos e figuras originais só precisam de ser incluídos num dos exemplares; os dois restantes podem conter apenas as cópias.

O autor para quem a correspondência deve ser enviada deve fornecer as suas coordenadas do modo mais completo possível (morada, telefone, Fax, correio electrónico...). Uma vez notificado da aceitação do artigo e/ou das modificações propostas pelos avaliadores deverá enviar uma disquete para PC com a versão aceite da contribuição em qualquer versão "Word" ou,

de preferência, em versão rtf (Rich Text File).

Figuras

Todas as figuras devem ser referidas no texto e comentadas. Devem ter boa qualidade para poderem ser reproduzidas por digitalização da figura fornecida. As fórmulas químicas devem ser desenhadas correctamente, de preferência com "software" apropriado (ChemWindows, por exemplo). Sempre que se trate de reproduções de figuras retiradas de outra publicação, o facto deve ser referido na respectiva legenda devendo ser salvaguardados os direitos de "copyright". A SPQ poderá ocasionalmente responsabilizar-se pelo pagamento de direitos de autor referentes a reproduções mas esta situação deve ser evitada. O sítio onde devem ser incluídas as figuras deve ser assinalado no texto. As figuras devem ser a preto e branco sempre que possível. Em casos onde a ausência de cor diminua a sua clareza será então permitida a sua reprodução a cores.

BOLETIM DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA

QUIMICA

Na capa:

Uma longa vida, no solo:
oliveira com cerca
de 2000 anos.
Reguengos de Monsaraz,
Alentejo.

Propriedade de:

Sociedade Portuguesa de Química
ISSN 0870-1180
Registo na DGCS n.º 101 240 de 28/9/72
Depósito Legal n.º 51 420/91
Publicação Trimestral
N.º 71 - Outubro-Dezembro 1998

Redacção e Administração

Avenida da República, 37 - 4.º 1050 LISBOA
Telefone: (01) 793 46 37 - Telefax : (01) 795 23 49
<http://spq.org>

Directora

Ana Maria Botelho do Rego

Directores-Adjuntos

Ana Margarida Martins, Ana Maria Freire,
Adelino Galvão, Nuno Simões

Direcção Gráfica

Lápis Azul - Estúdio Gráfico, Lda.

Secretária de Redacção

Cristina Campos

Comissão Editorial

Ana Maria Lobo (FCT-UNL)
Irene Montenegro (UM)
Maria Isabel Pinheiro Martins (UA)
Maria José Calhorda (FCUL)
Maria Luísa Sá e Melo (UC)
Mário Nuno Berberan e Santos (IST-UTL)

Colaboradores

António Amorim da Costa (UC)
João Paulo Leal (ITN)
João Luís Silva (IST-UTL)

Publicidade

DIRECÇÃO:
Nuno Simões

Tratamento de Texto e Paginação

Ana Cristina Moreira

Execução Gráfica

FACSIMILE, Offset e Publicidade, Lda.
Rua Alexandre Sá Pinto, 177 - Tel. 364 99 95
1300 LISBOA

Tiragem: 2400 exemplares

Preço avulso: 2500\$00

Assinatura anual-quatro números:
15 000\$00 (Continente, Açores, Madeira e Macau)

Distribuição gratuita aos sócios da SPQ

As colaborações assinadas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores, não vinculando de forma alguma a SPQ, nem a Direcção de «Química». São autorizadas e estimuladas todas as citações e transcrições, desde que seja indicada a fonte, sem prejuízo da necessária autorização por parte do(s) autor(es) quando se trate de colaborações assinadas.

A Orientação Editorial e as Normas de Colaboração são publicadas anualmente no número de Janeiro.

Publicação subsidiada pela
Fundação para a Ciência e Tecnologia

2 notícias SPQ

6 congressos

artigos

10 As Plantas, os Solos, os Metais e a Vida
Jogos Múltiplos

P. ALVARENGA, M. FÁTIMA ARAÚJO, JOSÉ ARMANDO L. DA SILVA

20 Da Vida e suas Explicações
– Irreversibilidade e Reduccionismo

A. M. AMORIM DA COSTA

28 conferência SPQ
A Vida dos Elementos Químicos

JOSÉ J. G. MOURA

44 ensino
Encontrar Significado para
os Conteúdos Programáticos:
Contribuição da História
da Actividade Mineira

J. A. ALBUQUERQUE SANTOS

48 opinião
A “ideologia ensinista” e os exames
do 12º ano

VICTOR M.M. LOBO

51 *Quo vadis* Ensino em Portugal

FERNANDO PINA

53 antologia
A Química e a Geração de 70

54 novos produtos

Editorial

Como é tradicional em todos os números distribuídos em Janeiro, são publicadas neste número as regras de submissão de artigos formais, objecto de avaliação por um painel de especialistas.

Reiteramos, no entanto, o nosso apelo - expresso aquando da tomada de posse desta equipa na direcção do "Química" - a contribuições menos formais a publicar em secções especiais (ver neste número as secções de Opinião e Antologia que representam

já ecos exemplares desse apelo).

Obviamente, do ponto de vista técnico, a equipa verá a sua tarefa facilitada se também essas contribuições seguirem as regras de submissão aqui enunciadas: manuscrito impresso em papel A4 em triplicado e disquete com o texto. Não queremos no entanto, que algum leitor que não tenha acesso a meios informáticos se prive de nos enviar a sua opinião, de apoiar ou rebater

opiniões expressas por outros autores, pequenas contribuições que considerem curiosidades importantes a partilhar com os restantes leitores. Envie-nos a sua contribuição ainda que seja sob a forma de carta manuscrita, (sem disquete) ou, inversamente, envie-nos a sua contribuição apenas por correio electrónico (sem papel...). Enquanto a página da SPQ não está completamente operacional pode usar o endereço

PCD800@alfa.ist.utl.pt.

Intervenha, exprima as suas opiniões por mais polémicas que sejam. Tornemos a "Química" um forum de discussão em torno das questões ligadas à Química nas suas mais variadas vertentes (métodos de ensino, de avaliação, curiosidades pedagógicas, históricas, política de investigação, etc...).

Cordiais saudações.

A Direcção

XVI Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química

Decorreu em Guimarães, de 22 a 25 de Setembro, o XVI Encontro Nacional da SPQ, organizado pelo Departamento de Química da Universidade do Minho, subordinado ao tema *A Cor*. Foi o primeiro encontro temático da história de Encontros Nacionais da SPQ.



A cor foi tratada em todos os cambiantes, de uma forma siste-

mática e precisa. Começou-se por uma conferência no domínio da arte, proferida pelo escultor Lagoa Henriques, passou-se pela história da evolução da cor e tipo de compostos que deram e dão cor às artes plásticas, por Pierre Laszlo, ou ainda pelos fogos de artifício de Felix Goñi, com sessão prática no próprio anfiteatro. A cor foi abordada sob todas as perspectivas, não só do ponto de vista da química, mas tocando outras ciências e alargando-se ao mundo cultural mais geral. Da fotografia às plantas, dos problemas da fixação das cores nos têxteis ao efeito dos detergentes na cor dos tecidos, da utilização da "cor" na medicina (terapia fotodinâmica) aos aspectos da composição do olho humano e do porquê das cores.



Pretende-se com estes Encontros temáticos, de que o XVI Encontro Nacional foi o primeiro, abordar um tema na sua total especificidade e especialidade para a globalidade da comunidade química portuguesa. E, neste aspecto, o XVI Encontro Nacional foi perfeitamente bem sucedido.

Infelizmente, a nossa comunidade química não entendeu a importância deste Encontro e participou em menor número do que era habitual em anos anteriores. Mas os presentes pareceram massivamente a todas as sessões e, desse modo, manifestaram o seu interesse e o seu apoio ao Encontro.

Os nossos colegas do Departamento de Química da Universidade do Minho organizaram este Encontro de forma impecável e com nível científico excelente, escolhendo criteriosamente os conferencistas. De destacar o Prof.

Hernâni Maia, que soube dar do seu saber e do seu entusiasmo a toda a equipa, sem esquecer a participação dos estudantes que se esmeraram a dar cor e animação aos intervalos do Encontro. Agradecidos ficamos a todos os conferencistas que procuraram fazer exposições claras, didáticas e bem apresentadas. Para alguns, talvez mesmo para muitos deles, o assunto de que falaram não era o tema dos seus interesses de investigação, fazia parte dos seus hobbies, como foi o caso de Eurico de Melo ao falar sobre fotografia a cores ou Goñi sobre os fogos de artifício, outros estudaram os temas para os poderem expor, mas todos se empenharam em dar o seu contributo para que o XVI Encontro da Sociedade Portuguesa de Química se tornasse uma referência obrigatória para a cor.

Rita Delgado
Secretária Geral da SPQ



Prémio Ferreira da Silva (1998)



O Prémio Ferreira da Silva 1988, atribuído ao Professor Doutor Alberto Romão Dias, foi entregue pelo Presidente da Sociedade Portuguesa de Química, Professor Doutor José Artur Martinho Simões, em cerimónia integrada no programa do XVI Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química realizado em Guimarães. O discurso de entrega do Prémio, que a seguir se reproduz, elucida os principais aspectos da carreira e obra do Professor Romão Dias que levaram o Júri do Prémio Ferreira da Silva 1988 a conceder-lhe esta distinção.

O Prémio Ferreira da Silva foi instituído, em 1981, pela Sociedade Portuguesa de Química, para galardoar "o químico português que, pelo trabalho produzido em Portugal, no período de dois anos imediatamente anteriores ao da atribuição do prémio, mais tenha contribuído para o avanço da Química, em qualquer das suas áreas". Até hoje foram atribuídos 4 prémios e galardoados 5 químicos:

1982 - Jorge Calado

1984 - António Xavier e Sebastião Formosinho

1991 - António Varandas

1996 - Manuel Nunes da Ponte

O Conselho Directivo da SPQ entendeu, ao longo do tempo, fazer algumas modificações pontuais ao regulamento do Prémio. Em 1998, decidiu-se ter em conta, não só a obra científica global dos candidatos como também a sua actividade pedagógica e de divulgação da Química. Certamente que esta alteração dos critérios faz mais justiça à memória daquele que empresta o nome ao Prémio: o Professor Ferreira da Silva, fundador da Sociedade Portuguesa de Química (em 1911) e co-fundador da *Revista de Química Pura e Aplicada* (em 1905) - precursora da recém-extinta *Revista Portuguesa de Química*. A vida e a obra do Professor Ferreira da Silva, lente de Química Orgânica e Analítica da Academia Politécnica do Porto e Director do Laboratório Municipal do Porto justifi-

cariam por certo a atribuição do Prémio Ferreira da Silva ao próprio Ferreira da Silva...

A Ferreira da Silva devemos a criação da Sociedade Portuguesa de Química em 1911. E ao galardoado com o Prémio Ferreira da Silva deste ano de 1998, devemos a recriação da Sociedade Portuguesa de Química, cerca de 70 anos depois.

Embora a obra do Professor Alberto Romão Dias no âmbito da Sociedade Portuguesa de Química não seja o motivo primeiro da atribuição do Prémio, há que salientá-la devidamente. O Professor Romão Dias foi Secretário Geral e Presidente da SPQ durante um ror de anos, atraindo muita gente nova e reconquistando gente menos nova para dinamizar uma sociedade que, em 1974, estava no seu estado de energia fundamental - não emitia radiação e também não tinha cor. Recordo 1978, na Gulbenkian, e toda uma geração de alunos pré e pós-graduados que se entregou entusiasmadamente à organização do I Encontro Nacional da SPQ. Muitos foram os que Alberto Romão Dias conquistou, então, para a Sociedade e para a Química.

O Professor Romão Dias foi meu co-supervisor de Doutoramento, no Instituto Superior Técnico (o outro co-supervisor foi o Professor Jorge Calado). Conheci-o em 1975, nos tempos em que ele ainda dava os primeiros passos para a criação de um grupo de Química Organometálica. Foi ele que me iniciou nos problemas e no fascínio da síntese e da reactividade das moléculas e me convenceu (sem dificuldade) que era importante entender as causas da estabilidade termodinâmica e cinética das moléculas. O Professor Romão Dias sempre gostou de alardear ignorância em muitos assuntos e como anunciava que nada percebia de Termodinâmica Química (o que aliás é verdade ...), convenceu o Professor Jorge Calado (que não percebia nada de Química Organometálica ...) para participar na minha supervisão.

Estas duas figuras - Romão Dias e Jorge Calado - foram muito mais do que meus supervisores. A eles devo, não só a minha formação como cientista e como universitário, mas também grande parte da minha formação humana. O Professor Romão Dias (e, por razões óbvias é nele que centro as minhas palavras) foi mais que o

meu supervisor - foi o meu *mentor*. As suas opiniões quase sempre contra-corrente, a sua postura pseudo-arrogante e provocadora, a sua ironia, a sua frontalidade, a sua recusa permanente em pactuar com a mediocridade, a sua alegria de viver, o "fair play" com que aceita as dificuldades, a sua capacidade de luta, a sua coragem, fizeram dos anos em que fui seu aluno de doutoramento dos melhores da minha vida.

Decidi dar o meu exemplo pessoal para salientar um ponto da obra do Professor Romão Dias que me parece de todos o mais importante, principalmente porque é raro no nosso país: o Professor Romão Dias foi dos poucos cientistas portugueses a criar uma Escola. Todos os alunos que lhe "passam pelas mãos" ficam indelevelmente marcados - ou como ele diria, ficam com o ferro da ganadaria. O Professor Romão Dias orientou ou co-orientou 25 teses de doutoramento. Os seus "ex-escravos" (para usar a linguagem que lhe é cara), estão distribuídos por várias universidades. Três são professores catedráticos e outros ainda não o são, embora já merecessem. Já tem bisnetos doutores. Todos partilham a mesma admiração pelo Chefe (que é como ele é conhecido na nossa família científica). Todos o amam a maior parte do tempo e todos o odeiam quando faz asneiras (o que não é raro). O Chefe é assim: é impossível ser-lhe indiferente.

As aulas do Professor Romão Dias reflectem a sua personalidade: ele não ensina, antes motiva, entusiasmo. Os seus berros, o ponteiro que parte com violência na secretária, a sua espontaneidade, a sua disponibilidade para conversar com os alunos, tornaram-no um dos docentes mais populares do Instituto Superior Técnico.

O Professor Alberto Romão Dias é uma pessoa muito grande. Talvez grande demais para o nosso país, onde os melhores são muitas vezes "sacrificados" nas tarefas de serviço à comunidade. É desnecessário enumerar todos os cargos públicos que o Professor Romão Dias exerceu ao longo da sua vida, bem como todas as suas iniciativas que transformaram ou melhoraram o nosso sistema de ensino e de investigação científica. Sempre o fez de uma forma pessoalmente desinteressada, sem procurar benefícios pessoais ou promoções políticas -

o que é muito raro entre nós.

A obra científica do Professor Romão Dias é vasta e diversificada. O seu doutoramento, na Universidade de Oxford, há 30 anos, iniciou-o na área da síntese e a reactividade moleculares de compostos organometálicos de metais de transição. A síntese de novas moléculas é a actividade mais nobre da Química, é aquela que "arrasta" todas as outras. Sem novas moléculas não se descobrem novas propriedades, novos materiais. Sem novas moléculas a nossa maneira de viver seria, seguramente, diferente.

Ao decidir desenvolver um grupo de investigação centrado na área da síntese, num país pejado de Químicos-Físicos, o Professor Romão Dias fez uma aposta certa - e é pena que o seu exemplo não tenha frutificado ainda mais (há uma enorme escassez de Químicos de Síntese em Portugal). Não só criou Escola numa área importantíssima, como forjou condições para que pessoas como eu (mais um Químico-Físico ...) pudessem estudar propriedades de moléculas bem mais interessantes do que a maioria dos mortais. Este aspecto da visão científica do Professor Romão Dias, merece, aliás, ser bem salientado: gravitando à volta da Síntese, arranjou "escravos" para trabalharem em áreas como a Fotoquímica, a Termoquímica, a Electroquímica, a Catalise Homogénea, a Estrutura Molecular, a Química Computacional. Talvez nenhum outro grupo em Portugal tenha atingido a diversificação da Linha II do Centro de Química Estrutural.

Em resumo, e usando as palavras do Júri, é pelo mérito científico do candidato e pela contribuição muito relevante que deu para o avanço da Química em Portugal nas suas vertentes científica, de divulgação e de ensino, que o Prémio Ferreira da Silva de 1998 é atribuído ao Professor Alberto Romão Dias.

Chefe: é uma honra para a Sociedade Portuguesa de Química, é um privilégio para mim, como Presidente da Sociedade, como seu "ex-escravo" e seu amigo de sempre, poder entregar-lhe, hoje, o Prémio Ferreira da Silva.

Guimarães, 23 de Setembro de 1998.

JAMS

(José Artur Martinho Simões)

7th European Conference on Electroanalysis (ESEAC'98) 24-28 Maio, 1998, Coimbra, Portugal

A "7th European Conference on ElectroAnalysis (ESEAC'98)" decorreu na Universidade de Coimbra organizada sob os auspícios da "European Society for ElectroAnalytical Chemistry (ESEAC)", juntamente com a (Sociedade Portuguesa de Química, Divisão de Química Analítica e a "International Society of Electrochemistry (ISE) - Division 3. - Analytical Electrochemistry". O objectivo de juntar cientistas da Europa e de outras partes do mundo para discutir os progressos mais recentes no domínio da electroanálise e sensores electroquímicos foi alcançado com a presença de 300 participantes de 35 países.

Os temas principais da conferência foram: micro e nano-técnicas para electroanálise; aplicações a problemas de análises clínicas, industriais e do ambiente, detecção electroquímica, para o controlo contínuo, biossensores e sensores electroquímicos modificados. Estes temas; foram apresentados em 6 lições plená-

rias, 48 comunicações orais e 217 painéis durante 4 dias de sessões científicas num programa científico intensivo mas agradável que serviu para fomentar e trocar novas ideias. As lições plenárias foram proferidas por: A.M Bond (Voltammetry of microcrystals: an overview of fundamentals, and applications), S. Daniele (In situ monitoring of electroactive species by using voltammetry at microelectrodes); P Unwin (New ultramicro-electrode strategies for local analysis at interfaces and in solutions), F. Opekar (Electrochemical sensors based on solid polymer electrolytes); R. Pickard (Micromachined biosensor terminals for the study of growing neurons) e W. Kutner (Analytical aspects of electrodes modified with cyclodextrin or carboxymethylated cyclodextrin polymers).

Uma, sessão especial "Electroanálise para a indústria, ambiente e saúde", apresentada para discutir as potencialidades

e limitações da electroquímica para aplicações nestas áreas, foi patrocinada pelas empresas de instrumentação BAS, Ecochemie, EG&G, Radiometer e Solartron. Consistiu de cinco lições: R.. Compton (Reactive chemistry at solid/liquid interfaces: towards solving industry's problems); H. Girault (Electrochemical detection from disposable strips to microanalytical systems); J. Wang (Field electroanalysis from remote electrodes to disposable strips), P. Vадgama (Realism, relapses and requirements in biomedical sensors) e P. Kissinger (Trying to get non-electrochemists to use electrochemistry) foi seguida por pequenas apresentações dos patrocinadores da sessão.

As contribuições orais, distribuídas por toda a semana, cobriram todos os temas da conferência, mostrando os progressos recentes de áreas em desenvolvimento e apontando novas direcções. As sessões de painéis foram muito participadas e ani-

madadas e tiveram lugar nas tardes e noites de 25 e 26 de Maio.

O programa social consistiu de uma recepção de boas vindas, uma excursão às bem conhecidas Ruínas de Conimbriga e a uma fábrica de cerâmica da região e para finalizar o banquete da conferência no Palácio de S. Marcos perto de Coimbra que acabou com um recital dos Fados de Coimbra.

O ESEAC'2000 terá lugar em Bonn, Alemanha, em Junho do ano 2000 e será um congresso conjunto com a "Society for ElectroAnalytical Chemistry americana.

A Comissão Organizadora está agradecida a todos os participantes pelas suas valiosas contribuições que tornaram a conferência um sucesso e a todos os patrocinadores pelo seu suporte financeiro que tornou este congresso possível.

Christopher Brett

Presidente da Comissão Organizadora

A Divisão de Química Analítica e a sua Representação Europeia

No dia 6 de Setembro de 1998, antecedendo a Conferência Europeia de Química Analítica - EUROANALYSIS X, teve lugar em Basileia - Suíça, a reunião anual da Divisão de Química Analítica da Federação Europeia das Sociedades de Química (DAC/FECS), tendo a anterior, a de Junho 1997, tido lugar em Bordéus - França, aquando da 1^a Conferência In vino vivo. Numa lamentámos o desaparecimento, em Maio de 1997, do nosso colega, Dr. Michael Widmer - Ciba Geiger, designado organizador da EUROANALYSIS X. Na outra recordámos a memória do entretanto falecido, em Outubro 1997, Presidente da DAC, Prof. Robert Kellner - Technical University Viena - Áustria, igualmente numa fase da vida em que ainda muito havia para esperar.

Foram duas perdas humanas terríveis para familiares,

amigos e colegas. Para os colaboradores próximos de ambos e para a comunidade científica de Química Analítica em termos gerais, representou adicionalmente um hiato e um reconsiderar de estratégias e procedimentos.

A presidência da DAC foi interinamente assumida pelo Prof. Lauri Niinisto - Presidente da FECS e ex-Presidente da WPAC (actual DAC). A eleição do novo Presidente da DAC, Prof. M. Valcarcel - Universidade de Cordoba - Espanha, teve lugar em Basileia.

A organização da Euroanalysis X foi corajosamente assumida por Markus Ehrat - Novakis - Basileia - Suíça, e podemos considerar-nos satisfeitos que ela tenha tido lugar, mantendo o ritmo de sessões anteriores. A confirmação relativamente tardia do evento, de datas e de programa, contribuiu

para uma quebra de participação numérica, mas não de qualidade e de representatividade de cientistas, representantes de equipamento e de material bibliográfico.

Como Química Analista e como representante da SPQ na DAC, presidente eleita da DQA/SPQ e como presidente da próxima Euroanalysis XI, de 3 a 9 de Setembro 2000, nas



Balcão de informações e pré-registo na Conferência Europeia de Química Analítica. Da esquerda para a direita: Cristina Oliveira, Filomena Camões, M.J.Guimarães Lito, Leonor Rodrigues.)

instalações da FCUL, levei a cabo várias tarefas que cumpri com empenho e agrado, no que fui apoiada com desvelo pelos colaboradores científicos e administrativos do grupo de investigação que tenho a honra de coordenar no CECUL.

Para além de uma lição convidada "Anthropogenic Influence from Northern Europe over coastal areas of Portugal - Sulfate Aerosol Measurements", duas comunicações orais "Heavy Metals in Waters by ICP-AES - A Quality Assurance" e "A Comparative Study of SPME and LLE of Pesticides for HRGC Determination", três comunicações em painel "Chemical Parameters of pH Reference Buffer Solution Ca(OH)₂ (saturated)", "New Data Supporting the Interpretation of K⁺ Potentiometric Measurements in Albumin Containing Solutions" e "Estimation of Uncertainty in Methods Supported by Low Efficiency Steps - Determination of PAH/s in Waters", fui encarre-

gue da coordenação de uma Workshop on Educational in Analytical Chemistry, conduzida pelo painel constituído por mim própria, F. Adams, E. Hall, J.M. Mermet e M. Valcarcel, largamente participada e que abordou os tópicos Post-Graduate Education, Euro-courses, The Book "Analytical Chemistry" and the Eurocurriculum and New Strategies in Analytical Chemistry.

Education in Analytical Chemistry é o tema de interesse de um dos grupos de trabalho em que a DAC está organizada. Os outros são History of Analytical Chemistry e Quality Assurance. O primeiro teve, tradicionalmente, o seu ponto alto na Lição de Abertura da Euroanalysis. O segundo foi também largamente tratado em sessões especiais.

Foi com emoção que endeecei aos presentes o convite para participarem na Conferência de Lisboa, fazendo dela o forum que todos desejamos

Está definida a composição



Apresentação da próxima Conferência, EUROANALYSIS XI, em Lisboa, de 3 a 9 de Setembro 2000).

do Praesidium Internacional. Contamos com uma prestigiosa Comissão Científica Nacional e uma prestimosa Comissão Organizadora Local.

São já várias as adesões e apoios formalizados de indivíduos e de instituições tais como editoras livreiras, organismos da comunidade europeia, entre outros.

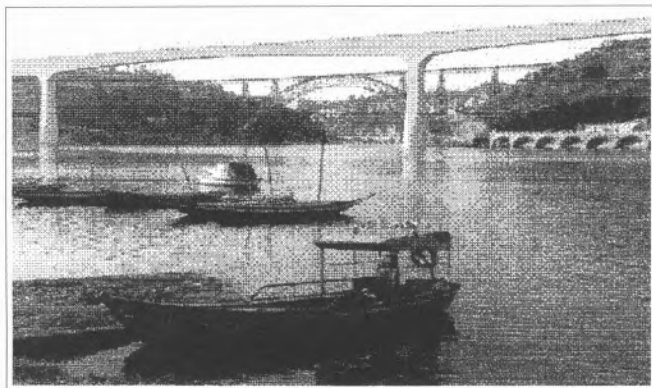
Está nas nossas mãos a responsabilidade de reunir a co-

munidade nacional e estrangeira de Químicos Analistas, numa conferência que esperamos memorável pelo elevado nível científico, pela relevância dos temas debatidos, pela actualidade e qualidade do material apresentado, pela satisfação da partilha de conhecimentos e experiências.

Prof. Doutora Maria Filomena
G.F.C. Camões / DQBq-FCUL

Trace Metal Speciation in the Aquatic Environment

7th FECS Division for Chemistry and the Environment International Conference, organizada em colaboração com a Sociedade Portuguesa de Química



Vai decorrer de 27 a 30 de Agosto de 2000 no Hotel Solverde, Praia da Granja - 4405 Valadares, Portugal, a Conferência FECS sobre o tema "*Especiação de Metais no Ambiente Aquático*" com o seguinte programa de trabalhos: 1. *Aspectos Analíticos*: Desenvolvimento técnico e novas aplicações nos vários compartimentos aquáticos. Controlo de qualidade e a necessidade de padronização. Sensores e biosensores. 2. *Resposta Biológica*: Relações labilidade operacional/biodisponibilidade. Libertação de metaboli-

tos/exudatos e outros mecanismos de resistência. Influência de ligandos naturais e antropogénicos na captação e toxicidade de metais vestigiais. Transformações microbiais de elementos vestigiais. Bioacumulação e indução/inibição de proteínas. *Interações entre os Diferentes Compartimentos Ambientais*: Sedimentos/ águas intersticiais/organismos. Partículas em suspensão (incluindo microorganismos)/coluna de água. Atmosfera/superfície da água.

Língua oficial da Conferência: Inglês

Congressos, Conferências e Reuniões Científicas

4ª Conferência de Química Inorgânica

26 e 27 de Março de 1999
Peniche, Portugal
Informações:
Prof. Baltazar de Castro
Departamento de Química
Faculdade de Ciências do Porto
Rua do Campo Alegre, 687
4150 Porto - Portugal
FAX: +351 2 6082959
TEL: +351 2 6082892 / 3
E-MAIL: bcastro@fc.up.pt

Second ESAFORM Conference on Material Forming

13 a 17 de Abril de 1999
Guimarães, Portugal
Informações:
Olga S. Carneiro
Departamento de Engenharia de Polímeros
Universidade do Minho
Campus Azurém
4800 Guimarães
Portugal
FAX: +351 53 510 249
TEL: +351 53 510 245
E-MAIL: esaform@dep.uminho.pt

INTERNET:
<http://www.dep.uminho.pt/esaform>

4º Encontro da Divisão de Catálise da SPQ

14 e 15 de Maio de 1999
Aveiro, Portugal
Correspondência:
Dr. João Rocha
Departamento de Química
Universidade de Aveiro
3810 Aveiro
Portugal
FAX: +351 34 370 084
TEL: +351 34 370 733
E-MAIL: rocha@dq.ua.pt
INTERNET:
<http://www.spq.pt/esaform>

5th European Symposium on Food Authenticity

9 a 11 de Junho de 1999
La Baule, França
Informações:
Dr. Michèle Lees, Chantal Menard
Eurofins Scientific
Rue P.A. Bobierre - BP 42301
44323 Nantes Cedex 3
França

FAX: +33 (0)2 51832110
TEL: +33 (0)2 51832104
E-MAIL:
ChantalMenard@eurofins.com

1st IUPAC Workshop in Advanced Materials: Nanostructured Systems

15 a 17 de Julho de 1999
Hong Kong
Informações:
Professor M. A. El-Sayed
School of Chemistry and Biochemistry
Georgia Institute of Technology
Atlanta, GA 30332-0400
USA
FAX: +1 404 894 0294
TEL: +1 404 894 0292
E-MAIL: mostafa.el-sayed@chemistry.gatech.edu
INTERNET:
<http://www.iupac.org/symposia/conferences/waml>

XIIIth FECEM Conference on Organometallic Chemistry

29 de Agosto a 3 de Setembro de 1999

Lisboa, Portugal
Informações:
FAX: +351 1 7500088
E-MAIL: fechem99@fc.ul.pt
INTERNET:
<http://www.fechem99.fc.ul.pt/>

Trace Metal Speciation in the Aquatic Environment 7th FECS Division for Chemistry and the Environment International Conference,

Data: 27 - 30 de Agosto de 2000.
Local: Hotel Solverde, Praia da Granja - 4405 Valadares, Portugal.
Língua oficial da Conferência: Inglês
Contacto: Maria Teresa Vasconcelos, LAQUIPAI, Departamento de Química, Faculdade de Ciências da Univ. do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169 - 007 Porto, Portugal. Tel.: 351-2-6082870/1; Fax: 351 - 2 - 6082959. E-mail: feccs-conf@fc.up.pt. <http://www.chemsoc.org/gatway/feccs.htm>



SOCIEDADE
PORTUGUESA
DE QUÍMICA

**COLABORE
COM A
SOCIEDADE**

**NÃO ATRASE O
PAGAMENTO DAS
SUAS QUOTAS**

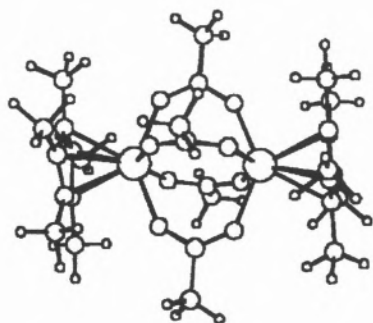
SPQ - QUOTAS

Sócio Efectivo	5 500\$00
Sócio Estudante	3 000\$00
Sócio Casal	8 500\$00



4ª CONFERÊNCIA DE QUÍMICA INORGÂNICA

Peniche, 26 e 27 de Março de 1999



Lições Convidadas

P. Royo (Alcalá de Henares, Espanha)
A. Pombeiro (IST-UTL, Lisboa)
R. Teives (IST-ITN, Lisboa)
T. Trindade (UA, Aveiro)

R. Alberto (Zurique, Suíça)
R. Delgado (IST-ITQB, Lisboa)
C. Rangel (ICB Abel Salazar, Porto)

Inscrição

O custo de inscrição é de Esc. 17 000\$00 para sócios da SPQ e de 22 000\$00 para outros participantes. No custo de inscrição está incluído o almoço, o jantar (banquete) e o alojamento (ocupação dupla) do dia 26 de Março e, também, o almoço de dia 27.

Poderão ser escolhidas outras modalidades de inscrição: () conferência + estadia (sem banquete): 14 000\$00 (sócios)/19 000\$00 (não sócios); () conferência + banquete (sem estadia): 12 000\$00 / 17 000\$00; () só conferência: 8 000\$00/ 13 000\$00. Suplemento de quarto individual: 2 500\$00. Acompanhantes: serão aplicados os preços de sócio deduzidos de 3 000\$00. Estudantes: desconto de 1 500\$00 em qq. modalidade.

A inscrição pode ser paga por cheque ou vale postal à ordem de: **Sociedade Portuguesa de Química.**

Correspondência

4ª Conferência de Química Inorgânica (SPQ)

(A/c Prof. Baltazar de Castro)

Departamento de Química, Faculdade de Ciências do Porto

Rua do Campo Alegre, 687, 4150 Porto

e-mail: bcastro@fc.up.pt

Tel. (02) 6082892 / 3 Fax (02) 6082959

ou

4ª Conferência de Química Inorgânica (SPQ)

(A/c Prof. Carlos Romão)

ITQB, Quinta do Marquês, Aptd. 127, 2780 Oeiras

e-mail: ccr@itqb.unl.pt

Tel. (01) 4469752 Fax (01) 4411277

4ª CONFERÊNCIA DE QUÍMICA INORGÂNICA

Nome _____

Profissão / Título académico _____

Instituição / Endereço _____

Sócio da SPQ Não Sócio da SPQ

Telefone _____ Fax _____ e-mail _____

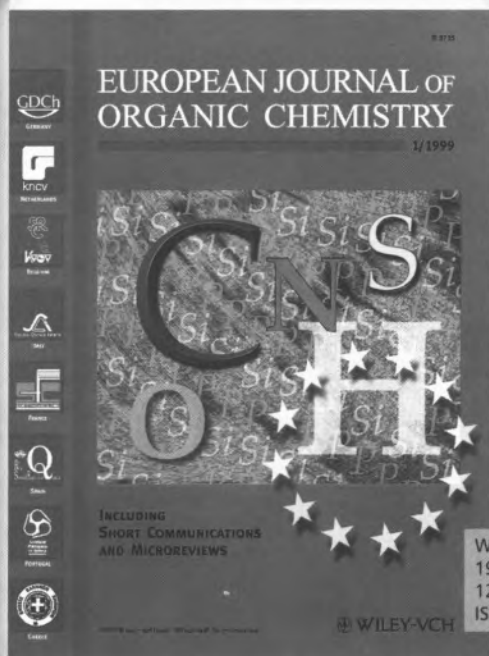
Inscrição: programa completo conferência + estadia conferência + banquete conferência

Alojamento (26 de Março) nº de pessoas quarto single quarto duplo

Pretendo apresentar comunicação de preferência apresentação oral poster

Junto envio o cheque /vare postal nº _____ no valor de Esc. _____ \$00 para pagamento de: (especificar)

UNITY IS STRENGTH:



WILEY-VCH
1999
12 issues per year
ISSN 1434-193X

European Journal of Organic Chemistry publishes full papers, microreviews, and short communications from the entire spectrum of synthetic organic and bio-organic chemistry, and the chemistry of natural products, formerly contained in the journals on the right. The microreviews introduce you to a specific area of an author's research through a detailed overview of a selected topic.

Available online

A Special Online Offer for 1999 Subscribers

Subscribe at the Full Rate and receive full text online access –
Visit Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com)
for complete details

Grown out of these journals

European Journal of Organic Chemistry is owned and supported by the following Societies:

- Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging (Belgium)
- Société Royale de Chimie (Belgium)
- Société Française de Chimie (France)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker (Germany)
- Association of Greek Chemists (Greece)
- Società Chimica Italiana (Italy)
- Sociedade Portuguesa de Química (Portugal)
- Real Sociedad Española de Química (Spain)
- Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (The Netherlands)

Order Your Free Sample Copy now:

Just copy, fill in and fax to:
+49/(0) 6201/606-172

- Please send me a free sample copy and price information
- And the personal subscription rates for members of the owner societies. I am a member of:

Title/Name:

Company/Firm:

Address:

Post/ZIP Code:

Country:

 **WILEY-VCH**

As Plantas, os Solos, os Metais e a Vida Jogos Múltiplos†

P. ALVARENGA¹, M. FÁTIMA ARAÚJO², JOSÉ ARMANDO L. DA SILVA³

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos dos metais nas plantas e as formas de defesa destas perante ambientes contaminados são normalmente abordados dum ponto de vista acção-reacção e usualmente não se encara a resposta da planta de um ponto de vista químico. Por isso conceitos como complexação, redução, precipitação, etc. são normalmente esquecidos ou secundarizados em trabalhos que envolvem esse tipo de temática. Neste trabalho procurar-se-á dar relevo a estes e a outros conceitos químicos que se vão, todavia, cruzar com conceitos de origem biológica.

2. OS METAIS NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Em geral entre os organismos vivos as plantas assumem especificidades nas suas relações com o meio circundante, quando comparadas com os animais, em consequência da sua fixação ao solo.

Algumas plantas têm a particularidade de concentrarem teores elevados de alguns elementos. Por isso, estudos sobre as interacções solo-planta permitem um melhor conhecimento do metabolismo em organismos vivos, quer usando as plantas para recuperar solos com teores elevados em alguns metais, quer por manipulação genética, introduzindo, em espécies não adaptadas a determinado solo, mecanismos de defesa contra um meio impróprio para a sua sobrevivência.

Quando se fala no papel dos metais nas interacções solo-planta, não se está, certamente, a utilizar a definição clássica do metal, que se refere quase exclusivamente às propriedades físicas do seu estado elementar (maleabilidade, ductibilidade, condutividade, etc.), o que é bastante irrelevante para este propósito, sendo neste caso mais adequada a sua *classificação funcional*. Porém, é necessário levar em linha de conta que esses termos funcionais possuem limitações, sendo bastante imprecisos

e utilizados com arbitrariedade conforme o autor. Muitas das categorias sobrepõem-se, tornando difícil escolher o termo certo para utilizar em determinado contexto. Apresentam-se de seguida algumas definições funcionais comuns, utilizadas para classificar metais em estudos bio-ambientais [1]:

Metal essencial - designa-se por metal essencial aquele que é necessário no ciclo de vida completo do organismo, e cuja ausência produz sintomas específicos de deficiência, ultrapassáveis apenas pela administração desse metal, se o elemento faz parte de uma molécula de um constituinte ou metabolito essencial da planta. O efeito do metal no organismo pode ser estudado utilizando uma curva de dose-resposta (Figura 1);

Metal tóxico - todos os metais são tóxicos, mas o grau de toxicidade varia enormemente de metal para metal e de organismo para organismo. A toxicidade, tal como a essencialidade, pode ser definida na forma de uma curva de dose-resposta, correspondendo a toxicidade a doses superiores às usualmente consideradas ideais (Figura 1);

Metal pesado - trata-se de um termo muito impreciso e que pode levantar grandes objecções. É origi-

nalmente um termo baseado na densidade do elemento, o que possui um significado a nível biológico pouco significativo; hoje em dia utiliza-se, embora de forma não consensual, para designar metais com número atómico > 20. É um termo erradamente utilizado com uma conotação pejorativa ligado à poluição e toxicidade, mas que é, por conveniência de utilização, amplamente utilizado por muitos autores;

Metal disponível - as fracções da quantidade total de metal que são solúveis na solução do solo, ou extractáveis para esta sob determinadas condições, são as que contêm o elemento na forma passível de ser assimilado pelo organismo vivo. A quantidade de metal disponível é mais importante para o estado nutricional e para a toxicidade de uma planta do que a quantidade de metal total;

Metal vestigial - um metal que se encontra em baixas concentrações, alguns mg/kg ou concentrações inferiores, numa determinada fonte específica, como por exemplo, no solo, na planta.

Micronutriente metálico - metal que é necessário, a nível nutricional, em pequenas quantidades para um determinado organismo.

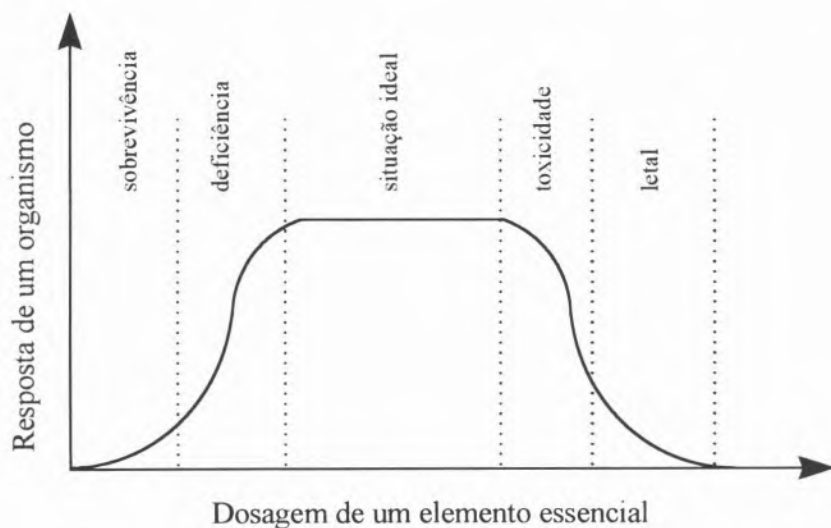


Fig. 1 - Curva de resposta de um organismo em função da dose de metal a que este está exposto [2].

Os metais estão presentes nos solos como componentes resultantes de actividades humanas ou como consequência de fenómenos naturais. Várias indústrias, extracção de minérios, exaustão de partículas de gases de motores, centrais de produção de energia, agricultura intensiva, efluentes e resíduos municipais, etc. são actividades humanas que promovem o aumento da concentração de metais no solo. Há que referir, em adição às fontes antropogénicas de metais, que existem disseminadas um pouco por todo o planeta, fontes naturais, como sejam depósitos de minérios e rochas, contendo quantidades relativamente elevadas de metais, os quais, ao longo do tempo, por acção de agentes erosivos se vão disseminando no ambiente.

Porém, um ambiente poluído não significa necessariamente ausência de crescimento de algum tipo de vegetação. A composição elementar das plantas é, no entanto, muito diferente da dos solos em que estas crescem, podendo apresentar ou não alguma relação com ela. Muitas destas diferenças podem ser atribuídas à capacidade que as plantas têm de absorver, de forma diferencial, macro e micro-nutrientes essenciais a partir do solo, entre os quais metais pesados. Baker em 1983 descreveu as plantas como "... mineiras de [nutrientes] da crosta terrestre...", o que é uma expressão muito elucidativa do facto das plantas serem muito selectivas para os nutrientes inorgânicos [3].

A fonte imediata de metais para a planta é a solução do solo. Os metais no ambiente do solo existem como componentes de diferentes fracções: (1) iões metálicos livres ou complexos solúveis desses iões na solução do solo; (2) iões metálicos que ocupam locais de permuta iónica, especificamente adsorvidos em constituintes inorgânicos do solo; (3) metais ligados a compostos orgânicos; (4) metais na forma de compostos precipitados ou insolúveis, nomeadamente óxidos, carbonatos e hidróxidos, e (5) metais na estrutura cristalina de minerais. Os metais contami-

nantes no solo originados por fontes antropogénicas encontram-se normalmente na forma (1) - (4). Na Tabela 1 listam-se as principais formas químicas de alguns elementos presentes nos solos em condições ácidas e alcalinas, sendo a ordem da esquerda para a direita relativa a concentração decrescente.

3. COMPOSIÇÃO INORGÂNICA DAS PLANTAS

As plantas frescas são constituídas por 80-90% de água e, da fracção restante, mais de 90% é composta por C, H e O. Se o material orgânico for removido da planta seca por

tados nos tecidos das plantas são considerados essenciais. Alguns podem estar simplesmente a substituir outros, ou então desconhecemos ainda o seu papel. Segundo Hewitt [6] os elementos podem ser classificados em: macronutrientes essenciais, os micronutrientes essenciais e os que são benéficos ou essenciais apenas para algumas espécies (ver Tabela 2).

Os teores encontrados para os organismos em geral, abarcam uma vasta gama de concentrações porque se referem a uma grande variedade de ecossistemas e espécies vegetativas diferentes; por esta razão os intervalos de concentrações normais e tóxicas podem por vezes sobrepor-se [7].

Tabela 1 - Principais formas químicas de alguns elementos traço em soluções de solos ácidos e alcalinos [4]

Metal	Solos ácidos	Solos alcalinos
Mn(II)	Mn ²⁺ , MnSO ₄ , Org*	Mn ²⁺ , MnSO ₄ , MnCO ₃ , MnHCO ₃ ⁺
Ni(II)	Ni ²⁺ , NiSO ₄ , NiHCO ₃ ⁺ , Org*	NiCO ₃ , NiHCO ₃ ⁺ , Ni ²⁺
Cu(II)	Org*, Cu ²⁺	CuCO ₃ , Org*
Zn(II)	Zn ²⁺ , ZnSO ₄	ZnHCO ₃ , ZnCO ₃ , Zn ²⁺ , ZnSO ₄
Cd(II)	Cd ²⁺ , CdSO ₄ , CdCl ⁺	Cd ²⁺ , CdCl ⁺ , CdSO ₄ , CdHCO ₃ ⁺
Pb(II)	Pb ²⁺ , Org*, PbHCO ₃ ⁺	PbCO ₃ , PbHCO ₃ ⁺ , Pb(CO ₃) ₂ ²⁻ , PbOH ⁺

Nota: Org*: Metal complexado com a matéria orgânica do solo.

Tabela 2 - Classificação dos elementos no que se refere à nutrição das plantas [6]

Macronutrientes essenciais	K, Ca, Mg, C, H, O, P, N, S
Micronutrientes essenciais	Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Co, V, Na, Rb, B, Si, Cl, I, Se
Benéficos	Ni, Al, Sr, Sn, Cr, Br, F

calcinação, os restantes 1,5% do peso total da planta fresca representam o seu conteúdo mineral (cinzas). As plantas necessitam de, pelo menos, dez elementos para o seu crescimento saudável: C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe [5]. Estes elementos, com excepção do Fe, são designados *macronutrientes*, uma vez que eles são necessários em quantidades relativamente grandes. Quanto ao Fe são apenas necessárias pequenas quantidades, sendo um determinado número de outros elementos necessários em quantidades ainda menores: estes são os *micronutrientes*.

Nem todos os elementos detec-

4. PROCESSOS BIOLÓGICOS ASSOCIADOS À ABSORÇÃO E TRANSPORTE DOS METAIS PELA PLANTA

Apenas três elementos são absorvidos pelas partes aéreas da planta: C, O e H. A raiz é o órgão da planta através do qual entram os nutrientes inorgânicos. Segundo Bowling [8], existem quatro elos na cadeia principal de entrada dos minerais na planta: (1) movimento dos iões (*e.g.* o Ca²⁺, o Mg²⁺ [9]); ou dos respectivos complexos (*e.g.* o Cu²⁺, o Zn²⁺ [9]) no solo até à raiz; (2) entrada na raiz; (3) transporte ao longo

da raiz até ao sistema vascular; e (4) transporte do elemento para os diversos órgãos da planta.

Os movimentos dos iões metálicos no solo podem ser efectuados de forma simultânea, tanto por *difusão*, através da solução do solo, comandada pelo gradiente de concentrações criado pela absorção de iões pela raiz, como por *fluxo de massa*, da solução do solo, à medida que esta se move para a raiz e é absorvida por esta [10].

Quando a solubilidade dos metais é muito baixa, outros processos podem estar envolvidos, tais como: a síntese de agentes quelantes orgânicos pela raiz e por microrganismos associados [10]; a redução do estado de oxidação dos metais através de enzimas, as metal-redutases, que se encontram na raiz na membrana plasmática [11]; por aumento da solubilidade dos metais por alteração do pH do solo.

A absorção através da raiz foi discutida por Epstein [12] e Bowling [8]. A camada exterior da raiz, a *epiderme*, é constituída por extensões, os *pêlos radiculares*, que possuem um revestimento péctico que permite a adesão de partículas do solo. Os pêlos radiculares aumentam consideravelmente a área de contacto com o solo. Um corte transversal numa raiz é mostrado na Figura 2. A maioria das raízes é composta por células de *parênquima*, em número elevado e com um arranjo livre, com espaços entre elas, formando o *córtex*. A parte central da raiz, a *medula*, contém o sistema vascular que é responsável pelo transporte de alimento, água e minerais através da planta. Estes tecidos contêm o *xilema*, que conduz a água e as substâncias minerais para as partes aéreas da planta, e o *floema*, que funciona como um condutor do material orgânico, sintetizado no processo de fotossíntese, das folhas até às raízes. As porções de medula na raiz são rodeadas por uma camada distinta de células - a *endoderme* - que separa a medula do *córtex*. A rodear as paredes destas células encontra-se uma faixa de material suberizado¹, chamada *banda de Caspary*,

que forma uma barreira impermeável à água e a solutos iónicos [13]. Para chegar ao xilema, a água e os solutos dissolvidos devem atravessar uma membrana - a *plasmalema* - que, provavelmente controla as suas entradas para a planta. Alguns dos iões metálicos que se difundem para dentro da raiz são impedidos de sair pelas cargas negativas nas paredes celulares resultantes de grupos carboxílicos dissociados [5].

Depois dos iões entrarem na raiz eles podem ser aí armazenados ou transportados para as folhas [11]. Os botânicos pensam que as paredes celulares das células da raiz desempenham um papel muito importante na tolerância das plantas a metais tóxicos. Turner [14] descobriu que as paredes celulares da raiz de uma planta tolerante a Cu e Zn, *Agrostis tenuis*, possuem uma capacidade de ligação aos catiões metálicos muito superior à das plantas não tolerantes da mesma espécie. Através da ligação dos iões tóxicos nas paredes celulares da raiz restringe-se o transporte do metal na planta, evitando que o metal chegue a locais mais sensíveis da raiz e a outros órgãos. Têm ainda sido sugeridos várias outras substâncias na parede celular, incluindo

pectatos, aminoácidos e ácidos carboxílicos, como podendo funcionar como agentes complexantes dos metais [15].

Há evidência de transporte de metais através da raiz por duas vias: (1) absorção passiva pelo *apoplasma*² e (2) absorção activa pelo *simplasma*³. Nas plantas superiores, os catiões da solução do solo movem-se passivamente para dentro da raiz, para o apoplasma. As paredes celulares consistem numa rede de celulose, hemicelulose (incluindo pectina) e glicoproteínas, que possuem cargas negativas originadas pelos grupos carboxílicos (-R-COO⁻), os quais funcionam como permutadores catiónicos e repulsores de aniões. Os catiões di- e polivalentes são preferencialmente atraídos para estes locais de permuta catiónica [15].

Para os iões metálicos passarem para o xilema e serem distribuídos pela planta, devem passar através da membrana plasmática, na endoderme, e isto só pode ocorrer por transporte activo, via simplasma. Este fenómeno de transporte activo de iões através da membrana plasmática, por vezes contra o gradiente de concentrações dos solutos, deve ser facilitado por qualquer mecanismo de

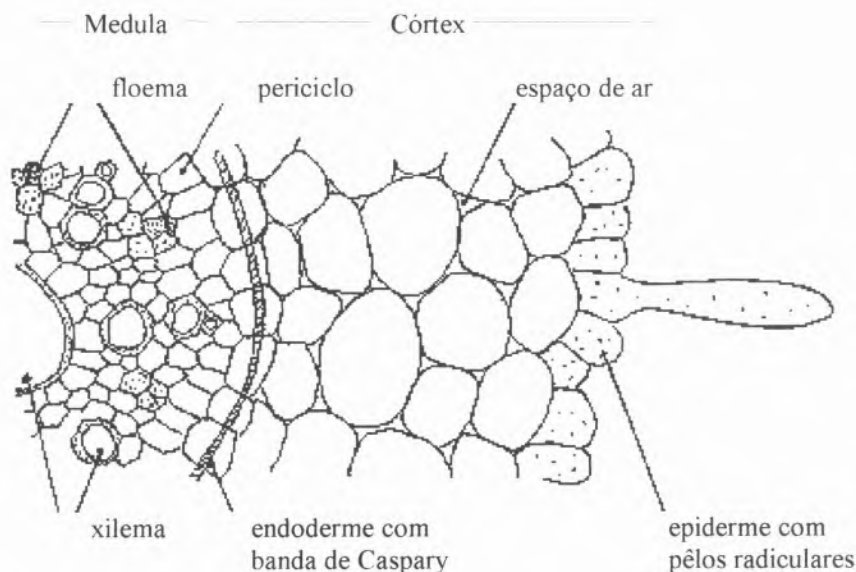


Fig. 2 - Esquema de um corte transversal numa raiz mostrando o córtex e a medula [5]

transporte que necessita da acção de ionóforos específicos, a natureza dos quais ainda não está bem elucidada. Este mecanismo parece estar dependente do tipo de ião, tamanho, valência e geometria do local de transporte. As espécies químicas dos metais presentes na solução do solo, e disponíveis para absorção, são determinadas pelas condições do solo na vizinhança imediata da raiz, incluindo pH, potencial redox, matéria orgânica do solo, e concentração de outros iões em solução [15].

A Figura 3 ilustra os processos que ocorrem no solo e na planta que contribuem para a biodisponibilidade e absorção de metais pela planta.

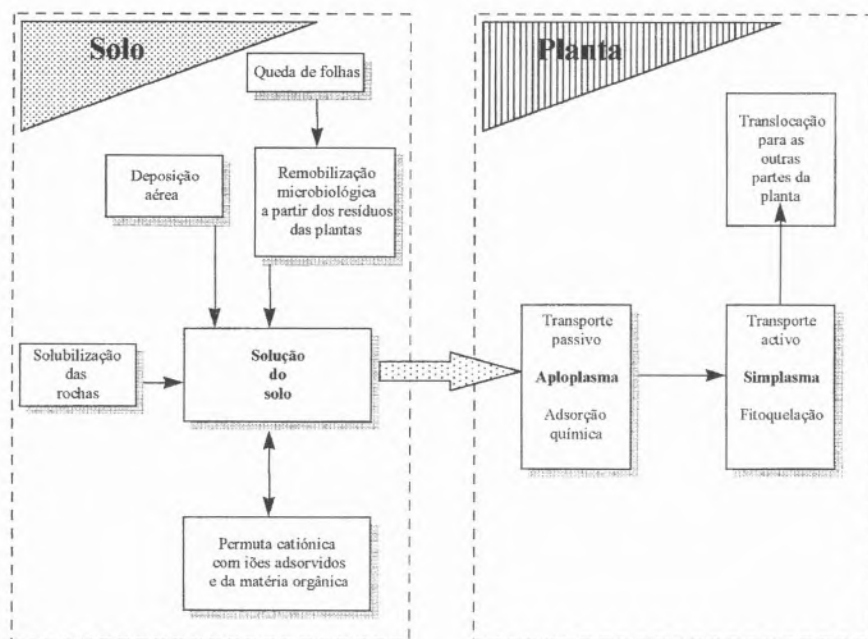


Fig. 3 - Processos que ocorrem no solo e na planta que contribuem para a biodisponibilidade e absorção de metais pela planta [15]

4.1. Alguns factores que afectam a biodisponibilidade dos metais no solo

A mobilidade, actividade e biodisponibilidade do metal e dos compostos que ele pode formar podem ser influenciados por um variado nú-

mero de factores: pH, temperatura, composição química, condições de oxidação e de redução do solo e interacções entre espécies iónicas [16]. Será através do controle desses factores que se conseguirá aumentar a sua biodisponibilidade.

O pH é um factor importante para controlar a solubilidade dos metais no solo. Fenómenos de quelação e de adsorção superficiais (em argilas e óxidos hidratados), dependem, entre outros factores, do pH do solo, e isto por seu turno afecta a disponibilidade de nutrientes e de elementos tóxicos. Alterações do valor de pH por utilização, por exemplo, de fertilizantes permitem conseguir va-

mas não se encontra biodisponível. Um dos exemplos há muito tempo conhecidos é o do ferro, em que alguns factores, como por exemplo o pH do solo, não permitem a sua absorção pela planta. A estratégia adoptada para corrigir a deficiência neste elemento essencial é a sua adição ao solo com agentes complexantes, como por exemplo o EDTA [17]. Huang *et al.* [18] demonstraram que a quantidade de Pb absorvido por plantas cultivadas em solos tratados com agentes complexantes para o chumbo aumentava mais de 260 vezes e por outro lado, estando o Pb numa forma complexada, é mais inócuo para a planta.

Também é possível, em alguns casos, aumentar a absorção de metais pela planta utilizando-a em combinação com os microrganismos do solo. É sabido que a absorção de certos nutrientes minerais, como sejam o Fe e o Mn, pode ser facilitada pelos microrganismos na rizosfera. Pensa-se que um determinado número de microrganismos, seleccionados em meios de cultura feitos a partir de solos contaminados por metais pesados, podem estimular a absorção de metais por plantas, através de uma série de complexas reacções bioquímicas de quelação, redução, solubilização, etc.

5. TOXICIDADE E TOLERÂNCIA

5.1. Toxicidade

Os metais são importantes para a vida saudável da planta, mas o excesso ou a deficiência destes têm efeitos profundos no crescimento e morfologia da mesma. Concentrações excessivas de alguns metais nos solos, que produzem sintomas tóxicos, podem surgir devido a uma variedade de causas naturais ou antropogénicas.

A toxicidade é muitas vezes simplesmente definida como um efeito nocivo num organismo, podendo ser *aguda* (dose elevada num tempo de exposição curto, normalmente letal), ou *crónica* (dose pequena durante um longo período de exposição, que pode ser letal ou sub-letal) [15].

A toxicidade dos metais nas plantas resulta frequentemente em alterações no aspecto e na morfologia dos frutos, folhas ou raízes, que se demonstram de várias formas. O efeito tóxico mais comum é a *clorose* (amarelecimento das folhas por falta de clorofila, seguido por vezes de degenerescência da planta). No entanto, outros sintomas tóxicos podem ser evidentes, principalmente *raquitismo* (tamanho abaixo do normal) e *necrose* (aparecimento de manchas negras nos tecidos da planta, que de seguida se desintegram).

A nível celular podem identificar-se vários mecanismos possíveis através dos quais o metal pode causar danos na planta [7,19]: (1) bloqueio de grupos funcionais de moléculas biologicamente importantes, como sejam enzimas, polinucleótidos, ou sistemas de transporte de iões de nutrientes; (2) competição com iões metálicos essenciais de biomoléculas e unidades funcionais celulares; (3) modificação da conformação activa de biomoléculas, especialmente de enzimas e ácidos nucleicos; e (4) rompimento da membrana de células ou de organelos celulares, com perda da sua integridade.

No entanto, é preciso ter presente que "o quanto de efeito tóxico" (ou "que combinação de efeitos tóxicos") é necessário para produzir danos visíveis e sintomas de toxicidade varia de planta para planta, dependendo do tipo de solo, condições ambientais e ecotipo.

5.2. Tolerância ao metal

Como alguns metais possuem propriedades muito próximas de outros que lhe são essenciais, a planta pode tornar-se tolerante para aqueles que não são essenciais.

Têm sido propostos vários mecanismos de tolerância para explicar como é que algumas plantas competem com sucesso em condições ambientais tóxicas, sendo capazes de desenvolver ecotipos tolerantes. Os mecanismos de tolerância podem ser divididos em cinco tipos principais [5,7]:

(1) *Exsudação de ligandos orgânicos*

cos pela raiz: as moléculas orgânicas exsudadas pelas células da raiz podem formar quelatos com os metais existentes na rizosfera, tornando-os indisponíveis, ou menos disponíveis, para a absorção pela raiz;

(2) *O metal está disponível para a raiz mas não é captado*: neste caso dá-se, por exemplo, uma alteração da parede celular que resulta numa diminuição da permeabilidade ao ião metálico tóxico;

(3) *O metal é captado mas é tornado "inofensivo" dentro da planta*: neste caso dá-se, por exemplo, a sua deposição na parede celular ou em vacúolos. Para além das moléculas constituintes da parede celular com capacidade de ligação ao metal, como os aminoácidos e proteínas, algumas plantas têm capacidade de produzir polipéptidos especiais, as fitoquelatinas, cuja função é sequestrar o metal e impedir que este fique disponível para o transporte na planta. Também pode ocorrer sequestração em determinados compartimentos da célula, principalmente nos vacúolos. Por exemplo, Brookes *et al.* [20] descobriram que o Zn se concentrava no vacúolo da planta *Deschampsia caespitosa* a qual é tolerante ao Zn;

(4) *O metal entra mas é seguidamente eliminado*: por exemplo, através do fenómeno da exsudação, lixiviação ou queda das folhas;

(5) *O metal entra mas o metabolismo é alterado de forma a acomodar quantidades crescentes do metal tóxico*: por exemplo, aumentando a quantidade das enzimas inibidas pelo metal.

Há ainda que referir o fenómeno da *co-tolerância*, mediante o qual, a tolerância a um metal confere tolerância a outros que não se apresentam, no entanto, em concentrações tão elevadas no solo [21].

6. CLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À QUANTIDADE DE METAL ABSORVIDO

As plantas que permitem o diagnóstico de uma condição ambiental particular são conhecidas como plan-

tas indicadoras. O termo qualitativo "espécie indicadora de metal" pode ser usada para descrever espécies que crescem em solos contendo concentrações elevadas de determinados metais. As plantas que crescem em solos com concentrações de metais que são normalmente tóxicas, são tolerantes a esses metais, ou também chamadas *metalófitas*. Algumas destas plantas excluem os metais tóxicos dos seus tecidos, outras assimilam os metais presentes a um tal grau que podem ser consideradas como acumuladoras de metais. Uma planta acumuladora pode ser definida como tendo uma concentração de metal nos seus tecidos maior do que a encontrada no solo [5].

Segundo Baker [22], a resposta das plantas a níveis crescentes de metais no solo pode reflectir-se de três formas diferentes na concentração do metal nas suas partes aéreas:

(1) *Acumuladoras*: nas quais o elemento é concentrado nas partes aéreas da planta, sendo retirado do solo quer esteja em baixas ou em elevadas concentrações. A razão entre a concentração do elemento na planta e no solo é superior a 1. A concentração do elemento nos tecidos da planta aumenta gradualmente à medida que a concentração no solo aumenta, até que todos os locais da planta estejam ocupados, estabilizando então em determinado valor.

(2) *Indicadoras*: nas quais a captação e transporte do elemento é regulado de tal forma que a sua concentração na planta reflecte a que existe no solo. As razões de concentração planta/solo são próximas de 1.

(3) *Exclusoras*: para as quais a concentração dos elementos nas partes aéreas da planta são mantidas baixas e constantes ao longo de uma vasta gama de concentrações do elemento no solo, até um valor crítico, acima do qual o mecanismo de exclusão deixa de ser eficaz. Isto resulta numa entrada e transporte não controlado do elemento para as diversas partes da planta e em fenómenos de toxicidade. Neste tipo de plantas as razões de concentração planta/solo são muito menores que 1.

Para além destas três classes de plantas, Brooks *et al.* [23] identificaram uma forma extrema de acumuladoras, descritas como *hiperacumuladoras*, para as quais a concentração do metal nos tecidos pode exceder 1000 mg/kg matéria seca.

São conhecidas plantas acumuladoras de níquel, cobre, manganês, chumbo, zinco e selénio [3,7,11,16,24-27].

6.1. Mecanismos associados com a acumulação dos metais

A base bioquímica para a capacidade de acumulação de metais não está ainda bem elucidada. É assumido que a desintoxicação intracelular do metal é conseguida através de ligandos apropriados, com uma grande afinidade para esses metais. Krämer *et al.* [24] sugerem, por exemplo, que a histidina funciona como quelante do níquel e desempenha um papel importante no transporte do metal da raiz para as folhas, e sua posterior acumulação em plantas do género *Alyssum*, uma hiperacumuladora de níquel. Por outro lado, a *Hybanthus floribundus*, uma planta que cresce nalguns solos da Austrália, conhecida como sendo uma acumuladora de níquel (até 1,35% do peso seco da planta), possui níveis de ácidos dibásicos, principalmente ácido cítrico e ácido málico, que se correlacionam com a concentração de Ni nas suas folhas. Estes mesmos ácidos aparecem noutras plantas acumuladoras de Ni, pensando-se que formam complexos, solúveis em água, com este catião [5]. O facto do Ni ser mantido na forma solúvel nas partes verdes da planta contribui para a sua eliminação por lixiviação durante a época das chuvas.

Também Farago [5] refere alguns estudos sobre plantas tolerantes a metais, nomeadamente *Armeria maritima* e *Minuartia verna*, planta reconhecida como sendo uma indicadora de metal em zonas onde os níveis de Cu são muito elevados (20 000 - 30 000 mg/kg). Para a *A. maritima* o Cu acumula-se na raiz. Por outro lado, observa-se para esta

planta um teor muito elevado de prolina na sua raiz, quando comparado com os teores existentes no mesmo tipo de plantas não tolerantes a Cu colhidas em zonas distintas. Outros estudos citados pela autora referem igualmente que a tolerância a Cu em algas verdes parece estar associada a certas proteínas que se ligam ao Cu.

As plantas variam muito na quantidade de metais pesados que retiram do solo, quer de espécie para espécie, quer ao longo de vários estádios de crescimento, quer dependendo das condições ambientais [9], apresentando absorções diferentes para o mesmo tipo de metal, consoante as características do solo em que se encontram [28].

6.2. Significado biológico da acumulação de metais

Durante muito tempo, a capacidade das plantas para acumular metais foi considerada de forma negativa. Situadas na base de muitas cadeias alimentares naturais, as plantas acumuladoras de metais eram, directa ou indirectamente, responsáveis pela entrada de uma elevada proporção de metais tóxicos nas dietas humana e de alguns animais. Apesar de alguns desses metais serem essenciais para a vida, a sua acumulação excessiva nos organismos vivos é sempre tóxica.

Pouco se sabe acerca do significado biológico e evolucionista da acumulação de metais nas plantas adaptadas a solos naturalmente ricos em metais tóxicos. Existem dados sugerindo que uma das funções da acumulação de determinados metais na planta poderá estar relacionada com a defesa desta contra herbívoros. Assim, Martens *et al.* [29], demonstraram, numa experiência com uma planta conhecida como hiperacumuladora de Ni (concentrações superiores a 1000 mg Ni/kg matéria seca), a *Streptanthus polygaloides*, que os insectos herbívoros que se alimentavam de plantas cultivadas em solos sem Ni sobreviviam, ao passo que os que se alimentavam das plantas cultivadas em solos com Ni mor-

riam ou não aumentavam de peso. De todos os parâmetros químicos analisados, apenas a diferença na concentração de Ni entre umas e outras parece explicar este facto.

As espécies selvagens acumuladoras podem dar informações sobre os genes associados ao transporte e acumulação de metais [3]. Os mecanismos de tolerância e de acumulação de metais são ainda pouco conhecidos e pensa-se que envolvem a sua complexação extra- e intracelular, a sua precipitação e a sua compartimentação. Estes conhecimentos associados com o aumento da biodisponibilidade de plantas adequadas podem ser utilizados para a remoção de metais do ambiente, sendo esta tecnologia conhecida por fitorremediação, biorremediação, biorreconversão ou "remediação verde" [11,25].

7. FITORREMEDIAÇÃO

Não obstante o número sempre crescente de locais contaminados com metais, os métodos mais comuns para remover os metais pesados em excesso no solo são muito dispendiosos, fazendo com que a sua utilização seja muito limitada. As abordagens correntes para o tratamento de solos contaminados com metais tóxicos são: (1) *Remoção de terras*: implica a escavação, transporte e deposição de solos contaminados em locais de armazenamento de resíduos perigosos; (2) *Fixação*: processamento químico dos solos de forma a imobilizar os metais, usualmente seguido pelo tratamento da superfície do solo de maneira a impermeabilizá-la; e (3) *Lixiviação*: utilização de soluções ácidas, ou com propriedades lixiviantes, de forma a provocar a desadsorção e lixiviação dos metais do solo, seguido pelo recobrimento do local com uma camada de solo limpo [11,30]. Qualquer uma destas abordagens envolve grandes orçamentos, com a desvantagem adicional de os próprios métodos de tratamento poderem implicar outras perturbações ambientais, como sejam a perda da actividade biológica dos solos tratados.

Mais grave ainda do que o tratamento, continua a ser o simples abandono das áreas afectadas, como acontece na maioria das explorações de minas abandonadas, ficando estas áreas expostas a uma lixiviação contínua por efeitos erosivos, aumentando cada vez mais o seu raio de influência.

A capacidade das plantas de acumular quantidades elevadas de elementos pode ser usada como indicador de poluição ambiental específica [31,32], e mesmo ser utilizada na prospecção de minérios [3]; além disso pode servir para a recuperação de solos muito contaminados desde que a espécie escolhida se desenvolva no solo que se pretenda descontaminar [3]. Neste ponto de vista pode ser subdividida em três campos de aplicação: *fito-extracção*, *fito-estabilização* e *rizofiltracção*.

7.1. Fito-extracção

A planta óptima para um processo de fito-extracção deve não só tolerar e acumular teores elevados de metais tóxicos nos órgãos que possam ser colhidos (principalmente folhas), como também possuir uma rápida taxa de crescimento e a capacidade de produzir um elevado rendimento em biomassa [3]. Neste processo podem ser utilizadas várias culturas/colheitas sequenciais de plantas acumuladoras de forma a reduzir as concentrações de metais nos solos até níveis aceitáveis para o ambiente. Os resíduos das plantas, secos, calcinados ou compostos, muito ricos em metais tóxicos, podem ser isolados como resíduos perigosos, e tratados como tal, ou então reciclados para lhes serem retirados os metais [25].

Existem muitas vantagens na utilização de plantas acumuladoras de metais na sua remoção de solos contaminados: baixos custos, produção de material vegetal rico em metais e reciclável, aplicável a uma gama alargada de metais tóxicos, perturbação ambiental mínima, eliminação de produção de resíduos secundários gasosos ou líquidos que outros métodos envolvem, para

além de fácil ou melhor aceitação pública [3].

Apesar da pesquisa sobre o processo de fito-extracção estar ainda numa fase embrionária, ensaios de campo em pequena escala, envolvendo plantas acumuladoras de metais, colhidas em locais contaminados, demonstraram a sua exequibilidade. Nesta perspectiva Baker *et al.* [25] cultivaram plantas acumuladoras de Zn (*Thlaspi caerulescens*, *Cochlearia pyrenaica* e várias espécies do género *Alyssum*) em solos contaminados com metais pela aplicação continuada de lamas provenientes de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). No entanto, apesar de terem demonstrado com este estudo que o processo é aplicável, verificaram que a planta com um maior potencial para acumulação de Zn identificada, a *T. caerulescens*, demoraria 13 a 14 anos de cultivo contínuo para baixar a concentração de Zn no solo de 444 mg/kg até 300 mg/kg (valor imposto pela Comissão das Comunidades Europeias em 1986). Isso verifica-se porque, infelizmente, a maioria das plantas acumuladoras de metais identificadas até ao momento são de crescimento lento, pequenas (produzem uma quantidade diminuta de biomassa) e/ou daninhas (no sentido de que podem provocar efeitos nocivos). Ernst [33] alerta exactamente para o mesmo problema, tendo conseguido demonstrar experimentalmente que os solos com uma contaminação muito grande em metais podiam ser revegetados utilizando plantas resistentes a metais, mas a sua capacidade de descontaminação é restrita devido ao seu baixo rendimento em biomassa. Por isso, muito do esforço para desenvolver a fito-extracção tem sido concentrado na identificação de culturas conhecidas, ou espécies com elas relacionadas, que possam acumular metais, enquanto produzem um elevado rendimento em biomassa como resposta a estratégias agrícolas bem estabelecidas. Uma atenção particular tem sido dada às culturas relacionadas com a família Brassicaceae (grupo a que pertencem as cou-

ves) que têm ligação com muitas das plantas selvagens acumuladoras de metais conhecidas até ao momento. Assim, Kumar *et al.* [3] identificaram várias espécies da família das Brassicaceae, que constituem culturas com elevado rendimento em biomassa, que acumulam eficientemente Pb e outros metais pesados. Enquanto que todas as culturas de Brassicaceae testadas (*B. nigra*, *B. oleracea*, *B. campestris*, *B. carinata*, *B. juncea*, e *B. napus*) acumulavam chumbo, algumas estirpes de *Brassica juncea* (L.) mostraram uma grande capacidade de acumular Pb nas raízes e de o transportar para as folhas (108,3 mg Pb/g peso seco nas raízes e 34,5 mg Pb/g peso seco nas folhas). A *B. juncea* mostrou também ser capaz de concentrar Cr, Cd, Ni, Zn, e Cu nas folhas. Salt *et al.* [11] em trabalho posterior, compararam as capacidades de acumulação de metais (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn) nas folhas da *B. juncea* e da espécie acumuladora selvagem *T. caerulescens* cultivadas em circunstâncias idênticas. Para todos os metais, excepto o Cd, a razão da concentração do metal nos tecidos da planta em relação à concentração inicial do metal na solução de tratamento era maior para a *T. caerulescens* do que para a *B. juncea*. Esta comparação directa demonstrou a capacidade da *T. caerulescens* para acumular maiores quantidades de Zn e Ni nas suas folhas quando comparada com a *B. juncea*. No entanto, a *B. juncea* produz, pelo menos, 20 vezes mais biomassa do que a *T. caerulescens* em condições de campo, dando àquela a possibilidade de remover uma maior quantidade de metal numa única colheita. Brown *et al.* [26] demonstraram que a *T. caerulescens*, quando comparada com outras duas espécies de plantas, *Silene vulgaris* L. e *Lycopersicon esculentum* L. (tomateiro), é mais resistente a efeitos tóxicos de Zn e Cd, conseguindo transportar uma maior quantidade desses metais do solo para as suas folhas.

Várias estirpes de *Pseudomonas* e de *Bacillus* foram capazes de aumentar a quantidade total de Cd acumu-

lado por plantas de *B. juncea* criadas em viveiro. Assim, povoando a rizosfera com esse tipo de microrganismos deve ser possível aumentar a absorção de metais pesados pela planta a partir dos solos durante o processo de fito-extração [11].

Porém, a menos que sejam descobertas e empregues práticas agrícolas especiais, de forma a tornar os metais do solo mais disponíveis para a planta, espera-se que os coeficientes de fito-extração para as plantas colhidas no campo sejam muito mais baixos do que os obtidos em trabalhos de laboratório, em que se adiciona o metal a estudar na solução nutritiva. Por exemplo, o Pb no solo liga-se a argilas e a matéria orgânica, encontrando-se também em inclusões na forma precipitada, o que torna uma fracção significativa de Pb indisponível para ser absorvida pelas raízes das plantas colhidas no campo [3].

7.2. Fito-estabilização

Uma planta adequada a um processo de fito-estabilização é aquela que, para além de tolerar elevadas concentrações de metais tóxicos no solo, é capaz de os tornar mais inofensivos por absorção através da raiz, precipitação ou redução. Para além disso, estas plantas devem concentrar pouco metal nas suas folhas, de forma a que o material colhido não tenha que ser tratado como resíduo perigoso [11]. Os solos muito poluídos por metais pesados, principalmente os que se encontram nas proximidades de indústrias de extração de minérios, apresentam-se na maioria das vezes desprovidos de vegetação devido aos efeitos tóxicos dos metais, sendo presa fácil para os agentes erosivos, levando rapidamente à disseminação dos poluentes no ambiente circundante, por lixiviação das águas da chuva ou por intermédio do vento, que aumentam diariamente o raio de acção do agente de poluição [30]. Uma solução muito simples para a estabilização destas áreas muito contaminadas com metais seria a sua revegetação

com espécies tolerantes, reduzindo a mobilidade dos metais pesados, e diminuindo por isso os riscos de uma maior degradação ambiental por lixiviação dos metais para águas superficiais e subterrâneas, para além do espalhamento de partículas pelo vento. O estabelecimento e manutenção de vegetação deve fazer parte dos planos de recuperação de zonas afectadas por poluição de indústrias de extração de minérios. No entanto, para que tal seja possível, é necessário conhecer muito bem os constrangimentos físico-químicos e biológicos ao crescimento das plantas, de forma a poder tornar possível o seu desenvolvimento nesses solos. De facto, estes possuem características muito adversas ao crescimento de plantas no que se refere a textura e estrutura, capacidade de retenção de água, estado nutritivo, pH, existência de metais tóxicos em elevadas concentrações e salinidade [30]. Por isso, para que qualquer plano de fito-estabilização seja aplicável, é necessário em primeiro lugar efectuar um melhoramento das condições do solo a revegetar. A possibilidade de adição de lamas de ETAR, e também de produtos de compostagem de resíduos sólidos, a este tipo de solo tem sido muito estudada [34,35]. De facto, aquelas permitem melhorar as propriedades físico-químicas dos solos por: (i) adição de nutrientes para o crescimento das plantas; (ii) aumento do teor em húmus e pH; e (iii) aumento da capacidade de retenção de água. Verifica-se que os solos tratados com estas lamas possuem uma capacidade mais elevada para produção de biomassa vegetal do que os solos não tratados [35].

O recobrimento vegetativo deve ser feito, preferencialmente, com espécies endémicas, porque só essas possuem a necessária adaptação ao clima, para além de tolerância aos níveis de metais tóxicos existentes no local. Para a estabilização de zonas poluídas por escombros de minas na zona de Liverpool, na Grã-Bretanha, Smith *et al.* [36] utilizaram espécies vegetativas autóctones, resistentes aos metais. Utilizando técnicas de

cultivo e fertilização adequadas, foram capazes de estabilizar o local, estabelecendo um excelente recobrimento vegetativo. Com base nestes estudos, encontram-se presentemente comercializadas em Inglaterra três variedades de gramíneas adaptadas a climas temperados: *Agrostis tenuis* (variedade Goginan) para solos ácidos com contaminação Pb/Zn, *Festuca rubra* (variedade Merlin) para solos calcários com contaminação Pb/Zn, e *Agrostis tenuis* (variedade Parys) para solos com contaminação por Cu [30]. No entanto, existe uma grande necessidade de descobrir espécies vegetais capazes de resistir a climas tropicais, sub-tropicais e áridos, em que as espécies mencionadas não crescem convenientemente.

De Koe [37] analisou os teores em metais pesados e arsénio nos solos e plantas (*Agrostis castellana* e *Agrostis delicatula*) de 15 locais próximos de minas, no Noroeste de Portugal. A partir deste estudo verificou que estas eram espécies resistentes a elevadas concentrações de metais pesados e arsénio, adequadas para planos de revegetação a desenvolver naquela zona do País. Os autores deste artigo iniciaram os estudos preliminares com a espécie autóctone *Cistus lanadifer* (L.) na zona das minas de Aljustrel. Estes estudos mostraram o carácter acumulador em relação ao Mn, indicadora em relação ao Zn e resistente em relação ao Cu e ao Pb [38].

7.3. Rizofiltração

Uma planta ideal para o processo de rizofiltração deve ser capaz de acumular metais a partir de efluentes poluídos e por isso deve possuir raízes de crescimento muito rápido, que possuam a capacidade de remover metais tóxicos em solução durante largos períodos de tempo. Estudos recentes de Salt *et al.* [11], utilizando plantas com "raízes longas", demonstraram que muitas destas plantas possuem a capacidade intrínseca de absorver e precipitar metais pesados a partir da solução.

Deste modo verificaram que, num período de 24 horas, raízes de girasol (*Helianthus annuus* L.) foram capazes de reduzir drasticamente os níveis de Cr, Mn, Cd, Ni, U, Pb, Zn, Sr e Cu na água, levando as concentrações destes metais até, ou abaixo, dos valores limites regulamentados para descarga de águas residuais [11].

Os mecanismos de remoção dos metais tóxicos pelas raízes das plantas não são necessariamente semelhantes para os diferentes metais. No caso do Pb, por exemplo, esses mecanismos de remoção podem ser divididos em três componentes principais. (1) A retenção à superfície da raiz é provavelmente a componente mais rápida da sua remoção. Essa retenção superficial é uma combinação de processos físico-químicos como sejam a quelação, permuta iónica e adsorção específica. Estes componentes não necessitam de actividade biológica e podem ter lugar em raízes mortas. (2) Os processos biológicos são responsáveis por uma componente mais lenta de remoção dos metais da solução. Estes processos biológicos incluem armazenamento intracelular, deposição em vacúolos e transporte para as folhas⁴. (3) O terceiro componente para a remoção de Pb de soluções concentradas, e também o mais lento, envolve a precipitação, mediada pela raiz, de Pb na forma de fosfatos insolúveis. Esta precipitação envolve, provavelmente, a libertação de exsudatos pela raiz. Por outro lado, as paredes celulares expostas ao chumbo acumulam grandes quantidades de PbCO₃ insolúvel, formado a partir do CO₂ da respiração. A combinação destes processos leva a uma cinética não-linear de desaparecimento do Pb da solução [11].

A rizofiltração é um processo eficiente e economicamente atractivo quando estão envolvidas baixas concentrações de contaminantes e elevados volumes de água. Neste caso, pode inclusive ser um processo útil quando se desejar tratar água contaminada com radionúclidos [11].

8. CONCLUSÕES

O desenvolvimento interactivo das áreas situadas entre a química e a botânica (ou a biologia, de uma forma geral) permitem uma leitura mais profunda de temas considerados classicamente como pertencentes apenas a esta última área científica [39]. Um melhor conhecimento dos processos metabólicos dos organismos vivos (em que as plantas estão incluídas) com os seus processos de captura, armazenamento, utilização e eliminação dos elementos químicos permitirá por exemplo encontrar soluções para o problema da contaminação de solos que normalmente têm sido objecto de abordagens demasiado simplistas as quais esquecem os múltiplos equilíbrios que estão em jogo nos processos naturais.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem:

- Ao Prof. J. J. R. Fraústo da Silva pelas sugestões e leitura crítica do manuscrito;
- Aos avaliadores anónimos deste manuscrito pelas suas sugestões que tornaram este trabalho mais claro e coerente.

¹ Escola Superior Agrária de Beja, Praceta Rainha D. Leonor, 7800 Beja

² Departamento de Química, ITN - Instituto Tecnológico e Nuclear, EN 10, 2686 Sacavém CODEX

³ Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1096 Lisboa CODEX

[†] Este trabalho corresponde a uma adaptação parcial da Tese de Mestrado de P. Alvarenga

¹ Células suberizadas contêm suberina no seu exterior, o que as torna impermeáveis a solutos aquosos.

² **Apoplasma:** conjunto dos componentes não vivos da planta, compreendendo as paredes das células e os espaços intercelulares. O apoplasma constitui um contínuo que apenas sofre interrupção na endoderme da raiz [13].

³ **Simplasma:** conjunto do protoplasma, parte viva, de todas as células da planta, limitado pela *plasmalema*, que forma um sistema contínuo devido às conexões citoplasmáticas intercelulares, *plasmodesmata*, que atravessam as paredes celulares [13].

⁴ O transporte de metais para as folhas tornam o processo de rizofiltração menos eficiente uma vez que produzem material vegetal contaminado. As plantas utilizadas em rizofiltração não devem por isso transportar metais eficientemente para as suas partes aéreas.

BIBLIOGRAFIA

1. D. A. Phipps, Chemistry and Biochemistry of Trace Metals in Biological Systems, in: *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*. (Pollution Monitoring Series) - Vol. 1: *Effects of Trace Metal on Plant Function*, N.W. Lepp (Editor), Applied Science Publishers, Essex, 1981.
2. E. Fieden, (Ed.) *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*, Plenum Press, New York, 1984.
3. P. B. A. N. Kumar, V. Dushenkov, H. Motto, I. Raskin, *Environmental Science & Technology* **29** (1995) 1232-1238.
4. B. E. Davies, L. H. P. Jones, Micronutrients and Toxic Elements, in: *Russel's Soil Conditions & Plant Growth*, Alan Wild (Ed.), 11th Edition, Longman Scientific & Technical, USA, 1988, p: 780-814.
5. M. E. Farago, Metal Ions and Plants, in: *Frontiers in Bioinorganic Chemistry*, A. V. Xavier (Ed.), VCH, Weinheim, 1986, p: 106-122.
6. E. J. Hewitt, T. A. Smith, *Plant Mineral Nutrition*, English University Press, London, 1975.
7. S. M. Ross, Sources and Forms of Potentially Toxic Metals in Soil-Plant Systems, in: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, S. M. Ross (Ed.), John Wiley & Sons, West Sussex, 1994, p: 3-25.
8. D. J. F. Bowling, *Uptake of Ions by Plant Roots*, Chapman and Hall, London, 1976.
9. J. J. R. Fraústo da Silva, R. J. P. Williams, *Structure and Bonding* **29** (1976) 67-121.
10. L. H. P. Jones, S. C. Jarvis, The Fate of Heavy Metals, in: *The Chemistry of Soil Processes*, D. J. Greenland & M. H. B. Hayes, John Wiley & Sons, 1981, p: 593-620.
11. D. Salt, M. Blaylock, N. P. B. A. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet, I. Raskin, *Bio/Technology* **13** (1995) 468-474.
12. E. Epstein, *Mineral Nutrition in Plants: Principles and Perspectives*, Wiley, London, 1972.
13. I. Moreira, *Histologia Vegetal*, 3^a Edição, Didáctica Editora, Lisboa, 1983.
14. R. G. Turner, Tese de Doutoramento, Universidade de Gales, Cardiff, 1967.
15. S. M. Ross, K. J. Kaye, The Meaning of Metal Toxicity in Soil-Plant Systems, in: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, S. M. Ross (Ed.), John Wiley & Sons, West Sussex, 1994, p: 27-61.

16. M. E. Farago, X. Xiao, M. Cole, M. C. Vaz, *Chemical Speciation and Bioavailability* **4** (1992) 19-27.
17. S. Chaberek, A. E. Martell, *Organic Sequestering Agents*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1959.
18. J. W. Huang, S. D. Cunningham, *New Phytologist* **134** (1996) 75-84.
19. E.-I. Ochiai, *Journal of Chemical Education* **72** (1995) 479-484.
20. A. Brookes, J. C. Collins, D. A. Thurman, *Journal of Plant Nutrition* **3** (1981) 695-705.
21. B. A. K. von Frenckell-Insam, T. C. Hutchinson, *New Phytologist* **125** (1993) 555-564.
22. A. J. M. Baker, *Journal of Plant Nutrition* **3** (1981) 643.
23. R. R. Brooks, J. Lee, R. D. Reeves, T. Jaffre, *Journal of Geochemical Exploration* **7** (1977) 49-57.
24. U. Krämer, J. D. Cotter-Howells, J. M. Charnock, A. J. M. Baker, J. A. C. Smith, *Nature* **379** (1996) 635-638.
25. A. J. M. Baker, S. P. McGrath, C. M. D. Sidoli, R. D. Reeves, *Resources, Conservation and Recycling* **11** (1994) 41-49.
26. S. L. Brown, R. L. Chaney, J. S. Angle, A. J. M. Baker, *Journal of Environmental Quality* **23** (1994) 1151-1157.
27. A. Varennes, M. O. Torres, J. F. Coutinho, M. M. G. S. Rocha, M. M. P. M. Neto, *Journal of Plant Nutrition* **19** (1996) 669-676.
28. I. Vágó, Z. Gyóri, J. Loch, *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* **354** (1996) 714-717.
29. S. N. Martens, R. S. Boyd, *Oecologia* **98** (1994) 379-384.
30. A. Williamson, M. S. Johnson, Reclamation of Metalliferous Mine Wastes, in: *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*. (Pollution Monitoring Series) - Vol. 2: *Metals In The Environment*, N. W. Lepp (Ed.), Applied Science Publishers, Essex, 1981.
31. A. Aksoy, M. Ozturk, *Journal of Trace and Microprobe Techniques, Soil and Environmental Sciences* **14** (1996) 605-614.
32. S. M. Al-Shayeb, M. A. Al-Rajhi, M. R. D. Seaward, *The Science of the Total Environment* **168** (1995) 1-10.
33. W. H. O. Ernst, *Applied Geochemistry* **11** (1996) 163-167.
34. J. R. Pichtel, W. A. Dick, *Journal of Environmental Quality* **23** (1994) 766-772.
35. C. S. Rodgers, R. C. Anderson, *Journal of Environmental Quality* **24** (1995) 627-630.
36. R. A. H. Smith, A. D. Bradshaw, *Journal of Applied Ecology* **16** (1979) 595-612.
37. T. De Koe, *The Science of the Total Environment* **145** (1994) 103-109.
38. P. Alvarenga, Tese de Mestrado, Universidade de Évora, 1997.
39. J. J. R. Fraústo da Silva, R. J. P. Williams, *The Biological Chemistry of the Elements - The Inorganic Chemistry of Life*, Clarendon Press, Oxford, 1991.

A propósito:

A árvore das patacas:

Investigadores neo-zelandeses mostraram recentemente que algumas plantas podiam extrair ouro do solo (C.W.N. Anderson et al., *Nature*, 395, 553, 1998). Conseguiram multiplicar a eficácia da absorção natural através da utilização de Tiocianato de amónio que solubiliza o metal. A mostarda branca (*Brassica juncea*) pode assim conter até 57 microgramas de ouro por grama de planta seca...

Instituto Português da **Qualidade**

Ministério da Indústria e Energia

PORTUGUESE INSTITUTE FOR QUALITY

Rua C e Avenida dos Três Vales
2825 MONTE DA CAPARICA
Portugal
Tel: (01) 294 81 00
Fax: (01) 294 81 01

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE

NÚMERO

96/CEP.410

O INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE certifica que o Sistema da Qualidade da

SOQUÍMICA - SOCIEDADE DE REPRESENTAÇÕES DE QUÍMICA, LDA.
Rua Coronel Santos Pedroso, 15
1500 LISBOA
PORTUGAL

implantado na comercialização, manutenção e calibração de equipamentos de laboratório, cumpre os requisitos da Norma Portuguesa NP EN ISO 9002 - "Sistemas da Qualidade. Modelo de garantia da qualidade na produção, instalação e assistência após venda".

O presente certificado é emitido ao abrigo do Decreto-Lei n.º 234/93 de 2 de Julho, e de acordo com a Directiva CNQ 22 - "Certificação de sistemas da qualidade de empresas. Metodologias e regras gerais".

A presente certificação é válida por um período de três anos, renovável.

Monte de Caparica, 18 de Junho de 1996

Cândido dos Santos

Cândido dos Santos
Presidente



SOQUÍMICA

Sociedade de Representações e Química, Lda.

Rua Coronel Santos Pedroso, 15 • 1500 LISBOA • Tel.: 716 51 60 • Fax: 716 51 69

Sede Social: Av. da Liberdade, 220-2º • 129 LISBOA CODEX

Rua 5 de Outubro, 269 • 4100 PORTO • Tels.: 609 30 69 • Fax: 600 08 34

Email: soquimica@mail.telepac.pt; Internet: www.soquimica.pt

Da Vida e suas Explicações – Irreversibilidade e Reduccionismo

A. M. AMORIM DA COSTA *

“O universo da energia tende para um equilíbrio no qual a vida não pode existir”

(C.Sherrington)

1. INTRODUÇÃO

Por referência aos cem anos decorridos sobre a Lição de F. R. Japp na abertura do LXVII Encontro da Associação Britânica para o Avanço da Ciência, na cidade de Bristol (Inglaterra), em 1898, subordinada ao título “Stereochemistry and Vitalism”, publicámos nas páginas deste Boletim da Sociedade Portuguesa de Química algumas considerações sobre a vida e suas explicações[1]. Na generalidade com que abordámos o tema, a parte de leão das considerações tecidas coube às posições do Vitalismo, levando em conta o teor da Lição de Japp que as suscitou. A questão do reduccionismo pouco mais foi que aflorada com a afirmação quase gratuita de que “a vida não desafia as leis fundamentais da física, o que não quer dizer que as leis da física a expliquem facilmente”[2].

Por isso resolvemos retomar o assunto, dando agora maior relevo às posições reducionistas.

2. O MECANISMO DA EVOLUÇÃO MOLECULAR

Todo o Universo é feito de átomos e moléculas em constante movimento. Consequentemente, o movimento é característica intrínseca de todos os corpos, os vivos e os não-vivos. Só em sentido estritamente científico que não em sentido vulgar do termo, por referência ao estado de inércia, a matéria inanimada pode ser referida como a matéria “inerte”. Longe vai o tempo em que era possível caracterizar o ser vivo debitando a secular afirmação de Aristóteles “vita est in motu”, a “vida está no movimento”; como longe vai o tempo em que a vida era pensada e referenciada em termos do movimento regular de todo um conjunto

de líquidos na complexa rede de canais do tecido orgânico, fosse ele vegetal ou animal, como o fez toda uma geração de químicos formados na escola de Boerhaave (1668-1738) para quem “assim que o movimento dos líquidos (que circulam no organismo dos seres vivos) se torna irregular, ou cessa em qualquer parte que seja, ele está doente, e assim que esse movimento para em todo o corpo, ele morre”[3].

Os átomos e moléculas componentes da matéria viva são os mesmos que compõem a matéria não-viva e o movimento incessante que os informa rege-se, num caso e noutro, pelas mesmas leis da física. Nos seres vivos, como em qualquer ser inanimado, não há nem aniquilação, nem criação de massa ou de energia. Em ambos se cumprem de igual modo os princípios de conservação de uma e outra, nas diferentes trocas que os envolvem. E porque vivem e agem num ambiente que está longe de se encontrar num estado de perfeito equilíbrio físico e químico, a existência dos seres vivos não contraria o Segundo Princípio da Termodinâmica que restringe a direcção das transformações da energia[4].

Todavia, pese embora o avanço da ciência, e em particular o desenvolvimento da bioquímica molecular nos permitir, hoje, descrever em termos moleculares bastante precisos muitos dos processos fundamentais da vida, as leis da física que conhecemos não nos permitem ainda descrever satisfatoriamente muitas das características essenciais do comportamento da matéria viva. Quer dizer, a explicação da vida pelas leis da física que hoje conhecemos está longe de ser um dado adquirido.

De facto, são muitas as questões relacionadas com o comportamento dos seres vivos para as quais não temos ainda uma explicação cabal em termos das leis físicas conhecidas. Acreditamos que o número dessas questões irá diminuindo drasticamente com o progresso da ciência, mas não podemos garantir, em termos de certeza, que ele se venha a tornar nulo, posto que nem

sequer podemos garantir que ele possa, de facto, ser nulo.

Que os elementos naturais componentes da matéria viva e da matéria não-viva, tomados na sua individualidade, obedecem às mesmas leis da física, não sofre, hoje, qualquer contestação. Mas, é também incontestável que o comportamento colectivo do ser vivo poderá não ser compreensível em termos das partes que o constituem. Se não está em causa que num caso e noutro os constituintes básicos são exactamente o mesmo tipo de átomos, sujeitos às mesmas leis da física[5], não é fácil explicar como pode um único conjunto de leis induzir comportamentos tão diferentes do vivo para o não vivo, e vice-versa. No processo de replicação que caracteriza especificamente o ser vivo, a matéria evolui para estados progressivamente mais ordenados, em auto-organização espontânea; no ser não-vivo, ressalvada uma mão cheia de conhecidas excepções, toda a evolução natural dá-se no sentido de estados cada vez mais desordenados.

Quer dizer, para explicarem a vida as leis da física terão de ser capazes de poder explicar a auto-organização espontânea. A estrutura auto-organizada em que se consubstancia o ser vivo não é a mera soma das suas partículas, como uma melodia não é a simples soma dos sons que a compõem.

Schrödinger disse-o com toda a clareza, já lá vão umas décadas de anos: a ordem que se nos depara no desenrolar da vida dimana de uma fonte muito diversa daquela que se nos depara no desenrolar do evoluir natural da matéria inanimada. “O organismo vivo alimenta-se de entropia negativa”[6].

Na sua evolução natural, qualquer organismo vivo produz entropia positiva, aproximando-se, dia a dia, como o universo em geral, dum estado perigoso de entropia máxima que significa morte; todavia, graças ao metabolismo que o mantém vivo, contraria, também dia a dia, o evoluir natural, extraíndo continuamente do seu ambiente entropia negativa.

Esta é a sua “maravilhosa faculdade” que adia, no dia a dia, a sua queda no equilíbrio termodinâmico em que se aniquila o que faz dele um ser vivo. Enquanto a entropia negativa que extrai do meio ambiente equilibrar a entropia positiva que se liberta no seu evoluir natural, mantém-se num nível de entropia estacionário e relativamente baixo.

Porque a “entropia negativa”, expressão considerada grosseira por muitos cientistas, pode ser tomada em si mesma como uma medida de ordem, podemos dizer que no processo metabólico que o anima, o ser vivo absorve continuamente ordem do meio ambiente que o rodeia. De facto, na sua generalidade, os compostos orgânicos mais ou menos complexos que “alimentam” o processo metabólico são compostos nos quais a matéria atinge um elevado grau de ordem ou regularidade. Uma vez utilizados, voltam a um estado muito mais simples, por degradação, no todo ou em grande parte, da ordem que possuíam.

É a “ordem a partir da ordem” em contraposição à “ordem a partir da desordem” também dita “ordem por flutuação”.

E de imediato se nos depara a possibilidade de dois “mecanismos” diferentes através dos quais se podem produzir os fenómenos ordenados: o “mecanismo estatístico ou da probabilidade” que dá origem à “ordem a partir da desordem”, e um outro que conduz à “ordem a partir da ordem”. O primeiro comporta facilmente os fenómenos naturais e o seu carácter irreversível; o segundo, o “fluxo de organização” que atravessa o evoluir dos seres vivos. Mas impõe-se perguntar: será que dois mecanismos totalmente diferentes se podem explicar pelo mesmo tipo de leis físicas?

2.1 - A ordem a partir da desordem

“O movimento browniano de uma pequena partícula suspensa num líquido revela-se completamente irregular. Mas, se houver muitas

partículas semelhantes, vão dar origem, devido ao seu movimento irregular, ao fenómeno regular da difusão”. Deparamos aqui com “uma irregularidade completa que coopera apenas na produção de uma regularidade de grau médio”[7]. O mesmo se verifica em muitas outras situações, a nível macroscópico, decorrentes de um “comportamento irregular” de partículas a nível microscópico, conhecido, por isso mesmo, por caos molecular.

A Física newtoniana e a Mecânica quântica, no seu conteúdo determinista, sempre sentiram um certo mal-estar quando confrontadas com este tipo de ordem, a “ordem por flutuação”, não obstante a aplicação que as leis de uma e outra fazem da lei dos grandes números. A ideia de um universo estático com todas as transformações naturais, por mais complexas que sejam a ser descritas em termos de trajectórias deterministas ou por “pacotes” de onda, cujo movimento é, num caso e noutro, inteiramente reversível, em que o presente determina, de uma maneira simétrica, tanto o futuro como o passado, decorre duma lei dinâmica reversível. Ora, a “ordem por flutuação” implica trajectórias dinâmicas em que não é possível evitar, em muitos casos, a irreversibilidade do crescimento entrópico[8].

A lei geral das trajectórias deterministas da Física Clássica ou da Mecânica Quântica que determina a passagem dum sistema entre dois estados instantâneos sucessivos, quaisquer que sejam, permite à trajectória definida desdobrar-se de estado em estado, tanto para o passado como para o futuro. O futuro e o passado desempenham nela o mesmo papel. A definição de um estado instantâneo em termos das posições das partículas do sistema contém de igual modo o passado e o futuro em que cada estado pode ser tratado como um estado inicial ou um estado resultante de uma longa evolução.

A situação é diferente no caso das trajectórias dinâmicas que descrevem processos em que a irreversibilidade do crescimento entrópico

tenha lugar, qual é o caso dos processos em que ocorrem a ordem por flutuação, processos que trabalham a matéria, reacções químicas, condução, decomposições radioactivas, etc. Aqui, próximo do estado de equilíbrio para que tendem, nada há a observar ao carácter universal das leis físicas que se lhe aplicam; porém, para além do limiar de estabilidade, isto é, longe do estado de equilíbrio, a universalidade dessas mesmas leis dá lugar, muitas vezes, à ocorrência de comportamentos qualitativamente diversos que dependem não só de transformações dissipativas possíveis, como também do próprio passado do sistema. Nelas, o determinismo dinâmico dá lugar a uma dialéctica complexa entre acaso e necessidade, onde as leis médias deterministas se revelam inteiramente satisfatórias nas regiões entre bifurcações do sistema, mas nem sempre são suficientes para explicarem cabalmente as ocorrências nas regiões de instabilidade cuja actividade produz novidade e onde a evolução do sistema “é inovação, criação e destruição, nascimento e morte”, para usar as próprias palavras do autor que mais se tem devotado ao estudo aturado deste tipo de situações, Ilya Prigogine[9]. Esta é uma evolução irreversível que não é possível descrever em termos das leis reversíveis da dinâmica.

O devir irreversível é específico do chamado “mundo dos processos complexos” a que são intrínsecas flutuações comportamentais dos elementos componentes, em contraposição com o devir reversível do mundo das trajectórias da dinâmica determinista. Será que em ambas as situações as mesmas leis gerais da física serão aplicáveis em toda a sua extensão e do mesmo modo? Ou será que atingido um certo estágio elas “deixam” de se aplicar, por se revelarem incompletas e/ou inadequadas para a situação, ou mesmo por se revelarem inverazes?

Só um conhecimento mais profundo das condições de estabilidade das estruturas engendradas pelos processos irreversíveis, em certas circunstâncias, poderá permitir esboçar

uma resposta à questão que assim se põe. Por ele passa, também, a possível redução dos processos auto-organizadores às leis da física.

Para ultrapassar o conceito de trajectória determinista, a física recorreu a uma descrição estatística, quer na Mecânica Clássica, quer na Mecânica Quântica, com particular realce para a introdução do conceito "operadores" que agem sobre funções e, com eles, as relações de incerteza e de complementaridade.

Se há operadores que comutam, há-os também que não comutam. Relativamente a grandezas correspondentes a estes últimos, só são possíveis informações estatísticas. A função de onda sobre que "operam" não é uma quantidade física observável em si, mas contém a evolução das diferentes probabilidades dos valores que podem tomar as grandezas observáveis. É a sua evolução que determina toda a mudança observável do sistema no decurso do tempo. Em estados estacionários a evolução do sistema é estritamente reversível; na mudança de um estado estacionário para outro, o sistema pode sofrer uma transformação irreversível.

Porque o mundo dinâmico, a nível microscópico, não é um mundo isolado, a reversibilidade e a irreversibilidade coexistem na sua evolução. A "desordem" a nível microscópico articula-se com a ordem a nível macroscópico. A nível microscópico, a ideia de uma determinação infinitamente precisa das condições iniciais necessárias à definição de trajectórias reversíveis não é apenas uma idealização; é uma idealização inadequada. Não conhecemos uma trajectória, mas um conjunto de trajectórias no espaço de fase. E neste, toda a região guarda uma riqueza de possibilidades qualitativamente diferentes, com possibilidade de criar movimentos também qualitativamente diferentes. Dois pontos tão chegados quanto se queira no espaço de fase, correspondendo a dois sistemas tão semelhantes quanto se deseje, podem, a todo o momento, orientar-se em direcções diferentes. A evolução dinâmica de cada ponto é, certa-

mente, determinista; porém, a descrição da evolução de toda a porção de espaço de fase em questão, tão pequena quanto se queira, tem um carácter estatístico a que não pode fugir, pois que a operação de passagem do conjunto à trajectória individual não pode ser efectuada. A fraca estabilidade do sistema confere-lhe um carácter aleatório irreduzível que o torna não-integrável [10].

Em vez duma dinâmica de trajectória temos, assim, uma dinâmica de funções de distribuição e de operadores que agem sobre elas. Nela, a entropia macroscópica de um sistema está ligada a um "operador" microscópico e a função de onda que a descreve corresponde a uma superposição das funções de onda próprias da mesma observável, a nível microscópico. Na sua individualidade, estas traduzem um estado de desordem, mas o valor próprio da superposição, o valor médio da função de onda a que se reduz a superposição, traduz um estado de ordem. É a "ordem por flutuação", a "ordem a partir da desordem".

O recurso a este tipo de "mecanismo estatístico" para explicá-la permite-nos compreender as linhas gerais do desenrolar dos fenómenos naturais, incluindo a sua irreversibilidade, em termos das leis físicas conhecidas.

2.2 - A ordem a partir da ordem

A racionalização do mecanismo da ordem por flutuação no quadro das leis da física hoje conhecidas que acabámos de referir mostra-nos, como dissemos, que o mundo dinâmico a nível microscópico não é um mundo isolado; na sua evolução, a reversibilidade e a irreversibilidade coexistem. Enquanto num sistema isolado o estado de máxima entropia "atrai" todo e qualquer outro estado de entropia menor, o mesmo não acontece necessariamente num mundo que não é isolado. Só assim podemos observar, na natureza, situações de evolução de menor ordem para maior ordem, qual é o caso dos

fenómenos de auto-organização espontânea do processo de replicação que caracteriza os seres vivos.

Este nutre-se de fluxos que afastam do equilíbrio os sistemas físico-químicos em que se verifica, com rupturas de simetria e evoluções no sentido duma complexidade e diversidade crescentes [11].

A sucessão de fenómenos que se desenrolam durante o ciclo vital de um organismo mostra admirável ordem e regularidade sem qualquer paralelo no domínio da matéria inerte. Nessa sucessão, o ser vivo apresenta "uma assombrosa faculdade de concentrar em si próprio uma «corrente de ordem», escapando ao caos atómico"[12]. No ser vivo, a evolução de um estado bem ordenado para um outro também bem ordenado e até com um grau de ordem superior, num processo de auto-organização, aparece como "natural": as forças por ela responsáveis são, à temperatura em que existem como seres vivos, suficientemente poderosas para evitar a tendência para a desordem por parte da mobilidade térmica molecular.

Daqui se infere que a estrutura da matéria viva, sob a acção das forças que a caracterizam como tal, se comporta de maneira que não pode ser reduzida às leis físicas conhecidas. Não porque haja qualquer "força nova" que dirija o comportamento de cada átomo no seio do organismo vivo, mas porque a sua edificação é diferente da actuação normal, no quadro das leis físicas conhecidas[13]. No mecanismo da ordem por flutuação, o curso dos fenómenos em que há desordem atómica e molecular é uma regularidade média em que é patente a ausência duma determinação individual; de modo bem diferente, na "ordem a partir da ordem" que caracteriza o curso regular dos fenómenos inerentes ao ser vivo – o específico processo de replicação – um grupo de átomos existindo apenas num modelo ou cópia produz fenómenos ordenados e ajustados de maneira admirável entre si e em relação ao ambiente que se não coadunam com o "mecanismo pro-

tabilístico". A sua explicação requer inevitavelmente leis bem mais subtis [14].

Por mais subtis que possam ser essas leis, não podemos dizer, até prova em contrário, que sejam leis estranhas à física. Só o conhecimento cada vez mais profundo e pormenorizado da evolução das diversas formas de vida poderá levar à sua desejável compreensão e formulação. Para ele concorre, possivelmente mais do que nenhum outro, o conhecimento cada vez mais completo e preciso, sobretudo nos seus aspectos químicos, da origem e evolução dos compostos orgânicos a partir dos quais o processo replicativo se desenvolve.

3 - A EVOLUÇÃO QUÍMICA

Como já o referimos, a origem da vida é ainda um mistério científico cujo enigma central é o problema do limiar. Sabemos que a vida se afirmou só quando certas moléculas orgânicas formadas a partir de outras muito mais simples atingiram um certo nível muito elevado de complexidade, que só então foram capazes de incorporar uma vastíssima quantidade de informação de forma estável que viabilizou o armazenamento da cópia para replicação e os meios necessários para a efectivar [15].

Mas, como foi transposto o limiar desse nível de complexidade por processos físicos e químicos comuns? Em particular, quais os acontecimentos químicos que ocorreram na Terra prebiótica (ou qualquer outro local do Universo de onde os primeiros seres vivos terrestres possam ter sido importados) que determinaram o aparecimento da primeira célula viva?

A resposta a estas e outras perguntas do género prende-se com a questão da própria evolução do Universo. Como, quando e em que condições teve o seu início? Como e em que condições se processa, na teia de todo um conjunto de equilíbrios e desequilíbrios cuja caracterização

termodinâmica envolve a complexa evolução da ordem a partir da desordem, como da desordem a partir da ordem? Não iremos referir-nos aqui a essa evolução, nem às teorias que pretendem explicá-la, a partir de pressupostos básicos. Limitar-nos-emos a uma breve referência aos problemas da evolução química relacionados com essas questões.

A resposta possível às mesmas, no quadro da ciência actual, tem por base experiências laboratoriais em que se simula o presumível ambiente da Terra prebiótica. Tais experiências jogam com um conjunto de dados provenientes dos conhecimentos actuais em domínios científicos diversos, nomeadamente, no domínio da astronomia, da geologia, da biologia, da química orgânica e da química das radiações, e são o fundamento da chamada teoria da evolução química da vida que tem vindo a ser desenvolvida a partir da década de 1920, na sequência, em particular, dos escritos de Oparin e Haldane defendendo, o primeiro em 1924, e o segundo em 1929, que a vida na Terra terá aparecido a partir duma "sopa prebiótica" de compostos orgânicos, formada em certos locais do planeta, particularmente nos oceanos, lagos e charcos [16-17].

Muito genericamente, de acordo com tal teoria, o primeiro ser vivo ter-se-ia formado na sequência duma evolução da matéria inerte em que seria possível distinguir as seguintes etapas fundamentais [18]:

(i) - formação de compostos orgânicos simples e voláteis, nomeadamente o formaldeído e o cianeto de hidrogénio, a partir dos elementos componentes, sob a influência de energias variadas;

(ii) - formação dos primeiros monómeros bioquímicos (aminoácidos, bases heterocíclicas e açúcares) a partir da dissolução em água dos compostos orgânicos simples antes formados;

(iii) - formação de polímeros de interesse biológico (peptídeos e polinucleótidos) por condensação dos monómeros bioquímicos anteriores;

(iv) - aparecimento duma fase orgânica separada da fase aquosa que permitiu a diferenciação dos polímeros formados;

(v) aumento da complexidade dos mesmos, permitindo o estabelecimento de processos auto-catalíticos e levando ao aparecimento de estruturas auto-organizadas que por sua vez, terão levado à formação de sistemas auto-reprodutores, num processo de replicação - os primeiros seres vivos.

A viabilidade das primeiras quatro destas cinco etapas é hoje suportada por numerosos trabalhos experimentais e teóricos, na sequência da célebre experiência de Miller-Urey, em 1953, crédito bastante para a verosimilhança da "sopa prebiótica" primitiva [19], já referida no nosso trabalho anterior [20].

O aparecimento das estruturas auto-organizadas com a formação de sistemas auto-reprodutores a que se reporta a última das etapas evolutivas mencionadas é, hoje, a grande questão em aberto e objecto de numerosos trabalhos, quer a nível experimental, quer a nível teórico. A nível experimental, são de realçar as experiências com moléculas sintéticas produzidas em laboratório capazes de produzirem cópias de si-mesmas [21]. A nível teórico, impõe-se uma referência específica à já mencionada teoria das estruturas dissipativas de I. Prigogine.

3.1 - A síntese abiogénica nas condições terrestres primitivas

As investigações realizadas posteriormente à experiência de Miller-Urey têm mostrado que a síntese dos constituintes básicos do ser vivo ou a dos seus precursores, nas condições terrestres primitivas, é um fenómeno natural desde que um número de condições fisico-químicas seja satisfeito.

O estado actual da ciência aponta no sentido de que a química dos fenómenos ocorridos nas condições terrestres primitivas tenha sido de-

terminada pela natureza da atmosfera de então; a atmosfera terá sido a verdadeira controladora dos processos químicos que ocorreram no seu seio e também dos processos químicos que ocorreram simultaneamente, nos oceanos e nas rochas[22].

A mesma ciência indica que essa atmosfera era predominantemente uma atmosfera formada por hidrogênio. Aquando da formação da Terra, a maioria do carbono, azoto e oxigênio que nela existiam encontrar-se-iam na forma de metano e outros hidrocarbonetos de cadeia carbonada curta, amoníaco e água [23]. Os intensos campos gravitacionais e as baixas temperaturas que então dominavam o planeta favoreciam a retenção de moléculas leves, tal como se verifica acontecer em nossos dias, por exemplo, no sistema de Júpiter[24].

Sob a acção de radiações ionizantes, nomeadamente radiações ultravioleta, ter-se-ão formado diversos compostos biologicamente importantes, v. g., aminoácidos, açúcares, purinas, etc. utilizados como primeiros "blocos" na construção da primeira célula viva. De início, os cromossomas que se terão formado terão operado num meio anaeróbico, o que significa que a divisão celular terá ocorrido durante um período temporário de anaerobiose[25]. Durante este período, que do ponto de vista da evolução química compreende cerca de um bilião de anos após o aparecimento da primeira célula viva, o carbono inicialmente existente na atmosfera na forma de metano e outros hidrocarbonetos, como dissemos, terá passado a existir predominantemente na forma de dióxido de carbono. Do ponto de vista químico, passou-se, paulatinamente, duma atmosfera terrestre reductora para uma atmosfera terrestre oxidante, com uma camada de ozono, nas camadas superiores, protegendo o planeta das intensas radiações ultravioleta da luz solar. A radiólise ultravioleta do vapor de água existente na atmosfera e o progressivo desenvolvimento do processo de fotossíntese

das plantas explicam tal transformação[26].

O mais provável é que a primitiva síntese abiogénica da primeira célula viva tenha ocorrido nos oceanos, onde primeiro se terá acumulado, por um processo natural de arrastamento e sedimentação, uma grande quantidade de compostos orgânicos e onde os primeiros amino-ácidos e açúcares facilmente poderiam absorver uma grande variedade de partículas inorgânicas existentes no depósito de lamas e argilas que lhes servia de fundo, simultaneamente matéria prima e catalítica do processo em curso. O seu desenvolvimento nas profundezas submarinas estava protegido da fotólise por radiação ultravioleta[27].

As suposições que acabámos de enunciar sobre a síntese e desenvolvimento abiogénicos da primeira célula viva têm vindo a ser testadas, cada vez com mais pormenor e eficácia, em laboratório.

Em trabalho publicado em 1828, Frederico Wöhler relatava a primeira síntese artificial de um composto orgânico, a ureia, que havia conseguido no seu laboratório, sem usar qualquer extracto animal[28].

A preparação artificial de compostos orgânicos a partir de material inorgânico sem intervenção de qualquer tipo duma possível "força vital" específica abriu perspectivas inteiramente novas à prática da química orgânica[29]. É, todavia, já na segunda metade do nosso século que se intensificam as sínteses abiogénicas, em laboratório, dos chamados biomonomeros (as unidades constituintes das proteínas, dos ácidos nucleicos e dos poli-sacarídeos), sob a acção de altas energias sobre misturas de metano – amoníaco – água.

As experiências efectuadas não só comprovam como explicam o possível mecanismo de ocorrência da síntese que poderá ter tido lugar na atmosfera terrestre prebiótica, de amino-ácidos[30], purinas e pirimidinas[31], açúcares[32], nucleótidos e nucleósidos, nomeadamente, ade-

nosina, ribose e deoxiribose[33-34], ácidos gordos[35-36], porfirinas[37-38], proteínas[39-40] e ácidos nucleicos [41-42].

3.2 – Evolução molecular e estruturas dissipativas

Comprovada a possibilidade e compreendido o possível mecanismo da formação das bio-macromoléculas na atmosfera terrestre prebiótica, num processo de evolução química, fica por explicar a evolução do processo de auto-organização dessas mesmas macromoléculas para o complexo estado de ordem que caracteriza o ser vivo[43].

De acordo com a teoria "coarcevativa" de Oparin[44] e também de acordo com a teoria das "microsféras" (proteinodes), as "esféculas" formadas durante o arrefecimento de soluções aquosas saturadas de proteínas e outros compostos orgânicos afins, desenvolvida por Fox e colaboradores[45], a auto-organização verificada no evoluir dos seres vivos seria o resultado inevitável de forças de associação e organização inerentes ao processo químico da evolução dessas próprias moléculas. Que forças são essas? Qual a sua verdadeira natureza? Como compararam com os demais tipos de forças naturais?

A sua não caracterização satisfatória pelos autores que para elas apelam, deixa-nos naturalmente insatisfeitos e pouco significa do ponto de vista de explicação verdadeiramente científica.

Tentando uma explicação mais satisfatória, Ilya Prigogine desenvolveu a sua teoria das estruturas dissipativas a que fizemos já referência. Segundo esta teoria, a ordem complexa que caracteriza os sistemas biológicos teria a sua origem em processos físicos altamente desequilibrados do ponto de vista termodinâmico de cuja instabilidade resultaria uma organização espontânea em larga escala, sem necessidade de qualquer força vital específica.

A actividade química que cons-

titui a actividade metabólica da célula viva é uma actividade altamente ordenada, tanto do ponto de vista da coordenação das diferentes velocidades das reacções, como do da sua localização na célula. A maioria das reacções em causa são reacções catalisadas, em que os catalisadores são, sobretudo, proteínas, em especial enzimas, em processos frequentemente auto-catalíticos, isto é, em que as moléculas reactivas activam elas próprias uma enzima estabilizando-a numa das suas múltiplas configurações possíveis, aquela a que seja mais acessível o local reactivo. Durante o processo reactivo, um produto da reacção pode "retroagir" sobre a velocidade da reacção que o fez aparecer.

Uma das propriedades notáveis dum sistema reactivo deste tipo, do ponto de vista da sua cinética química, é que as equações cinéticas que descrevem a sua evolução são equações diferenciais fortemente não-lineares.

Neste processo evolutivo não-linear a estabilidade não é um atributo de um estado como tal, envolvendo, sim, uma regressão de todas as flutuações possíveis. O sistema será instável se alguma das flutuações, em vez de regredir, se puder amplificar e invadir todo o sistema, fazendo-o evoluir para um novo regime de funcionamento qualitativamente diferente dos estados estacionários pelo mínimo de produção de entropia.

No domínio da termodinâmica linear, o fluxo entrópico é nulo quando o sistema atinge o equilíbrio e é uma função linear da força que o determina quando próximo do equilíbrio em que as forças por ele responsáveis são termodinamicamente muito fracas; não assim, no domínio da termodinâmica não-linear. Aqui, o modo como o fluxo entrópico depende da força que o determina é uma função bem mais complicada: na evolução global para o equilíbrio, mas ainda longe dele, os fluxos irreversíveis podem criar, de maneira previsível e reproduzível, a possibilidade de processos locais de auto-or-

ganização. Longe do equilíbrio, nestes sistemas, a dissipação de energia e de matéria pode tornar-se fonte de ordem. É às estruturas em que essa dissipação se dá que se chama *estruturas dissipativas*. Elas são uma forma de *organização supermolecular*.

Na formação das estruturas dissipativas, o sistema torna-se específico e dependente, de maneira crítica, do mecanismo das transformações químicas que as determinam. Não existe lei universalmente válida donde possa ser deduzido, para cada valor das condições-limite, o seu comportamento geral; cada sistema constitui um problema singular; cada conjunto de reacções químicas que o determinam deve ser explorado de per si, pois pode determinar um comportamento qualitativamente distinto.

Enquanto as reacções "não-lineares", cujo efeito (a presença do produto de reacção) reage em compensação sobre a causa, são relativamente raras no mundo inorgânico, elas constituem praticamente a regra geral nos sistemas vivos, onde processos de auto-catalise, auto-inibição e catalise cruzada constituem os mecanismos clássicos de regulação que asseguram a coerência do funcionamento metabólico.

O mecanismo fundamental da transmissão e exploração de informação genética é, ele próprio, um mecanismo "não-linear". A informação genética é copiada num mecanismo auto-catalítico de réplica do DNA, ao ritmo da multiplicação das células. Enquanto em equilíbrio e próximo dele, o sistema se mantém espacialmente homogéneo, longe do equilíbrio a difusão dos reagentes através do sistema e toda uma série de oscilações temporais, traduzidas noutras tantas estruturas dissipativas, conduzem a possíveis situações de instabilidade em que o sistema pode adoptar um comportamento que já não é periódico, mas estacionário, espacialmente estruturado.

Longe do equilíbrio, a própria homogeneidade do tempo é destruída, quer pela natureza global do espaço-tempo que confere ao sistema

o comportamento de uma totalidade organizada, quer pela história que o aparecimento de tais estruturas implica e que é, em muitos casos, simples fatalidade. Uma vez tornado instável, o sistema fica aberto não a uma mas a várias possibilidades de saída que constituem outras tantas bifurcações na trajectória da sua possível evolução. A sua progressão para uma delas depende da natureza da flutuação que vier efectivamente a destabilizá-lo. Não é possível justificar essa progressão evocando apenas a sua composição química e/ou as condições-limite. De facto, não se pode deduzir destas o estado singular para o qual o sistema avança, pois a partir de cada bifurcação, outros estados lhe eram igualmente acessíveis[46].

É o carácter estritamente linear ou não-linear da causalidade no domínio da biologia que está em causa. Até onde e em que termos "acaso e necessidade" informam, conjuntamente ou não, o processo evolutivo em que a vida se desenrola?[47] A evolução genética aparece como fortemente marcada pelo acaso em que as estruturas dissipativas marcam e conduzem o rumo efectivo.

4. CONCLUSÃO

Do que fica dito pode concluir-se que apesar dos estupendos avanços registados pela ciência relativamente à explicação em termos da Física e da Química de muitos dos fenómenos relacionados com a vida, as questões que se põem sobre a *sua natureza* e os cenários relativos à *sua história* continuam a ser inúmeros. Uma e outra resistem cruelmente, muito mais que as questões relativas à matéria inanimada, ao escalpelado do pensamento científico[48]. As questões sem resposta são tantas que dizer, hoje, que a vida na sua origem e natureza última é redutível a uma explicação cabal no quadro das leis físicas e dos processos químicos é muito mais um acto que se esconda nas maravilhas com que o progresso científico nos brinda, dia a

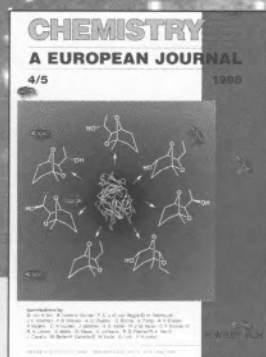
dia, do que uma atitude científica alicerçada em factos comprovados.

*Dept. de Química
Universidade de Coimbra
3000 Coimbra - Portugal

REFERÊNCIAS

1. A. M. Amorim da Costa, *Da Vida e suas explicações – Estereoquímica e Vitalismo* in *Química*, Bol. Soc. Port. Química, nº 68 (1998), 24-27.
2. Idem, pg. 26.
3. H. Boerhaave, *Traité de la vertu des médicamens*, 1739, p.3.
4. F. G. Donnan, *The mystery of life* in *J. Chem. Educ.*, **5** (1928), 1558-1570.
5. P. Davies, *Deus e a nova Física* (Edições 70, Lisboa, 1986, Col. Universo da Ciência, nº1) p.76.
6. E. Schrödinger, *Vida, Espírito e Matéria* (Lisboa, Publ. Europa-América, 1963), pp. 113-114; Idem, *O Que é a Vida? Espírito e Matéria* (Lisboa, Editorial Fragmentos Lda, 1989) p.74. **Nota:** Estas são duas edições diferentes de uma mesma obra de E. Schrödinger correspondente à série de Conferências que o autor proferiu, no Trinity College de Dublin, em 1943, sobre o tema "What is Life?" e no Trinity College de Cambridge, em 1956, sobre o tema "Mind and Matter". As nossas citações reportar-se-ão à edição mais recente, a da Editorial Fragmentos.
7. Idem, p.81.
8. I. Prigogine e I. Stengers, *A Nova Aliança* (Lisboa, Ed. Gradiva, 1987, Col. Ciência Aberta, nº 14), pp. 276-277.
9. Idem, p.277.
10. Idem, cp. IX, pp. 328-359.
11. Idem, pp. 367-368.
12. E. Schrödinger, *o. cit.*, p. 80.
13. Idem, cp. VII, pp. 79-86.
14. Idem, pp. 111-112.
15. F. Crick, *Vida, o mistério da sua origem e natureza* (Ed. Gradiva, Lisboa, 1988, Col. Ciência aberta, nº 23); Vários, *As Origens da Vida* (Ed.Rei dos Livros, Lisboa, 1997).
16. A. I. Oparin, *Proiskhozhdenie Zhizni* (Izd. Moskovskii Rabochii, Moskow, 1924).
17. J.B.S. Haldane, *Rationalist Annual*, 1929; Idem, *Science and Human Life* (Harper Bros, NY & London, 1933).
18. F. Raulin, *Pontos de vista modernos sobre a origem da vida* in *Bol. Soc. Port. Química*, Série II, nº **13/14** (1983), pp. 20-21.
19. S. L. Miller, *Science*, **117** (1953), 528.
20. A. M. Amorim da Costa, *loc. cit.*, pp...26-27.
21. J. Rebek, Jr., *Synthetic self-replicating molecules* in *Sci. Am.*, Julho 1994, 34; J. Horgan, *Trends in Evolution* in *Sci. Am.*, Fev., 1991, 100.
22. R. M. Lemmon, *Chemical Evolution* in *Chem. Rev.* **70** (1970), 95 e referências que apresenta: Vários, *L'Histoire de la Vie, 3 milliards d'années d'évolution*, in *Recherche*, **296** (1997); C. de Dure, *Construire une cellule – essai sur la nature et l'origine de la vie* (Inter Ed., Paris, 1990); A. Brack e F. Paulin, *L'Évolution chimique et les origines de la vie* (Masson Ed., Paris, 1991); A. Eschenmoser and M. Volkankisarküker, *Chemistry and the origin of Life* in *Helv. Chim. Acta*, **79** (1976), 1249; J. P. Ferris, *A química da Origem da Vida* in *Chemical and Engineering News*, **62** (1984), 23-25, trad in *Bol. Soc. Port. Química*, Série II, nº **22** (1985), 5-18; H. D. Pflug, *Evolução microbiana no precâmbrio – Evidência Química e morfologia* in *Bol. Soc. Port. Química*, Série II, nº **22** (1985), 19-24; H. Maia, *A Evolução Química na Terra e o Problema da Origem da Vida* in *Química e Sociedade*, vol.1 (Soc. Port. de Química, Lisboa, 1990), pp. 27-48; A. M. Lobo, *Moléculas da Vida* in *Química e Sociedade*, vol.1 (Soc. Port. de Química, Lisboa, 1990), pp. 49-62.
23. A. I. Oparin, *Origin of Life* (MacMillan, Nova Iorque, 1938) p. 101.
24. H. C. Urey, *The Planets: their origin and development* (Yale Univ. Press, New Haven, Conn., 1952).
25. H. Stern, *Science*, **121** (1955), 144.
26. R. M. Lemmon, *loc. cit.*, p. 97.
27. J. B. S. Haldane, *locs. cit.*; I. S. Shklovskii and C. Sagan, *Intelligent Life in the Universe* (Holden-Day, Inc., S. Francisco, Calif., 1966) p. 233.
28. F. Wöhler, *Poggendorffs Ann.* **12** (1828), 253-256; Idem, *Ann. Chim. Phys.* **37** (1828), 330-333; Idem, *Quart. J. Sci. Art.*, Series 2, Part.I, April/June 1828, 491.
29. W.H. Warren, *Contemporary reception of Wöhler's discovery of the synthesis of urea* in *J. Chem. Educ.*, **5** (1928), 1539-1553; J. H. Brooke, *Wöhler's urea and its vital force – A verdict from the chemists in Ambix*, **15** (1968), 84-114; P. S. Cohen and S. M. Cohen, *Wöhler's synthesis of urea : how do the textbooks report it* in *J. Chem. Educ.* **73** (1996), 883-886.
30. S. L. Miller, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **69** (1957), 260.
31. C. Ponnampereuma, R. M. Lemmon, R. Mariner and M. Calvin, *Proc. Natl. Acad. Sci., U. S.*, **49** (1963) 737.
32. S. L. Miller and H. C. Urey, *Science*, **130** (1959), 245.
33. C. Ponnampereuma, C. Sagan and R. Mariner, *Nature*, **199** (1963), 222 C.
34. C. Ponnampereuma and P. Kirk, *Nature*, **203** (1964), 400.
35. S.C. Lind and D.C. Bardwell, *J. Am. Chem. Soc.*, **48** (1926), 2335.
36. W. Mund and W. Koch, *Bull. Soc. Chim. Belges*, **34** (1925), 119.
37. D. Shemin, *Proc. 3rd Intern. Congress on Biochemistry*, Brussels, 1955, p. 197.
38. G. W. Hodgson and C. Ponnampereuma, *Proc. Natl. Acad. Sci., U. S.*, **59** (1968) 22.
39. S. W. Fox and K. Harada, *J. Am. Chem. Soc.*, **82** (1960) 3745.
40. S. W. Fox and T. V. Waehneltdt, *Biochim. Biophys. Acta*, **160** (1968) 246.
41. A. Kornberg, *Enzymatic Synthesis of Deoxyribonucleic acid* (Academic Press, N. Y., 1961) pp. 83-112.
42. M. Goulian, A. Kornberg and R. L. Sinsheimer, *Proc. Natl. Acad. Sci., U. S.*, **58** (1967) 2321.
43. K. Dose, *Evolução molecular e protobiologia – uma panorâmica* in *Bol. Soc. Port. Química*, Série II, nº **13/14** (1983), 22-25.
44. A. I. Oparin, *The chemical Origin of Life* (Charles Thomas Publ., Chicago Ill., 1964)
45. S. W. Fox, K. Harada and J. Kendrick, *Science*, **129** (1959) 1221; S. W. Fox, K. Harada and A. Vegotsky, *Experimentia*, **15** (1959), 81; S. W. Fox and K. Dose, *Molecular Evolution and the origin of life* (Marcel Dekker, N. Y., 2nd edition, 1977).
46. I. Prigogine e I. Stengers, *o. cit.*, pp. 206-236.
47. J. Monod, *Le Hasard et la Nécessité – Essai sur la Philosophie naturelle de la biologie* (Ed. Du Seuil, Paris, 1970).
48. *L'Histoire de la vie – 3 milliards d'années d'évolution* in *loc. cit.*, Editorial.

The New Shining Star of Chemistry



Chemistry – a leading light in the world of chemical research

A new star has appeared in the heaven of chemistry.

Chemistry – A European Journal is an international forum for the publication of the brightest full papers. With Nobel laureate J.-M. Lehn as chairman of the Editorial Board, *Chemistry* has taken its rightful place among

1999. Volume 5. 12 issues per year. ISSN 0947-6539

leading scientific journals. Its ISI Impact Factor of 4.828 places *Chemistry* hot on the

heels of the *Journal of the American Chemical Society*. *Chemistry* publishes work from all fields of chemistry. Its success has come from combining first-rate full papers from international top authors with great features like "Concepts", which provide an

insightful guide to new areas and new angles on familiar problems.

Chemistry – A European Journal is a joint project of many national chemical societies. Profit from the highest quality. Order your free sample copy today!

Order Form

Please enter our/my 1999 subscription to:
Chemistry – A European Journal

at the institutional rate of:

- DM 1498,-* (Germany/Austria)
- SFR 1398,-* (Switzerland)
- US\$ 948,-* (other countries within Europe)
- US\$ 998,-* (all other countries)

at the personal rate** of:

- DM 178,- (Germany/Austria)
- SFR 154,- (Switzerland)
- US\$ 108,- (other countries within Europe)
- US\$ 128,- (all other countries)

*Prices include postage and handling charges.

**valid only for members of the owning societies from Belgium, Czech Republic, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, The Netherlands, Poland, Portugal, Spain, and Sweden.

- Please send me a free sample copy

Please tick: private business

Name _____

Address _____

Town, Postcode _____

Country _____

Membership-No. _____

Signature _____

Please return this order form to your local bookseller or to:

Customers in Germany,
Austria & Switzerland:
WILEY-VCH Reader Service
P. O. Box 10 11 61, D-69451 Weinheim,
Germany
Phone: +49 6201 606-458
Fax: +49 6201 606-117
e-mail: subservice@wiley-vch.de

Customers in all other areas:
John Wiley & Sons, Ltd.
Journals Administration Department
1 Oldlands Way
Bognor Regis West Sussex, PO22 9SA,
England
Phone: +44 (0) 1243 779 777
Fax: +44 (0) 1243 843 232
e-mail: cs-journals@wiley.co.uk

982111

BA 1098

WILEY-VCH, Reader Service, PO Box 10 11 61, D-69451 Weinheim
Tel.: +49 6201-606-458, Fax: +49 6201-606-117, e-mail: sales-journals@wiley-vch.de



WILEY-VCH

A Vida dos Elementos Químicos

JOSÉ J. G. MOURA*

Este artigo resulta de uma palestra realizada na Sede da Sociedade Portuguesa de Química destinada a uma audiência maioritariamente constituída por Professores do Ensino Secundário. O tema desenvolvido pretendeu dar uma visão da importância dos elementos químicos em sistemas vivos. Este texto é um repositório sumário dos temas abordados. O assunto faz parte integrante dum saber científico denominado Química Bio-Inorgânica, uma área que criou, recentemente, um domínio próprio e tem tido um impacto científico enorme. Além disso, é uma área que permite uma integração interdisciplinar e um exemplo de que a compreensão do papel dos íons metálicos na química da vida só pode ser feita em plenitude pelo uso adequado e complementar de disciplinas de índole fundamental (desde a Química à Biologia, passando pela Física e Genética). O assunto presta-se a atrair a atenção de estudantes de variadas camadas etárias pelos aspectos surpreendentes que encerra e pelas actividades que podem ser desenvolvidas em interacção com problemas do quotidiano. Por estas razões, no final do artigo reunimos na forma de tópicos, conceitos que devem ser transmitidos/compreendidos e que permitem uma visão mais alargada do assunto.

O introdutor deste tópico em Portugal foi o Professor J.J.R. Frausto da Silva que inúmeras vezes abordou, do ponto de vista de um Químico Inorgânico, o problema da "química da vida" ou da "química que é vida". Esta aproximação ao problema é fascinante e é aliciante ler textos, que escritos com simplicidade e clareza, discutem assuntos de extrema importância: J.J.R. Frausto da Silva, "Introdução à Química da Vida", ed. Universidade Nova de Lisboa (1985); J.J.R. Frausto da Silva and R.J.P. Williams, "The Biological Chemistry of the

Elements (The Inorganic Chemistry of Life)", Oxford University Press (1991); J.J.R. Frausto da Silva and R.J.P. Williams, "The Natural Selection of the Chemical Elements", Oxford University Press (1997) e que devem ser usados como referência. Estes textos são a fonte de muita da informação apresentada neste artigo. Um manual de acompanhamento ao primeiro destes textos foi editado pela Universidade Aberta - J.J.G. Moura e N.P. Palma, "Introdução à Química da Vida" - Cadernos de Apoio (1995). Neste contexto foram elaborados, pela Universidade Aberta, Vídeos que podem ilustrar alguns dos tópicos versados.

A - INTRODUÇÃO

A vida é o resultado de um longo processo evolutivo. Os elementos químicos preponderantes nas primeiras estrelas do Universo eram o HÉLIO e o HIDROGÉNIO, elementos quimicamente inertes. Após um longo processo de maturação dessas estrelas, foram-se formando elementos mais pesados, como CARBONO, AZOTO, OXIGÉNIO e todos os outros elementos da tabela periódica. Durante este processo algumas estrelas tornaram-se grandes e instáveis, explodindo. A sua desintegração deu origem às estrelas e sistemas planetários, tal como os conhecemos hoje, ricos em elementos pesados. No entanto, e apesar de ricos em elementos reactivos, as estrelas também não permitem qualquer tipo de química, pois o seu calor intenso decomporia qualquer possível composto químico nos seus constituintes. Por outro lado, no espaço e planetas frios, ou mesmo na nossa Lua, é possível encontrar alguma reactividade química, mas as baixas temperaturas tornam as reacções muito lentas, não sendo possível formar as moléculas complexas que caracterizam os seres vivos tal como nós os conhecemos. As condições particulares de um planeta como a Terra, com um ambiente moderado

mas em constante actividade, terão reunido as condições necessárias à formação dos primeiros seres vivos. A atmosfera primitiva da Terra era rica em amoníaco, metano e vapor água, constantemente sujeita a radiações provenientes do exterior e às descargas eléctricas originadas nas frequentes tempestades atmosféricas. Estas condições teriam levado à formação das primeiras moléculas orgânicas, cada vez mais complexas, e que se concentrariam na fase aquosa de charcos e lagoas, onde se pensa terem surgido as primeiras formas organizadas com capacidade de auto-reprodução, que é sem dúvida, uma das propriedades mais características dos seres vivos.

A evolução das espécies deu origem à enorme diversidade e complexidade dos organismos vivos que hoje povoam a Terra. No entanto, e apesar dessa grande diversidade de formas de vida, pode dizer-se que todas elas partilham dos mesmos tipos de processos biológicos fundamentais. Para além disso, estes processos são controlados por um número limitado de grupos de macromoléculas, que são comuns a todos os seres vivos. As macromoléculas são em geral polímeros formados por unidades elementares que podem ou não repetir-se com uma certa regularidade. Os quatro grupos principais de macromoléculas encontradas nos seres vivos são: PROTEÍNAS, ÁCIDOS NUCLEICOS, POLISSACÁRIDOS e LÍPIDOS. Todas elas são constituídas por unidades simples, verdadeiros blocos construtores de um edifício complexo. Esta organização estrutural e funcional está na base da maioria dos organismos eucariotas, desde os unicelulares até aos organismos pluricelulares mais complexos, numa hierarquia de organização crescente.

B - OS ELEMENTOS DA QUÍMICA DA VIDA

Os elementos constitutivos dos materiais biológicos

Os materiais biológicos são constituídos por determinados elementos seleccionados entre os que

ocorrem naturalmente. A análise química de uma grande variedade de organismos, órgãos, células, tecidos, etc. permitiu verificar que apenas onze elementos são predominantes nos materiais biológicos (constituindo 99.9 % do corpo humano, por exemplo) e que apenas quatro - *carbono, hidrogénio, oxigénio e azoto* - representam 99 % daquele total. Os restantes sete elementos - *sódio, magnésio, potássio, cálcio, fósforo, enxofre e cloro*, correspondem a cerca de 0.7 % do total dos elementos e um grupo de pelo menos dezasseis elementos (em geral metais de transição), considerados vestigiários, são essenciais à vida tal como a conhecemos. Em conclusão podemos dizer que a química biológica utiliza em abundância elementos metálicos e não metálicos leves (número atómico menor que 30).

Os elementos mais abundantes

O hidrogénio e o oxigénio, os elementos mais abundantes, aparecem em elevada percentagem em forma combinada (água) - cerca de 70% no corpo humano. A água é uma substância básica e condicionante em termos de pH e potencial de oxidação-redução (Ver **Apêndice A**).

A presença de carbono, o terceiro elemento mais abundante nos

seres vivos, é surpreendente pelo facto de ser pouco abundante na crosta terrestre, em oposição ao silício. Verifica-se aqui portanto uma clara opção pelo utilização de carbono (ver Seleção dos Elementos Químicos).

O quarto elemento mais abundante é o azoto, preponderante na atmosfera como um gás. Alguns organismos (bactérias e certas plantas) têm a capacidade de o fixar directamente. Os outros têm daquelas ou de fontes subsidiárias sob uma forma assimilável ou sob a forma de moléculas biológicas (i.e. amino-ácidos, proteínas, etc.) (ver Ciclos dos Elementos).

O enxofre e o fósforo são elementos importantes na constituição das principais moléculas biológicas: amino-ácidos, açúcares, ácidos gordos e nucleotídeos intervenientes na constituição de macromoléculas (proteínas, polissacáridos, lípidos e ácidos nucleicos. O tecido ósseo é constituído por fosfato de cálcio.

Os elementos menos abundantes

Cálcio, sódio, potássio e magnésio são metais importantes na constituição dos seres vivos. Por razões de electroneutralidade, nos fluidos biológicos existem aniões tais como cloreto e fosfato/sulfato (derivados do fósforo e enxofre).

Os elementos vestigiários

Este grupo de elementos é constituído pelos oligo-elementos. Requeridos em muito baixo teor têm um papel único e muito importante nos processos vitais. Os metais de transição desempenham um papel fundamental. Em geral estão associados a processos catalíticos (por exemplo o ferro no transporte de oxigénio no sangue - hemoglobina, molibdénio (ou vanádio) e ferro na fixação de azoto atmosférico ou níquel e ferro na produção/consumo biológico de hidrogénio). A noção e efeito de carência ou de excesso destes componentes será discutida adiante.

O meio ambiente condicionador da química da vida

Uma das características da vida é a continua adaptação a mudanças de condições ambientais. Para isso foram desenvolvidos mecanismos de defesa e regulação. Os elementos químicos são utilizados em formas químicas estáveis nas condições em que são usadas. As condições ambientais, que consideramos "normais" (por exemplo 1 atm, 37 °C, pH=7, salinidade - água do mar, potencial de oxidação-redução - meio aquoso oxigenado), podem, no entanto, ser consideravelmente alargadas.

Tabela 1 - O ambiente e a Vida - Condições limitantes

Parâmetro	Limite inferior	Limite superior
Temperatura	-18° C (fungos, bactérias)	> 100° C (bactérias)
potencial oxidação-redução	-450 mV (bactérias)	+850 mV (bactérias)
PH	Próximo de 0 (<i>Thiobacillus</i>)	13 (bactérias)
Pressão	Próximo de zero (bactérias várias)	1400 atm (bactérias fossas abissais)
Salinidade	água bidestilada (bactérias heterotróficas)	Salmoura (bactérias halófilas)

Assim considera-se que os seres vivos se desenvolvem em dois meios distintos: um *meio exterior* sujeito a variações mais ou menos acentuadas e um *meio interior* (i.e. sangue, outros fluidos) que são mantidos em condições de controlo estrito, através de mecanismos de regulação desenvolvidos para o efeito.

Grandes massas de água oferecem condições particularmente estáveis (relembrar, por exemplo, o elevado calor específico). Além disso, o meio aquoso é propício à ocorrência de reacções químicas, transporta nutrientes e contém gases dissolvidos que contêm elementos químicos essenciais (por exemplo CO₂ e O₂). A

água foi, portanto, o meio de escolha para a origem da vida e não é, por isso, surpreendente verificar que existe uma correlação entre a composição relativa de iões na água do mar, nos fluidos do corpo humano e nos meios salinos usados em medicina para manter funcionais órgãos e tecidos.

C - A SELECÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PELOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Os sistemas biológicos têm de captar, e, em muitos casos, concentrar, determinados elementos químicos de que necessitam, rejeitando outros que lhes são prejudiciais. Em princípio pode-se dizer que actuam segundo as regras convencionais da Química Analítica e Inorgânica. Portanto a utilização e gestão económica dos recursos disponíveis

é uma etapa inicial a considerar.

Abundância

O aspecto abundância é importante: quanto maior for o teor de um dado elemento no meio exterior mais fácil, em princípio, será a sua captação. Este teor depende da abundância intrínseca e da disponibilidade do elemento (acessibilidade ao sistema biológico). Por exemplo Na, K, Mg e Ca são mais abundantes do que outros elementos alcalinos e alcalino-

terrosos e portanto muito utilizados. Os sistemas biológicos obtêm os elementos químicos que necessitam a partir do meio em que se desenvolvem (solos, meios aquáticos, atmosfera, etc.). Em geral no sistema solar (e no planeta Terra) verifica-se que a abundância de um dado elemento decresce exponencialmente com o número atómico, sendo os elementos mais pesados os menos abundantes. Logo a utilização de elementos mais leves segue este critério.

Tabela 2 - Comparação de Análises Elementares - Universo, Terra, Água do Mar e Corpo Humano (em % do número total de átomos)

Universo		Terra		Água do Mar		Corpo Humano	
H	91	O	47	H	66	H	63
He	9.1	Si	28	O	33	O	25.5
O	0.057	Al	7.9	Cl	0.33	C	9.5
N	0.042	Fe	4.5	Na	0.28	N	1.4
C	0.021	Ca	3.5	Mg	0.033	Ca	0.31
Si	0.003	Na	2.5	S	0.017	P	0.22
Na	0.003	K	2.5	Ca	0.006	Cl	0.03
Mg	0.002	Mg	2.2	K	0.006	K	0.06
Fe	0.002	Ti	0.46	C	0.0014	S	0.05
S	0.001	H	0.22	Br	0.0005	Na	0.03
		C	0.19			Mg	0.01

Este conceito (abundância) não se aplica aos compostos de silício e de carbono. O silício é muito mais abundante do que o carbono mas menos utilizado. Esta escolha está relacionada com o ponto a seguir discutido, a *disponibilidade*. Na realidade os óxidos de silício são muito insolúveis em meio aquoso, enquanto que o CO₂ é facilmente disponível aos seres vivos pela sua elevada solubilidade em água (carbonatos). Além disso, a química de carbono, possibilitando a formação de ligações simples, duplas e triplas, permite a utilização deste elemento

em blocos construtores extremamente versáteis do ponto de vista estrutural (conceito de *versatilidade* química).

Disponibilidade

Conforme referimos, não só a abundância dos elementos essenciais condiciona a possibilidade da sua utilização pelos sistemas biológicos. Estes elementos têm de estar disponíveis, numa forma que possibilite a sua incorporação. A forma química depende do pH e do potencial redox e vai determinar a sua maior ou menor solubilidade, possibilidade de

ionização, formação de espécies complexas, estabilidade de estados redox, etc. Relembrar que o ião sódio existirá numa forma estável (Na⁺) e nunca sob a forma de sódio metálico em solução aquosa. Na **Tabela** indicam-se algumas formas nas quais os principais elementos biológicos podem ocorrer em meios aquosos. Assim as condições ambientais podem impor severas restrições às formas químicas disponíveis aos sistemas biológicos.

Um outro conceito importante é que não se deve subestimar a **versatilidade** e a **“tenacidade”** dos siste-

Tabela 3 - Formas nas quais os principais elementos biológicos ocorrem em meio aquoso

catiões	aniões	neutros
H ₃ O ⁺ , NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ , NO ₃ ⁻	B(OH) ₃
Na ⁺ , K ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	CO ₂ , SiO ₂
Mg ²⁺ , Ca ²⁺	OH ⁻ , F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , SO ₄ ²⁻	N ₂ , NH ₃ , O ₂

Tabela 3 - (Continuação)

Metais (ex.)	espécies químicas principais			
Al ³⁺	Al(OH) ₃			
Cr ³⁺	Cr(OH) ²⁺	CrO ₂ ⁻		
Mn ²⁺	MnCl ⁺	MnSO ₄		
Fe ²⁺ /Fe ³⁺	Fe(OH) ⁺ , Fe(OH) ₃	FeCl ⁺ , Fe(OH) ₂ ⁺		
Co ²⁺	CoCl ⁺	CoCO ₃	CoSO ₄	
Ni ²⁺	NiCl ⁺	NiCO ₃	NiSO ₄	
Cu ²⁺	Cu(OH)Cl	CuCO ₃	CuCl ⁺	Cu(OH) ⁺
Zn ²⁺	ZnCl ⁺	ZnCl ₂	Zn(OH)Cl	
Mo ⁶⁺	MoO ₄ ²⁻			
Cd ²⁺	CdCl ₂	CdCl ⁺	CdCl ₃ ⁻	
Hg ²⁺	HgCl ₄ ⁻	HgCl ₃ Br ²⁻	HgCl ₃ ⁻	
Pb ²⁺	PbCl ₂	PbCl ⁺	Pb(OH) ⁺	(Pb(OH)Cl)

mas biológicos. Quando um dado elemento apresenta propriedades únicas, pode ocorrer uma procura selectiva e concentração de certos elementos. Exemplos ilustrativos são a captação selectiva de vanádio e molibdénio.

Concentração e captura selectiva de certos elementos

Os elementos químicos requeridos pelos seres vivos têm de ser incorporados. O mecanismo de absorção pode numa primeira interpretação ser considerado como um processo de difusão simples regulado pela pressão osmótica mantida no interior a um valor inferior ao do exterior, através de uma utilização metabólica constante dos elementos adsorvidos. No entanto, verifica-se que em muitos casos ocorre uma acumulação passiva das espécies absorvidas contra o gradiente de concentração, atingindo valores no interior superiores aos detectados no exterior (conceitos de *transporte passivo*, processo

dependente e energia e *transporte activo* (utilização de translocadores).

O problema da captura, transporte e inserção de metais de transição em proteínas e enzimas é um campo de investigação activo com larga contribuição da biologia molecular. Um exemplo que pode ser escolhido é o da inserção do ferro na estrutura do hemo levada a cabo pela enzima ferroquelatase. Outros tópicos de grande interesse: a mobilização biológica de níquel e molibdénio e o transporte e acumulação de ferro e suas implicações em regulação metabólica.

D - AS FUNÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Interacção dos iões metálicos com os sistemas biológicos

Uma discussão e compreensão da utilização (escolha), da estrutura e da reactividade de iões metálicos como

constituintes de centros catalíticos de enzimas pode utilizar como base muitos dos conceitos da Química Inorgânica sobre coordenação e geometria de metais inseridos em compostos de coordenação. A constante de associação de metais ao sistema biológico e a facilidade de alteração de estado de oxidação são determinantes na construção dos centros activos usados.

Por exemplo o número de átomos coordenantes que podem ser doadas pelos sistemas biológicos é restrito (O, S, N e P). No caso de enzimas e proteínas a ligação de metais a cadeias polipeptídicas é feita pelos grupos laterais dos amino-ácidos, que fornecem potenciais átomos coordenantes tais como -COO⁻, -NH₂, >NH, -S-. A preferência de um dado metal por um dado ligando está relacionada com a estrutura electrónica do metal e características do ligando (ver **Apêndice C**).

As geometrias apresentadas variam dentro das convencionalmente encontradas em compostos inorgânicos

Tabela 4 - Ligandos preferidos por diversos iões metálicos em biologia

Iões metálicos	Ligandos biológicos utilizados
Na ⁺ K ⁺	Ligandos oxigenados neutros ou com carga -1
Mg ²⁺ Mn ²⁺	Grupos carboxilatos, fosfato e dadores azotados (porfirinas)
Ca ²⁺	Grupos carboxilato e fosfato
Fe ²⁺	Grupos -S- e grupos >NH (imidazol, porfirinas)
Fe ³⁺ Co ³⁺	Fenóis (tirosina), carboxilatos, porfirinas
Cu ⁺	Grupos -S- (cisteína) e aminas aromáticas
Cu ²⁺	Aminas, imidazol, grupos >N-
Zn ²⁺	Aminas, imidazol, grupos -S-
Ag ⁺ , Hg ²⁺ , Cd ²⁺	Grupos -S- e aminas
Pb ²⁺	Grupos carboxilato e -S-

Tabela 5 - Iões metálicos e geometrias mais frequentes

ião metálico	geometrias mais frequentes
Cu ²⁺	Tetragonal > n.c. 5 > Tetraédrica
Ni ²⁺	Octaédrica > restantes
Co ²⁺	Octaédrica > Tetraédrica > restantes
Zn ²⁺	Tetraédrica > Octaédrica
Mn ²⁺	Octaédrica > restantes
Fe ³⁺	Octaédrica > Tetraédrica

cos (em geral números de coordenação 4 – tetraédrico e quadrangular plano e 6 – octaédrico, mas estruturas pentacoordenadas são também observadas).

Tipos de funções: classificação dos elementos biológicos

A função desempenhada pelos elementos químicos disponibilizados e utilizados pelos sistemas biológicos

está intimamente relacionada com o modo de interacção com os ligandos biológicos assim como as propriedades intrínsecas desses elementos. Estabilidade, preferência por certos li-

Tabela 6 - Algumas características dos elementos metálicos

propriedade	Na ⁺ , K ⁺	Mg ²⁺ , Ca ²⁺	Zn ²⁺ , Ni ²⁺	Fe, Cu, Co, Mo, W, Mn
Estabilidade com ligandos biológicos	muito baixa	baixa/média	elevada	elevada
Tipo de ligando	O	O	N, S	N, S, O (Fe ³⁺)
Estados de oxidação	+1 (fixo)	+2 (fixo)	+2 (fixo)	variável
Mobilidade	muito móvel	semi-móvel	estático	estático

gandos e possibilidade de alternância entre diferentes estados de oxidação-redução vão ser determinantes nas funções a desempenhar. Alguns exemplos são ilustrados na Tabela 6.

Os elementos químicos podem desempenhar diferentes funções que podem ser classificadas de um modo

geral em *funções electroquímicas, estruturais, catalíticas* e outras de acordo com as propriedades intrínsecas apresentadas. De um modo simplificado, na Tabela 7 pretende-se agrupar e classificar os elementos químicos com base nas suas funções principais.

Funções electroquímicas

Os elementos com funções electroquímicas ocorrem nos meios biológicos na forma de catiões (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) e aniões (Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, H₂PO₄⁻).

Em geral as células são ricas em potássio e magnésio e pobres em cálcio.

Tabela 7 - Funções Principais dos Elementos Químicos de Interesse Biológico

Tipo de função	Elemento	Estado químico	Actividade biológica
Funções electroquímicas de controlo osmótico e de transporte de corrente	Na, K, Cl, (Mg), (Ca), sulfato	Em solução aquosa na forma de iões livres	Transmissão de mensagens Produção de energia metabólica
Formação de estruturas	H, O, C, N, P, S, Si, F, Ca, (Mg)	Compostos orgânicos e inorgânicos pouco solúveis (fosfato e carbonato de cálcio, silicatos)	Tecidos, esqueletos membranas, conchas, etc.
Catálise ácida	Zn, Ni	enzimas	Degradação de proteínas Hidrólise de ureia
Catálise de reacções de oxidação-redução	Fe, Cu, Mn, Mo, W, Se, Ni, V, Co	enzimas	Reacções com oxigénio Fixação de azoto Produção de hidrogénio Redução de aldeídos Fotólise da água Desintoxicação, etc.
Outras funções	Fe, Cu Ca, Mg Iodo O ₂ , N ₂ , CO ₂	em proteínas	Transporte de Oxigénio Activação de enzimas Controle hormonal Artifícios de flutuação

cio e sódio relativamente ao meio em que se encontram. Este diferencial de concentrações tem paralelo com o que se passa em pilhas electroquímicas e está associado à produção de energia metabólica, uma das funções possíveis para estes elementos. A transmissão de estímulos nervosos está ligada à perda de potássio e ao ganho de sódio e o fenómeno de contracção muscular está relacionado com os níveis de cálcio e magnésio. Estes elementos desempenham ainda um papel importante no estabelecimento de condições de electroneutralidade, pois muitas moléculas biológicas encontram-se ionizadas a pH neutro tais como carboxilatos, fosfato, amónia, etc.

Funções estruturais e de suporte

As macromoléculas biológicas que temos vindo a discutir são polímeros de moléculas contendo como unidades principais amino-ácidos, hidratos de carbono, nucleótidos e derivados de ácidos gordos. Estas unidades são moléculas orgânicas constituídas pelos quatro elementos principais: H, C, O e N e em alguns casos S e P.

Proteínas (polímeros de amino-ácidos) e polissacáridos (polímeros de hidratos de carbono) bem como derivados de ácidos gordos estão ligados à forma e estrutura dos seres vivos, por serem constituintes de membranas celulares, tecidos, vasos, cartilagens, pelos, etc. Mg^{2+} and Ca^{2+} podem associar-se de modo a aumentar a estabilidade da estrutura.

As estruturas sólidas são normalmente constituídas por hidróxi-apatite ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) (ossos e dentes) e carbonato de cálcio (conchas, corais, cascas de ovos, etc.). A sílica está também envolvida na formação e estruturas sólidas tais como exo-esqueletos de animais marinhos, espículas de plantas e associado à formação dos ossos nos vertebrados. Outros compostos mais raramente usados em estruturas sólidas são o fluoreto de cálcio e os sulfatos de bário e estrôncio.

Funções catalíticas

As reacções biológicas são em geral catalisadas por determinadas proteínas designadas por enzimas.

Muitas destas enzimas contêm metais ou complexos de metais fortemente associados (metalo-proteínas) ou são activadas por metais não ligados às proteínas (coordenação lábil). A actividade catalítica é muitas vezes relacionada com a presença de certos elementos químicos: *enzimas activadas por metais e metalo-enzimas*. As propriedades específicas podem ainda depender da conformação da proteína e da presença de certos grupos funcionais colocados em posições estruturais correctas e estratégicas, a fim de levar a cabo uma da reacção.

Enzimas activadas por metais

O ião magnésio é um elemento frequentemente usado como activador. Outros elementos usados (e que podem por vezes substituir aquele ião) são o cálcio, o sódio e o potássio (e o ferro e manganês divalentes). Mesmo certas metalo-enzimas (contendo metais de transição no centro catalítico) podem requerer activadores metálicos (exemplo cálcio) como é o caso de certas peroxidases contendo ferro hémico.

Metallo-enzimas

Este é o grupo de maior interesse dado a sua especificidade reaccional. O metal (centro activo) está associado fortemente à proteína ou a uma molécula pequena, diferente da proteína, mas igualmente ligada a esta (grupo prostético).

Ferro, cobre, molibdénio, zinco, níquel, cobalto, tungsténio, manganês são frequentemente utilizados. O grupo das metalo-enzimas é numeroso e variado e interveniente em reacções chave em biologia.

Duas funções principais são atribuídas a estes centros catalíticos:

- i) catálise de reacções ácido-base (ácidos de Lewis): zinco e níquel.
- ii) catálise de reacções de oxidação-redução (transferência de electrões) - utilização de metais que podem variar de estado de oxidação: $Cu(II)/Cu(I)$, $Fe(IV)/Fe(III)/Fe(II)$, $Mo(VI)/Mo(V)/Mo(IV)$, $Ni(III)/Ni(II)$.¹

Um dos exemplos mais frequentemente usados como grupo prostético é a protoporfirina, molécula orgânica que proporciona quatro átomos coordenantes numa estrutura quadrangular plana e onde os ligandos axiais (5^a e 6^a posições de coordenação) são ocupados por ligandos variáveis formando uma estrutura octaédrica.

A presença de um ligando lábil na 6^a posição (uma molécula de água) permite uma vastidão de funções para a mesma estrutura básica.

Variações estruturais deste tema com Co (vitamina B_{12}), Mg (clorofila) ou Ni (factor F_{430} , produção de CH_4) são mais uma demonstração de versatilidade estrutural (ver Fig. 1).

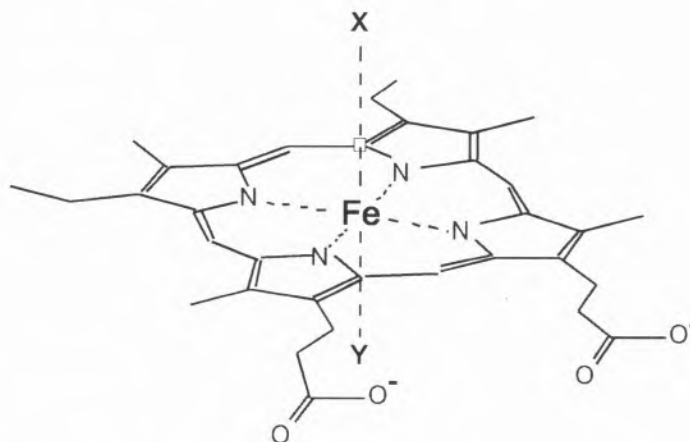


Fig. 1 - Versatilidade de coordenação da estrutura do hemo.

Tabela 8 - Variabilidade de Coordenação em Proteínas Hêmicas

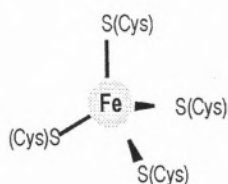
Proteína	Ligandos axiais	Função
citocromo c	HIS, MET	Transferência electrónica
citocromo b	HIS, HIS	Transferência electrónica
hemoglobina	HIS, H ₂ O	Transporte de oxigénio
peroxidase	HIS, H ₂ O (H ₂ O ₂)	A-H ₂ + H ₂ O ₂ → A + 2 H ₂ O
cloroperoxidase	CIS, H ₂ O (H ₂ O ₂)	A-H + X ⁻ + H ₂ O ₂ → A-X + H ₂ O
catalase	TIR, H ₂ O (H ₂ O ₂)	2 H ₂ O ₂ → 2 H ₂ O + O ₂

Outro exemplo que ilustra bem a versatilidade de construção de centros activos em proteínas é o caso dos centros ferro-enxofre (Fig. 2), constituídos por ferro numa geometria tetraédrica (bloco construtor) envolvendo dois tipos de enxofre (enxofre inorgânico em ponte e enxofre de resíduo cisteína que ligam o agregado à cadeia polipeptídica).

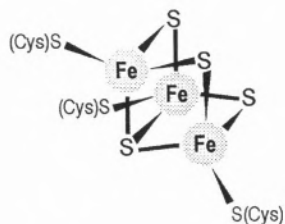
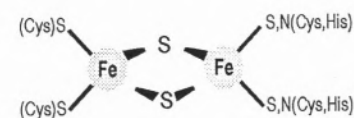
Outras Funções

Os elementos químicos desempenham ainda muitas outras funções tais como: transporte de gases (hemoglobina e hemocianina), armazenagem de metais (metalo-tioninas), absorção de luz no processo fotossintético (clorofila - Mg e agregados contendo Mn), produção e utilização de gases, etc. (ver Tabela 9).

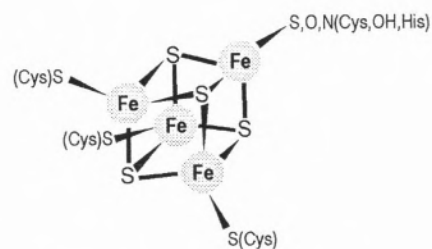
Rubredoxina [FeS₄]



2[Fe-2S]



[3Fe-4S]



4[Fe-4S]

Fig. 2 - Centros ferro-enxofre.

Tabela 9 - Algumas metalo-enzimas e enzimas activadas por metais

Enzimas activadas por metais	Tipo de reacção	Metal
ATPases	Transferência grupo fosfato	Mg, Ca
Enolases	Desidratação	Mg
Descarboxilase do oxaloacetato	Descarboxilação	Mg
Metalo-proteínas	Tipo de reacção	Metal
Carboxipeptidase	Hidrólise de peptídios	Zn
Anidrase carbónica	Hidratação de CO ₂	Zn
Urease	Hidrólise de ureia	Ni
Carboxitransforilase	Transferência grupo fosfato	Co
ATP sulfurilase	Activação sulfato	Co
Lacase	Oxidação	Cu
Oxidase de citocromo c	Oxidação	Fe, Cu
Catalase	Decomposição H ₂ O ₂	Fe
Ferredoxina	Transferência electrónica	Fe
Oxidase de xantina	Oxidação da xantina	Fe Mo, Fe
Óxido-redutase de aldeído	Conversão:aldeído a ácido carboxílico	Mo, Fe e W, Fe
Hidrogenase	Produção/consumo H ₂	Ni, Fe

E - ENZIMAS E ELEMENTOS METÁLICOS

Determinadas proteínas globulares têm como função principal a catálise das reacções biológicas. Os oligo-elementos têm importantes funções: alguns são activadores de enzimas e outros fazem mesmo parte integrante do centro activo de enzimas, que são então designadas por metalo-enzimas.

Neste capítulo são examinados aspectos estrutura-função.

Catalisadores biológicos

Como qualquer catalisador, as enzimas não alteram as condições termodinâmicas de uma dada reacção, isto é, a relação produto/reagente no equilíbrio. Actuam, no entanto, sobre a cinética das reacções, aumentando as velocidades reaccionais (reacção directa e inversa) tornando possíveis reacções que seriam muito lentas na ausência de um catalisador. Dois aspectos importantes devem ser retidos: i) as reacções catalisadas por enzimas são altamente específicas, catalisando apenas uma reacção ou um tipo de reacções e ii) o poder catalítico amplificado pelo facto de um substrato de uma enzima ser o produto de uma reacção catalisada anteriormente (ex. cadeias respiratórias, fotossíntese, etc.).

Nomenclatura

O sistema de nomenclatura é baseado na especificidade reaccional. O nome da enzima é construído a partir da reacção catalisada, adicionando o sufixo *ase*.

Exemplos

isomerase - reacções de isomerização

hidrolase - reacções de hidrólise

lipase - reacções sobre lípidos

hidrogenase - produção/consumo de hidrogénio

redutase de nitr(a)ito - reacção de redução de nitr(a)ito

Mecanismo

O mecanismo de actuação de enzimas envolve em geral a formação de um complexo ou associação enzima-substrato: cada enzima tem portanto um centro activo com uma conformação que lhe permite um reconhecimento específico de um dado reagente. Este ajuste enzima-substrato é muitas vezes designado pelo termo *mecanismo chave-fechadura*.

A actividade enzimática pode ser afectada por substâncias designadas por inibidores que bloqueiam o centro catalítico por se ligarem irreversivelmente ou por induzirem alterações conformacionais, deformando o centro catalítico, impedindo a ligação de substrato. Em geral os inibidores estão relacionados estruturalmente com os substratos.

A indução de alterações conformacionais pode ser aproveitada com fins positivos (*alosteria*) – um bom exemplo a discutir é a ligação de oxigénio à hemoglobina, bem documentado na literatura.

As enzimas requerem muitas vezes a presença de *activadores*. Diversos iões (e seus complexos) bem como moléculas orgânicas de baixa massa molecular (vitaminas, nucleótidos) são usados (*co-enzimas*). *Grupos prostéticos* designam estruturas moleculares ligadas permanentemente às enzimas (caso da porfirina-Fe em citocromos).

É de salientar que o processo de catálise enzimática por metalo-proteínas resulta de uma acção concertada entre a cadeia polipeptídica e o centro catalítico contendo o metal. Um exemplo ilustrativo é a comparação da actividade enzimática da catalase (que transforma H_2O_2) e dos seus elementos constitutivos:

catalase	10 ⁶
Fe-Porfirina	1
Proteína	0

Metalo-enzimas e enzimas activadas por iões metálicos

A Tabela 10 apresenta alguns exemplos representativos dos grupos de enzimas activados por metais e metalo-enzimas (com ênfase para os elementos metálicos presentes e tipo de reacção envolvida).

Tabela 10 - Exemplos de enzimas representativos (lista não exaustiva)

Enzima	Função
Zinco	
Fosfatase alcalina	Hidrólise de fosfatos
Anidrase carbónica	Hidratação do CO_2
Carboxipeptidase	Hidrólise de proteínas
Amilase	Hidrólise de polisacáridos
Polimerase do ADN/ARN	Replicação de A.N.
Desidrogenase do alcóol	Oxidação de alcóois
Cobre	
Oxidase do citocromo	Redução de O_2 a H_2O
Lacase	Oxidação de fenóis
Ceruplasmina	n.d.
Hemocianina	Transporte de O_2
Oxidase do ácido ascórbico	Oxidação de ascorbato
Oxidase da galactose	Oxidação alcóois primários a aldeídos
Proteínas azúis	Transferência electrónica
Dismutase do superóxido	Dismutação do ião superóxido

→

Tabela 10 - (continuação)

Enzima	Função
Ferro	
Hemoglobina	Transporte de oxigênio
Transferrina	Transporte de ferro
Rubredoxina e Ferredoxina (Fe-S)	Transferência electrónica
Citocromos (hemo)	Transferência electrónica
Peroxidase (hemo)	Utilização de H ₂ O ₂
Catalase (hemo)	Decomposição de H ₂ O ₂
Molibdénio	
Oxidase da xantina	Oxidação de xantina a ácido úrico
Oxidase do aldeído	Oxidação de aldeídos
Oxidase de sulfito	Oxidação de sulfito a sulfato
Nitrogenase	Fixação de azoto
Redutase de nitrato	Redução de nitrato a nitrito
Desidrogenase de formato	Formato → CO ₂
Níquel	
Urease	Hidrólise de ureia
Hidrogenase	Produção/consumo H ₂

Funções possíveis dos centros metálicos envolvidos em catálise são:

- i) aproximação proteína - substrato; formação de um complexo
- ii) efeitos indutivos facilitando formação e quebra de ligações químicas, incluindo catálise ácida
- iii) imposição de uma conformação na proteína (efeito estereoquímico)
- iv) transferência electrónica (alteração estado de oxidação, ex. Fe²⁺ e Fe³⁺)
- v) efeitos alostéricos, por ex. variação do número de coordenação em proteínas hémicas, substituição de ligandos.

Um aspecto importante: complementaridade entre técnicas estruturais e biologia molecular

A determinação de estruturas de metalo-enzimas é um problema complexo que requer o consórcio de técnicas várias (RMN, RPE, EXAFS, raios-X). Em geral estas técnicas requerem quantidades importantes de material puro e o ajuste de condições de cristalização pode ser uma etapa lenta. Para se resolver uma estrutura tridimensional de uma proteína por RMN (limitado a cerca de 20 kDa) ou por cristalografia, certas condições devem ser verifi-cadas:

- existência de proteína pura em quantidade importante
- conhecimento da sequência de amino-ácido
- marcação isotópica pode ser requerida para estudos de RMN assim como a obtenção de derivados de átomos pesados para estudos de difracção por raios-X.

As técnicas de biologia molecular tornaram-se aliadas poderosas

dos métodos espectroscópico, pois:

- permitem obter material biológico em quantidade importante
- facilitam a determinação de estruturas primárias
- introduzem mutações selectivas em amino-ácidos e inserções e deleções na sequência primária
- permitem a obtenção facilitada de material marcado com ⁵⁷Fe, ¹⁵N, ¹³C

Recentemente pela conjugação destas técnicas um elevado número de estruturas de metaloproteínas foram reveladas permitindo clarificar aspectos estruturais cruciais para a compreensão da função:

Respiração e utilização de oxigênio

- Oxidase de citocromo C
- Peroxidase di-hémica

Enzimas do ciclo do azoto e enxofre

- Citocromo cd₁ (Redutase de nitrito).
- Redutase de sulfito

- Nitrogenase
- Urease

Produção e consumo de hidrogênio

- Hidrogenase [NiFe]
- Hidrogenase [Fe]

Conversão ADN-ARN

- Redutase do ribonucleotídeo

Mo e W em Biologia

- Oxido-redutase de aldeído (Mo, W)
- Redutase de DMSO (Mo)
- Desidrogenase de formato (W)
- Oxidase de sulfito (Mo)
- Desidrogenase de CO (Mo)

As estruturas das metaloproteínas publicadas revelam grande variedade de soluções estruturais e permitiram a visualização de centros catalíticos chave em processos bioquímicos primordiais. Uma vez determinada a estrutura, uma nova fase se inicia: o estudo e observação detalhada dos ligandos, das geometrias e da vizinhança do centro catalítico vão ser determinantes nos aspectos mecanísticos.²

F - ESSENCIALIDADE E TOXICIDADE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Elementos essenciais e tóxicos

Um elemento químico (ou qualquer outra substância) diz-se *essencial* se, quando fornecido em doses inferiores a um determinado valor, a sua carência afectar o desenvolvimento ou as funções metabólicas normais de um determinado organismo.

Um elemento químico diz-se *tóxico* se, quando fornecido a um organismo em doses superiores a um determinado valor, impede o desenvolvimento ou prejudica as funções metabólicas desse organismo.

Deve-se referir que todos os ele-

mentos químicos são tóxicos quando em concentrações muito elevadas, incluindo os elementos ditos essenciais.

Armazenamento e distribuição dos elementos químicos - Efeitos da deficiência e excesso de elementos essenciais - Relação causa/efeito.

Os elementos essenciais são armazenados, o que implica acumulação ou seja manutenção de uma concentração elevada desse elemento num dado local, ou seja dispêndio de energia ligado a um processo de transporte activo. A acumulação pressupõe fixação de um elemento, envolvendo ligandos biológicos

selectivos em relação a esse elemento. No caso de haver armazenagem, os requisitos diários são apenas os necessários para manter os níveis depositados.

Processos de armazenagem e disponibilização de elementos químicos têm sido descritos e detalhadamente estudados. O caso do ferro em biologia é paradigmático. O mesmo se pode dizer para o percurso biológico de cálcio e zinco.

Deficiência e excesso de certos elementos químicos (relacionar com efeito de essencialidade e toxicidade) manifestam-se na forma de doenças ou perturbações fisiológicas. Apenas alguns exemplos são referidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Elementos químicos / efeitos, perturbações

Elemento químico	Manifestações	Efeitos
Cálcio	Enfraquecimento dos ossos Excitabilidade neuromuscular Tetania	Espessamento dos ossos e Calcificação de cartilagens Cálculos urinários Paragens cardíacas
Cobre	Anemia Ataxia em carneiros Queratinização deficiente Pigmentação deficiente	Doença de Wilson Necrose hepática Cirrose Crises homolíticas
Flúor	Cárie dentária Mortalidade perinatal	Fluorose
Ferro	Anemia	Hemocromatose Hemosiderose Hemorragias Falhas cardíacas
Iodo	Bócio Deficiências reprodutoras Queda de cabelo	Bócio
Selénio	Necrose hepática Distrofia muscular Esterilidade Lesões de tecidos Artrite crónica	Cambaleio cego Doença alcalina (gado)
Silício	Deformações ósseas Defeitos nas cartilagens Maior incidência e doenças cardiovasculares	Silicose
Zinco	Anorexia Raquitismo Hipogonadismo Dificuldades de cicatrização	Febre de fumos metálicos (febre, tremores)

Elementos químicos e medicina /farmacologia

O campo de interacção entre química bio-inorgânica e medicina / farmacologia é um tema de grande actualidade e que pode ser explorado. O conhecimento dos mecanismos pelos quais estes elementos (pela sua presença em excesso ou defeito) afectam os sistemas biológicos é de grande interesse. A toxicidade dos elementos químicos pode ser causada por vários efeitos:

i) ligação de metais pesados a enzimas, podendo interferir com grupos ou centros activos. Mercúrio e chumbo podem substituir ferro em centros catalíticos contendo enxofre ou ligar-se a grupos -SH funcionais (ver **Apêndice C**)

ii) interferência com moléculas biológicas importantes para a função de enzimas (efeito de complexação)

iii) iões como arsenato, tungstato, selenato, telurato podem interferir na utilização de sulfato e fosfato (analogia estrutural)

iv) precipitação de elementos essenciais (ex. caso de formação de sulfuretos metálicos insolúveis)

v) interferências a nível da permeabilidade das membranas biológicas (ex. caso de radicais que promovem a peroxidação de lípidos) e alteração de mecanismos de transporte de iões (ex. acção de Li^+ no transporte de Na^+).

Contaminação e poluição

Contaminação é o resultado de uma descarga, em concentrações superiores ao normal de elementos, compostos ou outras substâncias; quando esta situação tem um efeito tóxico potencial para os seres vivos estamos numa situação de *poluição*.

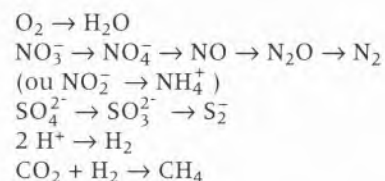
A poluição pode afectar a atmosfera, águas e solos. Muitos dos conceitos descritos ajudam a uma compreensão do fenómeno e propor remediação efectiva a estes problemas, que pode passar não só por tratamentos químicos mas também por acção de agentes **biológicos**. É no entanto um problema complexo que exige um consórcio de activida-

des complementares, requerendo um conhecimento básico adequado de disciplinas como Química Analítica e Inorgânica, Bioquímica, Biologia

G – CICLOS DOS ELEMENTOS

A troca de elementos químicos entre a bio e a geosfera é um processo que decorre correntemente perante os nossos olhos. Os elementos químicos são utilizados em contínuo e reciclados e portanto a sua utilização pode ser otimizada. O dióxido de carbono, o carvão, o calcário, o petróleo, o azoto e os nitratos são exemplos de elementos e compostos em transformação contínua de matéria. Os seres vivos têm um papel importante no estabelecimento dos ciclos dos elementos, seu equilíbrio e manutenção. Os ciclos do **O**, **S**, **N** e **C** são exemplos que demonstram bem estes conceitos. Mais ainda: em muitos casos, os ciclos dos elementos podem ser alternativos e complementares. O mesmo organismo pode utilizar vias alternativas. Bactérias que reduzem sulfato podem sobreviver em meios aquáticos naturais contendo nitrato. Neste caso, o resultado da adaptação ao ecossistema leva à indução de enzimas que podem utilizar nitrato. Estabelece-se uma inter-relação entre os ciclos de utilização de **enxofre** e de **azoto**.

A reciclagem dos elementos químicos permite a sua incorporação em biomoléculas essenciais (ASSIMILAÇÃO) mas os mesmos elementos podem ser usados em processos que permitem retirar, disponibilizar e armazenar energia (DISASSIMILAÇÃO). A respiração de oxigénio é um exemplo típico deste processo. No entanto a respiração pode ser considerada num sentido lato, e muitos processos redutivos ocorrem que têm uma função idêntica à utilização do oxigénio. Etapas multi-electrónicas ocorrem que representam processos primordiais nos ciclos dos elementos:



Muitas destas etapas ocorrem naturalmente devido à actuação de consórcios bacterianos. Por exemplo, a degradação de biomassa conducente à produção de metano pode ser considerada como uma cascata de reacções sucessivas que levam a decomposição de moléculas complexas, por exemplo celulose, até à sua transformação em moléculas simples como hidrogénio e metano (e dióxido de carbono).

O ciclo do azoto é um caso exemplar para o desenvolvimento destes conceitos (assim como o do enxofre). A possibilidade de utilização de azoto atmosférico é um factor do desenvolvimento de seres vivos que não o podem assimilar directamente. A importância do uso de fertilizantes azotados na agricultura é bem conhecido. A produtividade agrícola depende da disponibilidade de fontes de azoto num estado químico que possa ser assimilado pelas plantas. O azoto pode ocorrer em combinações e compostos variados que representam diferentes estados de oxidação deste elemento. Compostos em que o azoto é incorporado por uma via assimilativa são correntes nos seres vivos. Os amino-ácidos são exemplos bem conhecidos. A transformação e incorporação de azoto pelos seres vivos é um processo cíclico. Um ciclo complexo ocorre na transformação de compostos de azoto. Estas vias biológicas que alteram o estado de oxidação do azoto conduzem à fixação, assimilação, oxidação e redução de compostos tais como nitrato, nitrito, amónia e óxidos de azoto vários. A disponibilização de azoto numa forma facilmente assimilável, através do processo de fixação é um dos processos biológicos mais fascinantes e primordiais. Os fertilizantes são fontes de azoto e de outros elementos para a

plantas. O processo industrial de produção de amónia requer temperaturas e pressões elevadas, assim como a utilização de catalizadores químicos. Assim o processo é dispendioso.

Na natureza a fixação de azoto é levada a cabo por um grupo de micro-organismos que têm a capacidade de fixar o azoto atmosférico a temperaturas e pressões ambientes. O azoto assim fixado (transformado em amónia) pode ser facilmente assimilado pelas plantas e transferidos para os outros seres vivos. Esta associação é bem reconhecida na natureza. Muitas vezes o azoto incorporado em culturas de leguminosa é reutilizado, através da incorporação do material vegetal no terreno, permitindo que novas culturas sejam realizadas com elevada produtividade.

O catalizador biológico que per-

mite assimilação do azoto em condições ambientais é a nitrogenase. Esta enzima tem um papel fundamental na utilização de azoto por plantas, factor condicionante da produtividade agrícola. A enzima realiza esta reacção em condições suaves, 25°C e 1 atmosfera. O centro catalítico contém ferro, enxofre e molibdénio associados num agregado metálico. O molibdénio coordena ainda uma molécula orgânica - isocitrato. Esta é ainda hoje uma das reacções químicas mais intrigantes levadas a cabo pelos sistemas biológico. Além da amónia, nitratos e nitritos são utilizados em indústrias química, alimentar e agrícola.

Uma enzima relevante na transformação de nitrato é a redutase de nitrato que pode transformar por via redutiva nitrato em nitrito. Esta enzima é uma metalo-proteína que

contém molibdénio no centro catalítico e outros centros (centros ferro-enxofre e / ou hemos). A sua acção catalítica leva à acumulação de nitrito. O nitrito acumulado pode em seguida ser transformado pela acção sequencial de outra enzima, a redutase de nitrito. Existem diferentes vias para esta transformação. Certas enzimas podem transformar nitrito directamente em amónia (enzimas hélicas). Outras reduzem nitrito a monóxido e azoto. Estas enzimas contêm cobre no centro activo.

Uma utilização e acumulação excessivas de nitratos e nitritos pode ter efeitos prejudiciais para o ambiente. Nitrato (e nitrito) podem no entanto ser transformados e reutilizados. Os sistemas biológicos têm portanto um papel importante na despoluição e tratamento de efluentes.

OUTROS CONCEITOS

Breves considerações sobre a evolução da vida Do simples para o complexo - da desordem à ordem

A evolução "química" dos acontecimentos que ocorreram no planeta (e dos sistemas vivos em geral) é de grande interesse, em particular todos os processos que conduziram ao aparecimento da primeira célula viva (origem da vida e consequente evolução das espécies).

O leitor mais interessado deve consultar textos básicos que discutam estes tópicos em particular as Teorias de Darwin, Oparin e as experiências de Miller, que tentam reproduzir, por simulação, condições de uma atmosfera primitiva e assim demonstrar a possibilidade de sintetizar moléculas simples (precursoras de outras mais complexas). Deste modo tem sido proposto uma "genealogia" possível de moléculas simples para situações complexas que conduziriam após organização (meio interior versus exterior) à formação de organelos, células, tecidos, órgãos, organismos diferenciados, animais, etc.

TÓPICOS E CONCEITOS A REVER (Ao modo de um breve Glossário)

Os elementos da química da vida

Identificar os elementos químicos seleccionados pelos seres vivos. Sugerir uma consulta da Tabela Periódica dos Elementos. Estabelecer a noção de que os elementos mais leves são os mais utilizados. Os elementos da química da vida podem ainda ser classificados em três grandes grupos: os mais abundantes, os menos abundantes e os vestigiários (menor quantidade não significa menor importância como se verá adiante). Relacionar com a "Seleção dos elementos químicos por sistemas biológicos" e "Essencialidade e toxicidade dos elementos". Importante é também o conceito de resposta dos seres vivos a condições ambientais diversas e formas químicas estáveis desses elementos nessas condições.

Tópicos:

Identificação dos elementos químicos constituintes dos seres vivos

Elementos mais abundantes

Elementos menos abundantes

Elementos vestigiários

Elementos supostos (não provados)

essenciais

Conceito de meio interior e exterior

- Condições ambientais limitantes à química da vida

Seleção dos elementos químicos por seres vivos

Após identificação dos elementos químicos utilizados pelos sistemas biológicos, discutir os critérios que conduzem à selecção desses elementos, isto é, uma gestão económica de recursos. O aluno ao estabelecer critérios de selecção deduz imediatamente que um elemento abundante deve ser o mais utilizado. No entanto, compreenderá que este é um dos critérios (mas não único). Para um estudo mais aprofundado deve familiarizar-se com as espécies que são estáveis em solução aquosa (uma leitura do Apêndice A pode ajudar numa discussão de como o solvente aquoso limita as propriedades ácido-base e de oxidação-redução). Introduzir assim o critério de disponibilidade de um elemento químico e de versatilidade química.

Tópicos:

Seleção de elementos químicos

Utilização económica de recursos naturais

Abundância e disponibilidade

Espécies químicas estáveis dos elementos

Luta contra a adversidade

Captura e concentração de elementos químicos raros

Mecanismos de captura - competição

Funções dos elementos químicos

Identificar as principais funções desempenhadas pelos sistemas biológico. O papel dos elementos químicos é dividido em: funções electroquímicas (relacionadas com o envolvimento de iões em controle de carga e força iónica, com implicações também em transmissão de informação); funções estruturais (como constituintes de moléculas envolvidas na construção da estrutura viva: um exemplo a reter é o da estrutura óssea) e funções catalíticas (as enzimas tem um papel muito importante em permitirem a ocorrência de reacções químicas em condições de pressão e temperatura normais - introdução do conceito de reacção catalizada). Os metais têm, neste aspecto de catálise, um papel fundamental. Definir o grupo das metalo-enzimas que apresentam uma elevada especificidade e tem uma intervenção como catalisadores de reacções ácido-base e de oxidação-redução

Tópicos:

Identificação das funções desempenhadas pelos elementos químicos

Classificação funcional dos elemen-

tos essenciais

Funções electroquímicas, estruturais, catalíticas e outras

Enzimas activadas por metais: Metalo-enzimas

Enzimas e elementos metálicos

Introduzir da noção de relação íntima entre metal e proteína. As metalo-proteínas, assim constituídas, têm um papel fulcral na catálise de reacções biológicas (metalo-enzimas). Algumas noções mecanísticas devem ser introduzidas. Apresentação de exemplos representativos deste grupo de catalisadores biológicos e conceitos tais como cofactor, coenzima, grupo prostético e inibidor. Muitos conceitos básicos da Química Inorgânica podem ser lembrados e utilizados para compreender a geometria afinidade dos ligandos em torno dos metais que constituem os centros activos destas metaloproteínas. De notar o papel importante das cadeias laterais de aminoácidos como grupos coordenantes de metais. O aluno deve também reconhecer geometrias típicas de coordenação envolvendo ferro, zinco e cobre.

Tópicos:

Proteínas globulares versus catálise enzimática

Catalisadores biológicos

Perfis de energia de activação (reacções catalisadas e não catalisadas)

Enzimas activadas por metais

Metallo-enzimas - Estruturas de centros activos - Geometrias e ligandos

Mecanismos enzimáticos

Essencialidade e toxicidade dos elementos químicos

A utilização de elementos químicos por sistemas biológicos tem sempre um carácter de dualidade: por um lado os elementos são essenciais para o desempenho de determinadas funções biológicas mas quando presentes em concentrações podem ser tóxicos. Por outro lado certos elementos químicos nunca manifestam um carácter de essencialidade e são extremamente tóxicos (caso do mercúrio). Neste contexto o aluno deve reconhecer os conceitos de essencialidade e toxicidade (ou, por outras palavras, efeitos benéficos e prejudiciais dos elementos). A afinidade dos elementos metálicos para sistemas biológicos (e, por exemplo, o carácter tóxico) pode ser discutido em termos químicos (ver Apêndice C). A forma da curva de variação do efeito biológico dos elementos essenciais descrita neste capítulo deve ser aprofundada.

O aluno deve ainda identificar situações de carência e efeito nocivo dos elementos químicos em sistemas biológicos.

Tópicos:

Elementos tóxicos

Armazenamento e distribuição dos elementos químicos

Efeitos da deficiência e excesso de elementos essenciais

Relação causa/efeito

Contaminação e poluição

OUTROS ASSUNTOS

RELACIONADOS

(não detalhados neste texto)

Principais moléculas biológicas: características e funções

Noções básicas sobre as quatro principais macromoléculas utilizadas pelos seres vivos: proteínas, polissacáridos, lípidos e ácidos nucleicos. Importante é o reconhecimento das unidades constitutivas e do tipo de ligação que se estabelece entre as unidades constituintes.

Um dos aspectos mais importantes a reter é que as macromoléculas biológicas são polímeros de unidades bem definidas. Estes monómeros, com uma estrutura básica precisa, são utilizados como blocos construtores. Pequenas variações estruturais são introduzidas de modo a conferir versatilidade estrutural. Um bom exemplo a aprofundar é o caso das proteínas construídas a partir de 20 amino-ácidos, em que a grupo R substituinte introduz propriedades específicas às unidades constituintes. É interessante este conceito de utili-

zação de uma unidade básica que é repetida com pequenas variações estruturais (novamente a ideia de economia de recursos numa via metabólica). O exemplo das proteínas deve também servir para ilustrar conceitos de organização estrutural a vários níveis. Estas ideias podem também ser exploradas nos outros grupos de macromoléculas. A membrana biológica deve ser apresentada permitindo discutir não só sobre o carácter anfipático dos lípidos mas também a de organização celular das macromoléculas.

Tabela 12 - Principais moléculas biológicas e suas unidades constituintes

macromoléculas	Unidades constitutivas	Ligação química
proteínas	Amino-ácidos	peptídica
polissacáridos	Monossacáridos	glicosídica
lípidos	ácidos gordos e outras moléculas	"covalente" sem nome particular
ácidos nucleicos (base-monossacárido-fosfato)	Nucleótidos Monossacárido - fosfato	

Tópicos:

Macromoléculas de interesse biológico

Proteínas, Polissacáridos, Lípidos e

Ácidos nucleicos

Unidades constituintes

Tipo de ligação ocorrente entre monómeros

Noções elementares sobre o funcionamento da célula viva

Funcionamento esquemático da célula viva e breves considerações sobre a evolução da vida

Descritas as moléculas biológicas relevantes, discutir um esquema simplificado de funcionamento de uma célula viva. As matérias primas são obtidas da energia solar ou da energia do metabolismo (por exemplo, respiração ou fermentação). Todos os conceitos podem motivar

uma discussão alargada e integrada sobre a evolução da vida, i.e, o conceito do caminhar do simples para o complexo, e a possibilidades de usar compostos químicos simples como blocos construtores de estruturas mais complexas.

Tópicos:

matérias primas

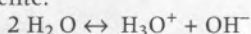
energia

manual de instruções (ADN).

APÊNDICES**APÊNDICE A****- A água como solvente**

Produto iónico da água - Conceito de pH

Em solução aquosa ocorre o equilíbrio de auto dissociação do solvente:



A constante de equilíbrio desta reacção é descrita como:

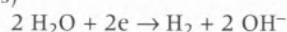
$$K = (\text{H}_3\text{O}^+) (\text{OH}^-) / (\text{H}_2\text{O}).$$

Esta constante designada por K_w - PRODUTO IÓNICO da água - tem um valor a 25°C de cerca de 10^{-14} . Logo, as concentrações de H_3O^+ e OH^- estão relacionadas. O conceito de $\text{pH} = -\log (\text{H}_3\text{O}^+)$ indica que $\text{pH} + \text{pOH} = 14$.

Comportamento redox da água

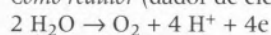
A água também pode tomar parte em reacções de oxidação-redução, quer actuando como redutor quer como oxidante.

Como oxidante (captando electrões)



Logo $E = E_0 + 0,059/2 \cdot \log [(\text{H}_3\text{O}^+) / (\text{H}_2)] = 0 - 0,06 \text{ pH (A)}$, a 25 °C e à pressão de 1 atm.

Como redutor (dador de electrões)



$$E = 1,23 - 0,06 \text{ pH (B)}$$

Ambas as reacções de oxidação-redução, definidas pelas equações A e B, são dependentes do valor de pH do meio. As espécies estáveis em solução aquosa devem ter valores de potencial de oxidação-redução compreendido entre estas duas linhas paralelas, que delimitam a zona de estabilidade do solvente.

APÊNDICE B**- Competição de metais para um ligando**

Os sistemas biológicos enfrentam o problema de selecção e captação de elementos metálicos a partir do meio exterior. Consideremos um

exemplo muito simplificado de dois metais M_1 e M_2 em competição para um mesmo ligando L (que representa aqui uma proteína ou um receptor, por exemplo).

As constantes de estabilidade são definidas para os equilíbrios:



Consideremos que o ligando não forma espécies protonadas (ou que as condições experimentais são tais que o valor de pH permite considerar estas espécies desprezáveis).

Se $K_{M_1L} > K_{M_2L}$ o metal M_1 é preferido pelo ligando L.

Do ponto de vista quantitativo, para que a ligação de um metal a um ligando seja efectiva $K > 10^7$.

Todo o ligando não utilizado pelo metal M_1 , designado por $[L]'$ pode ser balanceado pela equação simples:

$$[L]' = [L]_{\text{livre}} + [M_2L] =$$

$$= [L] (1 + K_{M_2L} [M_2]) = [L] \alpha_L$$

α_L é um termo correctivo que tem em conta que o ligando L participa numa reacção de competição com o metal M_2 .

Como em geral,

$$K_{M_2L} [L] \gg 1, \text{ logo } \alpha_L = K_{M_2L} [M_2],$$

$$K'_{M_1L} = [M_1L] / [M_1] [L]' =$$

$$= [M_1L] / [M_1] [L] K_{M_2L} [M_2L] =$$

$$= K_{M_1L} / (K_{M_2L} [M_2])$$

[L]' significa a concentração de L não ligada ao metal M₁.

$K'_{M_1L} > 10^7$, portanto $\Delta \log K + pM_2 > 10^7$.

K'_{M_1L} é a constante de estabilidade de M₁ com L, que reflecte o facto de existir um equilíbrio secundário com M₂. Se o metal interferente tiver uma concentração da ordem de 10⁻³ M, a captura de M₁ só é selectiva se as constantes de estabilidade de L com M₁ e M₂ diferirem de mais de 4 ordens de grandeza.

APÊNDICE C
- Classificação dos iões metálicos (Ahrland, Chatt and Davies)

A classificação dos metais e suas propriedades, nomeadamente a sua apetência para certos ligandos é em parte um reflexo da sua estrutura electrónica, contendo camadas preenchidas e semi-preenchidas. Em particular a existência de camadas semi-preenchidas confere aos metais uma capacidade de variabilidade de estado de oxidação.

Uma divisão possível dos metais em duas classes de iões aceitadores de ligandos [**classe a) e b)**] foi apresentada por aqueles autores. Esta classificação é baseada no facto de que estas duas classes têm diferentes afinidades para os ligandos em solução.

A classe a) forma complexos mais estáveis com azoto, oxigénio e flúor (Grupos V, VI e VII). A maior parte dos metais estão aqui incluídos. Exemplos são os metais alcalinos e alcalino-terrosos, zinco e alguns metais de transição (até ao Grupo VI).

Em solução aquosa, a ordem de estabilidade dos aceitadores de classe a) com halogéneos varia na ordem F >> Cl > Br > I de acordo com a electronegatividade dos ligandos.

Os aceitadores de classe b) formam espécies complexas mais estáveis com fósforo, enxofre, cloro e com os elementos mais pesados. Inclui cádmio, mercúrio e outros elementos pesados tais como tálio, chumbo e bismuto.

A ordem de afinidade anterior inverte-se: F << Cl < Br < I.

Assim a classe a) é definida por complexos em que a ligação forma-

da tem um carácter predominantemente electrostático. Os elementos da classe b) tem um carácter covalente. Camadas semi-preenchidas podem modular o tipo de coordenação entre a classe a) e b) dependendo do maior ou menor número de electrões. Um caso típico são os metais de transição. Assim um aumento de estado de oxidação (perda de electrões) pode mudar as características de classe b) em a).

AGRADECIMENTOS

Ao M. Palma e P. Tavares por contribuições várias.

* *Departamento de Química e Centro de Química Fina e Biotecnologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2925-114 Monte de Caparica, Portugal*
 Tel. 2948345, fax 2948550
 email jose.moura@dq.fct.unl.pt
<http://www.dq.fct.unl.pt>

NOTAS

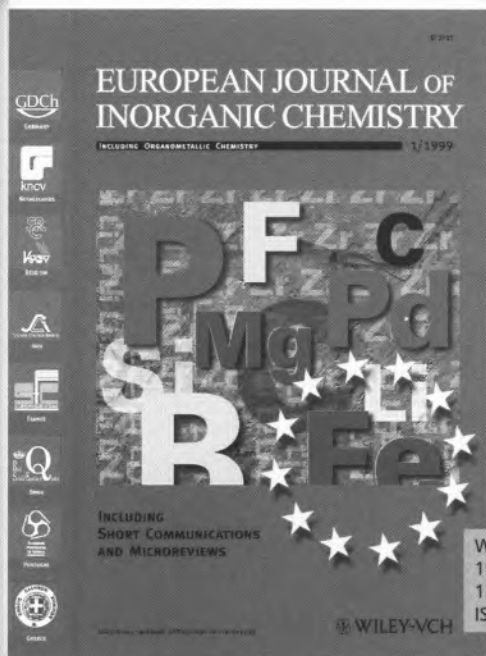
¹ A estabilização de um dado estado de oxidação de um metal por ligandos biológicos pode ser facilmente discutida com base em conceitos de Química Analítica: efeito de reacções de coordenação no potencial de oxidação-redução.

² J. J. G. Moura, Boletim da SPQ 63(1996), 35-42.

Tabela 13 - Divisão dos metais em duas classes de iões aceitadores de ligandos

metais			ligandos		
Classe a)					
H ⁺	Mn ²⁺	Cr ³⁺	H ₂ O	CO ₃ ²⁻	NH ₃
Na ⁺	Al ³⁺	Co ³⁺	OH ⁻	NO ₃ ⁻	RNH ₂
K ⁺	Ga ³⁺	Fe ³⁺	CH ₃ COO ⁻	ROH	N ₂ H ₄
Mg ²⁺	Ca ²⁺	Tl ³⁺	PO ₄ ³⁻	R ₂ O	RO ⁻
			ROPO ₃ ²⁻		Cl ⁻
classe a) e b)					
Fe ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	NO ₂ ⁻		piridina
Co ²⁺	Cu ²⁺		N ₂		
			SO ₃ ²⁻		
			Br ⁻		
			N ³⁻		
Classe b)					
Cu ⁺	Pt ²⁺	Pt ⁴⁺	R ₂ S		R ₃ P
Au ⁺	Tl ⁺	Hg ²⁺	RS ⁻		CN ⁻
Cd ²⁺	Pb ²⁺		RSH		RNC
			(RS) ₂ PO ₂ ⁻		CO
			SCN ⁻		R ⁻
			H ⁻		

UNITY IS STRENGTH:



WILEY-VCH
1999
12 issues per year
ISSN 1434-1948

European Journal of Inorganic Chemistry publishes full papers, microreviews, and short communications from the entire spectrum of inorganic and organometallic chemistry formerly contained in the journals on the right. The microreviews introduce you to a specific area of an author's research through a detailed overview of a selected topic.

Available online free

A Special Online Offer for 1999 Subscribers

Subscribe at the Full Rate and receive full text online access – Visit Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) for complete details

Grown out of these journals

European Journal of Inorganic Chemistry is owned and supported by the following Societies:

- Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging (Belgium)
- Société Royale de Chimie (Belgium)
- Société Française de Chimie (France)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker (Germany)
- Association of Greek Chemists (Greece)
- Società Chimica Italiana (Italy)
- Sociedade Portuguesa de Quimica (Portugal)
- Real Sociedad Española de Quimica (Spain)
- Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (The Netherlands)

Order Your Free Sample Copy now:

Just copy, fill in and fax to:
+49/(0) 6201/606-172

- Please send me a free sample copy and price information
- And the personal subscription rates for members of the owner societies. I am a member of:

Title/Name:

Company/Firm:

Address:

Post/ZIP Code:

Country:

 **WILEY-VCH**

Encontrar Significado para os Conteúdos Programáticos: Contribuição da História da Actividade Mineira†

J. A. ALBUQUERQUE SANTOS*

1. INTRODUÇÃO

Recentes investigações em Educação têm vindo a demonstrar que, o ensino e a aprendizagem, podem tornar-se mais aliciantes e eficazes se, nos currículos científicos, se introduzirem temas e contextos relacionados com a História e a Filosofia da Ciência (Monk e Osborne, 1997).

Esta perspectiva não constitui, como se possa pensar, mais um *modernismo*. Já no início do segundo quartel do séc. XX era recomendada e utilizada por alguns professores (Haywood, 1927, citado por Monk e Osborne, 1997).

No entanto, a utilização do desenvolvimento histórico das ideias científicas e a história da ciência e da tecnologia, não têm tido uma implementação apreciável, na prática lectiva, por parte dos professores de ciências, apesar de alguns autores de manuais escolares começarem a apresentar breves referências históricas.

Neste artigo, que teve como base a dissertação de mestrado em Ensino de Física e Química, subordinada ao tema "Actividade Mineira no Distrito de Viseu: História, Impacto Ambiental e Aplicações Didácticas," procura divulgar-se, de forma resumida, o trabalho realizado. Referem-se também os resultados obtidos com uma estratégia aplicada na Disciplina de Ciências do Ambiente (12º Ano, Curso Tecnológico de Química, Escola Secundária Alves Martins, Viseu).

2. DE PONTO DE PARTIDA...

...parece não existirem dúvidas de que algumas das dificuldades que os alunos demonstram na aprendizagem das ciências, estão relacionadas com o facto de não encontrarem significado para os conteúdos teóricos ministrados nas aulas.

Especialistas e pedagogos têm tentado obviar esta situação, com várias contribuições decorrentes de trabalhos de investigação. A investigação em educação não é fácil e envolve, por vezes, inquéritos e entrevistas, em amostras necessariamente limitadas e, cujo preenchimento/resposta, pode não traduzir, por razões conhecidas, o verdadeiro sentimento dos inquiridos/entrevista-

dos. Estes riscos podem, eventualmente, reforçar negativamente, a incerteza paradigmática que enforma a questão educacional.

...e por outro lado, a divulgação e aceitação perante e pelos professores do Ensino Secundário dos estudos efectuados é diminuta, não só pela dificuldade de acesso a livros e revistas onde são publicados, ausentes das bibliotecas escolares, pela língua estrangeira normalmente usada, também pela sobrecarga de horas lectivas e até administrativas a que se encontram sujeitos.

...aceitar para tema de dissertação Actividade Mineira (as minas encontram-se, praticamente, todas abandonadas), a sua História, o Impacto Ambiental que acometem, foi um desafio, cujo resultado era, naturalmente, imprevisível.

Alguns reflexões sobre as questões, levou à conclusão que existiam alguns problemas que deveriam merecer atenção, nomeadamente:

- Que riqueza mineralógica possui (possuiu) o distrito de Viseu? E o País, por extrapolação?

- Que razões levaram ao abandono das minas?

- Que sucedeu aos ex-mineiros, às suas famílias e às suas aldeias?

- O abandono das minas criou problemas de impacto ambiental? Como minorizar os efeitos negativos desse impacto?

- Que valor (verdade) têm as histórias e anedotas sobre volframistas?

- De que forma se podem articular todas estas questões com o Ensino de Física e de Química?

3. PASSOU-SE PELA...

...investigação dos factos históricos baseada, naturalmente, numa pesquisa aprofundada de variada bibliografia existente quer em bibliotecas, quer nos arquivos das câmaras municipais, quer ainda nos departamentos de minas das Direcções Regionais de Economia. Seguiram-se numerosas visitas aos locais de lavra, onde houve oportunidade de observar grandes perigos de impacto ambiental resultantes do abandono das

minas, de obtenção de fotografias elucidativas, de registar palavras de angústia e de saudade de ex-mineiros, das suas famílias, recortadas de episódios, alguns bem pitorescos.

...revisão e aquisição de uma enorme gama de conhecimentos, particularmente dos campos da Mineralogia e da Geologia, formando-se uma consciência mais esclarecida sobre as ciência e tecnologia mineiras, exemplos concretos de uma evolução permanente.

...recolha do essencial da legislação mineira, iniciada, verdadeiramente, no reinado de D. Duarte, expandida e actualizada com a Lei de Minas de Dª Maria II, em 1852, melhorada com a lei de minas do Estado Novo, em Agosto de 1930 e, no dizer de alguns, aniquilada com a legislação de Março de 1990, por imperativos comunitários.

...associação a este trabalho de uma turma de alunos do 12ºAno, do Curso Tecnológico de Química, da Escola Secundária Alves Martins, o que obrigou a uma identificação dos conteúdos programáticos das várias disciplinas científicas, que melhor poderiam ser articulados com as tecnologias mineiras.

Muito embora se reconhecesse que quer a Física, quer a Química, em qualquer dos anos do Ensino Secundário, muitos conteúdos e conceitos poderiam associar-se a actividade mineira, optou-se, por razões estratégicas e logísticas, "usar" a disciplina de Ciências do Ambiente (12º ano, Curso tecnológico de Química).

A planificação e realização de uma visita de estudo, com os alunos, às minas de estanho e volfrâmio de Bejanca-Carvalho (Queirã, Vouzela) e Rebenção (Queiriga, Vila Nova de Paiva), à mina de arsenopirite, galena e prata de Várzea de Trevões (Várzea de Trevões, S. João da Pesqueira) e à mina de ouro de Santo António (Granja, Penedono), constituiu estímulo suficiente para motivar os alunos.

A recolha de inúmeras rochas envolventes das mineralizações, amostras de águas de minas, de fotografias, de testemunhos gravados e vídeo-gravados da paisagem e das pessoas e a observação no local, de problemas de impacto ambiental negativo, serviram de base a um trabalho laboratorial posterior e à

discussão em grupo. Houve uma tomada de consciência generalizada no que respeita a conhecimentos básicos de Mineralogia e Geologia, que tiveram de ser pesquisados em bibliografia apropriada. Desvaneceram-se alguns "medos", observando-se, claramente uma mudança conceptual, ao mesmo tempo que se propunham hipóteses de soluções para alguns problemas, até de carácter social.

Os trabalhos desenvolvidos culminaram com a organização de uma exposição do material recolhido, na Escola, que foi visitada por alunos, pais, professores e outras entidades, lançando-se a ideia de criar um espaço-museu interativo.

4. E CHEGOU-SE A...

...concluir que esta experiência permitiu reconhecer que o campo da actividade mineira e das suas múltiplas implicações (na História, na Química, na Física, na Economia, na Geografia, no Direito, na Medicina, etc.) é uma óptima área de base para envolver conceitos e técnicas referidos em quase todas as disciplinas do Ensino Secundário, numa perspectiva socializante e de formação integral dos alunos.

Ainda que os problemas de impacto ambiental fossem os que mais facilmente se manifestaram, existem inúmeros exemplos que poderiam (e deveriam) ser utilizados, por professores e alunos, na sua *praxis*. Salientam-se alguns, na impossibilidade de se enumerarem todos:

- Operações unitárias: britagem, moagem, peneiração, filtração, decantação, flutuação, separação magnética.

- Reacções químicas: ácido-base, precipitação, oxidação-redução, complexação, permuta iónica.

- Transportes: utilização de guinchos, elevadores e vagonetas, transporte diferencial gravítico.

- Energia eléctrica: geradores e motores eléctricos, transformadores, pilhas, lâmpadas.

- Processos de lixiviação natural e artificial.

- Importância histórica da exploração de metais (estanho, volfrâmio, ouro, urânio e rádio) no contexto regional, nacional e mundial.

...estranhar que, sendo a activida-

de mineira tão rica nas suas ligações e implicações interdisciplinares, o ensino da Mineralogia e da Geologia sejam tão esquecidos nos planos curriculares do Ensino Secundário. Os próprios alunos, reconhecendo a sua ignorância (muitos não distinguem um granito de um calcário), à medida que foram descobrindo a beleza das rochas, as suas designações, os seus modos de génese, a sua composição mineralógica e química, compreenderam as suas potencialidades como matéria-prima, em campos variados, das rochas ornamentais ao berloque de ouro, do pedreiro ao ourives.

...ficar com a convicção de que os alunos são capazes de aprender e de construir o seu próprio conhecimento, desde que as actividades, funções e responsabilidades que lhes são cometidas, o sejam com um sentido, com uma significação. Foi uma conclusão fácil de tirar a partir da comparação entre as respostas dadas nos primeiros testes de avaliação do ano com as dadas nos últimos, particularmente em questões de linguagem e de exemplificação. Não se sabe se os alunos da turma I, do 12º ano, do Curso Tecnológico de Química,

da Escola Alves Martins, 1997/98, são melhores que os anteriores, mas serão de certeza, diferentes.

...pensar que ser professor, pode acontecer de maneiras diferentes, fugindo à rotina. Arreigou-se a ideia de que vale a pena, apesar do enorme esforço que exige, sair da escola e fazer, mais e mais, coisas diferentes.

† Dissertação apresentada no âmbito do Mestrado em Ensino da Física e Química, na Universidade de Aveiro, em 1977, sob a orientação de M. Clara Magalhães.

* *Escola Secundária Alves Martins, 3500 Viseu*
Requisitado na *Esc. Sup. Educ. de Viseu* – asantos@esev.ipv.pt

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Haywood, H. (1927). Fundamental laws of chemistry. *School Science Review*, 9, 92.

Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81, 405-424.



Equipamento de Laboratório

Balanças - Centrifugas - Aparelhos de pH - Tituladores
Condutoímetros - Agitadores - Espectrofotómetros
Microscópios - etc.

Vidros e Plásticos de Laboratório

Distribuidores NORMAX

Material Didáctico

Ensino Secundário e Superior
Representantes exclusivos SISTEDUC - Sistemas Educativos S.A.

Rua Soeiro Pereira Gomes, 15 r/c Frente
Bom Sucesso - 2615 Alverca

Telefs. (01) 957 04 20/1/2 - Fax (351-1-957 04 23) - Portugal

Aveiro, dias 30 de Setembro
DEDQ e 1 de Outubro
Pré-inscrição
(Enviar até **15 de Fevereiro de 1999**)
* **NÚMERO MÁXIMO DE PARTICIPANTES - 250** *

I ENCONTRO DA DIVISÃO DE ENSINO E DIVULGAÇÃO DE QUÍMICA

Comissão Organizadora

Isabel P. Martins (UA - DDEE)
Célia Lopes (Esc. Sec. Galinha da Nazaré)
Clara Magalhães (UA - DQ)
João Rocha (UA - DQ)
José Alberto Costa (UA - DQ)
José Manuel Lopes (Esc. Sec. J. M. Lima - Esqueira)
M. Arminda Pedrosa (FEUC - DQ)
M. Helena Dias (IDC - ESE)
M. Helena Pedrosa de Jesus (UA - DDEE)
Piedade Santos (Esc. Sec. Galinha da Nazaré)

Comissão Científica

António Cachapuz (UA - DDEE)
Duarte Costa Pereira (FEUP - DQ)
Filomena Camões (FEUC - DQ)
Isabel P. Martins (UA - DDEE)
J. J. Teixeira Dias (UA - DQ)
M. Arminda Pedrosa (FEUC - DQ)
M. Elisa Maia (FEUC - DQ)
Vitor M. S. Gil (FEUC - DQ)

Nome _____

Instituição _____

Morada _____

Localidade _____

Código Postal _____

Telefone _____

E-mail _____

Fax _____

Tenciono apresentar comunicação:

Oral

Na área _____

Poster

Na área _____

Workshop

Na área _____

I ENCONTRO

DA
DIVISÃO DE ENSINO
E DIVULGAÇÃO DE QUÍ.

SOCIEDADE PORTUGUESA
DE QUÍMICA

➔ OBJECTIVOS

O I ENCONTRO da
Divisão de Ensino e Divulgação de Química
da **Sociedade Portuguesa de Química**,
cujo tema é "**O Trabalho Experimental no Ensino
e na Aprendizagem de Química**", pretende ser um
espaço de reflexão e debate para professores de
Química dos Ensinos Básico, Secundário e Superior.

➔ PROGRAMA CIENTÍFICO

Comunicações plenárias
Comunicações orais
Apresentação de Posters
Workshops
Debate
Exposição de material

➔ ÁREAS TEMÁTICAS

- O laboratório vivo
- Experimentar em segurança
- A cultura de experimentar
- o gosto em experimentar
- O desenvolvimento conceptual
- O estado das coisas em Portugal

➔ INSCRIÇÃO (após recepção da 2ª circular)

* Até **30 de Junho de 1999** *

Sócios da SPQ - **4 000\$00**

Não sócios - **6 000\$00**

Acréscimo de **50%** a partir de **30 de Junho.1999**

➔ COMUNICAÇÕES

Os resumos das comunicações devem ser
enviados até **30 de Abril de 1999**, no formato
habitual, não excedendo duas páginas.

O primeiro autor de cada comunicação aceite,
para apresentação ou poster, será contactado
até **15 de Junho de 1999**.

➔ INFORMAÇÕES DE ÂMBITO GERAL

O número de participantes está limitado a **250**.

Os interessados em participar no Encontro
deverão realizar a sua pré-inscrição, enviando o
destacável até **15 de Fevereiro de 1999**.

➔ PROGRAMA SOCIAL E CULTURAL

Informações detalhadas sobre este programa
serão incluídas na 2ª circular.

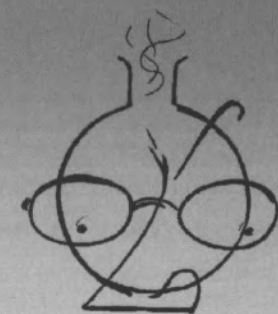
➔ CORRESPONDÊNCIA

I ENCONTRO DEDQ
Profª Dra. **Isabel P. Martins**
UNIVERSIDADE DE AVEIRO
Dep. de Didáctica e Tecnologia Educativa
3810 AVEIRO

Telef. (351+34) 370352

Fax. (351+34) 370219

e-mail: uidtff@de.ua.pt



DIVISÃO DE ENSINO
E DIVULGAÇÃO
DE QUÍMICA

I ENCONTRO
*** 1999 ***

A "ideologia ensinista" e os exames do 12º ano

VICTOR M.M. LOBO *

Critica-se o enunciado de um exame de Química do 12º ano, bem como a mentalidade que tem vindo a ser inculcada no ensino secundário.

Um recente livro de M. Filomena Mónica [1] analisa exames da área das humanidades (português, francês e história) do ensino secundário e convida alguém das ciências a fazer algo de similar. Aqui estou a tentar responder a esse convite, por achar que é um imperativo nacional denunciar a péssima situação em que se encontra o ensino em Portugal. Estou inteiramente de acordo com os pontos de vista daquela autora, e louvo a sua coragem em denunciar esta lastimável situação.

Sem a magnífica qualidade da sua prosa, que revela um extraordinário domínio da nossa querida língua (que, infelizmente, não tenho), também por aí tenho andado a tentar mostrar que, no nosso ensino, o "Rei vai nu", através de artigos na imprensa diária (que aliás F. Mónica cita), palestras e intervenções no Conselho Nacional de Educação onde represento as sociedades científicas na sequência de ter sido eleito Presidente da Sociedade Portuguesa de Electroquímica. E procuro apresentar alternativas concretas.

Na década dos 70 uns tantos "ideólogos" começaram a impor uma linha de pensamento tão "contra-natura" como o era a de certas correntes políticas em voga nessa altura. Criaram muitas vacas sagradas e, tal como os ideólogos dessas áreas políticas criaram pejorativos conceitos, eles deram similar sentido pejorativo ao conceito de "ensino expositivo", para se referirem à natural prática de ensino que já vinha de antes de Aristóteles! Não, agora era obrigatório que fosse o "ensino participativo".

Tenho assistido a aulas no ensino secundário que são uma algazarra do princípio ao fim, com todos os alunos a falar e o professor a procurar que ainda falem mais. Quando tal crítico, dizendo que assim nin-

guém aprende nada, logo me é lida a cartilha do "ensino participativo" [2], procurando mostrar-me quão retrógrado sou querendo que... o professor ensine e os alunos aprendam, em vez daquele espectáculo de cariz lúdico, só porque aí os alunos aprendem a ser desinibidos (lá isso aprendem!), criativos (na asneira, talvez), etc., etc. E quando eu critiquei o facto de assim, na disciplina de Ciências Físico-Químicas a cujas aulas eu tinha de assistir por responsabilidades universitárias, não só não darem nada de Física [3], como nem sequer cumprirem na íntegra o programa de Química, logo me foi respondido que não interessava quanto se dava: interessava só que se desse *bem* (leia-se, ter os alunos numa grande "participação" todo o ano). Daí chegarem alunos às licenciaturas em engenharia que nunca tiveram física ou, similarmemente, que nunca tiveram química [4]!

E há muitas outras vacas sagradas da actual "ideologia ensinista" [5]: não pode haver "chamadas" (que eram magníficos exercícios de exposição responsável de conhecimentos), os pontos têm de ser avaliados por critérios tão artificiais como o tal "ensino participativo", etc.

É essa "ideologia ensinista" uma das causas responsáveis pelo desastre em que está o nosso ensino. Não são os agentes de ensino que, sobretudo a nível secundário, tanto se esforçam. Assim, as minhas críticas não vão para os professores: vão para o sistema que os obriga a trabalhar de molde totalmente artificial. As críticas que a seguir faço a um ponto do 12º ano não são, de modo nenhum, para os autores do enunciado. São para o sistema que os empurra para aquelas atitudes [6].

Como mero exemplo das nefastas consequências do artificialismo que tem sido imposto ao nosso sistema de ensino, citaria a pergunta nº 8 do ponto nº 242, 1ª fase, 1ª chamada, de Química de 1996.

8. Um bloco de crómio metálico ligado a uma peça de ferro dificultará a oxidação do ferro? Justifique.

Na página 1 desse ponto, sob o título "Dados que poderão ser necessários", dizia-se:

Potenciais normais de redução, a 25 °C:

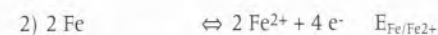
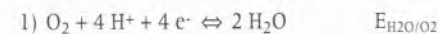
$$E^\circ(\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}) = -0,74 \text{ V}$$

$$E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$$

Na página 242/C/3, diz-se:

8. Resposta "sim" ou "não" 1 ponto
 Comparação dos valores de E° 4 pontos
 Conclusão 5 pontos
Resposta completa 10 pontos

Correctamente dever-se-ia dizer "Potenciais padrão de eléctrodo" [7], mas isso não tem importância. O que se verificaria experimentalmente neste caso seria uma forte oxidação (ou seja, corrosão) do ferro. Aliás, já o meu avô, que não tinha sequer a 3ª classe da instrução primária mas era um observador atento deste mundo, sabia bem isso: se o para-choques (então de ferro revestido com crómio) de um automóvel ficava com ferro exposto por remoção localizada do revestimento de crómio, logo ele dizia que ou o cromavam rapidamente, ou iria todo correr. A interpretação científica para tal pode ser dada dizendo-se que a superfície do ferro fica anódica relativamente à do crómio (cátodo) numa pilha electroquímica, justificada pelas reacções de redução do oxigénio (O_2) dissolvido na água (H_2O) — humidade sempre existente à superfície de qualquer objecto — e pela oxidação do ferro (Fe), originando óxidos ou hidróxidos de ferro (simbolicamente, e.g. Fe^{2+}). Tal pode, simbolicamente, representar-se por



Uma vez que, em condições normais, $\Delta G = -n E F$ (onde F é o Faraday, n o número de electrões envolvidos, e $E = E_{\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2} - E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}}$ é

negativo, ou seja, a fem da pilha é positiva, a reacção dá-se espontaneamente). A um nível elementar poder-se-ia dizer aos alunos que a interpretação de tal acontecer espontaneamente assenta em ser o potencial de eléctrodo da reacção que simboliza a redução, 1), algebricamente maior que o da reacção de oxidação, 2).

O problema desta pergunta neste exame prende-se com o facto de os alunos não estarem habilitados a responder correctamente. Mas muito pior que isso: pelo que lhes foi ensinado, eles responderiam ao contrário, isto é, diriam que neste caso seria o crómio ($E^{\circ} = -0,74 \text{ V}$) que se oxidava, evitando assim a oxidação do ferro ($E^{\circ} = -0,44 \text{ V}$). A tal seriam levados pelo facto de o enunciado indicar que $E^{\circ}(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) > E^{\circ}(\text{Cr}^{3+}/\text{Cr})$. É que o crómio em condições atmosféricas normais fica passivado, isto é, tem um comportamento de metal nobre (e por isso é tão usado para cromados). Assim, tudo se passa como se tivesse um potencial de eléctrodo mais alto (isto é, "mais nobre" ou "mais catódico") que o ferro. Tal não é ensinado no ensino secundário, o que poderá estar muito bem.

O mal está no facto da "ideologia do ensinismo" empurrar os agentes de ensino e, neste caso os autores do enunciado, a aplicarem genericamente preceitos que só têm validade nalgumas situações. É o que se passa em muitas outras áreas, nomeadamente com as instruções para avaliação de provas. Se os autores do enunciado fossem encorajados a ter, e a transmitir aos alunos, uma atitude realista perante o ensino, talvez tivessem pensado duas vezes sobre se tal questão era apropriada para pôr no teste. Poder-se-ia dizer que os autores do enunciado é que deveriam saber um pouco mais do que é ensinado no ensino secundário, de molde a terem evitado um fraseamento daquele teor. Contudo, a atmosfera que lhes é criada no ensino secundário não é de modo nenhum convidativa a que cultivem o saber que ensinam. São sobrecarregados com

todo o tipo de burocracias ridículas, têm de aturar agressões físicas dos alunos (e até dos pais), não lhes é dada qualquer autoridade para pôr ordem na sala de aula, são levados a fazer cursos ridículos só para terem "créditos" para subir de escalo (um professor de matemática até brinca com o facto de ir fazer um curso de botânica só para ter créditos!), são ultrapassados na sua carreira por recém graduados com notas altíssimas, mas sem os conhecimentos dos antigos licenciados, etc., etc. Então assim é razoável que se lhes peça que escrevam enunciados realistas?

Além de ser muito condenável uma pergunta que leve os alunos a responderem de modo errado, ela tem ainda a gravidade de colocar alunos, eventualmente mais atentos ao mundo em que vivem, confrontados com um terrível dilema: por um lado, saberem das propriedades do crómio (há por aí tantos objectos cromados!) e, por outro lado, recearem que uma resposta contrária aos ensinamentos do programa possa ser desclassificada!

Além do dilema dos alunos, há também o dilema dos avaliadores das provas. Como classificar um aluno que respondeu erroneamente, mas segundo a ortodoxia ensinada?

Mais grave ainda é que as indicações dadas sobre a pontuação são confusas, mas parece que levariam um avaliador a seguir a tal ortodoxia ensinada. E se nem os autores das provas têm os conhecimentos desejáveis sobre esta matéria, receio bem que muitos avaliadores também não estejam habilitados a ver que respostas certas de alunos estavam realmente certas (também não por sua culpa, pelas mesmas razões).

E se pensarmos que o resultado numérico da avaliação destes exames dita o futuro do jovem para sempre, não podemos deixar de sentir uma terrível revolta por este estado de coisas. Sentiu-a, e muito, o meu filho!

Referi-me só a uma das questões do ponto de exame. Infelizmen-

te, o resto do ponto é quase todo da mesma infelicidade

*Departamento de Química,
Universidade de Coimbra;
3049 Coimbra.
E-MAIL <fcqmvmmml@gemini.ci.uc.pt>
ou <vllobo@ci.uc.pt>

REFERÊNCIAS

1. M. Filomena Monica, *Os Filhos de Rousseau, Ensaios sobre os Exames*, Relógio d'Água Editores, Lisboa, 1997.
2. É evidente que todo o professor deve tomar o seu ensino o mais participativo possível, da mesma maneira que ninguém deve fazer a exploração do homem pelo homem. Mas do mesmo modo que a proibição desta última tem, para certas pessoas, complicadas regras anti-natura, também os "ideólogos do ensinismo" criaram absurdas regras para o tal "ensino participativo".
3. Numa comissão técnica sobre corrosão do Instituto Português da Qualidade, IPQ (ligado ao Ministério da Indústria), a que pertenço, há uma jovem engenheira química que nunca teve quaisquer aulas de física no ensino básico e secundário!
4. As sessões de "venda da banha da cobra" que os "ideólogos do ensinismo" fazem têm sido chamadas "Acções de Formação". Uma das vítimas dessas "lavagens ao cérebro" dizia-me: apareciam uns senhores, com uma áurea de grande sabedoria sobre educação, a dizer coisas estranhas e, claro, na nossa boa fé até acreditávamos que, com aqueles métodos, o ensino iria ficar melhor!
5. Estes problemas de ensino não têm nada que ver com a esquerda ou direita da política nacional. Aliás todos os governos têm graves responsabilidades, nomeadamente o anterior ao actual.
6. E é contra esta mentalidade de artificializar o ensino com regras contra-natura que eu me insurjo. Os autores dos pontos de exame que eu critico limitaram-se a seguir esse artificialismo que oficialmente lhes impõem. Não são eles os verdadeiros culpados, do mesmo modo que o acidente de Chernobyl foi, sobretudo, culpa do sistema, não tanto dos técnicos que puseram o reactor a trabalhar em condições subcríticas.
7. I. Mills et al., *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, IUPAC, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1993; R.W. Ramette, *Outmoded terminology: the normal hydrogen electrode*, J. Chem. Educ. 64, 885 (1987).
8. Só na área de Coimbra houve, em 1996, cerca de 20 agressões físicas de alunos a professores.

Quo vadis Ensino em Portugal

FERNANDO PINA *

Quando se conversa com Professores de Química (e não só) das nossas Universidades, é comum sentir o desabafo de muitos deles, que se queixam de ao longo dos anos serem obrigados a baixar o grau de dificuldade dos seus exames. Não sei se este é um estado geral, porque não conheço nenhum estudo científico sobre esta matéria, mas creio bem que é um fenómeno bastante generalizado. Tal pode ser explicado pela massificação do ensino que não foi acompanhada do investimento necessário para manter a qualidade, ou digamos muito sinceramente, poderá também ser um factor intrínseco do sistema de ampliação do ensino. Com efeito, enquanto um *numerus clausus* se aumenta de hoje para amanhã, os laboratórios e os Professores não se fazem com essa facilidade. Pelo que existe inevitavelmente um factor de arrasto no processo de massificação. A menos que tudo fosse programado com tempo e horas. Ora sou de opinião que a massificação do ensino resultou mais de uma justa pressão das classes sociais com menores rendimentos (a sua vontade de ver os filhos estudar) do que propriamente de uma estratégia governativa. Esta pressão já se vinha esboçando nos finais do Salazarismo e principalmente durante o Marcelismo e teve a sua explosão nos anos que se seguiram à Revolução de Abril. Os sucessivos Governos mais não fizeram do que gerir a crise, em larga medida autorizando a criação do ensino privado. Quanto a planeamento não nos parece que se possa dizer muito mais... Com estas palavras não se pretende fazer juízos de valor, até porque não somos especialistas em estratégias de ensino e haverá mil argumentos contra e a favor para alimentar discussões intermináveis de Políticos e afins. A questão que nos move é simplesmente esta: o ensino e a responsabilidade dos Professores enquanto seus agentes. Porque é simples atribuir a culpa a quem quer que seja, e nada melhor (e mais saboroso!) do que aos Governos e aos Políticos. Mais difícil será procurar soluções, mesmo em ambientes adversos. Por outras palavras, a situação actual é esta. Podemos não a ter escolhido, votado contra ela toda a vida, procurado intervir socialmente para a sua derrota, mas... ou desistimos da Profissão, e porque não do País, ou então é esta a realidade do dia a dia do

nosso trabalho. Cada vez os alunos sabem menos. Poderão dizer que estamos a exagerar, que não é bem assim. De acordo, talvez estejamos a ser pessimistas. No entanto raramente ouvimos dizer que os alunos são cada vez melhores e mais interessados. E era isso mesmo que deveria estar a acontecer. E tudo indica que não está!

Todo este arazoado serve para introduzir um problema que desde há muito tempo nos preocupa. Sendo Professor de cadeiras com poucos alunos, e de cadeiras com muitos alunos, verificamos que existe nos dois casos uma diferença fundamental nas nossas condições de trabalho. Com 150 alunos numa cadeira de Teoria da Ligação Química como poderemos transmitir as ideias de uma forma pessoal e interviniente? Não é que não nos agrada ter uma multidão que nos escute, todos nós Professores temos um pouco de actores. Não é que não nos esforcemos violentamente, ficando mais cansados do que se corrêsemos durante os 50 minutos da aula. Não é que, digamos com algum optimismo, não deixemos de conseguir transmitir, pelo menos a alguns, o entusiasmo por aquela que é para nós a mais bela de todas... a Química. Mas isto faria melhor do que nós um bom actor de Teatro que estudasse o seu papel a rigor. Aquilo que é preciso numa aula é a interacção entre o Professor e os alunos, as perguntas, as explicações que não estavam previstas, recriar as coisas consoante o auditório. Já viram o que seria de nós se cada um dos 150 alunos quisesse fazer pelo menos uma pergunta...

Este caminho de massificação e aumento sucessivo do número de vagas vai destruindo a capacidade criativa dos docentes e dos discentes. Aos docentes resta a investigação científica. E aos discentes aprender fora da Universidade aquilo que deveriam adquirir lá dentro. Mas fora... onde?

Gostaria ainda de introduzir um outro tema de discussão. Os alunos obtendo num exame dez valores num máximo de vinte estão passados. Para esse efeito basta responder a metade das perguntas que se lhes fazem. E na maioria dos casos às mais fáceis. Em consequência desta norma, é suficiente saber metade daquilo que se ensina (e ainda por cima a parte mais simples da matéria). Por isso um Médico formado com 10 valores deveria saber curar somente

metade das doenças e um com 15 saberia em média (somente) para três quartos delas. Esta observação é um pouco falaciosa mas contém algo de verdadeiro. Não é que somente metade daquilo que se ensina tem importância e o resto não deveria lá constar? Claro que o ensino é ministrado em aproximações sucessivas, que o aluno vai maturando ao longo das diversas matérias e tudo o mais. No entanto existem assuntos básicos cujo conhecimento lhes deveria ser obrigatório. E não existe nenhum meio legal de impedir que um aluno complete uma licenciatura sem esse conhecimento. Se um estudante por qualquer razão tivesse feito a promessa de nunca aprender a resolver equações do segundo grau, nem mesmo na máquina de calcular, (e promessas são promessas!), aposto que seria capaz de completar a sua licenciatura.

Uma solução para minorar este estado de coisas seria a introdução obrigatória das provas orais. O assunto não é pacífico porque uma oral contém sempre elementos de subjectividade na avaliação. E além disso existe um outro problema. Cento e cinquenta alunos e pelo menos meia hora de interrogatório oral são setenta e cinco horas. Se dedicarmos sete horas de trabalho a essa tarefa são cerca de onze dias. Duas semanas a tempo inteiro para pelo menos dois docentes. Na prática este período poderia ser um pouco reduzido partindo da premissa de que muitos alunos "chumbam" na prova escrita ou que se pode reduzir a oral a 20 minutos ou mesmo a quinze minutos... aliás sempre na mesma lógica de fazer reduzir os ovos da omelete. Ah! já me esquecia... quase certo que para o ano (ou para o próximo) o número de vagas ainda vai aumentar mais... e lá se vão por água abaixo os nossos esforços de retirar ovos à omelete. Para quem tem de preparar e dar as aulas, fazer exames escritos e corrigi-los, orientar os doutoramentos, fazer investigação e publicar os resultados dessa investigação, deslocar-se com frequência ao estrangeiro em trabalho científico, ou em tarefas de gestão, tratar da monstruosa burocracia universitária... meus amigos creio que nem mesmo o(a) Super-Homem (Mulher).

* Departamento de Química,
Centro de Química Fina e Biotecnologia
Universidade Nova de Lisboa



EQUIPAMENTOS DE VÁCUO

Bombas de Pistão
Bombas de Membrana
Bombas Rotativas de Palhetas
Bombas Difusoras
Bombas Turbomoleculares
Bombas Roots
Bombas Criogénicas
Módulos Químicos com Bomba de Membrana
Módulos de Alto Vácuo Isentos de Óleo
Medidores/Controladores de Vácuo e Pressão de bancada e portáteis: Piezoelétricos; Pirani; Penning; Capacitivos
Sistemas de Deposição de Filmes Finos
Acessórios; Óleos e "Greases"
Acessórios em Vidro



STV - Equipamentos para a Indústria e Laboratórios, Lda

Representante Exclusivo em Portugal

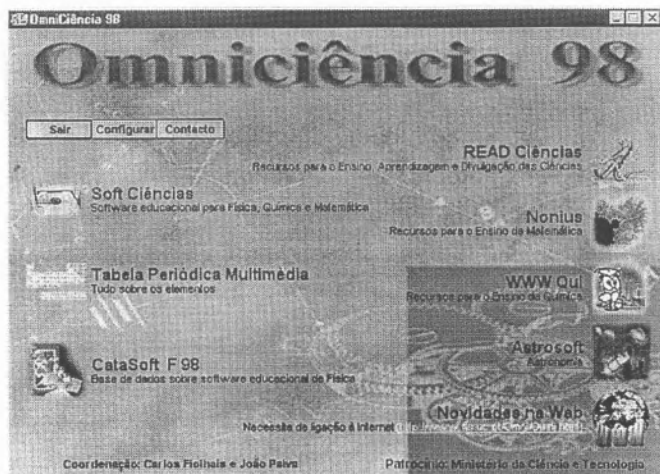
Contacte-nos pelo Tel. 01-956 30 07 Fax 956 29 97 E-mail: stv@mail.telepac.pt

Visite-nos: Casal da Serra, lote 103 – loja Esq.

2625 Póvoa Sta Iria



PROGRAMAS DE COMPUTADOR PARA O ENSINO DAS CIÊNCIAS



Alguns programas estão ainda disponíveis em disquete com o respectivo manual:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 6. FQ - FOLHA DE CÁLCULO
Programas em "Excel" 8. FRACTAIS
Um mundo de imagens matemáticas 9. ELECTRÃO
Meça a carga do electrão 11. TABELA PERIÓDICA
Tudo sobre elementos 13. JOGO DAS COISAS
Jogos de fazer pensar (multidisciplinar) 14. EUROCHEM
Elementos químicos na Europa | <ul style="list-style-type: none"> 15. ZERO 2.0
Concepção e correcção de testes (multidisciplinar) 16. TESTA FQ 8/9
800 perguntas de Físico-Químicas (8º e 9º anos) para testes 17. ÂNGULOS
Trigonometria no computador 18. RLC
Circuitos de corrente alternada 19. Testa FQ 10/11
600 perguntas de Físico-Químicas (10º e 11º anos) 20. TESTA Q 12
450 perguntas de Químicas (12º ano) |
|--|---|

Próximos lançamentos:

TESTA F 12;
 ROTSOFT (Roteiros para software educativo)
 TABELA PERIÓDICA 3.0 (edição Português - Inglês)

Novidades:

- 21. LECHAT 2.1
- 22. JOGO DAS COISAS 2.0

Para solicitar o CD-ROM ou algum destes programas preencha o destacável e envie para:
 Sociedade Portuguesa de Física, Softciências, Departamento de Física, Universidade de Coimbra, 3000 COIMBRA

Colocar uma cruz nos programas pretendidos

Nome do Programa	Preço	Preço*
<input type="radio"/> OMNICIÊNCIA 98	3500	3000
<input type="radio"/> OMNICIÊNCIA 97	1500	1000
<input type="radio"/> 6. FQ - Folha de cálculo	1500	1000
<input type="radio"/> 8. Fractais	1500	1000
<input type="radio"/> 9. Milikan	1500	1000
<input type="radio"/> 11. Tabela Periódica	1500	1000
<input type="radio"/> 13. Jogo das coisas	1500	1000

Nome do Programa	Preço	Preço*
<input type="radio"/> 14. Eurochem	1500	1000
<input type="radio"/> 15. Zero 2.0	1500	1000
<input type="radio"/> 16. Testa FQ / 8-9**	2000	1500
<input type="radio"/> 17. Ângulos	1500	1000
<input type="radio"/> 18. RLC	1500	1000
<input type="radio"/> 19. Testa FQ / 10-11 **	2000	1500
<input type="radio"/> 20. Testa Q 12**	2000	1500
<input type="radio"/> 21. LeChat 2.1	1500	1000
<input type="radio"/> 22. Jogo das Coisas 2.0	1500	1000

* Sócios SPF, SPQ e SPM.

** Inclui testes que podem ser policopiados.

Junto envio cheque / vale de correio / requisição n° _____, relativo ao pagamento de _____ programas e _____ CD-ROM, conforme o quadro.

Remeter para SOFTCIÊNCIAS, SPF, Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra.

A Química e a Geração de 70

“A Química é uma ciência moderna”. Esta afirmação era frequentemente feita, sem correr perigo de contestação, nos fins do século XIX. Com efeito, Lavoisier tinha sido guilhotinado, com 51 anos, cerca de um século antes, mais precisamente, em 1794.

Foi esta ideia que nos levou à curiosidade de procurar saber como a chamada “Geração de 70” encarou a nova ciência, uma vez que alguns dos seus membros se interessaram vivamente pela divulgação, a nível nacional, dos conhecimentos literários, artísticos e científicos da época.

Entre esses membros são de destacar Eça de Queiroz e principalmente Ramalho Ortigão, pela acção pedagógica que, por meio de “As Farpas”, procuraram realizar. No que respeita a Ramalho, essa “história alegre da vida burguesa” estendeu-se por perto de 17 anos. A colaboração de Eça, como é sabido, é mais curta e encontra-se publicada autonomamente sob o título de “Uma Campanha Alegre”. Talvez por ser mais curta, não encontrámos nessa Campanha qualquer referência, qualquer interesse pelo assunto, que ora nos ocupa.

Não deixam, contudo, de ser dignos de transcrição dois períodos da extensa crónica “As meninas da geração nova em Lisboa e a educação contemporânea”: “Entre nós, nenhuma senhora se dá às sérias leituras da ciência. Não da profunda ciência (o seu cérebro não a suportaria), mas mesmo dos lados pitorescos da ciência...” Estávamos nos princípios de 1872...

Com Ramalho, tudo é diferente. Os mergulhos, nem sempre felizes, no mar da Química, são vários e de teor variado.

Poderia o título do primeiro volume de As Farpas – “A vida Provincial” - levar-nos a desistir de nele procurarmos algo que pudesse interessar à busca que empreendíamos. Mas atravessavam-se, no Douro, os difíceis anos do ataque das vinhas “pelo phylloxera” (sic) e Ramalho, preocupado, não só em descrever, em comentar, mas também em aconselhar e em ensinar, refere com bastante pormenor e discutindo-os, os seis métodos então usados no combate do temível insecto. Desses métodos, os dois primeiros, únicos de natureza química, consistiam na injeção da terra por sulfureto “de carbone” (sic) e na lavagem por sulfocarbonato de potássio. É curioso fazer notar que na literatura actual ainda são reconhecidas as propriedades de insecticida do primeiro e de anti-filoxera do segundo.

Mas é no segundo volume de As Farpas – As Epístolas – que a incursão de Ramalho Ortigão no domínio da Química se faz com mais destaque. É então que o seu espírito, o seu humor cáustico vem à superfície, não poupando, não propriamente a Química, mas os químicos dum modo geral e um em especial, roçando mesmo, no que a este respeita, as fronteiras da deselegância.

Vejamos:

A primeira epístola é deposta “aos pés interinamente reais de vossa alteza”. Interinamente explica-se por ser então D. Carlos regente, na ausência de D. Luís.

Principia por referir a notícia, recentemente divulgada, sobre uma projectada viagem do príncipe ao estrangeiro, com o fim de completar o tirocínio da sua educação. Ramalho teria então pensado que ele próprio e Eça, na sua qualidade de “Vieiras e Bernardes do ciclo do rei Luís”, não deixariam de ser convidados para acompanhar, como tutores, o herdeiro do trono.

Segue-se uma série de judiciosos mas profundamente irónicos conselhos sobre a educação que deveria ser dada ao príncipe cuja leitura recomendamos vivamente ao leitor.

Finalmente, os dois autores de As Farpas recebem a notícia, pelas gazetas: tinham sido preferidos “pelo nefando químico sr. António Augusto de Aguiar” que iria levar D. Carlos ao estrangeiro “como quem leva uma retorta”.

Mas demos a palavra a Ramalho:

“Um químico, senhor! como se dissessemos um perfumista desaproveitado! um baldroqueiro de drogas! um troquilha de líquidos de laboratório, nojosos e peçonhentos! Além disso um gordo descomunal, um gordo inverosímil! um destes gordos que não passam às alfândegas sem que as apalpadeiras venham e ponham o visto!... e que vossa alteza, em justa satisfação da curiosidade dos povos, se há-de ver forçado a exhibir à avidez do público na feira de S. Cloud ou na feira “*au pain d'épices*”, a dois sous por cabeça.....

Êle de mais a mais usa uma luneta forrada de cauchú,..

E é este homem que vai ser o real olheiro de vossa alteza... Um olheiro de galochas de borracha na vista!

Um olheiro que vai para ver tudo, e que a si mesmo se não viu nunca senão até metade do ventre, porque da outra metade até aos pés principia para o seu raio visual o hemisfério do grande indecifrável, do eterno incognoscível!.....

E todavia é possível que o venerável sábio venha a abusar um pouco do algebrismo técnico da ciência que tão gloriosamente professa, e que, quando vossa alteza o consulte sobre o *menu* da sua ceia no café Anglais ou sobre o governo do seu *cob* na Avenue des Potins, ele lhe responda pela fórmula $KO+2SO_3$, ou $KO,2SO_3$, a qual fórmula não é precisamente a da elegância mais garantida, posto que seja, sem questão alguma, a do bissulfato de potassa” (sic).

Não ficam por aqui as incursões de Ramalho Ortigão nos domínios da Química. Poder-nos-emos ocupar, eventualmente, de mais algumas, noutra oportunidade.

Raul Torcato Barroca

A. HANNA



A1. Medidor Portátil para Análise da Água: Mede Turvação, pH, Cloro, Bromo, Ferro, Iodo e Ácido Cianúrico

Na vasta gama de produtos Hanna Instruments, encontra-se este medidor portátil para análise da água, especialmente vocacionado para águas de abastecimento público, capaz de medir os parâmetros mais importantes de uma forma rápida e eficaz.

Efectuar medições no terreno - Turvação, pH, Cloro Livre e Total, Bromo, Iodo, Ferro e Ácido Cianúrico - com resultados equivalentes aos obtidos no laboratório e em poucos segundos, com o C102 passou a ser uma tarefa simples.

Para efectuar medições de turvação, o operador pode seleccionar o factor de calibração pré-programado calibrando assim o instrumento com as amostras e medindo a sua concentração ou absorvância relativa.

A memória do C102 permite armazenar até 25 valores de amostras medidas, juntamente com a hora e a data. A presença do "relógio" interno permite recuperar em qualquer momento os dados da última calibração, em conformidade com as normas GLP, garantindo o bom desempenho do instrumento e confiança nos resultados.

A alta tecnologia presente no C102 tornou possível a realização de um instrumento verdadeiramente portátil, com uma relação preço/qualidade insuperável e altamente competitiva.



A2. HI 964400 Medidor de Oxigénio Dissolvido de Bancada

Actualmente, efectuar medições com alto grau de precisão e registar dados, são duas exigências

fundamentais nos laboratórios. A resposta a estas exigências é o novo instrumento da Hanna, o HI 964400: um medidor de oxigénio dissolvido, de bancada, com microprocessador, registo de dados e interface RS232C. Com o HI 964400 as medições são directas, em ppm ou em %, o mostrador é largo (o que facilita a leitura), a calibração é automática para o oxigénio dissolvido e a temperatura (demorando apenas alguns segundos) e o instrumento reconhece automaticamente o valor de calibração.

O HI 964400 tem capacidade para registar até 8000 amostras divididas em 99 lotes e ainda a possibilidade de transferir dados para um computador através do interface RS232C.

Este instrumento está em conformidade com as directivas CE, o que garante maior segurança para o utilizador e maior precisão nas leituras efectuadas. O HI 964400 é sem dúvida uma boa escolha para qualquer laboratório que necessite de controlar oxigénio dissolvido.



A3. C100 - O instrumento ideal para laboratório

O C100 da Hanna Instruments, é um dos instrumentos mais versáteis no mercado, medindo até 36 dos parâmetros mais importantes para determinação da qualidade da água. Como outros instrumentos desta série, o C100 funciona durante horas com uma pilha comum de 9V. Para além disto pode funcionar continuamente com voltagem de 12-20 VDC. Este instrumento é fácil de utilizar: no painel frontal estão indicados todos os parâmetros por ordem numérica e o mostrador indica essa numeração como referência durante o teste, o que facilita o processo. Considerando que o C100 mede várias dezenas de parâmetros e que pode ser calibrado em poucos segundos, o seu preço é bastante acessível.

A4. HI 955201/02 Termómetro de alta Resolução com Impressora e gama de -200 a +850 °C

A Hanna Instruments desenvolveu o HI 955201, termómetro com um canal ou o HI 955202 com dois canais, para satisfazer a necessidade crescente de efectuar medições de



temperatura e imprimir dados nas gamas mais altas sem comprometer a resolução.

Estes termómetros possuem uma resolução de 0.1 °C na gama de 200.0 a 850.0 °C, e ainda impressora incorporada para imprimir os dados instantaneamente ou em intervalos de tempo. Isto significa que o instrumento pode imprimir as leituras sem necessidade de supervisão por parte do utilizador.

A5. pHel - A vantagem de um medidor de bolso com um eléctrodo profissional

A maior parte dos problemas dos medidores de bolso são causados pelo facto dos eléctrodos serem pequenos e limitados em termos de desempenho. Por este motivo a Hanna Instruments introduziu no mercado o pHel!

Trata-se de um medidor de bolso com um eléctrodo profissional de dupla junção, o qual permite efectuar medições precisas com leituras estáveis, facilmente visualizadas no mostrador.

De salientar o modelo pHell com corpo em vidro, resistente a temperaturas até 80°C e pressão até 3 bar. Disponível também o modelo com corpo plástico (pHel), resistente a temperaturas até 70°C e pressão até 1.5 bar.



A6. HI 931002 Simulador, amperómetro e Calibrador versátil de 4-20mA, em um instrumento

O HI 931002 da Hanna Instruments é um simulador portátil com capacidade para controlar e ajustar 4-20 mA em qualquer medidor de processo com ou sem gerador de voltagem.

O HI 931002 pode medir a corrente que entra, fornecer alimentação e simular uma saída de 4-20mA para calibrar o seu instrumento de processo. O

mostrador largo visualiza com claridade as leituras. O utilizador pode seleccionar entre a função de medição e a função de execução através do botão situado no painel frontal, e através de dois discos pode ajustar a corrente.

B. LABOCONTROLE

B1. IKA - Catálogo 98/99

O novo catálogo IKA encontra-se disponível.

Contém informações sobre 18 grupos de produtos:

agistadores magnéticos, placas de aquecimento, agitadores mecânicos, homogenizadores, moínhos, etc.

Inclui fotocópias, texto, especificações e preços.

Peça-nos o catálogo.

C. LABORTEQUE



C1. Novo sistema para estudos Electroquímicos, RADIOMETER

A Radiometer Analytical acrescentou a sua gama Voltalab com o novo sistema Voltalab 31. Concebido para análise Electroquímica, combina a capacidade de um potenciostato 100 V / 1 A com a flexibilidade do software em ambiente Windows'.

As técnicas disponíveis incluem Pausa, Potencial de circuito aberto, Cronoamperometria, Cronopotenciometria, Voltamétricas, Técnicas de Impulsos, F.A.S.T. e Técnicas de Espectroscopia de Impedância Electroquímica. Para total flexibilidade estas técnicas podem ser acopladas em blocos, formando unidades de repetição.

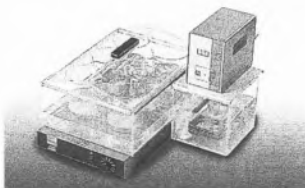
O sistema permite ainda a compensação da queda Óhmica por feed-back positivo, com determinação automática ou manual.



C2. Novas Centrífugas Centurion

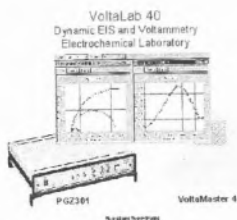
A Centurion Scientific, introduziu nas suas centrífugas a nova tecnologia dos motores de indução, caracterizados por necessitarem de reduzida assistência. Deste

modo, é possível reduzir custos de manutenção, mantendo uma elevada qualidade. A gama é agora composta por centrífugas desde 6 000 a 14 000 rpm, com rotores angulares e basculantes com capacidade para tubos desde 0,4 ml a 100 ml. Estão também disponíveis modelos com refrigeração desde -4 a 40° C



C3. Sistema para digestões enzimáticas, Velp Scientifica

O sistema é composto por agitador magnético Multistirrer, tanque para água em acrílico transparente e termostato de precisão. Permite a digestão simultânea de 6 frascos de 400 ml, sendo a velocidade de agitação regulável de 50 a 850 rpm. A temperatura pode ser controlada desde a ambiente até 60° C.



C4. A Radiometer apresenta o novo sistema Voltalab 40. ...a imaginação é o limite...

Sistema integrado, que permite, sem necessidades de abertura do circuito ou mudança de software, a combinação das técnicas de Impedância Electroquímica com as de Voltametria, tornando-se um equipamento fundamental para estudos de corrosão, cinéticos, estados transientes, superfícies, etc. Oferece a possibilidade de realizar experiências em Impedância desde 100 kHz a 1 mHz, em conjunto com as técnicas DC convencionais, permitindo varrimentos até 10 V/s, com uma resolução temporal de 1 ms. Um input A/D sincronizado com a aquisição de corrente e potencial, permite correlacionar valores externos com os dados electroquímicos (p. ex., fotoelectroquímica). O software multifunções, em ambiente Windows foi concebido de forma a facilitar a sua utilização e inclui técnicas fundamentais, tais como Pausa, OCP, Cronopotenciometria e Cronoamperometria, Voltametria Linear e Cíclica e Espectroscopia de Impedância Potenciostática. Nas

técnicas avançadas tem-se, Resistência de Polarização, Corrosão Galvânica e Voltametria Estacionária.

É ainda de referir, como inovação, que este é o primeiro sistema a permitir a compensação da Queda Ohmica através da Impedância Electroquímica.

D. SOQUÍMICA

D1. Soquilab

Soquilab - Laboratório Metrológico e de Ensaios, dedicado ao apoio a laboratórios de análises químicas, é acreditado pelo IPQ de acordo com a norma NP EN 45001 desde Setembro de 1993. O seu âmbito, na área de **calibração**, abrange os seguintes grupos de equipamentos:

- Equipamento de pesagem.
- Espectrofotómetros (UV-VIS e de Absorção Atómica).

- Titulares, Buretas Automáticas, Medidores de pH e de Conductividade.

O seu âmbito, na área de **ensaio**s de características, abrange os seguintes grupos de equipamento:

- Espectrofotómetros (UV-VIS, Absorção atómica e Infravermelhos).

- Cromatógrafos gasosos.

D2. Heidolph Elektro ISO 9001

Agitadores de Movimento Orbital.

Agitadores de Movimento circular e de vai-vem.

Agitadores Magnéticos com sem aquecimento.

Placas de Aquecimento.

Evaporadores rotativos.

Bombas peristálticas.

D3. Thermo Environmental Instrumentos

Equipamentos para monitorização, em tempo real, da qualidade do ar:

- Analisadores para Ar Ambiente e Gases de Emissão

- Óxido de Azoto (NO_x)

- Dióxido de Enxofre (SO₂)

- Monóxido de Carbono (CO)

- Dióxido de Carbono (CO₂)

- Ozono (O₃)

- Gás Sulfídrico (H₂S)

- Amónia

- Sistemas combinados.

D4. Grant - ISO 9002

Fabricante de equipamento de temperatura controlada para laboratório, data loggers, registadores e monitorização ambiental para aplicações industriais e investigação.

Banhos de água universais; banhos de ebulição; banhos com agitação, banhos de alta precisão com bomba de circulação, sistemas de arrefecimento, termostatos de imersão, circulado-

PARA INFORMAÇÕES MAIS DETALHADAS SOBRE OS NOVOS PRODUTOS RECORTE AS FICHAS QUE LHE INTERESSAREM E ENVIE DENTRO DE UM SOBRESCRITO PARA A MORADA RESPECTIVA

HANNA INSTRUMENTS

Árvore Industrial, lote 10, Lugar de Varziela, 4480 VILA DO CONDE
Tels. (02) 637184 - Fax (02) 637185

Pretendo informações sobre o(s) produto(s):

- A.1
- A.2
- A.3
- A.4
- A.5
- A.6

LABOCONTROLE

Equipamentos Científicos e de Laboratório, Lda.
Largo Prof. Fernando Fonseca, 5 B - 2795 LINDA-A-VELHA
Tel: 01 4143148-4151429-4197945 - Fax: 01 4151430
E-mail: laborteque@mail.telepac.pt

Pretendo informações sobre o(s) produto(s):

- B.1

LABORTEQUE

Comércio de Equipamentos Laboratoriais, Lda.
Rua das Chagas 20 1º E, 1200 Lisboa
Tel: 01 3421758, Fax: 01 3423185
E-mail: laborteque@mail.telepac.pt

Pretendo informações sobre o(s) produto(s):

- C.1
- C.2
- C.3
- C.4

SOQUÍMICA

Soc. de Representações de Química, Lda.
Rua Coronel Santos Pedroso, 15 - 1500 LISBOA
Tel. (01) 716 51 60 - Fax (01) 7716 51 69

Pretendo informações sobre o(s) produto(s):

- D.1
- D.2
- D.3
- D.4
- D.5

STV

Equipamentos para a Indústria e Laboratórios, Lda.
Casal da Serra, lote 103 - loja Esq. - 2625 PÓVOA STA. IRIA
Tel. (01) 956 30 07 - Fax (01) 956 29 97

Pretendo informações sobre o(s) produto(s):

- E.1
- E.2
- E.3
- E.4

Nome _____

 Morada _____

 Telefone _____ Fax _____

Nome _____

 Morada _____

 Telefone _____ Fax _____

Nome _____

 Morada _____

 Telefone _____ Fax _____

Nome _____

 Morada _____

 Telefone _____ Fax _____

Nome _____

 Morada _____

 Telefone _____ Fax _____

res, blocos de aquecimento, banhos de ultrasons e banhos para calibração.

D5. Brookfield ISO 9002

VISCOSÍMETROS E REÓMETROS
 Viscosímetros analógicos e digitais para baixas, média e alta viscosidades.
 VISCOSÍMETROS CONE/PLATE CAP1000 - Cone plate com velocidade fixa 750 RPM 50 HZ.

E. STV

E1. Liofilizadores

A E-C Apparatus apresenta a linha "Modulyo" com três unidades básicas e capacidades desde alguns microlitros até 20 litros. Cada uma destas unidades pode ser usada com uma vasta gama de acessórios e manifolds de acordo com as diferentes aplicações de liofilização. Como vantagem destas unidades importa referir a sua construção robusta e de elevada qualidade. Todas as partes em contacto com os vapores são em aço inoxidável, com uma elevada eficiência de condensação, devido à grande superfície de condensação relativamente à capacidade de gelo.

refrigeração 1/3 hp atingindo os -55°C. Vem equipado com medidor de vácuo, indicador de temperatura e válvula de dreno. Pode funcionar como condensador ou como uma trapa de solventes.

A unidade MODULYO está concebida para liofilização de preparações biológicas e farmacêuticas mas pode ser usada em outras aplicações de vácuo tais como evaporação (sublimação) e destilação.



E4. Supermodulyo™

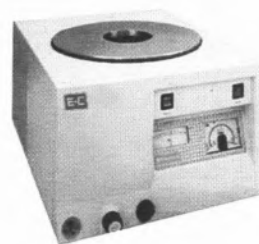
Unidade compacta de alta capacidade de condensação, com capacidade de gelo até 20 litros. A potência de refrigeração do sistema é de 3/4 hp e a temperatura atinge os -55°C. Limpeza e acesso do condensador na horizontal, sendo visível a formação de gelo. Está equipado com manipulo de remoção de gelo. Possui sistema de descongelação automática através de gás quente. É fornecido com bomba de alto vácuo integrada no equipamento, e cuja capacidade é de 12m³ h⁻¹. Também pode ser usado como condensador ou como uma trapa fria de elevada capacidade.

O Supermodulyo cobre uma vasta gama de aplicações. Desde unidades multi-usos num laboratório central, até pequenas instalações industriais piloto. Para aumento da sua capacidade pode ser montada uma cabine na unidade base. A bomba de vácuo inclui o filtro de vapores de óleo e o Kit de retorno de óleo. A porta frontal permite fácil acesso tanto aos drenos, como à bomba e à válvula de admissão de ar, permitindo facilmente ver o nível de óleo e actuar no lastro da bomba de vácuo. A indicação do vácuo é feita através de uma Pirani. A indicação da temperatura é feita através de um termopar.



E2. Micromodulyo™

Unidade compacta de baixo custo e pequenas dimensões mas, podendo efectuar os métodos comuns de liofilização com grande "performance" até -50°C. Possui válvula de dreno. Pode ser usado com uma trapa fria.



E3. Modulyo™

Ideal para trabalho médio de bancada. Apresenta capacidade de gelo até 5 litros e potência de

Sodium and Potassium Hydroxide High Purity Pellets

EKA PELLETS

EKA CHEMICALS


AKZO NOBEL

Agentes exclusivos:

SOCIEDADE IMBRASEX LDA, Calçada do Carmo, N° 6 – 4° Dto., 1200 LISBOA
Telefone: 342.06.58/342.48.61 • Telefax: 346.48.50



MEDIDORES DE pH DE ALTA TECNOLOGIA FÁCEIS DE USAR E ECONÓMICOS

pH 300

Medidor de pH/mV/°C de bancada

pH 301

Medidor de pH/mV/iões/°C de bancada

pH 302

Medidor de pH/mV/°C de bancada
com impressora

De acordo com as GLP

From

HANNA
instruments
ISO 9000 CERTIFIED

... of course

Dos 700 funcionários do grupo Hanna,
130 estão ao seu serviço em Portugal.

**PARA MAIS INFORMAÇÕES CONTACTE O NOSSO REVENDEDOR HANNA OU
HANNAPRO EM VILA DO CONDE ATRAVÉS DO TEL. 052 637 184 / FAX 052 637 185**