

A ETIMOLOGIA DE BIOMOLÉCULAS COM METAIS DE TRANSIÇÃO COMO AUXILIAR NA APRENDIZAGEM DE QUÍMICA BIOLÓGICA

José A. L. da Silva*

Centro de Química Estrutural – Complexo I, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa – Portugal

Recebido em 28/3/13; aceito em 21/5/13; publicado na web em 1/7/13

ETYMOLOGY OF TRANSITION METAL BIOMOLECULES AS A LEARNING AID IN BIOLOGICAL CHEMISTRY. Numerous functional biomolecules are associated with metals, i.e. the metallobiomolecules; more specifically, some are dependent on transition metals required for several crucial biological roles. Nevertheless, their names can lead to ambiguous interpretations concerning the properties and performances of this group of biological molecules. Their etymology may be useful by providing a more perceptive insight into their features. However, etymology can lead to incongruous conclusions, requiring an especially careful approach to prevent errors. Examples illustrating these subjects shall be examined.

Keywords: Bioinorganic Chemistry; heme; globin.

INTRODUÇÃO

As funções das metalobiomoléculas estão maioritariamente associadas com a catálise biológica, a transferência eletrónica, a aquisição, o transporte e o armazenamento de moléculas e iões, a regulação genética e a processos que envolvem a captura de energia. Em geral, estas biomoléculas têm alguns átomos doadores da sua componente proteica coordenados a todos, ou quase todos, os sítios disponíveis do(s) ião(ões) metálico(s), ou este (estes) está (estão) maioritariamente coordenado(s) a um grupo prostético.¹⁻⁵

Alguns metais de transição, apesar de ocorrerem nos organismos vivos em teores reduzidos, são essenciais no metabolismo devido às suas propriedades químicas. A sua necessidade resulta de possuírem vários estados de oxidação, capacidade para coordenarem e transferirem grupos químicos específicos e comportamento como ácidos de Lewis, o qual não é exclusivo para este grupo de metais.¹ Tendo em conta a sua importância, as biomoléculas que contêm metais de transição deveriam ter nomes facilmente entendíveis pela sua comunidade de estudiosos e utilizadores. Todavia, uma terminologia consistente pode ser difícil de alcançar por os seus contributos poderem derivar de diversos idiomas, incluindo de línguas-mortas, que muitos não conhecem convenientemente. Outras dificuldades que levam a denominações pouco inteligíveis podem resultar de um nível inadequado de conhecimentos dos pesquisadores para cunharem os novos nomes, a ocorrência de grupos independentes a desenvolverem tópicos similares, e assim conduzindo à profusão de termos, ou ainda designações impostas por razões históricas e que se tornam desajustadas com os desenvolvimentos entretanto conseguidos. Além disso, adaptações pouco ponderadas a partir de um outro idioma podem originar termos impróprios.^{6,7}

Um modo de transpor estas situações poderia passar por designações baseadas em raízes etimológicas suportadas por abordagens suficientemente rigorosas, mas em alguns casos o resultado não é imediatamente perceptível. A superação destas dificuldades passa ao nível do ensino por uma explicação breve e criteriosa das raízes etimológicas. Deste modo, é favorecida a construção de mnemónicas relacionando a etimologia com as características das metalobiomoléculas, e assim melhorar a perceção conceptual, tornando a aprendizagem

mais evidente e da parte de quem ensina uma experiência mais fácil e agradável.^{6,7}

Neste artigo pretende-se contribuir para o esclarecimento de características de biomoléculas associadas com metais de transição, baseadas nas suas raízes etimológicas, usando uma transliteração latina simplificada para que seja mais compreensível para a maioria dos leitores, as quais são comparadas com termos empregues atualmente em português. Por vezes, a designação em inglês é apresentada por razões de maior clareza.

QUELANTES BIOLÓGICOS DE IÕES

As metalotioneínas e as fitoquelatinas são biomoléculas quelantes de vários iões, que contribuem para ajustar os níveis fisiológicos de elementos químicos essenciais (como o metal de transição biológico cobre) ou reduzir a toxicidade dos nocivos. Cada uma dessas biomoléculas resulta de processos biossintéticos distintos.^{1,8,9}

É de referir que várias metalobiomoléculas mencionadas neste artigo, incluindo as metalotioneínas e as fitoquelatinas, têm o sufixo *-ina* no singular, que pode ser derivado de «*proteína*» ou ainda, para alguns outros casos, por ser um composto químico. Na Tabela 1 são mencionadas as raízes etimológicas destas biomoléculas relacionadas com as suas características.

COMENTÁRIOS GERAIS ACERCA DOS METAIS DE TRANSIÇÃO COM FUNÇÕES BIOLÓGICAS

Vanádio, cromo, ferro, manganês, cobalto, níquel, cobre, molibdénio e tungsténio são os metais de transição que podem ser essenciais.¹ O número de funções para cada deles é significativamente diferente. O ferro participa numa grande variedade de funções biológicas. Por contraste, outros como o vanádio, o cromo ou o tungsténio são essenciais para grupos limitados de espécies.¹

A única regra da IUPAC aplicada na terminologia dos elementos químicos é cada um ter o sufixo *-ium*,⁶ em português *-io*. Todavia, vários metais de transição com funções biológicas não seguem a regra mencionada devido as suas descobertas terem precedido essa decisão.⁶

As etimologias dos nomes dos metais de transição podem ter nas línguas ocidentais modernas fontes específicas, tais como «*rame*» em italiano para o «cobre», o «*tungsténio*» utiliza termos relacionados

*e-mail: pcd1950@ist.utl.pt

Tabela 1. Raízes etimológicas das metalotioneínas e das fitoquelatinas e suas características^{8,9}

Nome	Raízes etimológicas	Comentários
Metalotioneínas	Metal- está relacionado com «metais» -tio- do grupo funcional «tiol» Sufixo pode provir de «proteína»	Podem também coordenar não-metais Ricas em resíduos de cisteína que contêm um grupo tiol Algumas têm uma massa molecular pequena, sendo péptidos
Fitoquelatinas	Fito- do grego, «plantas» -quelat- pelas suas capacidades «quelantes»	Ocorrem também em outros reinos

com «wolfram» (em português, volfrâmio) nos idiomas escandinavos e eslavos (sendo a fonte de seu símbolo químico) e «iron» usado no inglês tem origem no anglo-saxão, já nas línguas novilatinas, como o português, do latim «ferrum» (origem de seu símbolo químico).^{6,10} Por isto, vários compostos químicos, incluindo metalobiomoléculas, utilizam diferentes raízes,¹¹ como acontece com os reguladores bacterianos de ferro conhecidos pelos acrônimos Fur (do inglês *Ferric uptake regulator*, regulador de captura do ferro) e IdeR (do inglês *Iron-Dependent Regulator*, regulador dependente do ferro).¹²

Uma importante contribuição biológica dos metais de transição é como constituintes de enzimas, normalmente ocupando o sítio catalítico. Os nomes das enzimas estão normalmente associadas com o substrato, mais o sufixo -ase e geralmente não contêm qualquer alusão ao centro metálico. No entanto, o metal no sítio ativo pode ser mencionado, para distinguir enzimas diferentes que catalisam a mesma reação para um substrato idêntico. Por outro lado, metais podem ser substratos, por exemplo na ferroquelatase, (EC 4.99.1.1),¹³ em inglês *ferrochelataase* ou numa designação alternativa *iron chelataase*, que está envolvida na etapa terminal biossintética do heme (hemo) pela inserção de Fe²⁺ na protoporfirina IX. Uma outra enzima é a ferroxidase (EC 1.16.3.1)¹³ que catalisa a oxidação do Fe²⁺ para Fe³⁺. Alternativamente, esta enzima de cobre é conhecida por ceruloplasmina, cujo prefixo é proveniente do latim e originou em português «cerúleo», que corresponde a uma tonalidade de azul, a cor típica para compostos de Cu²⁺.¹ Esta situação resulta dos compostos de metais de transição apresentarem normalmente cores, o que pode determinar o nome de metalobiomoléculas.

As cores dos compostos de metais de transição são devidas principalmente ao estado de oxidação do metal, número de coordenação dos centros metálicos e respetiva geometria, tipo de átomos doadores e de grupos a cada um deles associado.¹¹ Em solução são poucas as biomoléculas contendo metais de transição que são incolores. São exemplos as haloperoxidasas de vanádio, cujo metal está no estado de oxidação cinco, - ou seja, sem eletrões nas orbitais *d*-, e as metalobiomoléculas de cobre(I), que têm as orbitais *d* totalmente preenchidas.¹ Alguns outros exemplos de designações de metalobiomoléculas derivadas da sua cor serão dados em **Ferro**, principalmente nas Tabelas 4 e 5, e em **Cobre**.

De seguida, são apresentadas algumas funções biológicas para cada metal de transição por ordem crescente do seu número atômico.

Vanádio

O vanádio tem, pelo menos, seis desempenhos biológicos diferentes: (a) em numerosas espécies marinhas chamadas Ascídias,

(b) em alguns vermes marinhos, (c) no fungo *Amanita muscaria* e em espécies muito próximas, como amavadina, (d) em algumas algas, líquen, terrestres fungos e bactérias, como haloperoxidasas, (e) em algumas bactérias extremófilas, numa redutase do nitrato sem molibdénio e (f) em organismos diazotróficos, procariotas que fixam o nitrogénio molecular da atmosfera para produzir amónio, numa nitrogenase alternativa. Os três últimos exemplos são enzimas e os outros são organismos acumuladores de vanádio.¹⁴ Na Tabela 2 são apresentados exemplos de biomoléculas de vanádio, as suas raízes etimológicas e atividades biológicas.^{14,15}

Cromo

O cromo tem sido estudado principalmente como elemento químico tóxico. A sua essencialidade é conhecida há mais de cinquenta anos e foi identificado um seu papel biológico, realizado pelo oligopéptido contendo cromo, chamado cromodulina ou LMWCr (em inglês *Low Molecular Weight Cr protein*, ou seja, proteína de cromo de massa molecular pequena), que está associada ao metabolismo da glucose (glicose) pela potenciação da insulina.¹⁶ A sua designação é adaptada de calmodulina, do inglês *calmodulin* (*calcium-modulated protein*), que é modulada pelo ião cálcio, a qual é mediadora de vários processos metabólicos.¹⁷ No entanto, a estabilidade e a massa molecular das duas metalobiomoléculas são muito diferentes.

Todavia, o sufixo para citocromo (tipo de metalobiomoléculas de ferro envolvidos na transferência eletrónica ou enzimas, neste caso com um atributo adicional), tem a raiz no grego «cor» (e o prefixo significa célula) e não por ter cromo, apesar do nome do metal ser originado também de cor, mas com uma proveniência divergente.⁶

Manganês

Funções biológicas do manganês têm sido encontradas em todos os grupos de organismos vivos. Este metal pode ocorrer em várias enzimas em vez de outros iões metálicos divalentes sem atividade de oxirredução, embora o manganês apresente vários estados de oxidação, ou com funções e tipo de coordenação equivalentes a algumas enzimas de ferro.¹ Todavia, o manganês tem alguns desempenhos específicos, como na *Deinococcus radiodurans*, em que parece estar ligado à resistência a níveis elevados de radiação γ , e no fotossistema II, necessário para a fotossíntese oxigénica. Este metal está também presente no concanavalina A, uma lectina que contém ainda cálcio, cujo nome advém do género *Canavalia* e «con-» significando «com». Esta proteína é extraída de uma espécie desse género, *Canavalia ensiformes* (L.) DC. (produtora do

Tabela 2. Biomoléculas de vanádio, suas raízes etimológicas e atividades biológicas^{14,15}

Nome	Origem etimológica	Comentários
Vanabinas	Prefixo de «vanádio» e -bin- do inglês «to bind», ligar	Proteínas das Ascídias com 12,5-16 kDa que se coordenam ao V, na sua acumulação nos vanadócitos (prefixo de «vanádio»; sufixo do grego «células»), um tipo de células sanguíneas
Amavadina	As primeiras sílabas são de « <i>Amanita</i> » (género em que algumas espécies a contêm) e «vanádio»	Com um número de coordenação oito, raro na primeira série dos metais de transição, e sem o comum grupo oxo do V(IV); função biológica não conhecida (pode participar em reacções de oxirredução)

feijão-de-porco) e é empregue para fins cromatográficos para isolar e caracterizar biomoléculas.^{1,18,19}

Ferro

O ferro é requerido por todos os organismos vivos. Como particularidade, um género é identificado a partir do seu nome latino, *Ferroplasma*, devido à importância deste metal no metabolismo das espécies pertencentes a este grupo taxonómico. O ferro está presente em enzimas de várias classes, proteínas de transferência eletrónica (proteínas de ferro-enxofre e citocromos), fatores de transcrição, proteínas transportadoras, de armazenamento ou sensor de moléculas pequenas (monóxido de carbono, CO, óxido nítrico, NO, e oxigénio molecular, O₂) ou para si mesmo (ferritinas e bacterioferritinas). Pode apresentar geometrias de coordenação diversificadas para funções similares.²⁰⁻²³

Os nomes das suas metalobiomoléculas podem usar raízes etimológicas diferentes, sendo as mais comuns «iron-» do anglo-saxão, «ferr-» do latim e «sidero-» do grego,²⁰⁻²² ver Tabela 3.

Heme - grupo químico e etimologia

O heme é um grupo prostético com o ferro coordenado numa

porfirina. Ocorre em proteínas de todos os domínios da vida, as quais atuam em funções de transporte, armazenamento e sensor de moléculas, na transferência de eletrões e em catálise biológica. Pode ser identificado pela banda Soret a cerca de 400 nm, utilizando espectroscopia visível.¹ No entanto, a sua raiz é proveniente do grego e significa «sangue». Algumas biomoléculas contendo essa raiz na sua designação podem não estar relacionados com sangue (um fluido líquido exclusivo de animais) e algumas outras não possuem nenhum grupo heme na sua estrutura, apesar de no seu nome estar contido essa raiz, ver Tabela 4.

A inclusão de hem- no nome de algumas metalobiomoléculas pode induzir a conclusões imprecisas acerca do seu papel biológico, metal ou características do centro ativo. Para ultrapassar estas limitações é conveniente uma análise cuidadosa de todo o seu nome ou a procurar outras características além desse étimo.

As globinas são um grande conjunto de metalobiomoléculas com pelo menos um heme, sendo o prefixo de «glóbulo», uma designação antiga para um constituinte do sangue. Estão geralmente envolvidas com o transporte e/ou armazenamento reversível do O₂, sendo conhecidas mais de quinhentos tipos diferentes em todos os domínios da vida. O prefixo de cada globina é geralmente associado com a localização da sua ocorrência ou espécie onde foi primeiro descoberta.^{1,20} Na Tabela 5 são dados exemplos de globinas.

Tabela 3. Exemplos de metalobiomoléculas com ferro, suas raízes etimológicas, funções e ocorrências²⁰⁻²²

Raiz associada a ferro	Exemplos	Significado	Funções	Tipo de organismos
Iron- ^a	IdeR (<i>Iron-Dependent Regulators</i>) IRE-BP (<i>Iron-Responsive Element-Binding Proteins</i>) HiPIP (<i>High-Potential Iron-Sulfur Protein</i>)		Reguladores de Fe Reguladores de Fe Transferência eletrónica	Procariotas Vertebrados Procariotas
Ferr- ^a	Proteínas de ferro-enxofre, como as ferredoxinas Ferroportinas Transferrinas Ferritinas ^b	-redox- de «redução» e «oxidação» -Port- significa «entrada» Trans- de «transportar»	Transferência eletrónica Proteínas transmembranares para o Fe Transportadoras de Fe (também de Mn) Armazenam Fe	Todos os domínios Animais Especialmente em vertebrados Todos os domínios
Sidero- ^c	Sideróforos ^d	-foro a partir do grego «que transporta»	Transportadores de Fe	Procariotas ^d

^a Outros exemplos em **Comentários gerais acerca dos metais de transição com funções biológicas**; ^b Em algumas bactérias ocorre uma outra estrutura designada por bacterioferritina; ^c Sidero- está também associado com «céu», como é sideral e siderite, um mineral de ferro presente em meteoritos; ^d Sideróforos são várias centenas de biomoléculas não-proteicas com massa molecular pequena e afinidade elevada pelo ferro(III), o que é importante para meios com disponibilidade baixa de ferro; a definição de IUPAC é para bactérias, mas este termo também tem sido usado por alguns autores para quelantes de plantas e de fungos; os sideróforos podem estar também envolvidos na captura de outros metais.

Tabela 4. Biomoléculas contendo a raiz hem-^{1,20,22,123}

Biomolécula	Significado e raízes etimológicas	Comentários
Hemoglobinas ^{a,b}	Hem- significa «sangue»	Podem coordenar reversivelmente O ₂ no sangue
Hemeritinas ^c	Eritr- do grego «vermelho»	Podem coordenar reversivelmente O ₂ no sangue de alguns invertebrados marinhos; oxigenadas são vermelhas
Miohemeritinas ^c	O prefixo a partir do grego «músculo»; -eritr- «vermelho»	Podem coordenar reversivelmente O ₂ nos músculos de alguns invertebrados marinhos; oxigenadas são vermelhas
Hemocianinas ^d	Hem- «sangue»; -cian- do grego «azul»	Podem coordenar reversivelmente O ₂ no sangue de alguns artrópodes e na maioria dos moluscos; oxigenadas são azuis devido ao Cu(II)
Leghemoglobinas ^{a,b}	Leg- de «leguminosa»	Transportadoras de O ₂ presente nos nódulos de leguminosas fixadoras de nitrogénio
Flavohemoproteínas ^b	Flav- de «flavina»	Diversos processos biológicos em bactérias e fungos; contêm uma flavina
Hemóforos	-foro a partir do grego, «que transporta»	Proteínas pequenas segregadas por bactérias para capturem ferro livre ou de hemes

^a Sobre **Globinas**, ver a seguir; ^b Contêm pelo menos um heme; ^c Com ferro e sem hemes; ^d Não têm ferro, nem hemes; contêm cobre.

Algumas globinas podem conter um prefixo adicional derivado do nome da molécula específica quimicamente ligada a elas, o qual pode não fornecer qualquer informação metabólica. Na Tabela 6 temos o exemplo da hemoglobina, mas outras globinas podem ter o seu nome derivado de forma correspondente. Além destas, a metahemoglobina apresenta um prefixo que não está relacionado com nenhuma molécula ligada com a hemoglobina. Na realidade, contém o ferro no estado de oxidação três, em vez de dois como na hemoglobina ativa, e não tem capacidade de coordenação ao O₂.

As nitroforinas não são globinas, mas também contêm um heme. Estas hemoproteínas ocorrem na saliva de insetos hematófagos, ou seja os que se alimentam de sangue, transportando NO que ao ser libertado no tecido da vítima produz vasodilatação, além de inibir a coagulação do sangue. O seu nome deriva de NO (em inglês nitric oxide or *nitrogen oxide*) nitro- e -for-, a partir do grego e significando «transporte».²⁶

Cobalto

O cobalto ocorre em um número limitado de enzimas, principalmente em procariontes, sendo ainda conhecidos alguns exemplos em fungos e animais. Este metal pode estar coordenado por resíduos de aminoácidos ou incluído em um macrociclo específico, formando as cobalaminas, cujo prefixo deriva de cobalto. As cobalaminas atuam como coenzimas e podem participar de reações organometálicas, o que é relativamente raro em Química Biológica. Estas estruturas têm no seu nome um prefixo adicional relacionado com o outro ligando

(ligante) para além do macrociclo, como hidroxil- (hidroxila), metil- (metila) or ciano-, sendo a última também conhecida por vitamina B₁₂. O ligando macrocíclico é designado por corrina, sendo a sua estrutura relacionável com a porfirina, mas com menos um átomo de carbono do que esta.^{27,28}

Níquel

Este metal ocorre principalmente em biomoléculas de procariontes e em poucos exemplos em plantas. A homeostase de níquel é rigidamente controlada devido à sua potencial toxicidade. Algumas moléculas biológicas participantes nesse processo contêm no seu nome o símbolo químico do níquel, como a NikA, responsável pela captura deste metal e seu transporte para a célula.²⁹ Adicionalmente, a proteína canatoxina proveniente de plantas contém níquel e zinco, podendo ser letal para ratos e insetos. A sua designação provém da espécie *C. ensiformis* do género *Canavalia* (origem do prefixo) de onde é extraída,³⁰ que é também de uma raiz de Concanavalina A, referida acima em **Manganês**, e o sufixo «toxina» é devido aos seus efeitos perniciosos.

Cobre

O cobre é um dos metais de transição mais relevantes ao nível biológico, sendo um micronutriente para diferentes tipos de organismos vivos. A homeostase do cobre precisa de ser estritamente regulada como consequência da estabilidade elevada dos seus complexos com ligandos biológicos, o que pode levar à sua competição com outros

Tabela 5. Raízes etimológicas das globinas e suas características^{1,20,24}

Globinas	Significado e raízes etimológicas	Comentários
Hemoglobinas		Ver Tabela 4
Mioglobinas	O prefixo a partir do grego «músculo»	Podem coordenar O ₂ nos músculos
Citoglobinas	O prefixo a partir do grego «célula»	Podem coordenar O ₂ nas células
Neuroglobinas	Neuro- de «neurónio»	Podem coordenar O ₂ ; principalmente em tecidos neurológicos
Leghemoglobinas		Ver Tabela 4
Cianoglobinas		Em <i>Cyanobactérias</i> ; têm afinidade elevada pelo O ₂
Protoglobinas	Proto- relacionado com «primitivo»	No domínio Archaea, admitido como primitivo
Clorocruorinas	O prefixo a partir do grego significa «verde»; -cruor- está relacionado com «sangue»	Em alguns vermes marinhos; a sua cadeia lateral da porfirina é diferente da hemoglobina; na forma oxigenada são verdes, diferente da hemoglobina; apesar do prefixo não contém cloro
Eritrocruorinas	O prefixo a partir do grego significa «vermelho»; -cruor- está relacionado com «sangue»	Em moluscos e artrópodes; a sua cadeia lateral da porfirina é diferente da hemoglobina; na forma oxigenada são vermelhas
Pinnoglobinas ^a	De <i>Pinna</i> , um género	Extraído de espécies do género <i>Pinna</i>

^a Contém manganês e não ferro e não coordenam reversivelmente O₂; como consequência foi sugerida a mudança de nome para manganoquelitina (adaptação para português da responsabilidade do autor deste artigo).

Tabela 6. Exemplos de designações específicas de hemoglobinas e as suas características^{1,20,25}

Nome	Raiz do prefixo	Características
Carboxihemoglobinas ^a		CO coordenado ao Fe
Carbaminohemoglobinas ^b	Carbamin- da ligação química do dióxido de carbono com um grupo amina de proteínas	Ligação carbamina sem envolvimento do Fe
Oxihemoglobinas	Oxi- de «oxigénio»	O ₂ coordenado ao Fe
Desoxihemoglobinas	Desoxi-	Sem O ₂
Sulfhemoglobinas	Sulf- da designação latina de «enxofre»	Incorporação irreversível de enxofre impedindo a coordenação de O ₂

^a Carboxi(l) (carboxila) contém um carbonil (carbonila) e um hidroxil; carbonilo é também quando o CO está coordenado a um centro metálico; ^b Carbhemo-globinas ou carbohemoglobinas.

biometais.^{1,31-33} Ocorre em diversas enzimas (exclusivamente com atividade de oxirredução), em sistemas de transferência eletrônica (proteínas azuis de cobre) e proteínas transportadoras de O₂ (hemocianinas), ver Tabela 4.

Como as proteínas de cobre participam em reações de oxirredução são globalmente identificadas como cupredoxinas (cup- a partir do nome do metal, -redox- pela variação do seu estado de oxidação nas suas funções biológicas, e -inas por serem proteínas). A designação específica «proteínas azuis de cobre» é devido à presença de Cu(II), resultando da sua coordenação uma intensa cor azul. Normalmente, os nomes específicos destas metalobiomoléculas contêm «-ciano-», derivado do grego e significando «azul», como as amicianina e a plastocianina; outro exemplo é a azurina, sendo o seu prefixo originário do persa, e que significa também «azul». No entanto, cada grupo com raiz etimológica diferente tem uma tonalidade distinta devido, para cada caso, aos grupos doadores específicos coordenados ao centro metálico.^{31,34}

Outros exemplos de raízes etimológicas para metalobiomoléculas de cobre foram referidos acima, em **Comentários gerais acerca dos metais de transição com funções biológicas** – para a ceruloplasmina - e **Ferro** – hemocianina.³¹⁻³⁴

Molibdênio

Este metal é o único bioelemento da segunda série dos metais de transição. É provavelmente essencial para todas espécies biológicas, apesar de nos organismos vivos os seus teores serem muito pequenos. O molibdênio ocorre exclusivamente em diversas enzimas com atividade de oxirredução, mas só a nitrogenase tem o cofactor *FeMoco*, por ter *Fe* e *Mo*, e ser um cofactor. Os outros exemplos possuem um ligando molibdopterina, uma piranopterina, que pode ter variantes nas suas cadeias laterais. Apesar do seu nome, não contém molibdênio, mas pode incorporá-lo formando o *Moco*, *Mo* de molibdênio *co* de cofactor. Várias biomoléculas envolvidas na captura do Mo e na biossíntese do Moco têm incluído na sua designação o símbolo químico do molibdênio.³⁵

Tungsténio

O tungsténio é o único metal de transição biológico da terceira série da Tabela Periódica. É necessário por um pequeno grupo de procaríotas, principalmente do domínio Archaea, termófilos ou hipertermófilos (vivem em ambientes com temperaturas de pelo menos 60 °C). Este metal ocorre principalmente em algumas enzimas com atividade de oxirredução, e tal como na grande maioria dos casos para o molibdênio, coordenado a um ligando molibdopterina, embora alguns autores prefiram a denominação tungstopterina. Os transportadores biológicos de tungsténio podem ser denominados pelo seu nome em inglês (e adotado atualmente em português) ou pelo seu símbolo químico, W,³⁶ ver acima **Comentários gerais acerca dos metais de transição com funções biológicas**.

COMENTÁRIOS FINAIS

A etimologia aplicada à aprendizagem de Química Biológica dos metais de transição pode fornecer uma melhor compreensão acerca do metabolismo. Esta metodologia pode ser usada para construir mnemónicas relacionando os étimos com as propriedades das metalobiomoléculas, sendo útil para estudantes e pesquisadores com formação limitada em Química ou para a aprendizagem dos termos cunhados numa língua em que se tenha conhecimentos muito limitados. Este procedimento pode diminuir equívocos, produzindo um conhecimento mais bem sustentado.

Por outro lado, para haver mais seguidores e tornar mais eficiente a pesquisa na Química Biológica dos metais de transição é conveniente um ajuste apropriado das designações das metalobiomoléculas, como já foi sugerido para a Química.³⁷ Esse processo pode ser conseguido pela eliminação de termos obsoletos. Assim, cerebropreína, hepatopreína e eritropreína outrora aplicados a proteínas de cobre isoladas do cérebro (ver prefixo), do fígado (o prefixo hepato-, que tem esse significado) e por ter cor vermelha (significado de eritro-), respetivamente, na atualidade já não são utilizados, como consequência de terem sido identificados com a dismutase do superóxido de cobre e zinco.^{38,39} Nessas situações ou quando o número de pesquisadores num tópico é pequeno a alteração do nome é mais viável. No entanto, não é tão fácil se a quantidade de grupos na mesma área de investigação for muito grande. Nessas situações, a etimologia pode ser uma ferramenta aconselhável para tornar mais clara a terminologia utilizada e facilitar a comunicação.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio financeiro dado pelo projeto plurianual PEst-OE/QUI/UI0100/2013 da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, que permitiu a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Fraústro da Silva, J. J. R.; da Silva, J. A. L.; *Os Elementos Químicos e a Vida*, IST Press: Lisboa, 2011.
2. Fraústro da Silva, J. J. R.; Williams, R. J. P.; *The Biological Chemistry of the Elements - the inorganic chemistry of life*, 2nd ed., Oxford University Press: Oxford, 2001.
3. Roat-Malone, R. M.; *Bioinorganic Chemistry: A Short Course*, 2nd ed., Wiley-Interscience: Hoboken, NJ, 2007.
4. *Biological Inorganic Chemistry: Structure and Reactivity*, Bertini, I.; Gray, H. B.; Stiefel, E. I.; Valentine, J. S., eds.; University Science Books: Sausalito, CA, 2007.
5. Crichton, R.; *Biological Inorganic Chemistry: An Introduction*, Elsevier Science Ltd.: Amsterdam, 2007.
6. Ball, D. W.; *J. Chem. Educ.* **1985**, *62*, 787.
7. Sarma, N. S.; *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 1437.
8. Capdevila, M.; Boffill, R.; Palacios, O.; Atrian, S.; *Coord. Chem. Rev.* **2012**, *256*, 46.
9. Pal, R.; Rai, J. P. N.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2010**, *160*, 945.
10. <http://translate.google.com/>
11. Shriver, D. F.; Atkins, P. W.; *Inorganic Chemistry*, 3rd ed., Oxford University Press: Oxford, 1999.
12. Agranoff, D.; Krishna, S.; *Front. Biosci.* **2004**, *9*, 2996.
13. Números EC (do inglês Enzyme Commission); é um esquema de classificação das enzimas, sendo o primeiro dígito referido ao tipo geral de reação, o segundo e o terceiro números ao substrato e último à seriação na lista.
14. da Silva, J. A. L.; Em *Vanadium: Chemical Properties, Uses and Environmental Effects*; Baranova, V. N.; Fortunatov, A. V., eds.; Nova Science Pub Inc: Hauppauge, 2012, cap. 1.
15. da Silva, J. A. L.; Fraústro da Silva, J. J. R.; Pombeiro, A. J. L.; *Coord. Chem. Rev.* **2013**, *257*, 2388.
16. Pechova, A.; Pavlata, L.; *Veterinárni medicina* **2007**, *52*, 1.
17. Haiech, J.; Audran, E.; Feve, M.; Ranjeva, R.; Kilhoffer, M.-C.; *Biochimie* **2011**, *93*, 2029.
18. Kehres, D. G.; Maguire, M. E.; *FEMS Microbiol. Rev.* **2003**, *27*, 263.
19. Andreini, C.; Bertini, I.; Cavallaro, G.; Holliday, G. L.; Thornton, J. M.; *J. Biol. Inorg. Chem.* **2008**, *13*, 1205.
20. Vinogradov, S. N.; Hoogewijs, D.; Bailly, X.; Mizuguchi, K.; Dewilde, S.; Moens, L.; Vanfleteren, J. R.; *Gene* **2007**, *398*, 132.

21. Sandy, M.; Butler, A.; *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 4580.
22. Sheftel, A. D.; Mason, A. B.; Ponka, P.; *Biochim. Biophys. Acta, Gen. Subj.* **2012**, *1820*, 161.
23. Wandersman, C.; Delepelaire, P.; *Mol. Microbiol.* **2012**, *85*, 618.
24. Mathew, S.; Peterson, J.; deGaullejac, B.; Vicente, N.; Denis, M.; Bonaventura, J.; Pearce, L. L.; *Comp. Biochem. Physiol. B: Biochem. Mol. Biol.* **1996**, *113*, 525.
25. Haymond, S.; Cariappa, R.; Eby, C. S.; Scott, M. G.; *Clin. Chem.* **2005**, *51*, 434.
26. Mart, M. A.; Lebrero, M. C. G.; Roitberg, A. E.; Estrin, D. A.; *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 1611.
27. Kobayashi, M.; Shimizu, S.; *Eur. J. Biochem.* **1999**, *261*, 1.
28. Brown, K. L.; *Chem. Rev.* **2005**, *105*, 2075.
29. Li, Y. J.; Zamble, D. B.; *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 4617.
30. Staniscuaski, F.; Carlini, C. R.; *Toxins* **2012**, *4*, 55.
31. Farver, O.; Pecht, I.; *Coord. Chem. Rev.* **2011**, *255*, 757.
32. Rinaldi, A. C.; *Biomaterials* **2000**, *13*, 9.
33. Harris, E. D.; *J. Trace Elem. Exp. Med.* **2001**, *14*, 207.
34. Guzzi, R.; Sportelli, L.; Yanagisawa, S.; Li, C.; Kostrz, D.; Dennison, C.; *Arch. Biochem. Biophys.* **2012**, *521*, 18.
35. Mendel, R. R.; *BioFactors* **2009**, *35*, 429.
36. Bevers, L. E.; Hagedoorn, P. L.; Hagen, W. R.; *Coord. Chem. Rev.* **2009**, *253*, 269.
37. Ball, D. W.; *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 1039.
38. Carrico, R. J.; Deutsch, H. F. *J. Biol. Chem.* **1969**, *244*, 6087.
39. Ramasarma, T.; *Curr. Sci.* **2007**, *92*, 184.