

# Energia: um Conceito Integrador

– incidência na reforma curricular

Duarte J.V. Costa Pereira <sup>a</sup>



Duarte Costa Pereira

*Natural da cidade do Porto, é Professor Associado com Agregação do Grupo de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.*

*É licenciado em Engenharia Químico-Industrial pela Universidade do Porto (prémios Gomes Teixeira e Centenário), possuindo além disso os graus de Master of Science (Chemical Education) pela Universidade de East Anglia (prémio do sector pela melhor dissertação), Doctor of Philosophy (Chemistry) pela Universidade de East Anglia, Doutor em Química (Educação em Química) pela Universidade de Aveiro, Agregado em Didáctica das Ciências (Didáctica da Química) pela Universidade de Aveiro.*

*Professor das disciplinas da área da Metodologia e Didáctica da Química na Universidade do Porto, colaborando na docência desta e outras áreas com a Universidade do Minho e na de Trás-os-Montes e Alto Douro.*

*Coordenador do Pólo da Universidade do Porto do Projecto Minerva e de outros projectos da área das Novas Tecnologias da Informação (Projecto Portucale com a Câmara do Porto, Projecto Mar Português com a Comissão Nacional para a Comemoração dos Descobrimentos Portugueses e Projecto 500 Anos Depois - parte referente a Portugal e ao Brasil - com a Sociedad Estatal Quinto Centenario).*

*Membro fundador da Sociedade Europeia de Psicologia Cognitiva («European Society for Cognitive Psychology»), com sede em Amsterdão.*

*Representante da Universidade do Porto na Rede Europeia para o Desenvolvimento de Pessoal do Ensino Superior, ligado à UNESCO.*

*Coordenador Nacional da Secção de Tecnologia e Comunicação Educativa da Sociedade Portuguesa de Ciências de Educação.*

*Desempenhou, de 1980 a 1989, cargos directivos regionais na SPQ e coordenou a sua Divisão de Educação da Zona Norte de 1980-82 e de 1986-88.*

*Na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto foi Director do Grupo de Química (1976), encarregado da gestão do mesmo grupo (1984), membro da Comissão Coordenadora do Conselho Científico (1980-81), Presidente da Assembleia de Representantes (1983-86) e Presidente do Conselho Pedagógico (1986-87).*

*Tem desenvolvido actividades de investigação principalmente nos domínios da representação do conhecimento, detecção de concepções alternativas e na utilização pedagógica das Novas Tecnologias de Informação.*

## Introdução

O actual paradigma prevalente em Educação Científica – o das concepções alternativas – tem revelado grandes dificuldades e principalmente falta de permanência das formulações da Física baseadas numa acção a distância, muito particularmente da Mecânica Newtoniana (Sequeira e Leite, 1988) baseada como é no conceito de força. Este é aparentemente mais simples que o conceito de energia que na formulação Hamiltoniana (posterior historicamente) toma o lugar de conceito central (Stewart, 1990), mas tal simplicidade é, de facto, aparente por ser simplesmente derivada de concepções alternativas (como a ideia de impulso, ou a proporcionalidade à velocidade) nada tendo a ver com a concepção Newtoniana de força. De facto, sendo tanto força como energia (Ribeiro, Costa Pereira e Maskitt, 1990) conceitos extremamente difíceis porque teóricos, eles fundamentam duas linguagens\* rigorosamente equivalentes no que diz respeito à Mecânica Clássica (Gregory, 1990) e o certo é que os conceitos não devem ser julgados isoladamente, como uma certa formulação da teoria das concepções alternativas inspirada na Pedagogia do Não de Bachelard pretende (Santos, 1991) mas devem ser julgados pela compatibilidade com as estruturas de acolhimento com que entram em interacção alostérica (Giordan, 1987), numa palavra, pela adequação da linguagem conceptual à estrutura mental do aprendiz. Desde logo sendo a energia um fenómeno local, não envolvendo acções à distância o seu tratamento é operacionalmente menos complexo, eliminando mesmo a necessidade duma formulação vectorial da dinâmica e restringindo-a à cinemática. Por outro lado o conceito de energia adapta-se também muito melhor à termodinâmica nas suas versões clássica (a que a força não se adapta) ou estatística (em que o calor se pode obter como soma dos trabalhos microscópicos não orientados...). Também a poderosíssima noção de campo resulta muito bem em todos os ramos da Física associada muitas vezes a grandezas vectoriais (como o próprio campo eléctrico e magnético), mas tendo sempre subjacente o

<sup>a</sup> Universidade do Porto.

\* De facto, segundo vários autores e independentemente do problema da realidade, que tem sofrido contribuições recentes por parte de Popper com a sua teoria das Propensões (Popper, 1991), a Física deve ser encarada como uma linguagem usada para descrever a realidade (Gregory, 1990, Pagels, 1982).

conceito escalar e local de energia. Finalmente, não é demais lembrar que a Teoria da Relatividade ao promover a equivalência entre massa e energia e a Mecânica Quântica ao basear (na formulação de Schrodinger) os seus resultados numa adaptação das equações de Hamilton (precisamente aquelas que introduziram o conceito de energia na Física!) não fazem mais que reforçar a centralidade e a importância deste conceito nas Ciências Físicas! Fora destas, o conceito impõe-se também na Biologia, onde a Bioenergética é um ramo cada vez mais importante e em áreas como a teoria da informação onde conceitos relacionados com a energia, como a entropia, desempenham um papel fundamental.

Sendo assim, a linguagem centrada na energia impõe-se, em todas as Ciências e, antes de nos preocuparmos em descrever com algum detalhe a situação na Química, permitam-me que lance um apelo aos responsáveis pelo desenvolvimento curricular nas outras áreas, mormente na Física para que é tempo de abandonar estratégias antigas, apenas com inegável interesse histórico, e procurar centrar a linguagem da Ciência no conceito de Energia, pois, para além do que foi referido, como dizia Pagels (1982) no seu prefácio ao Código Cósmico, «o mundo visível não é matéria nem espírito mas a invisível organização da energia».

### Os discursos da Química

As bases históricas, epistemológicas e metodológicas da Química são muito diversificadas (Costa Pereira, 1991c). Os aspectos mais importantes a reter parecem ser a pressuposição dum sistema corpuscular (Harré, 1984), isto é que o comportamento dos sistemas pode ser explicado em termos do comportamento de outras entidades menores que o integram, e por outro lado, que a radicar-se nas Ciências Físicas, a Química, como Ciência que estuda o comportamento de grandes conjuntos de átomos, fá-lo sobretudo (Bent, 1965) na Mecânica Quântica (que estuda os átomos) e na Mecânica Estatística (que estuda os grandes conjuntos). Esta hibridez não impede a Química, no entanto, de ter conceitos próprios (às vezes até indesejavelmente distintos de uns ramos da Química para outros) e linguagem e métodos bem característicos!

Tentando ser o mais simples possível podem pelo menos distinguir-se três níveis distintos de discursos em Química (Costa Pereira; 1991a, 1991b) em que os objectos do discurso e a sua sintaxe são completamente diferenciados:

- O nível estrutural ou quantum / electrónico
- O nível reaccional ou estatístico / molecular
- O nível macroscópico ou termodinâmico / clássico

Vejamos cada um deles com um pouco mais de detalhe com o propósito de posteriormente fazer sobressair um denominador comum, no conceito de energia!

#### *O nível estrutural ou quantum / electrónico*

O nível mais básico da Química, se excluirmos a Química Nuclear (\*) da nossa apreciação, é o que considera as estruturas atómicas e pluri-atómicas e em que os *objectos* são

os electrões (particularmente os electrões de valência) e a *linguagem* é fornecida pela Mecânica Quântica. Podem aqui distinguir-se dois subníveis conforme haja um só núcleo (estrutura atómica) ou vários (estrutura molecular ou gigante), mas essa distinção não é essencial, já que os dois discursos se conciliam através do conceito de ligação química. As bases deste discurso são, sem dúvida, os postulados da Mecânica Quântica (representação proposicional rigorosa) e as suas consequências imediatas (como o princípio de incerteza de Heisenberg e o princípio de exclusão de Pauli), podendo dizer-se que no que toca aos problemas essenciais de estrutura química, se conseguem evitar as complicações dinâmicas, já que as soluções estacionárias da equação de Schrodinger, caracterizadas por um valor determinado de *energia*, são inteiramente satisfatórias. Dentro destas destacam-se as soluções correspondendo ao estado fundamental das várias estruturas, já que o espaçamento entre os níveis electrónicos é suficientemente grande para, a temperaturas como as que prevalecem na crosta terrestre, se terem apenas os níveis fundamentais significativamente preenchidos. Assim é que a caracterização destes níveis é geralmente suficiente para os problemas estruturais em Química, só se tendo que recorrer às soluções excitadas para descrições de estados de transição e reacções fotoquímicas, que de qualquer modo correspondem já ao segundo nível de discurso químico.

Há também, em face da insolubilidade rigorosa de sistemas mais complexos do que o do átomo de hidrogénio, uma quantidade de regras aproximadas (representações proposicionais não rigorosas com diferentes graus de aproximação) como a regra do octeto, a teoria da repulsão dos pares electrónicos, a teoria do campo do ligando, etc. juntamente com representações analógicas (modelos: do átomo, das moléculas, dos cristais iónicos, dos cristais metálicos, etc.). A profusão de representações e conceitos explicativos é tão grande que se pode dizer que a situação é confusa, sendo isto em grande parte devido à existência de duas aproximações, muitas vezes confundidas, do problema da ligação química: a Teoria da Ligação de Valência e a Teoria das Orbitais Moleculares. Com efeito, há conceitos como hibridação ou deslocalização que tendo «nascido» numa das teorias não são completamente «transportáveis» para a outra. Estamos assim em presença de dois «dialectos» cujos lexemas não são arbitrariamente intercambiáveis. Esta situação é infeliz até porque dá às pessoas de fora da disciplina uma ideia da Química como uma Ciência conceptualmente muito pobre (como ainda não há muito tempo foi afirmado por René Tom (1985), o pai da Teoria das Catástrofes), quando de facto o que existe é uma grande confusão de discursos a este nível!

#### *O nível reaccional ou estatístico / molecular*

Este nível relaciona-se com o anterior através de conceitos ainda de descrição electrónica como os de estado de transição e os de HOMO e LUMO (highest occupied molecular orbital e lowest unoccupied molecular orbital), para além de todos os parâmetros quânticos que são indícios de reactividade (polarização, polarizabilidade, ordem de reacção, etc.).

O nível em si é caracterizado por descrições que têm como *objecto* moléculas ou conjuntos de átomos ou iões existindo,

(\*) A esta corresponde um nível discursivo diferente onde a energia também é fundamental.



como veremos adiante, *dois tipos de linguagem* diferente, uma, *estocástica\** seguindo o paradigma estatístico iniciado no séc. passado a propósito da teoria cinética dos gases e outra, *determinista\** seguindo o figurino das equações diferenciais inaugurado por Newton na Dinâmica e que se espalhou ao estudo de quase todos os fenómenos dinâmicos. Em tais discursos está sempre presente uma propriedade chamada *energia* procedendo-se a um processo contabilístico (vide Costa Pereira e Valadares, 1991) em que surge a *entropia* apenas como uma maneira de contabilizar de uma forma sumativa e não multiplicativa as probabilidades das situações encontradas (Costa Pereira, 1990).

De facto, ao contrário do que acontecia como os aspectos estruturais em que a dependência temporal se podia ignorar, neste nível descritivo tal não acontece, de forma que há pelo menos dois tipos de discurso: um que apenas pretende descrever a tendência dos sistemas e outro que especificamente dá conta da dependência funcional em relação ao tempo das quantidades químicas ambos podendo ter o suporte de teorias muito diversas como a teoria das colisões ou a teoria do estado de transição.

O primeiro discurso – *Termodinâmica Estatística* – tem uma base perfeitamente estocástica e leva à consideração de *atractores* para os sistemas químicos, sejam eles os *atractores pontuais* que conduzem ao *equilíbrio químico* convencional, os *atractores circulares* que conduzem à menos familiares *reações oscilantes* ou ainda os *atractores estranhos* que podem conduzir ao *caos*! As duas últimas situações embora frequentes em ramos como a Bioquímica pouco ou nada são estudadas em abordagens convencionais da Química, mas nada justifica que esta situação se mantenha, com os modernos instrumentos para estudar sistemas complexos como são os computadores.

O segundo tipo de discurso – *Cinética Química* – descreve, em função do tempo, o comportamento das espécies químicas em presença. É um discurso híbrido, pois é determinista na medida em que usa equações diferenciais e é estocástico na medida em que pressupõe uma distribuição de velocidades e energias de acordo com determinado modelo teórico. Pode mesmo dizer-se que a partir da expressão genérica da velocidade de uma reação

$$-d[R]/dt = k f([A], [B], \dots)$$

que há uma completa separabilidade dos dois aspectos e portanto das duas linguagens, a estocástica aplicando-se a  $k$ , onde sobressai a dependência da temperatura e a determinística aplicando-se a  $f$ , onde sobressai a dependência explícita das concentrações e implícita do mecanismo das reações. Em certos casos, como o de autocatálise de reações bioquímicas, tal tratamento pode conduzir a percursos complicados com uma certa periodicidade e mesmo a situações caóticas. Também aqui o computador como modelador dinâmico por excelência pode ser um bom suporte para este discurso!

É importante aqui referir que os dois discursos deste nível, o termodinâmico e o cinético, embora sejam complementares, não se devem confundir, e que há uma precedência formal absoluta do primeiro sobre o segundo, o que condena implicitamente uma prática curricular muito generalizada, que é a da explicação do equilíbrio químico por igualização de velocidades de reações opostas, quando este de facto se deve procurar através dum balanço de entropia, por maximização desta! Senão como tratar os casos de mecanismos complexos que são na generalidade as reações químicas? Nem recorrendo ao conceito de passo limitante, para aí estabelecer o balanço se resolve o problema, isto simplesmente porque as considerações de equilíbrio são independentes e precedem as de cinética!

#### *O nível macroscópico ou termodinâmico / clássico*

Este nível é caracterizado por descrições que têm como *objecto* porções macroscópicas de matéria, ditos sistemas termodinâmicos e como *linguagem* a Termodinâmica Clássica, que remonta ao tempo de Carnot. A energia aqui aparece como várias funções de estado\* e relacionada com fenómenos fronteira tal como a produção de calor e trabalho.

Uma das mais espantosas descobertas da humanidade é a da sinérgica que se pode descrever como a possibilidade de sistemas extremamente complexos e vastos se deixarem descrever por um pequeno número de parâmetros. É dessa descrição que trata a termodinâmica clássica que constitui o último nível de descrição química. Existe uma perfeita correspondência entre os conceitos deste nível e os da termodinâmica estatística do nível anterior, embora estes dois discursos tenham consistência própria e sejam formalmente independentes. É a este nível que se fazem muitas das determinações energéticas experimentais que servem depois para racionalizar os discursos dos outros níveis.

#### **A Energia nos diferentes discursos da Química**

Tendo no número anterior explicado os vários níveis discursivos da Química, fomos encontrando referências à Energia, que já talvez chegassem para lhe atribuir as propriedades de conceito integrador, que correspondem à tese deste artigo. No entanto, para uma análise mais objectiva ocorreu-nos analisar um artigo publicado neste mesmo Boletim (Gil, 1988) em que se referem exhaustivamente as manifestações do conceito de energia na Química. Tentaremos, para cada uma localizá-la na tipologia do discurso químico mencionado no ponto anterior, fazendo-o de uma forma sumária, convidando o leitor a referir-se ao artigo para um esclarecimento dos vários conceitos relacionados com a energia aqui referidos.

#### *Conceitos energéticos utilizados no discurso estrutural da Química*

Aqui temos uma série de conceitos especificamente atribuíveis aos electrões, mas que se podem definir também a nível macroscópico pelo conhecido artifício molar. Temos

\* Os dois grandes paradigmas da Ciência Clássica são o determinístico que tem origem nas equações diferenciais de Newton que se generalizam ao tratamento de todo o género de fenómenos e o estocástico desenvolvido só no séc. passado e necessário para explicar os gases e o calor.

\* Energia interna, Entalpia, Energia livre de Gibbs ou de Helmholtz, etc.

entre outros: – energia de ionização, afinidade electrónica, energias de orbitais, etc.

Das categorias citadas explicitamente no artigo acima referido (Gil, 1988), podemos incluir aqui as seguintes:

- Energia radiante (p. 17)
- Energia e massa (p. 18)
- Energia de átomos (p. 18)
- Energia de electrões em átomos polieletrónicos (p. 19)
- Energia de electrões em moléculas (p. 21)
- Energia e espectroscopia (p. 24)
- Energia e fotoluminescência (p. 24)

#### *Conceitos energéticos utilizados no discurso reaccional da Química*

Aqui temos por um lado uma série de conceitos especificamente atribuíveis às moléculas, iões ou estruturas gigantes e por outro lado conceitos estatísticos. Entre os primeiros temos: energias de vibração, energias de rotação, energias de rede, etc.; entre os segundos avultam os de entropia e de energia de activação. Todos estes também podem definir-se a nível macroscópico pelo artifício molar.

Das categorias referidas explicitamente no artigo acima citado (Gil, 1988), podemos incluir aqui as seguintes:

- Energia molecular e geometria molecular (p. 22)
- Energia e cinética molecular (p. 22)
- Energia e condutibilidade (p. 23)
- Energia e quimioluminescência (p. 23)
- Energia e probabilidade - entropia (p. 23)

#### *Conceitos energéticos utilizados no discurso macroscópico da Química*

Incluem-se aqui todas as funções de estado termodinâmicas relacionadas com a energia, como a energia interna, entalpia, energia livre de Gibbs, energia livre de Helmholtz, bem como os aspectos energéticos dos fenómenos de fronteira que são o calor e o trabalho, para além das quantidades referidas nos outros níveis, molarizadas. Note-se no entanto que as relações definicionais diferem por vezes substancialmente no nível 2 e nível 3, como por exemplo a entropia que para o nível 2 é  $S = k \ln w$  e para o nível 3 é  $dS = \delta q / T$ .

No que diz respeito às categorias referidas explicitamente no artigo acima citado (Gil, 1988), podemos incluir aqui as seguintes:

- Interconversões e transferências de energia (p. 25)
- Dispersão e degradação da energia (p. 27)
- Energia de activação (p. 30)

#### **E que conclusões para o desenvolvimento curricular?**

Não me cabe aqui propor uma abordagem do conceito de energia na disciplina de Química, que já tratei em devido tempo (Costa Pereira, 1986). Muito menos terei pretensões de abordar o desenvolvimento curricular de tal conceito a nível da disciplina da Física embora a esse respeito recomende a leitura da unidade 8 da Didáctica da Física e da Química da Universidade Aberta (Costa Pereira e Valadares, 1991). Quero simplesmente aproveitar os exemplos da história recente, para ver se se arranjam soluções para o impasse em

que se caiu pela não homologação dos programas de Física e Química do Ensino Básico e Secundário.

Antes de mais gostaria de me referir a uma tentativa de reforma curricular dos princípios da década de 80 que teve como resultado concreto um programa para o 7.º ano de Física e Química, cujo tema essencial era a energia. Tal programa não chegou, tanto quanto eu sei, a ser testado, pelo menos numa escala significativa, e é bem pena que assim tenha sido, pois além do mais, evitaria os grandes atropelos (concepções «alternativas» ou mesmo erradas) que todos nós conhecemos e que são denunciados por Victor Gil (Gil, 1988) resultantes de a primeira abordagem de conceitos, como o de energia de ligação, se fazer noutra disciplina que não a Química.

De qualquer modo, a ideia de Física e Química no 7.º ano não pegou, como não pegou a de Ciências Físico Naturais, pois que embora tivesse muitos aspectos positivos era irrealista em face do parque de professores que temos. Aparecem assim os novos programas de Física e Química do 8.º ao 12.º anos, tendo no ano lectivo transacto sido apenas testado o relativo ao 10.º ano (por ser o único que correspondia ao início dum ciclo lectivo).

Tanto quanto pude observar cometeram-se três erros gravíssimos, a saber:

- um foi o facto de ser testar um programa que pressupunha as bases de outro (os do 8.º e 9.º anos) o que veio a revelar-se na enorme dificuldade sentida com a Física, particularmente porque o programa do 9.º ano desta disciplina é – honra lhe seja feita – totalmente dedicado ao conceito de energia com o seu já referido efeito integrador;
- o outro foi o de inverterem a ordem, começando por dar a Química o que torna o programa, que tinha uma certa lógica e que tentava uma certa integração, num amontoado disforme de assuntos, até porque não é correcta a ordem por que se dá a Cinética e a Termodinâmica Química. Sobre esta questão devo dizer que embora possa admitir e até encorajar tal troca no ensino básico pois as duas linguagens não começaram ainda a ser diferenciadas, não a acho correcta no ensino secundário, em que já o deveriam estar. Note-se que já não me oponho tanto à relegação do discurso estrutural para o 2.º ano do ciclo (11.º ano), o que os autores fazem também no Ensino Básico;
- o maior erro de todos foi, no entanto, o de resolverem eliminar o tópico 6 da Física, precisamente sobre Termodinâmica, que era o assunto chave da integração da Física com a Química e da diferenciação das linguagens a que me referi, tendo toda a lógica do desenvolvimento curricular ido por água abaixo. Custa a crer como é que isto foi consentido! Sejamos no entanto optimistas: primeiro, não há dúvida que os autores, pessoas competentes, investiram muito esforço nos programas ora recusados; por outro lado, parece que não houve grandes críticas ao programa de Química e que as que se fizeram ao da Física resultam em grande parte dos erros experimentais apontados. Embora eu gostasse de ver a aproximação Newtoniana (ponto 1 do programa) fortemente reduzida e que se alcançasse uma maior coerência entre os programas do 10.º e 11.º anos, parece-me que na sua globalidade, muito especialmente no que se refere ao programa do 9.º ano da Física, o curriculum é aproveitável e que seria um erro enorme deitá-lo fora como há indícios que está para

acontecer, pelo menos ao programa de Física. Por muito bem que trabalhe uma nova equipa de Física (que não sei quem é, nem se existe) falta-lhe o trabalho de coordenação com a de Química que a anterior teve e que pode distinguir um curriculum dum amontoado de assuntos e actividades propostas!

#### Bibliografia

- Bent, H.A., The Second Law, an Introduction to Classical and Statistical Thermodynamics, Oxford University Press, 1965.
- Costa Pereira, D., O Conceito de Entropia e o Ensino da Química, Boletim da SPQ, 35, 25-32, Lisboa, 1986.
- Costa Pereira, D., Consequências da Distribuição Aleatória da Energia, Boletim da SPQ, 39 (Série II), 31-35, 1990.
- Costa Pereira, D., Didáctica da Física e da Química, 2.º, 3.º e 4.º videogramas da Química, Universidade Aberta, 1991a.
- Costa Pereira, D., Hypermedia and Science Education, – The Case of Chemistry, in «Structure of Communication and Intelligent Help to Hypermedia Courseware», Nato Advanced Series, Springer Verlag (no prelo), 1991b.
- Costa Pereira, D., Impacto das Novas Tecnologias de Informação nas

Estratégias de Ensino da Química, Revista Portuguesa de Educação (a publicar), 1991c.

- Costa Pereira, D., Valadares, J., Didáctica da Física e da Química, II Vol., Universidade Aberta, 1991.
- Gil, V.M.S., O Conceito de Energia em Química, Boletim da SPQ, 32/33, II Série, 15-31, Lisboa, 1988.
- Giordan, A., Vecchi, G., Les Origines du Savoir, Delachaux & Niestlé, Neuchâtel - Paris, 1985.
- Gregory, Inventing Reality, Physics as a Language, 1990.
- Harré, R., As Filosofias da Ciência, Edições 70, 1984.
- Pagels, H.R., O Código Cósmico, A Física Quântica como Linguagem da Natureza, Gradiva, 1982.
- Popper, K., Um Mundo de Propensões, Ed. Fragmentos, 1991.
- Ribeiro, M., Costa Pereira, D., Maskill, R., Reaction and Spontaneity: the Influence of Meaning from Everyday Language on Fourth Year Undergraduates' Interpretation of Some Simple Chemical Phenomena, International Journal of Science Education, 1990.
- Santos, M.E.V.M., Mudança Conceptual na Sala de Aula, Biblioteca do Educador, Livros Horizonte, 1991.
- Sequeira, M., Leite, L., Newton's Third Law: a Study on Secondary School and University Students' Alternative Conceptions. Comunicação à 13.ª Conferência da ATEE, Barcelona, 1988.
- Stewart, I., Does God Play Dice? Penguin Books, 1990.
- Tom, R., Parábolas e Catástrofes, Publicações Dom Quixote, 1985.

69  
**Tm**  
168,93

**TÚLIO**, de **Thule**, ou país nórdico; descoberto em 1879. Quando irradiado num reactor nuclear, o túlio produz um isótopo que emite raios X. Este isótopo, em pequenas porções, é usado em máquinas portáteis produtoras de raios X para fins médicos.

70  
**Yb**  
173,04

**ITÉRBIO**, de **Ytterby**, Suécia; descoberto em 1907. Este elemento é ainda pouco mais do que uma curiosidade laboratorial. Conjuntamente com outras «terras-raras» foi detectado recentemente na Rússia num mineral chamado gagarinite em homenagem ao primeiro astronauta. Oxida-se com facilidade.

71  
**Lu**  
174,97

**LUTÉCIO**, de **Lutetia**, o antigo nome de Paris; descoberto em 1907. É a mais pesada das «terras-raras». Muitas das suas propriedades químicas e físicas são ainda desconhecidas. É muito caro e até agora sem valor prático.

72  
**Hf**  
178,49

**HÁFNIO**, de **Hafnia**, o nome latino de Copenhaga; descoberto em 1923. O háfnio é o «metal maravilha» da época atómica, devido ao seu grande «apetite» por neutrões. Usa-se, por isso, em controladores neutrónicos de reactores que diminuem a velocidade das reacções nucleares em cadeia e para apagar «fogos» atómicos.

73  
**Ta**  
180,95

**TÂNTALO**, do rei **Tântalo** da Grécia mítica; descoberto em 1802. Quase inerte à corrosão, o tântalo é vital em reparações cirúrgicas do corpo humano: substitui, por exemplo, ossos no cérebro; em folhas ou em fio pode ligar nervos dilacerados; como um entrançado metálico prende músculos abdominais.

74  
**W**  
183,85

**TUNGSTÉNIO**, do sueco **tung sten**, ou pedra pesada; o símbolo W provém do seu nome alemão, **wolfram**; descoberto em 1783. É o metal de ponto de fusão mais elevado (3410 °C). Em filamentos resiste a intenso calor em lâmpadas. Novas brocas dentárias «indolores» têm pontas de tungsténio e rodam a velocidades elevadíssimas.



