

Sobre a tridimensionalidade do Universo e as origens da vida: indo além da existência dos químicos

F. Caruso

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rua Dr. Xavier Sigaud, 150, 22290-180, Urca,
Rio de Janeiro, Brasil
email: francisco.caruso@gmail.com

On the three-dimensionality of the Universe and the origins of life: going beyond the existence of chemists – *A general outline of how the problem of spatial dimensionality depends on the anthropic arguments is presented. An attempt is made to put in evidence how the requirements for the existence of life, as we know it, and the dimensionality of space are entangled. In particular, the influence of three-dimensionality on the solar system stability and on the origin of life on Earth is reviewed. A new constraint on space dimensionality and on its invariance in a very large (cosmological) time and spatial scales is proposed based on chemical clues.*

Apresenta-se um esboço geral de como o problema da dimensionalidade espacial depende dos argumentos antrópicos. Procura-se evidenciar como os requisitos para a existência da vida, tal qual a conhecemos, e a dimensionalidade do espaço estão emaranhados. Em particular, é revista a influência da tridimensionalidade na estabilidade do sistema solar e na origem da vida na Terra. Uma nova restrição na dimensionalidade do espaço e em sua invariância em escalas temporais e espaciais muito grandes (cosmológicas) é proposta com base em pistas químicas.

1. Introdução

A enorme maioria dos trabalhos escritos sobre a origem da vida procura estabelecer o seu *background* químico e biológico. Indaga-se, por exemplo, em que atmosfera e a partir de quais elementos inorgânicos e orgânicos a vida poderia ter surgido, como na experiência clássica de Stanley Miller e Harold C. Urey, ainda que considerando críticas mais recentes [1]. Deve-se recordar que, no caso geral, o aparato experimental, contendo certa mistura no estado gasoso, é submetido a descargas elétricas intensas, simulando raios numa atmosfera primordial, em condições físicas bem controladas. Portanto, a Física deve ter também um papel fundamental na criação da vida, que vai bem além do senso comum baseado na convicção de Paul Dirac, segundo a qual “toda a Química pode ser explicada pela Mecânica Quântica” [2]. De facto, é certo que o tipo de vida que se conhece depende das teorias físicas das interações fundamentais entre átomos e moléculas, mas pode também depender de propriedades do espaço na qual se desenvolveu, dentre as quais a sua dimensionalidade. Pode, inclusive, depender da violação da paridade (que é uma simetria espacial) nas interações fracas, como bem ressalta o Prêmio Nobel da Física Abdus Salam [3]. Por outro lado, não se deve esquecer que aspetos do metabolismo dos seres vivos suscitam questões, ainda sem resposta na Biologia do desenvolvimento, envolvendo a quiralidade. Uma delas é exatamente como é possível, por exemplo, que um animal desenvolva um corpo bilateralmente simétrico com componentes elementares assimétricos (L-aminoácidos e D-açúcares, para citar alguns) [4]. O nosso objetivo nesse ensaio é duplo: por um lado, destacar em que sentido se espera que a vida dependa da dimensionalidade do espaço; por outro, deixar claro ao leitor como é que *todas* as tentativas de compreensão da tridimensionalidade do espaço acabam por evocar a vida, de um modo ou de outro.

Para os leigos – e até mesmo para uma grande parte dos cientistas – é tão óbvio que o espaço é tridimensional que é difícil considerar que esse atributo do espaço seja parte de um problema científico, algo a ser justificado de alguma forma. De facto, em quase todas as teorias físicas e químicas desenvolvidas ao longo dos séculos, admite-se que a *dimensionalidade* – uma característica topológica essencial do espaço – é simplesmente um dado de facto, algo contingente e inquestionável. Esta visão é apoiada pela percepção visual, tátil e sinestésica do espaço. Mas será que a Física pode dar uma resposta a essa questão? O matemático alemão Hermann Weyl, por exemplo, coloca a questão: “quais peculiaridades internas distinguem o caso [do espaço tridimensional] de todos os outros?”. E vai adiante: “Se Deus, ao criar o mundo, escolheu fazer o espaço 3-dimensional, pode ser dada uma explicação ‘razoável’ deste facto desvendando-se tais peculiaridades?” [5].

Espera-se mostrar nesse artigo que as coisas podem caminhar em sentido diferente, e que é possível alcançar uma melhor compreensão do problema da dimensionalidade do espaço pressupondo que a dimensionalidade do espaço físico possa flutuar em uma grande escala de espaço e tempo, e como isso poderia afetar a origem da vida.

O matemático e cosmólogo britânico Gerald James Whitrow, por exemplo, num artigo importante de 1955, afirma que para tentar isolar “o espaço tridimensional como o único possível para o mundo no qual nos encontramos, precisamos agora invocar algum argumento para mostrar o porquê de o número de dimensões não poder ser menor que três” [6]. Para isso, ele adaptou o bem conhecido resultado topológico da Teoria dos Nós – segundo o qual não se pode dar um nó num fio num espaço de dimensões pares – para a necessidade de formas mais elevadas de vida animal terem um cérebro no qual as informações carregadas por impulsos elétricos nos nervos não podem interferir entre si destrutivamente, o que exclui o

plano bidimensional e outros espaços de dimensões pares. Tal argumento automaticamente obriga o espaço a ter um número ímpar de dimensões ≥ 3 . Então, reconhecendo que o problema da dimensão espacial ainda não está resolvido – o que é verdade em nossa opinião – Whitrow escreve na conclusão do seu artigo:

“Apesar de várias tentativas recentes de mostrar que [a dimensionalidade espacial] é um atributo necessário da nossa concepção de espaço físico ou é parcialmente convencional e parcialmente contingente, o problema não pode ser considerado como finalmente resolvido. Uma nova tentativa de esclarecer a questão indica que essa propriedade topológica fundamental do mundo pode ser considerada como parcialmente contingente e parcialmente necessária, uma vez que pode ser inferida como a única concomitante natural de certas outras características contingentes associadas às formas mais elevadas de vida terrena, em particular do homem, *o formulador do problema*.” [7].

Seguindo uma abordagem diferente, baseada na *estabilidade de átomos em espaços com número de dimensões maiores* [8–11] e no Princípio de Incerteza de Heisenberg, Barrow e Tipler enfatizaram que:

“(…) *tem sido alegado que, se admitirmos que a estrutura das leis da Física é independente da dimensão, os átomos estáveis, a Química e a vida só poderiam existir em dimensões $N < 4$* .” [12].

Então, talvez inspirados nas ideias de Whitrow acima mencionadas, esses autores concluem que “*a dimensionalidade do Universo é a razão para a existência da Química e, portanto, muito provavelmente, dos químicos também*” [13].

Assim, os químicos devem ficar orgulhosos, não apenas pelo facto de existirem, como também por a sua existência poder estar, de alguma forma, relacionada com a compreensão da dimensionalidade do espaço. Esta não é, no entanto, uma ideia totalmente original; ela remete-nos para o “Princípio Antrópico”.

II. Marco antrópico para a discussão da dimensionalidade do espaço

Tanto quanto se sabe, a expressão “Princípio Antrópico” foi cunhada em 1973 pelo astrofísico Brandon Carter como uma espécie de reação ao tremendo impacto da Revolução Copernicana na Ciência e na Sociedade, que tirou os homens do centro do Universo [14]. No entanto, como o próprio Carter enfatiza, “embora a nossa situação não seja necessariamente central, é inevitavelmente privilegiada até certo ponto”.

Hoje em dia, esta expressão esconde muitos significados diferentes. O que hoje é conhecido como “Princípio Antrópico Fraco” tem origem na ideia anterior de Dicke [15], que foi reformulada por Carr e Rees [16], e que essencialmente nos diz que os valores observados de grandezas físicas não são arbitrários, mas restringem-se a serem compatíveis com a evolução sustentada da vida no que se refere à espacialidade, e temporalmente é consistente com a evolução biológica e cosmológica dos seres vivos e de seus nichos. Há também o “Princípio Antrópico Forte” devido a Carter [17], que pressupõe que o Universo deve necessariamente conter a vida, e o “Princípio Antrópico Parti-

cipativo” defendido por Wheeler que, levando em conta o problema de medição em Mecânica Quântica, argumentou que são necessários observadores para a existência do Universo [18]. Mais detalhes podem ser encontrados na literatura [19].

Em qualquer caso, a relevância para este artigo é o próprio facto de que argumentos antrópicos foram propostos, independentemente, por filósofos e cientistas, para explicar por que percebemos um Universo tridimensional (para uma revisão, ver [12]). Na verdade, pode-se ir além e afirmar que parece inevitável fazer uso – implícito ou explícito – de algum argumento antrópico quando se busca justificar e entender a tridimensionalidade do espaço. Algumas dessas propostas serão brevemente revistas nesta seção e uma possível relação entre a estrutura tetraédrica do carbono, a origem da vida e a dimensionalidade espacial serão apontadas na próxima.

A conjectura do jovem Kant [20] – formulada antes de seu período crítico – de que a tridimensionalidade espacial pode, de alguma forma, estar relacionada com a lei da Gravitação do Quadrado Inverso de Newton foi o primeiro passo na direção de uma explicação científica da dimensionalidade. Embora tenha sido demonstrado [21,22] que Kant não conseguiu realmente provar essa conjectura – na verdade, ele apenas concluiu que deveria haver uma relação entre essa lei e a extensão –, a sua contribuição tem o mérito de sugerir que o problema da dimensionalidade também pode ser tratado no âmbito da física e não pertence exclusivamente ao domínio da matemática, nem ao da pura especulação filosófica.

Como segundo passo, pode-se citar o trabalho de William Paley [23], que pode ser considerado como a primeira tentativa de lançar luz sobre o problema da dimensionalidade espacial claramente a partir dos argumentos antrópicos. No seu trabalho, Paley analisa as consequências das mudanças na forma da lei gravitacional de Newton e da estabilidade do sistema solar na existência humana. Partindo de uma tese teleológica, as suas especulações levam em conta uma série de argumentos matemáticos para um projeto antropocêntrico do mundo, que repousam sobre a estabilidade das órbitas planetárias no nosso sistema solar e numa *Weltanschauung* mecânica newtoniana, como seria de esperar nesse tempo.

No século XX, a ideia de como a dimensionalidade do espaço decorre da estabilidade das órbitas planetárias no sistema solar foi revisitada nos trabalhos seminais de Ehrenfest [8,9] nos quais vários fenómenos físicos foram discutidos, tentando revelar qualquer diferença qualitativa entre as três dimensões e outros espaços n -dimensionais. A existência de órbitas planetárias estáveis e a estabilidade de átomos e moléculas são apenas um ponto. Esses aspetos, dependendo da dimensionalidade do espaço, que distinguem a Física de um tipo de espaço para outro, são chamados por ele de “aspetos singulares” e as suas obras visavam enfatizá-los. Uma suposição crucial é construída nas ideias de Ehrenfest, a saber, que é possível fazer a extensão formal do espaço tridimensional para uma particular lei da física e, então, deve-se encontrar um ou mais princípios que, em conjunto com esta lei, pode(m) ser usado(s) para destacar a dimensionalidade do espaço apropriada. A generalidade dessa abordagem foi notada por Tangherlini [10].

Ele propôs que, para o problema de Newton–Kepler, generalizado para o espaço n -dimensional, o princípio para determinar a dimensionalidade espacial poderia ser resumido no postulado de que *deveria haver estados estáveis em órbita* – ou simplesmente “estados” – para a equação de movimento, que rege a interação dos corpos, tratados como pontos materiais. Isso será genericamente chamado, a partir de agora, o *postulado da estabilidade*. Nesse mesmo artigo, Tangherlini mostrou que os resultados essenciais da investigação de Ehrenfest–Whitrow permanecem inalterados quando a teoria gravitacional de Newton é substituída pela relatividade geral, atribuindo assim um novo significado científico às conjecturas de Paley. A aplicação dessa mesma ideia à estabilidade do átomo de hidrogénio, descrita por uma equação generalizada de Schrödinger, leva ao mesmo tipo de restrição numa escala espacial muito grande e diferente.

Em sua essência, a abordagem de Ehrenfest para o movimento planetário baseia-se em dois postulados: a) a equação de Poisson para o campo gravitacional, que descreve (em um nível newtoniano) o movimento planetário para qualquer dimensionalidade espacial, explica corretamente o mesmo fenómeno que descreve em três dimensões; e b) a estabilidade das órbitas mecânicas deve manter-se no espaço dimensional superior. Para ele, o primeiro é a *causa formalis* e, mais tarde, a *causa efficiens* da dimensionalidade espacial. Na verdade, ambos são ingredientes típicos de qualquer restrição antrópica imposta à dimensionalidade. Apesar do facto de que esse tipo de abordagem reflete fortemente o reconhecimento de que a nossa ignorância está completa e assume um “Princípio de Similaridade” – usando a expressão adotada noutro lugar [6], a saber: leis físicas alternativas deveriam espelhar a sua forma real em três dimensões, tanto quanto possível – parece uma tarefa muito difícil evitá-la, desde que a dimensionalidade seja entendida no campo da Física ou da Química.

O que foi dito acima revê brevemente como o *postulado de estabilidade*, no qual um argumento antrópico está implícito, é usado para lançar alguma luz sobre o problema das dimensões espaciais, mas devemos salientar que alguns aspetos epistemológicos e metodológicos desta abordagem geral baseada nos postulados de estabilidade foram criticados vinte anos atrás [21]. Novas críticas foram publicadas em [24].

Concluindo essa secção, cabe salientar um aspeto epistemológico do problema ainda em aberto. Trata-se da necessidade de se fazer uma análise crítica sobre a natureza científica de todas as ideias que foram expostas até aqui envolvendo a dimensionalidade do espaço, tendo em vista os critérios de demarcação do que é científico propostos por Karl Popper [25].

III. Alguns argumentos novos e velhos

Começemos por resumir algumas características da restrição da dimensionalidade espacial que decorre do *postulado da estabilidade*. Em seguida, serão introduzidos alguns aspetos da relação entre essa restrição e o problema da origem da vida, bem como algumas novas observações sobre a “escala” temporal (e espacial) dos argumentos discutidos anteriormente.

O primeiro está relacionado com o argumento de estabilidade de Ehrenfest, que é tipicamente válido para distâncias da ordem do sistema solar e numa escala de tempo suficientemente grande para tornar possível a evolução da vida na Terra, como mencionado por Whitrow [6]. No entanto, o seu argumento sobre esse assunto poderia ser melhorado ressaltando que não é suficiente que a intensidade da radiação solar na superfície da Terra não tenha flutuado muito para a vida ainda existir na Terra; na verdade, também deveria ser exigido que os espectros de radiação do Sol não flutuassem muito [21]. Por outro lado, o trabalho de Tangherlini sobre a estabilidade dos átomos de hidrogénio é frequentemente invocado para sugerir a validade da Química na mesma escala de tempo como uma condição necessária, embora não suficiente – pelo menos a Termodinâmica Química do processo irreversível também deveria ser válida. Assim, “a presença de espectros atômicos em estrelas remotas também pode indicar que o espaço teve a mesma dimensionalidade em escala cósmica” [26]. A existência de tal restrição cósmica na dimensionalidade espacial é uma consideração muito interessante e este assunto foi tratado noutro texto [27].

O segundo aspeto também está relacionado com a ideia geral de que entre um grande número de universos possíveis, o Universo atual é aquele que contém vida inteligente, ou pelo menos tinha alguma forma de vida numa escala de tempo muito longa. Nós citamos acima o que Whitrow, Barrow e Tipler disseram sobre a vida humana e como ela impõe algumas restrições ao número de dimensões. Infalivelmente, esta consulta remete-nos à bioquímica. Há um belo capítulo sobre este assunto no livro referido em [12], no qual vários tópicos relevantes são discutidos em detalhe e, portanto, não serão tratados aqui. Entre eles podemos citar as propriedades únicas do carbono, hidrogénio, oxigénio e nitrogénio, ou se é possível ou não basear a vida em elementos ou substâncias diferentes dessas e, finalmente, que essas propriedades únicas são provavelmente necessárias para garantir a estabilidade ecológica, exigida pela vida altamente evoluída, embora não seja suficiente.

O nosso objetivo aqui é introduzir um novo argumento em favor de um cenário estável para a dimensionalidade espacial para uma escala de tempo maior do que a necessária para a existência humana ou outro tipo de vida altamente evoluída na Terra, lembrando que as escalas geralmente aceites são: dois milhões de anos atrás, o *homo erectus* apareceu, enquanto os primeiros *esqueletos e fósseis facilmente reconhecíveis* são de há 600 milhões de anos. Esse novo argumento está relacionado com a estrutura tetraédrica do carbono, como será mostrado agora, com base no artigo [28].

Voltemos às experiências de Miller–Urey na década de 1950. Em certo sentido, podemos ver essas obras como uma extensão natural da preocupação de Urey sobre a origem do sistema solar e os eventos químicos associados a esse processo. Eles mostraram, por meio de uma descarga elétrica, ser possível transformar uma mistura de gases consistindo de metano, água, amoníaco e hidrogénio – que na época era a composição da atmosfera primitiva da Terra – num número relativamente pequeno de compostos orgânicos, entre eles os hidroxi-ácidos, a ureia e alguns aminoácidos essenciais à vida, como a glicina e a alanina. Apesar da controvérsia que há hoje em torno dessa experiência,

já aqui mencionada, novos estudos mostraram que podem ter sido criados aminoácidos numa atmosfera primitiva, em maior ou menor quantidade, dependendo da natureza da atmosfera considerada, bem diferente daquela dos dias atuais, composta das quatro substâncias que acabamos de mencionar. Aceitar isso significa admitir que, em certo sentido, o metano, que tem a fórmula mais simples entre os compostos orgânicos (CH_4), de alguma forma, está relacionado à origem dos aminoácidos que poderiam construir a vida primitiva. Além disso, é importante realçar que uma forte suposição está implícita nesse raciocínio, que deve ser dito explicitamente: que a estrutura atômica e as propriedades químicas dos elementos não mudaram no tempo (*princípio de similaridade*).

Estudos mais recentes mostraram que alguns aminoácidos poderiam ter vindo para a Terra a partir do meio interestelar, como revisado por Marshall [29]. Por exemplo, alguns meteoritos que colidiram com a Terra após uma longa jornada desde o canto mais remoto do universo continham aminoácidos. Este é o caso do meteorito que atingiu Murchison, na Austrália, em 1969. De facto, vestígios de glicina, alanina e glutamato foram detetados imediatamente [30]. Por outro lado, parece bem estabelecido que os aminoácidos podem ser encontrados em todos os meteoritos mais ricos em carbono [31]. Este é um ponto relevante, pois:

“Os aminoácidos nos meteoritos atraíram naturalmente a atenção devido ao papel central que esses ácidos desempenham na bioquímica terrestre, e a possibilidade de que ambos os aminoácidos terrestres prebióticos e meteoríticos compartilhassem uma origem semelhante” [31, p. 107].

Em 2002, outro grupo relatou uma demonstração laboratorial de que a glicina, a alanina e a serina se formam naturalmente a partir da fotólise ultravioleta dos análogos de grãos interestelares gelados. Este gelo é composto principalmente de H_2O amorfa, mas geralmente também contém uma variedade de outras moléculas simples, como CO_2 , CO , CH_3OH e NH_3 [32]. A ideia de que a geração de aminoácidos no meio interestelar é possível parece ser apoiada também por resultados independentes [33].

Portanto, vimos pelo menos dois resultados diferentes que sugerem fortemente um mecanismo de criação de aminoácidos no meio interestelar. Colocando essas evidências junto com o resultado da experiência de Miller–Urey, percebemos que, em geral, não é o metano que desempenha um papel crucial na síntese de aminoácidos. O facto químico mais comum subjacente a todos esses resultados experimentais é a presença de *carbono* num meio anterior livre de aminoácidos, que pode ser interestelar ou a atmosfera da Terra primitiva.

Com base na espectroscopia de raios-X e no facto empírico de que nunca foi encontrado um isómero do metano, foi estabelecida a estrutura tetraédrica do carbono. Outras palavras, a natureza parece ter escolhido apenas uma disposição espacial para os átomos do metano e também para todos os compostos do tipo CH_3Y e CH_2YZ , com Y e Z sendo qualquer grupo de átomos. Isto exclui qualquer configuração plana para o composto orgânico mais simples e outras moléculas feitas de carbono e requer, obviamente, que o espaço no qual ele existe seja (pelo menos) tridi-

mensional. Assim, a síntese de aminoácidos – não importa como mecanismos sofisticados são necessários para construir moléculas mais complexas na cadeia da vida –, como a entendemos hoje, requer tridimensionalidade do espaço. Isso coloca o limite temporal da restrição na tridimensionalidade pelo menos na ordem de algo como 3500 milhões de anos atrás.

Assim, acreditar na síntese laboratorial de alguns aminoácidos num meio semelhante ao interestelar como pista para a origem de aminoácidos essenciais à vida, associados a uma atmosfera com uma quantidade significativa de carbono, pressupõe implicitamente que três é a dimensionalidade espacial mínima exigida pela estrutura tetraédrica do carbono e que a vida seja desenvolvida dessa maneira. Colocando isso junto com o que foi dito acima sobre os espectros de estrelas remotas, parece plausível um cenário em que a dimensionalidade espacial deveria ser de pelo menos três para escalas temporais e espaciais muito grandes; muito maior do que o exigido pela vida humana na Terra. Apesar da sua natureza especulativa, esta é uma nova restrição imposta não apenas ao número de dimensões, mas também à sua estabilidade numa escala espacial e temporal muito grande, obtida de uma espécie de princípio antrópico forte modificado, a partir da suposição de que o Universo deve necessariamente conter aminoácidos.

Ainda podemos comparar este resultado com uma análise do espectro cósmico de fundo de micro-ondas medido pelo FIRAS no satélite COBE [34], que estabeleceu um limite muito pequeno para o possível desvio da dimensionalidade do espaço a partir de três, ou seja, algum desvio da ordem de 10^{-5} . Isto significa que qualquer desvio da dimensionalidade do espaço foi muito pequeno e deu-se em torno do valor bem aceite três, numa escala espacial e temporal muito grande, comparável àquela da era do desacoplamento.

Tudo o que discutimos neste artigo nos levou a dar conta de um cenário coerente em que a dimensionalidade espacial foi três (ou um número muito próximo) desde a era do desacoplamento que aconteceu após o *Big Bang*, e esse é exatamente o valor necessário para a síntese primordial de aminoácidos, bem como para a origem da vida na Terra. Essas evidências apenas corroboram a ideia de que a dimensionalidade espacial é um invariante topológico que não poderia ser modificado no âmbito da Relatividade Geral.

IV Comentários finais

Ainda há muitas obras científicas e filosóficas a serem feitas sobre o problema da dimensionalidade do espaço e a sua relação com a ciência e a origem da vida. Em particular, será desejável que físicos, químicos e filósofos enfrentem algumas dificuldades epistemológicas relativas ao problema de tentar explicar, compreender ou determinar a dimensionalidade do espaço, entre as quais podemos enfatizar uma incompletude na maioria das abordagens para este problema, na medida em que considere os eventos físicos ocorrendo apenas no espaço, não no espaço-tempo. Assim, o problema do número de dimensões do espaço e das dimensões do tempo provavelmente não é independente, mas geralmente o tempo é *a priori* fixado para ser unidimensional. Finalmente, deve-se alcançar ou não uma

compreensão mais profunda do problema da dimensionalidade espacial e, em particular, se é possível continuar a discutir esse problema sem levar em conta qualquer tipo de argumento antrópico como um estágio de um raciocínio particular? Ainda há boas perguntas sem boas respostas.

Finalmente, o pequeno desvio encontrado aqui para a dimensionalidade do espaço sugere que ela não variou significativamente numa ampla escala temporal. Esta escala de tempo pode seguramente ser colocada numa época na qual o Universo teria 3×10^5 anos de existência (o que corresponde a um *red shift* $z \sim 10^3$).

Agradecimentos

O autor agradece a Paulo Porto, Vitor Oguri, Hélio da Motta, Ívano Damião Soares, Mauro Velho de Castro Faria, Oscar Matsuura, Claudia Lage e Raquel Gonçalves Maia pelo incentivo, por trocas de ideias e comentários relevantes.

Referências

- [1] S.L. Miller, H.C. Urey, *Science* **130** (1959) 245–251; *ibid*, **130** (1959) 1622–1624. Ver também: S. Miyakawa, H. Yamanashi, K. Kobayashi, H.J. Cleaves, S.L. Miller, *PNAS* **99** (2002) 14628–14631. Aqui os autores analisam a influência de condições da atmosfera menos redutora. A presença de mais oxigênio cria polaridade e mais reatividade, gerando uma multiplicidade de biomoléculas. Entretanto, pode-se argumentar que o ambiente oxidativo degrada mais as moléculas. Mais tarde, considerando uma atmosfera terrestre primitiva não tão redutora, mas dominada por N_2 e CO_2 , H.J. Cleaves, J.H. Chalmers, A. Lazcano, S.L. Miller e J.L. Bada, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* **38** (2008) 105–115 concluíram que a síntese de compostos orgânicos pela ação de descargas elétricas sobre uma mistura neutra de gases mostra-se ser menos eficiente do que se acreditava. No entanto, eles mostram que a produção de aminoácidos aumenta consideravelmente na presença de inibidores de oxidação.
- [2] P.A.M. Dirac, *Proc. Royal Soc. London, Ser. A* **123** (1929) 714–733. A esse propósito ver: A. Simões, *Phys. Perspective* **4** (2002) 253–266; E.R. Scerri, *HYLE – Int. J. Philosophy Chem.* **13** (2007) 67–81.
- [3] A. Salam, *J. Mol. Evolution* **33** (1991) 105–113.
- [4] Duncan & Weston Smith, *A Enciclopédia da Ignorância*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1981.
- [5] H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*. Princeton University Press, 1949.
- [6] G.J. Whitrow, *British J. Philosophy Sci.* **6** (1955) 13–31.
- [7] *Idem*, p. 31.
- [8] P. Ehrenfest, *Proc. Amsterdam Academy*, **20** (1917) 200; re-impresso in *Paul Ehrenfest – Collected Scientific Papers*; Klein, M.J. (ed.); North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1959, pp. 400–409.
- [9] P. Ehrenfest, *Annalen der Physik* **61** (1920) 440–446.
- [10] F.R. Tangherlini, *Nuovo Cimento* **27** (1963) 636–651.
- [11] F.R. Tangherlini, *Nuovo Cimento B* **91** (1986) 209–217.
- [12] J.D. Barrow, F. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Clarendon Press: Oxford, 1986, p. 339.
- [13] J.D. Barrow, F. Tipler, *op. cit.*, p. 261.
- [14] B. Carter, *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Reidel, Dordrecht, 1974, pp. 291–298.
- [15] R.H. Dicke, *Rev. Modern Physics* **29** (1957) 363–376.
- [16] B.J. Carr, M.J. Rees, *Nature* **278** (1979) 605–612.
- [17] B. Carter, *op. cit.*, p. 291.
- [18] J.A. Wheeler, in R.E. Butts, J. Hintikka (eds.), *Foundational problems in the special sciences*, Reidel: Dordrecht, 1977, p. 3. Ver também, do mesmo autor, *The nature of scientific discovery*, O. Gingerich (ed.), Smithsonian Press, Washington, 1975, pp. 261–269 e pp. 575–587.
- [19] S. Bettini, “Anthropic Reasoning in Cosmology: A Historical Perspective”, in Michael Stöltzner and Paul Weingartner (eds.), *Formale Teleologie und Kausalität in der Physik*, Mentis, Paderborn, 2005, pp. 35–76.
- [20] I. Kant, *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte und Beurtheilung der Beweise, deren sich Herr von Leibniz und andere Mechaniker in dieser Streitsache bedient haben, nebst einigen vorhergehenden Betrachtungen, welche die Kraft der Körper erhaupet betreffen*, Königsberg, 1747; reproduzido in: *Kant Werke*, Band 1, *Vorkritische Schriften*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 1983. English translation in *Kant’s inaugural dissertation and the early writings on space*; J. Handyside (ed.), Open Court, Chicago, 1929.
- [21] F. Caruso, R. Moreira Xavier, *Fundamenta Scientiae* **8** (1987) 73–91.
- [22] F. Caruso, R. Moreira Xavier, *Epistemologia* (Genova, Itália) **21** (1998) 211–224. Ver também dos mesmos autores, *Scientia* (São Leopoldo) **7** (1996) 13–22; *Kant-Studien* **106** (2015) 547–560.
- [23] W. Paley, *Natural Theology*, 1802, republicado em R. Lynam (ed.), *The Works of William Paley*, Henry Fisher, Son and P. Jackson, London, 1825. Uma nova reimpressão está disponível pela Oxford University Press, 2006.
- [24] F. Caruso, “A note on space dimensionality constraints relied on Anthropic arguments: methane structure and the origin of life”, in M.S.D. Cattanti, L.C.B. Crispino, M.O.C. Gomes, A.F.S. Santoro (eds.), *José Maria Filar-do Bassalo’s Festschrift*, Livraria da Física, São Paulo, 2008.
- [25] K. Popper, *A Lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: Cultrix, 1972.
- [26] F. Caruso, R. Moreira Xavier, *op. cit.*, 1987, p. 88.
- [27] F. Caruso, R. Moreira Xavier, “Space dimensionality: what can we learn from stellar spectra and from the Mössbauer effect”, in R.B. Scorzelli, I. Souza Azevedo, E. Baggio Saitovitch (eds.), *Essays on Interdisciplinary Topics in Natural Sciences Memorabilia: Jacques A. Danon*; Éditions Frontières, Gif-sur-Yvette/Singapore, 1997, pp. 73–84.
- [28] F. Caruso, *Astrobiol. Outreach* **4** (2016) 152.
- [29] W.L. Marshall, *Geochim. Cosmochim. Acta* **58** (1994) 2099–2106.
- [30] K. Kvenvolden, J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores, C. Ponnampuruma, I.R. Kaplan, C. Moore, *Nature* **228** (1970) 923–926. Ver também: D.P. Glavin, A.D. Aubrey, M.P. Callahan, J.P. Dworkin, J.E. Elsila, E.T. Parker, J.L. Bada, P. Jenniskens, M. H. Shaddad, *Meteorities & Planetary Sci.* **45** (2010) 1695–1709.
- [31] J.F. Kerridge, *Adv. Space Res.* **15** (1995) 107–111.

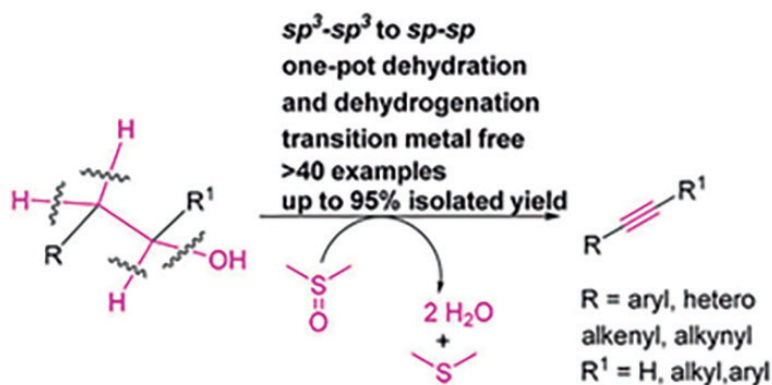
- [32] M.P. Bernstein, J.P. Dworkin, S.A. Sandford, G.W. Cooper, L.J. Allamandola, *Nature* **416** (2002) 401–403.
- [33] G.M. Muñoz Caro, U.J. Melerhenrich, W.A. Schutte, B. Barbler, A. Arcones Segovia, H. Rosenbauer, W.H.-P. Thle-mann, A. Brack, J.M. Greenberg, *Nature* **416** (2002) 403–406. Ver ainda: J.M. Elsila, J.P. Dworkin, M.P. Bernstein, M.P. Martin, S.A. Sandford, *Astrophysical J.* **660** (2007) 911–918; R. Saladino, E. Carota, G. Botta, M. Kapralov, G.N. Timoshenko, A.Y. Rozanov, E. Krasavin, E. Di Mau-ro, *PNAS* **112** (2015) E2746–E2755.
- [34] F. Caruso, V. Oguri, *Astrophysical J.* **694** (2009) 151–153.

ATUALIDADES CIENTÍFICAS

Conversão direta de álcoois em alcinos

O grupo funcional alcino está presente em muitas moléculas com importantes aplicações em várias áreas, nomeadamente em fármacos, agroquímicos e materiais. Participa também em inúmeras transformações químicas relevantes, como as reações “click”, acoplamentos de Sonogashira e Glaser, carbonilação de Pauson–Khand, metátese, cicloadição, ciclização, aminação, etc. Consequentemente, o desenvolvimento de novas metodologias para síntese de alcinos é extremamente importante. Até à data, numerosos protocolos têm sido usados, tais como os de Corey–Fuchs, Wittig/Horner–Emmons e Gilbert–Seyferth, e suas modificações. Dado o seu baixo custo e disponibilidade, os álcoois são materiais de partida óbvios para a síntese destes compostos. No entanto, tradicionalmente, são necessários dois passos para o efeito, uma oxidação prévia a aldeídos ou cetonas e posterior conversão em alcinos. Alternativamente, os álcoois podem ser convertidos em alcinos em três passos através da conversão em alcenos, halogenação a di-halogenetos vicinais e subsequente eliminação, que tipicamente necessitam de condições reacionais severas.

Hua-li Qin, da Universidade de Tecnologia de Wuhan, China, e colegas desenvolveram um protocolo para a síntese direta de alcinos a partir de álcoois, usando um processo da desidratação e desidrogenação mediado por fluoreto de sulfurilo (SO_2F_2). O fluoreto de sulfurilo desempenha um papel semelhante ao cloreto de oxalilo na transformação de álcoois primários ou secundários a aldeídos ou cetonas, na presença de DMSO (oxidação de Swern). Os intermediários carbonílicos resultantes reagem posteriormente com SO_2F_2 in situ originando fluorosulfatos de vinilo. K_2CO_3 e DBU (diazabicyclo[5.4.0]undec-7-eno) foram usados como bases. CsF foi usado para promover a etapa final, a eliminação do éster fluorosulfónico. Os alcinos desejados foram obtidos com rendimentos elevados. O protocolo reacional funciona bem para uma grande variedade de álcoois e a reação prossegue em condições suaves.



Fontes:

Direct Path from Alcohols to Alkynes, https://www.chemistryviews.org/details/news/11118968/Direct_Path_from_Alcohols_to_Alkynes.html (Acedido em 18/12/2019).

G.-F. Zha, W.-Y. Fang, Y.-G. Li, J. Leng, X. Chen, H.-L. Qin, *J. Am. Chem. Soc.* **140** (2018) 17666–17673.

Paulo Mendes
(pjgm@uevora.pt)