

## MOLÉCULAS EXTRATERRESTRES BASEADAS EM FÓSFORO

XVI INIC / XII EPG - UNIVAP 2012

*Frederico Guilherme de Oliveira<sup>1</sup>, Sérgio Pilling<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> IP&D/UNIVAP - Laboratório de Física e Astronomia, Shishima Hifumi, 2911 – frederico.eq@hotmail.com  
sergiopilling@yahoo.com.br

**Resumo-** Neste projeto apresentamos um estudo sobre moléculas que contem fósforo presentes em diferentes ambientes espaciais. O elemento fósforo, inicialmente produzido nos interiores das estrelas participam da formação de diversas moléculas no meio interestelar (ex. PN, CP, PO, HCP, PH<sub>3</sub>, CCP, entre outras). Moléculas contendo fósforo são importantes para o funcionamento dos sistemas biológicos. Na Terra a principal fonte de fósforo é encontrada em rochas e minerais. Moléculas contendo fósforo são também encontradas em planetas do sistema solar, como o caso de Júpiter, Saturno e Marte. A partir da comparação de moléculas contendo fósforo com outras espécies químicas, iremos desenvolver uma metodologia que permitirá identificar a presença de fósforo em regiões espaciais onde essa espécie ainda não foi detectada.

**Palavras-chave:** Nucleossíntese estelar, moléculas contendo fósforo, Astroquímica, Astrobiologia.

**Área do Conhecimento:** Ciências Exatas e da Terra

### 1. Introdução

Fósforo que deriva do grego *phosphoros* e significa portador de luz descoberto em 1669 por Henning Brand é um elemento químico de número atômico 15 e massa atômica 30,973762, sendo seu isótopo mais estável <sup>31</sup>P, átomo com 16 nêutrons. É um não metal multivalente pertencente à série química do nitrogênio (grupo 15 ou 5 A), mais denso que a água, 1,823 kg/m<sup>3</sup>, com ponto em 44,15 °C e ponto de ebulição em 280,5 °C. Na forma pura é transparente, mole, brilha no escuro e oxida-se espontaneamente em contato com o ar. Possui cerca de 10 variedades alotrópicas, sendo as mais conhecidas, o fósforo branco (P<sub>4</sub>), venenoso e muito reativo, em contato com a pele provoca queimaduras e deve ser armazenado em água no qual não é solúvel. Este é convertido em fósforo vermelho (P<sub>4</sub>)<sub>n</sub>, uma forma mais estável que não fosforesce, não é venenoso e nem oxida pela simples exposição ao ar. O mais raro fósforo preto (P<sub>n</sub>) é o mais estável dos alótropos, é obtido submetendo o fósforo branco a altas pressões, apresenta estrutura similar a do grafite e conduz eletricidade.

Na crosta terrestre, o fósforo é o 12º elemento mais abundante representando aproximadamente 0,12%. Devido a sua alta reatividade não ocorre livre na natureza, é o único macronutriente que não existe na atmosfera sendo unicamente encontrado em forma de fosfatos em rochas que dissolvem com a chuva sendo levado até os rios e mares.

O fósforo branco também conhecido como fósforo elementar é obtido industrialmente em fornos a 1450 °C, que queimam o fósforo contido nas rochas na presença de algumas substâncias como carbono e silício. O fósforo é liberado na forma de vapor e condensado em água evitando o contato com o ar. Em contato com a luz ou com o calor (300 °C) o fósforo branco se transforma em fósforo vermelho. No palito de fósforo que conhecemos não há presença do elemento fósforo, em sua parte vermelha temos clorato de potássio responsável por liberar oxigênio para manter a chama acesa e o palito é revestido por uma camada de parafina, somente há fósforo na parte áspera da caixa.

No espaço, o fósforo e outros elementos são produzidos através da nucleossíntese estelar que ocorre principalmente no interior das estrelas através da fusão nuclear. Nas estrelas, as reações mais importantes são: a queima do hidrogênio (cadeia próton-próton e ciclo CNO), queima do hélio (processo triplo alfa e captura alfa). Elementos mais pesados como, por exemplo, carbono, oxigênio, neônio e fósforo entre outros, são produzidos em reações nucleares no interior de estrelas de massa intermediária (um pouco maior do que o sol) e de alta massa (cerca de 10 vezes a massa do sol). Elementos mais pesados do que o ferro são produzidos principalmente em explosões de supernovas, estágios finais da vida de estrelas de alta massa.

Esses elementos, recém-produzidos nas estrelas, são constantemente expelidos para o meio interestelar sob a ação dos ventos estelares que também permite a formação de inúmeras moléculas. Atualmente mais de 160 moléculas diferentes já foram detectadas no meio interestelar das quais cerca de uma dezena contem o elemento fósforo.

## 2. A importância do fósforo

Na agricultura o ácido fosfórico é importante na formação de fosfatos empregados para a formação de fertilizantes, os fosfatos também são usados para a fabricação de cristais especiais para lâmpadas de sódio e no revestimento interno de lâmpadas fluorescentes. É utilizado como pó de confeito para bolos e outros produtos em confeitarias na forma de fosfato monocálcio. O fósforo tem grande importância para a produção de aço e bronze. Empregado como agente de limpeza para amolecer a água e prevenir a corrosão da tubulação na forma de fosfato trissódico. Além disso, possui aplicações militares em bombas incendiárias e bombas de efeito moral na forma de fósforo branco e aplicações em fósforos de segurança, pirotecnia, pastas de dente, pesticidas, detergentes e outros produtos. Na forma de ortopolifosfatos ( $\text{HPO}_4$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4$  -  $\text{PO}_4$  reativos,  $\text{PO}_4$  condensados, Óxido de fósforo  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) são utilizados para prevenção e tratamento de doenças como osteoporose, artrite reumatoide, artrite, artrose e cálculos renais. A combinação destes fosfatos também pode ser utilizada como antioxidante, solubilizante e são extremamente benéficos para as funções mentais (memória e raciocínio).

No corpo humano o fósforo atua em conjunto com o cálcio na formação de ossos e dentes e na formação do esmalte do dente, mantém a integridade do esqueleto, é essencial em todas as células, pois protege fortalecendo suas membranas, ativa as vitaminas do complexo B, forma compostos com outras substâncias, como a gordura. Ligam-se formando fosfolipídios que possuem funções estruturais e metabólicas em todo o organismo. Na ausência de fósforo o corpo humano não conseguiria converter nutriente como proteínas, carboidratos e gordura em energia, sendo necessário na formação de moléculas de ATP. Atua também em processos orgânicos como contração muscular, transmissão de impulsos nervosos do cérebro para o corpo, secreção de hormônios e sendo essencial para manter o pH do sangue e para produzir DNA e RNA.

## 3. Metodologia

O fósforo é observado na Terra e nos oceanos, em sua maioria em rochas que depois se dissolvem com a água da chuva e são levados aos rios e mares e em minerais. O fósforo é encontrado em quase todas as rochas vulcânicas, tendo estado presente nas erupções vulcânicas durante o período de formação da Terra.

A erosão dos depósitos de fosfatos vulcânicos pela água, e posterior assimilação por plantas pré-históricas, introduziu o fósforo nos mecanismos biológicos.

O fósforo não é encontrado apenas como elemento fósforo, mais na maioria das vezes como fosfatos.

Na sequência, encontramos moléculas contendo fósforo fora da terra, como em nuvens interestelares e em outros planetas. Isso foi possível a partir de observações com o uso de radiotelescópios bem documentado na literatura.

### 3.1 Minerais que contêm fósforo

Apatita que é um mineral do grupo dos fosfatos que possui as seguintes variantes: hidroxiapatita, fluorapatita e clorapatita.



Ambligonita que é um mineral predominantemente por alumínio, lítio ou sódio.



Autunita que é um mineral que contém urânio e é radioativo.



Monazita é um fosfato castanho-avermelhado contendo metais, terras raras e uma fonte importante de tório, lantânio e cério.



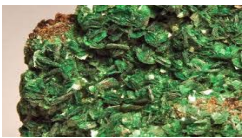
Piromorfita que é uma espécie de mineral composta de clorofosfato de chumbo, faz parte de uma série com dois outros minerais mimetita e vanadinita.



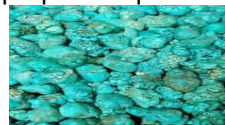
Sabugalite que é um mineral do grupo da autunita, que possui uma cor que vai do amarelo ao verde e a sua dureza na escala Mohs é igual a 2,5.



Torbenite que é um mineral de fosfato de cor verde radioativo encontrado em granitos e outras rochas portadoras de urânio, como mineral secundário.



Turquesa que é um fosfato de alumínio com pequenas quantidades de cobre e ferro.



Xenótimo que é um mineral raro composto de fosfato de ítrio.



A tabela 1 abaixo mostra os locais e qual a abundância de fósforo presente no planeta Terra.

Reservatórios	Molécula	Estado físico	Abundância
Ígneas e metamórficas	P	Sólido	$4.3 \times 10^{20}$
Rochas em terra	P	Sólido	...
Rochas sedimentares marinhas	P	Sólido	$3,9 \times 10^{20}$
Oceano	P	Sólido	$6,3 \times 10^{16}$
Quantidade total	P	Sólido	$8,2 \times 10^{20}$

Tabela 1.

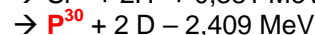
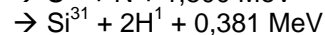
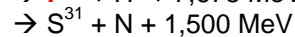
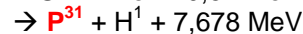
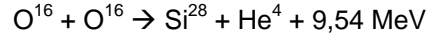
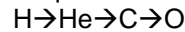
Com base na tabela podemos observar que o local com mais abundância de fósforo na Terra é em rochas ígneas e metamórficas. Há também uma grande quantidade presente em oceanos.

### 3. 2 Moléculas contendo fósforo em ambientes espaciais.

O fósforo é produzido no interior das estrelas de massa maior do que o sol em reações nucleares iniciadas pela queima do oxigênio. Na combustão do oxigênio, depois de finalizada a etapa do neônio o núcleo da estrela volta a aquecer e contrair até uma temperatura e densidade a partir

das quais se alcança a ignição do oxigênio. As três reações mais prováveis resultará em enxofre-31 em 18% das vezes, fósforo-31 em 61% das vezes e silício-28 em 21% das vezes.

Sequência das etapas fusão nuclear:



As tabelas foram feitas através de um levantamento na literatura contendo observações de moléculas contendo fósforo no espaço usando radiotelescópio.

A radioastronomia é o estudo da física dos corpos celestes utilizando radiação com comprimentos de ondas maiores do que a luz visível, a saber, as ondas de rádio. A faixa de frequência se estende desde as ondas em baixa frequência com quilômetros de comprimento de onda, até as microondas na faixa de comprimentos de onda da ordem de frações do milímetro. Com o radiotelescópio é possível observar transições energéticas em moléculas que ocorrem em comprimentos de onda que vão de frações de milímetros até dezenas de centímetros (microondas e na faixa rádio) associados a transições rotacionais e ro-vibracionais.

Dessa forma, podemos identificar e quantificar a presença de moléculas em regiões bem distantes da Terra como em nuvens no meio interestelar e na atmosfera de outros planetas.

As tabelas 2-7 mostram moléculas que contem fósforo no meio interestelar e Circunestelar, que se refere ao material que preenche o espaço entre as estrelas.

Fonte	Molécula	Estado físico	Densidade de Coluna N ( $\text{cm}^{-2}$ )
Orion (KL) meio de formação	PN	Gás	$4,3 \times 10^{13}$ (Ziurys 1987; Turner & Bally 1987)
W51 meio de formação	PN	Gás	$1,1 \times 10^{13}$
Sgr B2 meio de formação	PN	Gás	$1,7 \times 10^{12}$
VY CMa (estrela vermelha hipergigante)	PN	Gás	$3 \times 10^{15}$
CRL 2688 (nebulosa do ovo)	PN	Gás	$(5-8) \times 10^{15}$
IRC+10216 (estrela carbonada)	PN	Gás	$1 \times 10^{13}$
L 1157 / protostar IRAS 20386+6751	PN	Gás	$0,8-14 \times 10^{11}$ (Yamaguchi et al 2011)

Tabela 2.



Fonte	Molécula	Estado físico	Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
VY CMa (estrela vermelha hipergigante)	PO	Gás	2-3x10 <sup>15</sup>

Tabela 3.

Fonte	Molécula	Estado físico	Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
IRC+10216 (estrela carbonada)	CP	Gás	0,8-1x10 <sup>14</sup> (Guelin et al. 1990)

Tabela 4.

Fonte	Molécula	Estado físico	Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
CRL 2688 (nebulosa do ovo)	HCP	Gás	3x10 <sup>17</sup>
IRC+10216 (estrela carbonada)	HCP	Gás	0,3-1x10 <sup>15</sup> (Agundez et al. 2007)

Tabela 5.

Fonte	Molécula	Estado Físico	Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
IRC+10216(estrela carbonada)	CCP	Gás	1,2x10 <sup>12</sup>

Tabela 6.

Fonte	Molécula	Estado Físico	Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
IRC+10216(estrela carbonada)	PH <sub>3</sub>	Gás	? (Tenenbaum & Ziurys, 2008)
CRL 2688 (nebulosa do ovo)	PH <sub>3</sub>	Gás	? (Tenenbaum & Ziurys, 2008)
VY CMa (estrela vermelha hipergigante)	PH <sub>3</sub> ?	Gás	? (Tenenbaum & Ziurys, 2008)

Tabela 7.

As tabelas 8 e 9, respectivamente mostram a detecção de moléculas contendo fósforo em Marte, onde estudos mostram que há mais fósforo do que na Terra e em Júpiter e Saturno.

Fonte	Molécula	Estado físico	Abundância (em peso)
Shergotty	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,80
EETA 79001A	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,54
EETA 79001B	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	1,31
ALHA 77005	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,36
Nakhla	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,103
Chassigny	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,058

Tabela 8.

Molécula	Estado físico	Saturno - Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )	Júpiter - Densidade de Coluna N (cm <sup>-2</sup> )
H <sub>2</sub>	Gás	2,08x10 <sup>26</sup>	1,51x10 <sup>26</sup>
PH <sub>3</sub> (fosfina)	Gás	4,32x10 <sup>20</sup>	...
PH <sub>3</sub> (fosfina)	Gás	9,18x10 <sup>20</sup>	6,75x10 <sup>20</sup>
PH <sub>3</sub> (fosfina)	Gás	1,35x10 <sup>20</sup>	1,08x10 <sup>19</sup>

Tabela 9.

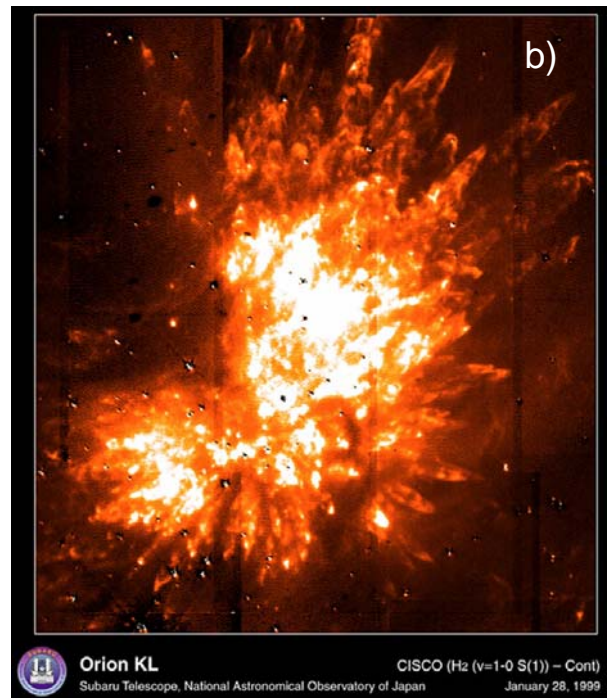
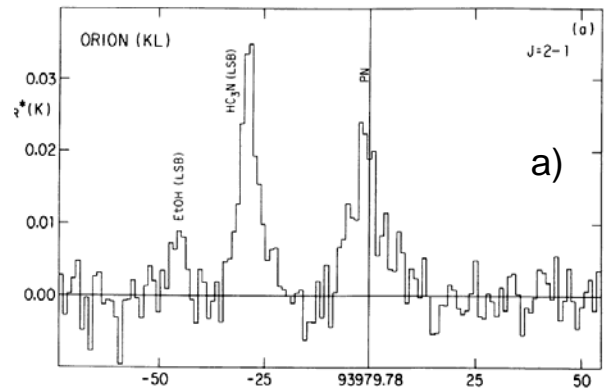


Fig. a) Espectro na faixa do microondas contendo a emissão da molécula PN na região de formação estelar Orion KL (Turner and Bally 1987). b) fotografia de Orion KL obtidas com o telescópio SUBARU.

#### 4. Conclusão

Com base nessas tabelas conclui-se que:

A molécula  $\text{PH}_3$  é a molécula que contém fósforo mais abundante no espaço, porém a molécula PN é frequentemente observada em mais locais. A maior molécula contendo fósforo é a molécula  $\text{P}_2\text{O}_5$  e essas moléculas são detectadas na maioria das vezes por observações com rádio telescópio.

Este trabalho está em andamento. A partir da comparação de moléculas contendo fósforo com outras espécies químicas presentes em nuvens interestelares, iremos desenvolver uma metodologia que permitirá identificar a presença de fósforo em regiões espaciais onde essa espécie ainda não foi detectada.

#### 5. Referências

- Tuner B., Bally J., *ApJ* 321 L75-L79 (1987)
- Ziurys L.M. *ApJ* 321: L81-L85 (1987)
- Guélin M., Cernicharo J., Paubert G., Turner B.E., *A&A* 230: L9-L11 (1990)
- Agúndez M., Cernicharo J., Guélin M., *ApJ* 662:L91-L94 (2007)
- Tenenbaum E.D.; Ziurys L.M., *ApJ*, 680L, 121 (2008)
- Yamaguchi T., Takano S. et al. *PASJ: Publ. Astron. Soc. Japan* 63, L37–L41 (2011)