

UM ESTUDO COMPARATIVO DO COMETA C/1977 R1 (KOHLEK): ANALISANDO FÓSSEIS DO SISTEMA SOLAR

AS ASTROCIENTISTAS

 **L.F. de Araújo**

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo,
São Paulo, 05508-090, Brasil,
loreanyfa@usp.br

 **A.A. de Almeida**

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo,
São Paulo, 05508-090, Brasil,
amaury.almeida@iag.usp.br

G.C. Sanzovo

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina
Londrina, 86.057-970, Brasil,
gsanzovo@sercomtel.com.br

RESUMO

O cometa Kohler foi o mais brilhante do ano de 1977, sendo caracterizado por seu período extremamente longo e pela presença de uma coma difusa com condensação central, representando o núcleo. Neste trabalho, foram deduzidas, semi-empiricamente, as taxas de produção de água (H_2O) e hidroxila (OH) desse cometa. Assim, foram estimados seu raio nuclear mínimo, de cerca de 0.9 ± 0.45 km, e seu raio efetivo, de $3,0 \pm 1,5$ km. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos em observações de rádio a $\lambda = 18$ cm, em fotometria de banda estreita, e com cometas jovens de longo período (YL) recentes, cujas taxas de produção de água foram analisadas por [1].

Palavras-chave cometa-individual: C/1977 R1 Kohler; geral: método de magnitudes visuais, taxas de produção de água

1 Introdução

Devido à alta conservação das composições física e química originárias, cometas podem ser considerados fósseis do Sistema Solar, de forma que, ao estudar estes objetos, investiga-se a formação e a evolução deste.

O cometa C/1977 R1 (Kohler), descoberto em 4 de setembro de 1977 pelo astrônomo amador Merlin Kohler, foi o mais brilhante daquele ano [2]. Detentor de um período superior a 100.000 anos é, portanto, considerado o caso de um cometa quase-parabólico [3]. Curiosamente, apesar de seu brilho, poucos estudos deste objeto foram realizados. Observações de seu espectro revelaram a emissão de NH , CN , C_2 e, possivelmente, de C_3 , mas nenhuma emissão de OH , NH_2 e CO^+ . O contínuo era muito fraco, o que significa que o cometa tem a produção de poeira consideravelmente esgotada.

Este trabalho vem com o objetivo de analisar a composição cometária, deduzindo, semi-empiricamente, através do método descrito por [4], taxas de produção de água e hidroxila, a partir das observações fotométricas, obtidas da plataforma COBS (Comet Observation Database). Dessa forma, foi possível compreender algumas diferenças entre cometas de mesma classificação dinâmica do cometa Kohler, além de comparar os nossos e os outros resultados disponíveis na literatura.

2 Considerações teóricas

Com base em magnitudes visuais, obtidas a partir de observações amadoras e profissionais, o Método Semi-Empírico de Magnitudes Visuais (MSEMV) [\[1\]](#) calcula taxas de produção de água cometária, de forma a aproveitar uma grande base de dados e, por consequência, obter uma ampla gama de resultados por distâncias heliocêntricas (de acordo com a cobertura das observações). Esta taxa pode ser calculada a partir da relação:

$$Q(H_2O) = \left\{ \frac{r^2 \cdot 10^{[0,4(-26,8-m'_v)]} - pR_N^2 \cdot 10^{-(0,4 \cdot \alpha \cdot \Delta m)}}{R \cdot 6,6 \times 10^4 \cdot r^2 [1 + \delta(r, \theta)]} \right\}^{0,82 \pm 0,06} \quad (1)$$

Na equação, temos: $m'_v = m_{6,78} - 5 \log \Delta$ sendo a magnitude visual observada, com $m_{6,78} = [m_v - b(d - 6,78 \text{ cm})]$, onde d é o diâmetro da abertura e b uma constante de correção de valores de $b = 0,019 \text{ mag/cm}$ para telescópios refletor e $b = 0,066 \text{ mag/cm}$ para refratores (o olho nu é tratado como um refrator de abertura nula); $p = 0,04$ como sendo o albedo geométrico visual do núcleo de raio R_N ; $-26,8$ se referindo a magnitude visual aparente do Sol; $l_r = 6,6 \times 10^4 r^2$ sendo o comprimento de escala (em km) para fotodissociação do radical C_2 ; o parâmetro de valor $R_1 \approx 1,7 \times 10^{-38} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}$ e o ângulo de fase do núcleo de $\phi_N = 0,9982e^{-1,842\alpha}$, onde α é o ângulo de fase (em rad) do cometa. O coeficiente linear de fase é dado por $\Delta m = 0,035 \text{ mag/deg}$ e $\delta(r, \theta) = \frac{\delta(r,0)\phi(\theta)}{\phi(0)}$ é a razão entre o fluxo total observado no espectro contínuo e o fluxo total observado de C_2 , sendo obtida a partir da curva observacional de [\[6\]](#).

Sabendo que a hidroxila (OH) é um produto da fotodissociação da água (H_2O) e que isto ocorre com eficiência de 0,85%, é possível relacionar as taxas de produção destas por: $Q(OH) \approx 0,85Q(H_2O)$ [\[7\]](#).

O raio nuclear mínimo pode ser encontrado considerando a superfície de área ativa (A_A), dada por:

$$A_A = \frac{Q(H_2O)}{f_{AA}Z(T)} \quad (2)$$

onde $Z(T)$ é a taxa de sublimação da água por unidade de área (em $\text{moléculas}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) e f_{AA} é a fração da superfície da área ativa ($0 < f_{AA} < 1$). Aqui, consideramos a superfície total da área ativa ($f_{AA} = 1$) e $A_A \leq 4\pi(R_N)^2$. Dessa forma, o raio nuclear do cometa (R_N) pode ser calculado utilizando esta expressão e a equação [\[2\]](#).

3 Resultados

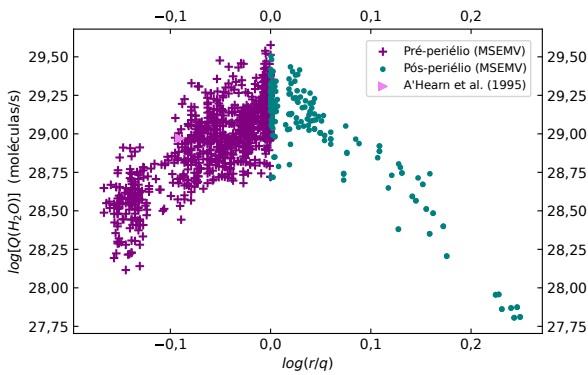


Figura 1: A variação da taxa de produção de água com a razão entre a distância heliocêntrica (r) e a distância perielica ($q \approx 0,99$).

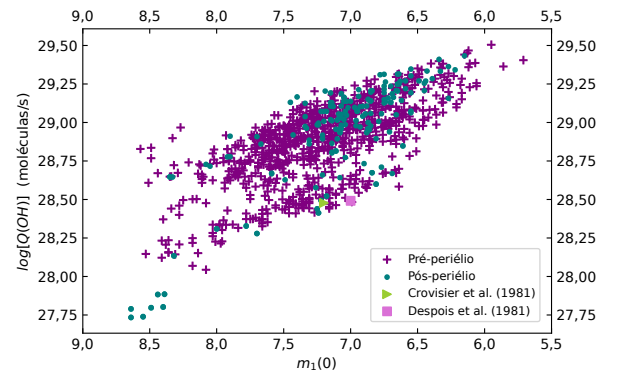


Figura 2: A taxa de produção de hidroxila e a magnitude visual absoluta, em comparação com os resultados das observações feitas no domínio do rádio.

Na [Figura 1](#) vemos o comportamento da taxa de produção de água em função da razão entre as distâncias heliocêntrica e perielica. Foi possível obter as relações para as fases pré e pós-perielicas, sendo dadas respectivamente, por:

$$\log[Q(H_2O)] = (29,18 \pm 0,01) - (4,13 \pm 0,11)\log(r_h/q) \quad (3a)$$

$$\log[Q(H_2O)] = (29,25 \pm 0,01) - (5,23 \pm 0,16)\log(r_h/q), \quad (3b)$$

¹Para uma descrição completa do método, ver: [\[5\]](#).

tendo índices de correlação de 78% e 92%. Próximo ao periélio, $Q(H_2O)_{max} = 3,2 \times 10^{29} \text{ moléculas/s}$ e $Z(T)_{max} = 3,02 \times 10^{17} \text{ moléculas/(cm}^2 \cdot \text{s)}$. 88 dias depois ($r = 1.8 \text{ ua}$), $Q(H_2O)_{min} = 6.4 \times 10^{27} \text{ moléculas/s}$ e $Z(T) = 5.48 \times 10^{16} \text{ moléculas/(cm}^2 \cdot \text{s)}$.

Considerando a [Equação 2](#) e a expressão para o raio nuclear R_N , encontramos um valor de $f_{AA} \approx 10 - 11\%$, explicando a produção de água sublimada pela cometa ao se aproximar do Sol. O raio efetivo foi estimado em $3.0(\pm 1.5) \text{ km}$ e o raio nuclear mínimo em $\sim 0.9 (\pm 0.45) \text{ km}$ (ver fig. [3](#)).

Resultados obtidos por [\[3\]](#) indicam uma produção de $9.5 \times 10^{28} \text{ moléculas/s}$ no periélio, ao contrário do *MSEMV*, com $1.51 \times 10^{29} \text{ moléculas/s}$. Esta diferença pode ser explicada o levarmos em conta os distintos métodos e a quantidade de observações utilizados. A [Figura 2](#) aponta concordância entre as taxas de produção encontradas por [\[8\]](#) e [\[9\]](#) e o *MSEMV*.

Como forma de expandir a investigação, comparamos os resultados obtidos para o cometa Kohler com os de outros cometas jovens e de longo período (YL). Podemos ver na [Figura 4](#) que o cometa Kohler possui uma produtividade baixa à mediana se comparado aos outros de mesma classe dinâmica. Isto pode ser explicado devido ao seu pequeno núcleo de, aproximadamente, 3 km.

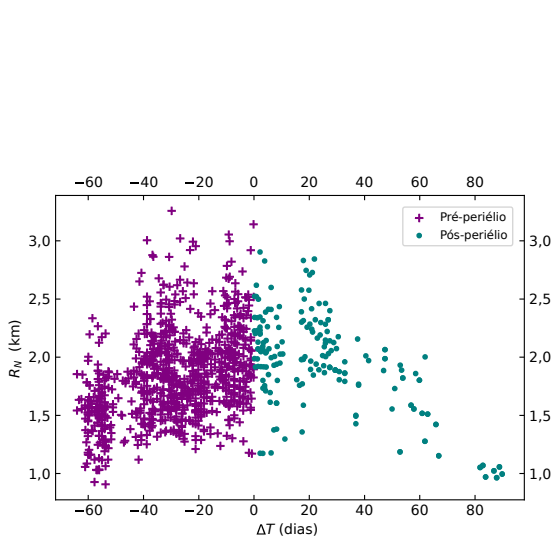


Figura 3: Determinação do raio nuclear cometário mínimo e efetivo com base na variação com os dias pré- (-) e pós-periélio (+).

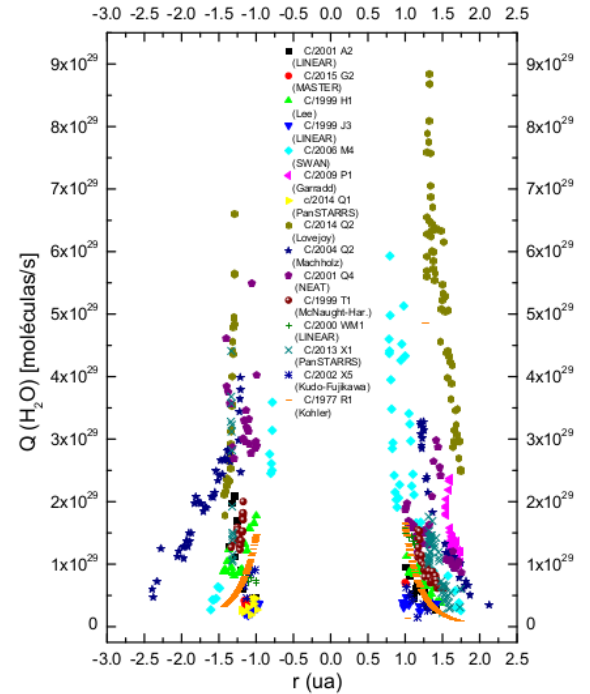


Figura 4: Variação da taxa de produção de água com a distância heliocêntrica e a comparação entre cometas analisados por [\[11\]](#) e o cometa Kohler.

4 Conclusões

A atividade do cometa Kohler nos revela alguns interessantes levantamentos para a base de atividades cometárias.

De acordo com as leis de potência obtidas para a taxa de produção de água, vemos que esta variou de $r^{-4,13 \pm 0,11}$ na fase pré-periódica para $r^{-5,23 \pm 0,16}$ na fase pós-periódica. O cometa produziu cerca de $1,5 - 1,7 \times 10^{29} \text{ moléculas/s}$ ou, equivalentemente, 5 ton/s de água durante o periélio.

As análises baseadas nas taxas de produção de água do cometa apontaram uma fração de área superficial ativa mínima da ordem de 10 a 11% para $r \sim 1,8 \text{ ua}$. Dessa forma, o raio efetivo foi calculado, sendo da ordem de $3,0(\pm 1,5) \text{ km}$ e o raio nuclear mínimo de $\sim 0,9(\pm 0,45) \text{ km}$.

Comparando as taxas de produção de água do cometa Kohler obtidas com aquelas de 14 cometas jovens de longo período (YL), indicou-se uma produtividade de baixa a mediana para o cometa Kohler em comparação com os demais objetos selecionados de mesma classe dinâmica. Isto pode estar associado à sua pequena dimensão nuclear, possivelmente justificando o pouco

interesse de observação deste cometa pelos astrônomos profissionais da comunidade científica internacional. Além disso, outros dados disponíveis na literatura para o cometa Kohler (observações em rádio) indicam uma boa concordância com nosso estudo.

Agradecimentos

L.F. de Araújo agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Referências

- [1] MR Combi, Terhi T Mäkinen, J-L Bertaux, Eric Quémerais, and Stéphane Ferron. A survey of water production in 61 comets from SOHO/SWAN observations of hydrogen lyman-alpha: Twenty-one years 1996–2016. *Icarus*, 317:610–620, 2019.
- [2] Brian G Marsden and Daniel WE Green. Comets in 1977. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 26:81–91, 1985.
- [3] Michael F A’Hearn, Robert C Millis, David G Schleicher, David J Osip, and Peter V Birch. The ensemble properties of comets: Results from narrowband photometry of 85 comets, 1976-1992. *Icarus*, 118(2):223–270, 1995.
- [4] AA de Almeida, PD Singh, and WF Huebner. Water release rates, active areas, and minimum nuclear radius derived from visual magnitudes of comets—an application to comet 46P/Wirtanen. *Planetary and space science*, 45(6):681–692, 1997.
- [5] Loreany Ferreira de Araújo. Estudo comparativo da atividade do cometa de órbita quase-parabólica c/1977 R1 (kohler). Master’s thesis, Universidade de São Paulo, 2020.
- [6] Neil Divine. A simple radiation model of cometary dust for p/halley. In *The Comet Halley. Dust and Gas Environment*, volume 174, 1981.
- [7] Huebner, Keady, and Lyon. Solar photo rates for planetary atmospheres and atmospheric pollutants. *Astrophysics and Space Science*, 195:1–294, 1992.
- [8] J Crovisier, D Despois, E Gerard, William M Irvine, I Kazes, SE Robinson, and FP Schloerb. A search for the 1.35-cm line of H_2O in comets kohler/1977 XIV/and meier/1978 XXI. *Astronomy and Astrophysics*, 97:195–198, 1981.
- [9] Despois, Gerard, Crovisier, and Kazes. The OH radical in comets: observations and analysis of the hyperfine microwave transitions at 1667 MHz and 1665 MHz. *A&A* 99, 320, 1981.