

O programa de variáveis cataclísmicas de Mairinque

Tasso Napoleão e Carlos Colesanti

Programas sistemáticos para detecção e fotometria de erupções (outbursts) de estrelas variáveis cataclísmicas são relativamente comuns entre os observadores do Hemisfério Norte. Na maior parte dos casos, esses programas são desenvolvidos por astrônomos amadores¹. Destacam-se, em especial, os projetos desenvolvidos rotineiramente pela seção de Variáveis Cataclísmicas da AAVSO - American Association of Variable Stars Observers (<https://www.aavso.org/cataclysmic-variables>) ou da rede mundial de observatórios amadores Center for Backyard Astrophysics (<https://cbastro.org/>). No entanto, com raras exceções, a cobertura desses programas para estrelas com declinação muito austral é incompleta ou insuficiente. O motivo é óbvio: a profusão de observatórios amadores existente no Hemisfério Norte em comparação com aqueles localizados no hemisfério austral. Um exemplo simples ilustrará claramente essa situação: enquanto o número total de estimativas da variável cataclísmica mais observada do Hemisfério Norte (SS Cygni) beirava 795 mil até fins de maio de 2024, o número de observações para sua contrapartida austral mais conhecida (VW Hydri) estava em 183 mil na mesma data². Uma relação de mais de 4 para 1. Este já seria um primeiro motivo para considerar um programa de monitoramento de variáveis cataclísmicas no observatório de Mairinque.

Uma segunda razão para desenvolvermos um programa específico de variáveis cataclísmicas em Mairinque seria a constatação da relação entre amplitudes e tempo de recorrência das erupções para uma amostra de variáveis cataclísmicas austrais que escolhemos.

Em 1934, B. V. Kukarkin e P. P. Parenago demonstraram a existência de uma correlação entre os logaritmos dos períodos entre outbursts e as suas amplitudes (expressas em magnitudes) para as novas recorrentes e anãs (que hoje se classificam entre as variáveis cataclísmicas) Essa relação pode ser vista graficamente na Figura 1.

Analiticamente, nos anos seguintes vários outros autores (ver abaixo) propuseram várias equações empíricas para representar a mesma relação, que hoje é conhecida como “relação de Kukarkin-Parenago” (ou “relação K-P”). Ela nos indica que as novas anãs mais energéticas (ou de maior amplitude) são também aquelas que apresentam maior tempo de recorrência entre as explosões.

$$A = 1.85 + 1.40 \log \tau_R \quad (\text{Van Paradijs, 1985})$$

$$A = 0.40 + 1.91 \log \tau_R \quad (\text{Richter, 1989})$$

$$A = 0.40 + 1.91 \log \tau_R \quad (\text{Percy, 2009})$$

¹ As exceções são as diversas redes de pequenos telescópios robotizados dedicadas à busca de transientes astronômicos em geral, incluindo objetos do Sistema Solar, e que via de regra são operadas por universidades e centros de pesquisa. Porém, essas geralmente não se dedicam ao monitoramento fotométrico habitual de variáveis cataclísmicas já conhecidas e catalogadas.

² Segundo dados da AAVSO (VSX)

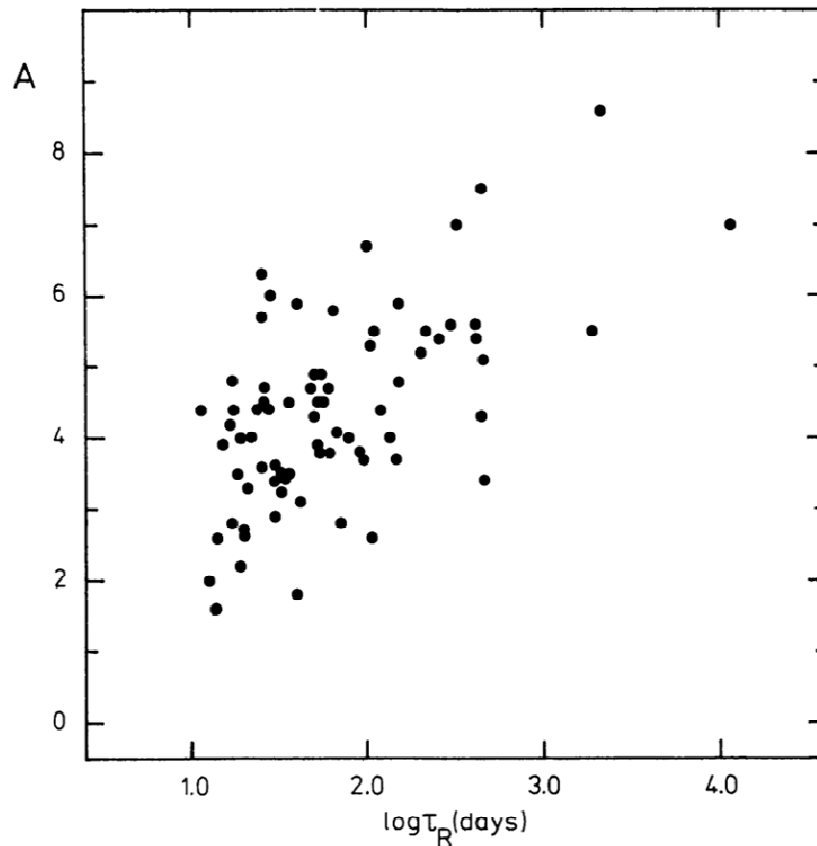


Figura 1: Relação de Kukarkin-Parenago para uma amostra de novas anãs. Nas abscissas, os logaritmos do tempo de recorrência médios entre erupções. Nas ordenadas, sua amplitude (dados extraídos de van Paradijs 1985).

Na concepção e planejamento de nosso programa no ano de 2020, determinadas premissas foram levadas em consideração. Nossa planilha inicial era uma seleção de 56 novas anãs (variáveis cataclísmicas) das subclasses SS Cyg, SU Uma e Z Cam e mais 4 novas recorrentes³.

O raciocínio que levou à expectativa de outbursts detectáveis em Mairinque após a estabilização do programa pode ser resumido de forma simples:

Consideremos como base uma amostra de 60 novas-anãs com amplitude média de 4 magnitudes nos outbursts.

Pela relação KP (Percy 2009) → $\tau_R = 90$ dias aproximadamente (4 outbursts/ano em média).

Para Mairinque (ou para qualquer outro local de latitude parecida):

- SE tivermos 60 noites limpas/ano → 40 outbursts/ano (1 a cada 9 dias)
- SE tivermos 90 noites limpas/ano → 60 outbursts/ano (1 a cada 6 dias)

³ Esse número (e as próprias estrelas do programa) sofreram diversas modificações no decorrer dos primeiros anos de operação pelos mais variados motivos, sobretudo de ordem prática.

Corrigindo esses valores considerando as estrelas em conjunção solar (o que depende da latitude e das declinações da amostra) uma altura mínima sobre o horizonte, nosso planejamento teve como meta **em média a detecção de um outburst aproximadamente a cada 15 dias**. Os maiores fatores de incerteza, evidentemente, estão ligados às condições meteorológicas em Mairinque. Além disso, a declividade e a amplitude média da relação K-P considerada no planejamento também pode influenciar significativamente o valor real obtido.

Em termos reais, após os três primeiros anos de operação e da evolução na curva de experiência, acreditamos que o programa atingiu a estabilidade com sucesso: com base nas erupções detectadas de janeiro a junho de 2024 (19 erupções em 23 semanas), a média foi acima da meta: **um outburst a cada 8.5 dias**.

São as seguintes as 44 estrelas do programa em inícios de junho 2024, listadas juntamente com suas coordenadas (ascensão reta e declinação).

TU MEN	04 41 40.00 -76 36 45.0
Z CHA	08 07 27.74 -76 32 00.7
VW HYI	04 09 11.00 -71 17 41.0
OY CAR	10 06 22.10 -70 14 04.6
WX HYI	02 09 50.83 -63 18 39.9
TT IND	20 33 37.13 -56 33 45.2
BV CEN	13 31 19.51 -54 58 33.7
MU CEN	12 12 53.87 -44 28 16.0
CU VEL	08 58 33.03 -41 47 51.7
V0436 CEN	11 14 00.15 -37 40 47.0
V0442 CEN	11 24 51.91 -35 54 36.7
V0485 CEN	12 57 23.18 -33 12 05.7
TY PSA	22 49 39.90 -27 06 53.1
UZ SER	18 11 24.86 -14 55 34.1
UY PUP	07 46 31.24 -12 57 09.0
WW CET	00 11 24.77 -11 28 43.2
UU AQL	19 57 18.77 -09 19 21.1
CN ORI	05 52 07.79 -05 25 00.6
TW VIR	11 45 21.17 -04 26 05.8

AQ ERI	05 06 13.11 -04 08 07.2
RZ LEO	11 37 22.25 +01 48 58.6
QZ VIR	11 38 26.82 +03 22 07.1
AK CNC	08 55 21.19 +11 18 15.1
X LEO	09 51 01.47 +11 52 31.2
KX AQL	19 33 53.64 +14 17 46.1
AL COM	12 32 25.79 +14 20 42.3
CZ ORI	06 16 43.23 +15 24 11.3
IP PEG	23 23 08.60 +18 24 59.6
HP NOR	16 20 49.57 -54 53 22.8
R AQR	23 43 49.46 -15 17 04.2
VY AQR	21 12 09.25 -08 49 36.8
V1060 CYG	21 07 42.18 +37 14 08.8
VZ AQR	21 30 24.62 -02 59 17.6
KK TEL	20 28 38.52 -52 18 45.2
TT ARI	02 06 53.09 +15 17 41.8
BF ARA	17 38 21.33 -47 10 41.6
V0803 CEN	13 23 44.54 -41 44 29.4
WX CET	01 17 04.18 -17 56 22.5
MM SCO	17 30 45.24 -42 11 42.5
BF ERI	04 39 29.95 -04 35 58.9
TW VUL	20 39 34.48 +27 15 55.8
LL LYR	18 35 12.82 +38 20 04.3
CS IND	21 59 54.56 -68 50 36.6

Este programa está sendo desenvolvido no Observatório Orion, na cidade de Mairinque, Estado de São Paulo, Brasil, fundado em 1984 e de propriedade de Carlos Colesanti. Para tanto, o observatório conta com um telescópio catadióptrico Meade LX-850-ACF UHTC, com abertura 355.6 mm (14 pol) e relação f/D = 8, e uma camera CCD de 9 megapixels Atik One 9.0, com 3379 x 2703 pixels de 3.69 micra cada. Não é usado redutor focal com esta câmera.

O setup (conjunto telescópio-camera) permite trabalhar habitualmente com campo (FOV) da ordem de 15 x 12 minutos de arco e escala de placa 0.8. As imagens são usualmente feitas em Bin 3X3 (em consequência cada imagem tem 1126 x 901 pixels). A aquisição de imagens para o programa é feita de forma automática, usando os softwares Maxim DL, The SkyX e TAO - Tools for Automated Observing (este desenvolvido por Paulo Holvorcem). As imagens são reduzidas fotometricamente (em geral, no dia seguinte à obtenção) usando o software Maxim DL. As medidas fotométricas são imediatamente enviadas à AAVSO. O observatório está totalmente robotizado, podendo ser operado facilmente de qualquer local do Brasil ou do exterior.

Como um exemplo de imagem do programa, a figura a seguir mostra o campo estelar da estrela VW Hydri, uma variável cataclísmica da subclasse SU Ursae Majoris, durante o superoutburst registrado na noite de 03 de agosto de 2022. A variável apresentava então magnitude 8.91. Para efeito de comparação, abaixo se vê uma carta AAVSO com FOV 15x15'.



Figura 2: Variável cataclísmica VW Hydri (nova anã da subclasse SU Ursae Majoris), no centro do campo do setup instrumental habitualmente usado em Mairinque. O campo da imagem (FOV) é da ordem de 15 x 12 minutos de arco; a imagem é binada (3x3) e a escala de placa é 0.8. A amplitude de variação da estrela (AAVSO) é de 8.4 a 14.4 em V. Como todas as novas anãs da subclasse SU UMa, VW Hyi apresenta outbursts “normais” (em média a cada 29 dias) e superoutbursts (aproximadamente a cada 180 dias). Dados de Vogt (1974) e Bateson (1965).

Numa noite típica com condições fotométricas e climáticas favoráveis, são registradas, grosso modo, algo em torno de 40 imagens. Note-se que, *do ponto de vista puramente de aquisição*, este valor poderia ser multiplicado por um fator de pelo menos 4 – 5. Mesmo considerando as noites em que o observatório é usado para outras finalidades fora deste programa (como para trânsito de exoplanetas ou para outras pesquisas fotométricas (por exemplo, períodos de estrelas HADS (High Amplitude Delta Scuti), ou imageamento de novas clássicas galácticas e supernovas extragalácticas, existe claramente tempo ocioso *do ponto de vista estritamente de potencial de aquisição de imagens* no observatório, principalmente devido à forma de operação do TAO. Atualmente, planeja-se reduzir ainda mais a ociosidade utilizando um segundo telescópio em piggyback para espectroscopia de baixa resolução, simultânea com a fotometria de determinados alvos estelares. Tudo isso, no entanto, não eliminará o gargalo principal do programa, que é a rotina de redução fotométrica diária, que não é automática e que inclui o envio diário das estimativas das estrelas à AAVSO, sempre em nome de um dos autores (CCT). Nessa rotina, cada imagem das estrelas do programa é comparada diariamente com cartas preparadas previamente no website da AAVSO e que indicam as estrelas de comparação mais convenientes em cada época. Ver um exemplo para VW Hydri na Figura 3. Não está nos planos dos autores, todavia, substituir esse processo atual de redução atual por qualquer método robotizado ou por inteligência artificial.

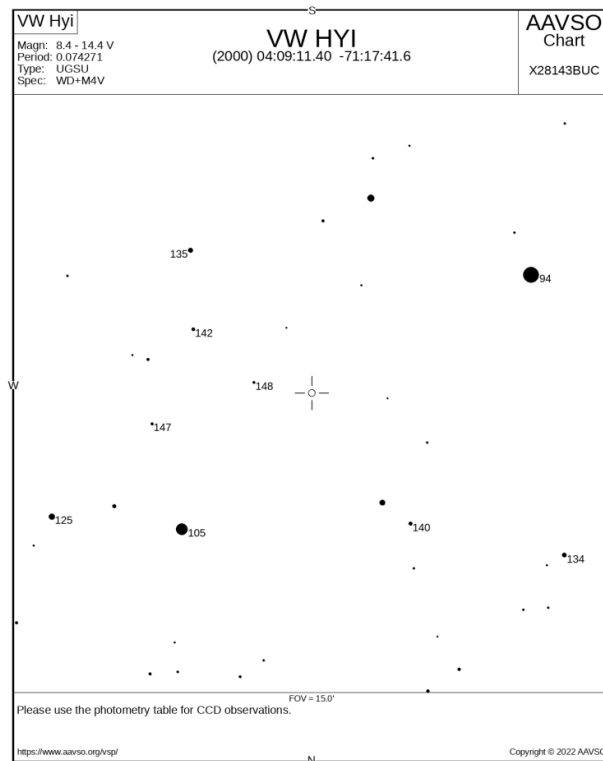


Figura 3: Carta de estrelas de comparação para estimativas da magnitude de VW Hydri, preparada previamente no website AAVSO (<https://www.aavso.org/>). Comparar com a Fig 2.

Em um prazo mais longo, o que se pretende com este programa de variáveis cataclísmicas é mais ambicioso do que simplesmente o registro estatístico de outbursts, ou até mesmo de adicionar mais pontos com grau razoável de confiabilidade ao diagrama de Kukarkin-Parenago: trata-se de ajudar na investigação e interpretação astrofísica de pelo menos alguns dos sistemas das estrelas deste programa, incluindo certos mecanismos e modelos de evolução estelar já mencionados no paper de André Ivezson que precede o presente artigo.



Figura 4: Setup instrumental do Observatório Orion de Mairinque (2023)

Referências bibliográficas:

Percy, J. R., *Understanding Variable Stars*, Cambridge University Press, 2009

Richter, G.A., Braeuer, H. J., Kukarkin-Parenago relationship, period gap, and cause of dwarf nova outbursts, *Astronomische Nachrichten*, Vol. 310, Issue 6, p. 413-418 (1989).

Van Paradijs, J., Recurrence behaviour of dwarf novae: the Kukarkin-Parenago relation,, *A&A* 144, 199-201 (1985).

Vogt, N. Photometric Study of the dwarf nova VW Hyi, *A&A*, 36, 369V (1974)