

# Observando asteróides/cometas com a técnica Track and Stack

*Cristóvão Jacques - REA/MG*

## 1) Introdução:

Até pouco tempo atrás, os amadores somente conseguiam fazer imagens de objetos mais fracos, com técnicas de astrofotografia. Dependendo do telescópio e da emulsão utilizada, os setups amadores chegavam a registrar objetos com magnitude máxima de 13 a 15 (na média) com grande tempo de exposição.

Hoje, com o advento das câmeras CCDs, registrar objetos com magnitude 20, ficou viável

Registrar imagens de objetos de fraca magnitude e que ainda se movimentam, como asteróides e cometas, pode-se tornar uma tarefa árdua, senão impossível, dependendo obviamente do telescópio e da eficiência quântica da câmera CCD utilizada.

Para mostrar que é possível conseguir informações de objetos de fraca magnitude e que se movimentam com certa rapidez, existem duas opções:

1) Fazer uma exposição única, seguindo o movimento e direção do objeto. Sua identificação aparece na imagem de forma diferenciada: asteróide/cometa como um ponto, estrelas - trilhadas. Tal exposição somente será possível, se programarmos as velocidades dos eixos do telescópio para acompanhar o movimento do alvo.

2) Fazer varias exposições curtas e depois somar as imagens com a ajuda de um software especializado, em função do deslocamento em "/min e da direção PA medida em graus.

O método mencionado no ponto 2, será a técnica explorada neste artigo.

## 2) Condições observacionais:

\* As imagens analisadas neste artigo foram obtidas com um LX200 de 12" trabalhando em f/3.0 com redutor OPTEC, do Observatório Wykrota - CEAMIG (estação do MPC com código 859 - 1500m de altura) e uma câmera CCD ST7E. O setup em questão, produz um campo observacional de 25'x 17' com uma escala de 2"/pixel. As imagens foram adquiridas automaticamente pelo programa ACP3 (acp3.dc3.com)

e Maxim/DL (www.cyanogen.com), com temperatura CCD = -10 graus, utilizando-se um script do pacote TAO (Tools for Automated Observing) escrito por Paulo Holvorcem.

\* O software para calcular as reduções foi o Astrometrica (www.astrometrica.at) e o catálogo utilizado foi o USNO-A2.

\* O asteróide observado para este exemplo foi o 2003 UW26 que apareceu na pagina de confirmação de NEOs como 5AO001. Ele se movimentava a razão de 2,54"/min no ângulo de posição = 13.1 graus. O valor da massa de ar no momento da observação era igual a 1.009, pois o asteróide se encontrava a uma altura maior que 82 graus.

\* Foram feitas 20 imagens sem intervalo, com 45 segundos de integração. Todas as imagens foram calibradas, utilizando as exposições de dark, bias e flat.

\* Não houve preocupação neste artigo com nenhum tratamento estatístico, já que o objetivo é demonstrar a técnica.

## 3) Definições:

Antes de prosseguirmos, vamos definir alguns termos que serão utilizados no texto:

**SNR** - Signal-to- Noise Ratio - ou razão Sinal Ruído - relação entre o sinal obtido de determinado objeto dividido pelo ruído capturado durante a exposição. Exemplo: Se uma CCD gera em determinado pixel a quantidade de 3000 elétrons oriundos do sinal de um astro e na mesma exposição são gerados 600 elétrons devido ao ruído, temos uma razão sinal / ruído de 5. Um objeto com SNR de 3 pode ser considerado como uma detecção marginal, ou em outras palavras a magnitude limite de determinada imagem. O ruído mencionado é a somatória do ruído térmico da CCD + ruído do próprio objeto observado + ruído do fundo de céu + ruído da leitura da imagem.

**FWHM** - Full Width at Half Maximum - Se traçarmos o gráfico de um astro em uma imagem

CCD, teremos um perfil semelhante a uma curva de Gauss. O termo FWHM significa a largura da curva na metade de seu ponto de máximo valor. Embora fatores como o foco, ótica do telescópio e vibrações contribuam, o valor FWHM na sua maior parte é dominado pelas condições de seeing. Supondo-se que o telescópio esteja bem focado e guiando bem, se tivermos uma piora no seeing, teremos um valor FWHM maior. O FWHM médio obtido no Observatório Wykrota é da ordem de 4.5". Em recente viagem ao Chile, fizemos algumas imagens com o mesmo setup e pude constatar um FWHM médio de 3.6", ou seja, um céu com condições de seeing melhor do que temos no Wykrota. Estes valores FWHM foram medidos no centro da imagem, já que a medida que você afasta do centro, a aberração ótica causada pelo corretor, aumenta este valor. Se não fosse isto, todas as estrelas dentro de uma imagem CCD deveriam ter o mesmo FWHM.

#### 4) Obtenção das medidas

Os dados da tabela 1 abaixo, foram medidos utilizando a técnica Track and Stack incorporada no software Astrometrica. Foram somadas de 2 até 20 imagens e a cada resultado da soma, foi medido a posição, magnitude e SNR do asteróide.

Na **figura 1**, podemos ver a relação entre número de imagens somadas (eixo x) e o SNR medido (eixo y).

Pode-se notar que, após 15 imagens somadas, os valores se mantêm dentro de um patamar mais constante.

TABELA 1 - Medidas obtidas em função do número de imagens somados

Número de imagens Somadas	Data	A.R.	Dec	Mag.	Obs.	SNR
2	2003 10 25.96752	23 05 54.49	-19 08 53.7	18.3	R 859	2.8
3	2003 10 25.96846	23 05 54.87	-19 08 52.6	18.8	R 859	3.1
4	2003 10 25.96893	23 05 54.87	-19 08 51.1	18.6	R 859	3.7
5	2003 10 25.96939	23 05 54.90	-19 08 49.7	19.0	R 859	4.0
6	2003 10 25.96986	23 05 54.92	-19 08 48.0	19.0	R 859	4.6
7	2003 10 25.97032	23 05 54.92	-19 08 46.4	19.1	R 859	5.0
8	2003 10 25.97080	23 05 54.95	-19 08 44.8	19.2	R 859	5.0
9	2003 10 25.97128	23 05 54.97	-19 08 43.1	19.2	R 859	5.5
10	2003 10 25.97176	23 05 55.00	-19 08 41.5	19.2	R 859	6.0
11	2003 10 25.97224	23 05 55.02	-19 08 39.7	19.2	R 859	6.0
12	2003 10 25.97272	23 05 55.05	-19 08 38.1	19.2	R 859	6.5
13	2003 10 25.97319	23 05 55.08	-19 08 36.4	19.2	R 859	6.8
14	2003 10 25.97367	23 05 55.11	-19 08 34.6	19.1	R 859	7.0
15	2003 10 25.97415	23 05 55.13	-19 08 32.9	19.1	R 859	7.5
16	2003 10 25.97463	23 05 55.16	-19 08 31.3	19.1	R 859	7.3
17	2003 10 25.97510	23 05 55.19	-19 08 29.5	19.1	R 859	6.6
18	2003 10 25.97559	23 05 55.22	-19 08 27.8	19.2	R 859	6.8
19	2003 10 25.97607	23 05 55.25	-19 08 26.0	19.1	R 859	7.3
20	2003 10 25.97656	23 05 55.28	-19 08 24.3	19.1	R 859	7.1

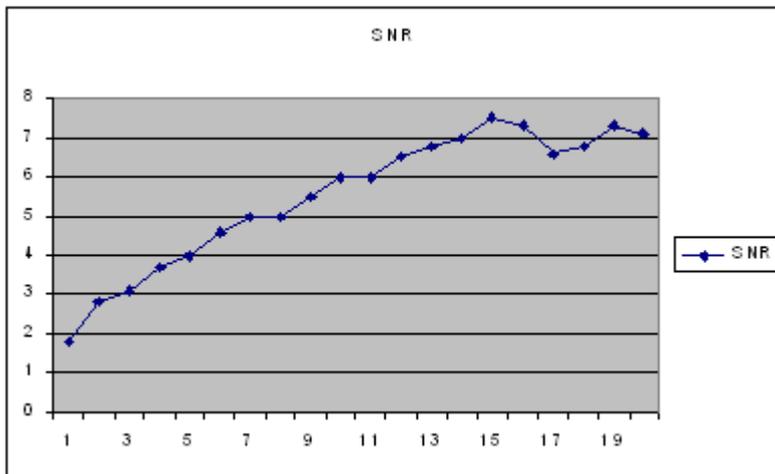


Figura 1 - Relação número de imagens somadas x SNR

Nas próximas figuras, pode-se observar como foram obtidos os dados, a medida que iam se somando as imagens.

#### 5) Análise das medidas

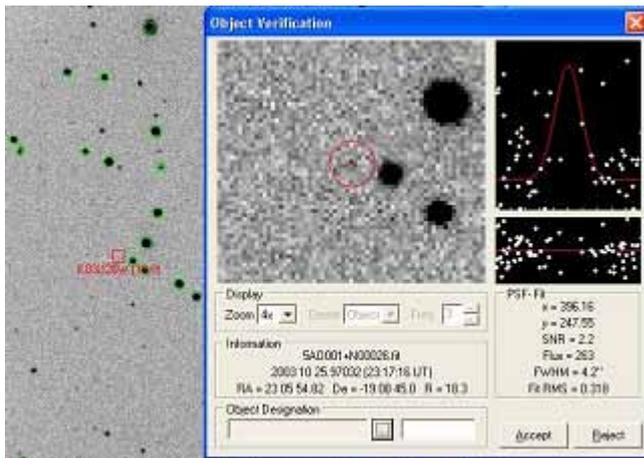
Estaremos a seguir analisando os valores das medidas astrométricas e fotométricas, sempre se comparando com o número total de imagens somadas e seus respectivos SNR.

##### 5.1) Análise da Astrometria

Procurando averiguar a precisão astrométrica das medidas observadas, a órbita do asteróide foi calculada juntando-se as nossas observações com as de outros observatórios. Para isto utilizou-se o programa Find\_orb, escrito por Bill Gray ([www.projectpluto.com](http://www.projectpluto.com)).

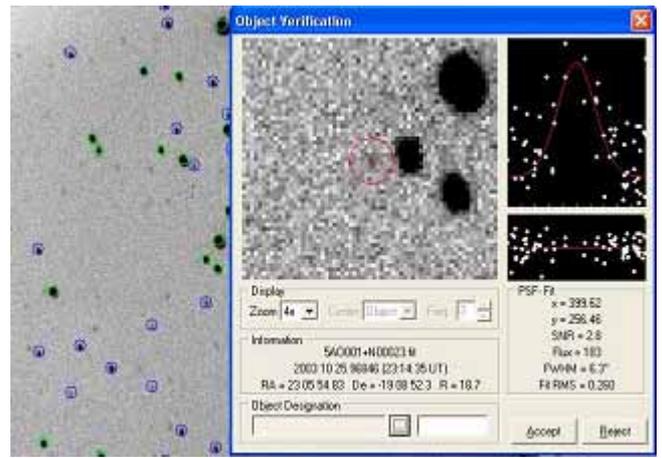
Analisando os valores residuais de Ascensão Reta e Declinação, pode-se ter uma idéia da qualidade da observação. Estes residuais são as diferenças entre a órbita calculada e a órbita observada.

No primeiro bloco abaixo foram extraídas as observações da circular eletrônica MPEC (Minor Planet Electronic Circular emitida pelo Minor Planet Center/IAU), que está demonstrada na tabela 4. Baseado nas observações astrométricas, a função principal da MPEC é comunicar ao mundo científico os elementos orbitais de um determinado objeto. Em negrito, pode-se observar as posições medidas pelo OBS 859, sendo que as demais são de outros observatórios. No caso das observações do Obs. Wykrota, cada posição medida foi obtida a partir da soma de 7 imagens utilizando o Track and Stack. A primeira medida foi a soma das imagens 1 a 7, a

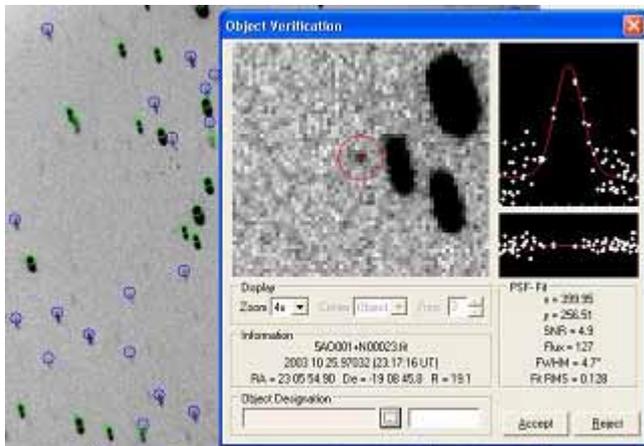


**Figura 2** - Esta figura representa apenas 1 imagem de 45 segundos.

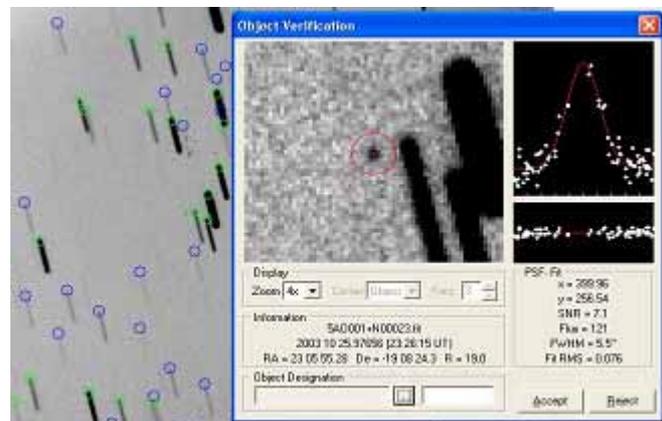
O software Astrometrica aponta a posição do asteroide 2003 UW26, mas pelo zoom feito ele não pode ser detectado. O SNR na posição marcada com o círculo é de 2.2, portanto abaixo do limite de  $SNR = 3$ , quando ele passaria a ser detectado.



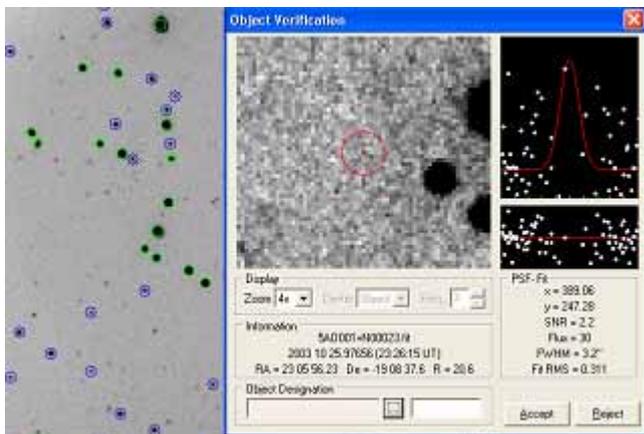
**Figura 3**- A imagem acima é resultante da soma de 3 imagens de 45" tiradas em seqüência e somadas com o método Track and Stack. O SNR é de 2.8, próximo ao limite de 3, quando o asteroide começa a ser detectado, embora as medidas astrométricas e fotométricas apresentem desvios consideráveis.



**Figura 4**- A figura acima mostra a soma de 7 imagens de 45", dando uma integração total de 5m15s. O SNR é 4.9, portanto próximo ao limite mínimo utilizável para se fazer boas medidas astrométricas.



**Figura 5**- Soma de 20 imagens mostrando um SNR de 7.1 com uma integração total de 15 min.



**Figura 6** - Soma de 20 imagens sem fazer o track na velocidade e direção do asteroide. Pode-se perceber que o asteroide não aparece detectado.

segunda, a soma das imagens de 8 a 14, e a terceira, a soma das imagens 14 a 20. Pode-se notar que a imagem 14 foi utilizada em duas medidas. Isto não tem problema, pois a técnica utiliza a média das observações.

No bloco abaixo, além das observações acima, incluí as observações medidas com diferentes somas em termos de números de imagens. A partir da soma de 7 imagens, que em nosso gráfico conduz a um SNR de 5 (vide tabela 1), os residuais são bastante aceitáveis.

## 5.2) Análise da fotometria

Pode-se perceber que também a partir do número de 7 imagens somadas ( $SNR = 5$ ), a medida da magnitude se torna estável entre os valores de 19.1 e 19.2, que era próximo ao valor esperado do asteroide. Os valores obtidos para SNR menores que 5, mostram que a imprecisão na fotometria devido ao baixo SNR podem levar a erros maiores que uma magnitude.

Ano	M	Dia	Obs	AR.	DEC	R. AR	R. dec
3	10	24.14820	699	23 03 56.58	-20 58 17.5	0.10	-0.08
3	10	24.16165	699	23 03 57.25	-20 57 28.7	-1.15	0.03
3	10	24.17503	699	23 03 58.10	-20 56 39.8	0.19	0.46
3	10	24.18839	699	23 03 58.86	-20 55 52.0	0.27	-0.17
3	10	24.82525	620	23 04 40.01	-20 17 30.0	0.91	-0.03
3	10	24.83075	620	23 04 40.28	-20 17 9.9	0.21	0.28
3	10	25.14718	711	23 05 0.68	-19 58 9.3	0.11	0.01
3	10	25.15198	711	23 05 0.93	-19 57 54.2	-0.28	-2.14
3	10	25.15653	711	23 05 1.23	-19 57 35.4	0.25	0.31
3	10	25.18060	926	23 05 2.64	-19 56 9.1	-1.47	0.25
3	10	25.18219	926	23 05 2.85	-19 56 3.7	0.20	-0.06
3	10	25.18377	926	23 05 2.97	-19 55 57.3	0.60	0.65
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>25.97032</b>	<b>859</b>	<b>23 05 54.92</b>	<b>-19 08 46.4</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.02</b>
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>25.97702</b>	<b>859</b>	<b>23 05 55.29</b>	<b>-19 08 22.9</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.40</b>
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>25.98282</b>	<b>859</b>	<b>23 05 55.64</b>	<b>-19 08 1.7</b>	<b>0.02</b>	<b>0.12</b>
3	10	26.90319	246	23 06 56.99	-18 13 50.6	-0.88	0.30
3	10	26.90506	246	23 06 57.18	-18 13 43.8	0.15	0.47
3	10	26.90574	246	23 06 57.24	-18 13 42.2	0.39	-0.34
3	10	26.90644	246	23 06 57.33	-18 13 40.6	1.04	-1.22
3	10	26.90257	246	23 06 56.94	-18 13 52.4	-1.03	0.70

R.AR = Residual em segundos de Ascensão Reta      R.dec= Residual em segundos de declinação

**NOTA:** Os dados de fotometria calculados por programas com objetivo principal de se obter Astrometria, servem para dar uma boa noção da magnitude de um asteroide. Como as observações foram feitas sem filtros e as estrelas de comparação não serem padronizadas em relação a seu índice de cor, não existe preocupação aqui em medidas fotométricas de grande precisão. Além disto o SNR de 5 é muito baixo para um estudo fotométrico preciso.

## 6) Metodologia observacional a ser adotada:

Com a utilização desta técnica, objetos que antes eram inacessíveis ao setup do observatório, agora são plenamente detectáveis. Por isso, nossa metodologia observacional mudou. A grande prioridade de nosso programa observacional é a confirmação de

Ano	M	Dia	Obs	AR.	DEC	R. AR	R. dec	N. imag. somadas
3	10	25.96752	859	23 05 54.49	-19 08 53.7	-3.58	2.66	2
3	10	25.96846	859	23 05 54.87	-19 08 52.6	1.02	0.41	3
3	10	25.96893	859	23 05 54.87	-19 08 51.1	0.63	0.23	4
3	10	25.96939	859	23 05 54.90	-19 08 49.7	0.68	-0.01	5
3	10	25.96986	859	23 05 54.92	-19 08 48.0	0.57	0.02	6
3	10	25.97032	859	23 05 54.92	-19 08 46.4	0.19	-0.02	7
3	10	25.97080	859	23 05 54.95	-19 08 44.8	0.22	-0.13	8
3	10	25.97128	859	23 05 54.97	-19 08 43.1	0.10	-0.14	9
3	10	25.97176	859	23 05 55.00	-19 08 41.5	0.13	-0.25	10
3	10	25.97224	859	23 05 55.02	-19 08 39.7	0.01	-0.16	11
3	10	25.97272	859	23 05 55.05	-19 08 38.1	0.04	-0.27	12
3	10	25.97319	859	23 05 55.08	-19 08 36.4	0.07	-0.25	13
3	10	25.97367	859	23 05 55.11	-19 08 34.6	0.10	-0.16	14
3	10	25.97415	859	23 05 55.13	-19 08 32.9	-0.01	-0.17	15
3	10	25.97463	859	23 05 55.16	-19 08 31.3	0.01	-0.28	16
3	10	25.97510	859	23 05 55.19	-19 08 29.5	0.05	-0.15	17
3	10	25.97559	859	23 05 55.22	-19 08 27.8	0.07	-0.20	18
3	10	25.97607	859	23 05 55.25	-19 08 26.0	0.09	-0.11	19
3	10	25.97656	859	23 05 55.28	-19 08 24.3	0.11	-0.16	20

TABELA 3 - Residuais em função de número de imagens somadas

objetos que são diariamente postados na página de confirmação de NEOS (Near Earth Objects) - (<http://cfawww.harvard.edu/iau/NEO/ToConfirm.html>). A função destas observações junto com as dos demais observatórios, é de calcular a órbita de determinado objeto e dizer se eles são NEOs, objetos não usuais, asteroides do Cinturão principal ou até mesmo cometas. Para a observação destes objetos, será utilizada com grande frequência a técnica Track and Stack. Para objetos com magnitude menores que 18.5 e com velocidade abaixo de 3 "/min, será utilizada a técnica antiga, ou seja, fazer 3 a 4 exposições sem ter a necessidade de somá-las.

Para empregar a técnica Track and Stack, necessita-se fazer várias imagens seguidas, ou não. No entanto, o número de exposições, assim como o tempo para cada objeto observado, pode variar.

### 6.1) Em relação ao tempo da observação:

Existem basicamente dois fatores delimitadores para o tempo máximo de exposição:

a) Deslocamento do asteroide/cometa em pixel/minuto. Em nosso observatório utilizamos o critério de permitir que o asteroide/cometa se movimente no máximo um valor igual a 1 FWHM durante a exposição. Como o FWHM médio no Obs. Wykrota é da ordem de 4.5" e a escala do setup é da ordem de 2"/pixel, permite-se que o asteroide desloque no máximo 2.2 pixel e a metade desse valor para cometas. Como exemplo, um asteroide que desloca-se 5"/min. Na escala de 2"/pixel o asteroide deslocará 2.5 pixel/min. Como o limite de deslocamento é de 2.2 pixel, teremos que reduzir a exposição para algo em torno de 52 segundos.

b) Outro fator delimitador é o próprio tracking do telescópio. Se o telescópio tem uma boa guiagem, como as montagens Paramount, pode-se fazer exposições de até 5 minutos sem que as estrelas saiam trilhadas. No caso do telescópio do Observatório Wykrota, utilizou-se como parâmetro delimitador máximo de tempo, a quantidade de 75 segundos. Visando diminuir o problema das imagens



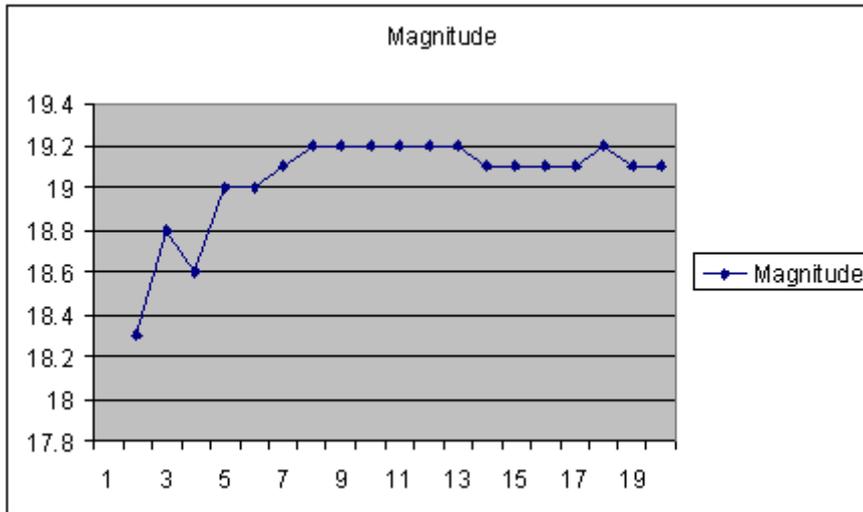


Figura 7 - Fotometria x número de imagens somadas

saírem trilhadas, (e com isto um FWHM maior), o telescópio Meade LX200 foi treinado para corrigir o erro periódico em 5 sessões. Após este treinamento, conseguimos fazer boas exposições sem guiagem e sem estarem demasiadamente trilhadas por até 5 minutos, apesar deste fato não ser constante. O valor de 75 segundos foi escolhido por representar consistência, sem que as estrelas fiquem trilhadas em quase 100% das imagens.

Portanto, caso o valor calculado no item (a) ultrapasse o valor fixado no item (b), o valor do item (b) será o adotado como máximo tempo de exposição.

## 6.2) Em relação ao número de imagens a serem tiradas :

É aconselhável o observador fazer um estudo estatístico de seu setup, para saber em qual o tempo necessário o equipamento atinge determinada magnitude com o SNR de 5. Estes valores podem variar com o seeing da noite ou com a extinção atmosférica, mas pode-se criar uma escala média.

Sabe-se <sup>(1)</sup> que aumentando o tempo de exposição por um fator n, aumentaremos o SNR por um fator igual a raiz de n. Um aumento de 2.5 em termos de brilho corresponde ao aumento de uma magnitude. Se quisermos aumentar nossa magnitude limite em uma unidade, teremos que multiplicar nossa exposição por um fator igual a 6.25 cuja raiz quadrada é igual a 2.5. Adotando-se como exemplo o asteróide observado neste artigo, com 5.25 minutos atingimos magnitude 19 com SNR 5, mas para atingirmos magnitude 20 com o mesmo SNR, gastaríamos 6.25 vezes este valor, ou seja, 32.8 minutos de exposição.

## Outras considerações

Outro fator a considerar é a relação escala "/pixel dividido pelo FWHM. Existe um estudo (1) que diz que para atingir o máximo SNR, deve-se ter pixel com tamanho de 1.2 x FWHM. Em nosso caso este fator é igual a 2"/pixel dividido por 4.5 (FWHM médio) = 0.44 FWHM. Plotando-se este valor no gráfico do estudo, observa-se que estamos conseguindo um SNR de aproximadamente 50% do que poderíamos obter. Se aplicarmos um Binning 2x2 no pixel e transformássemos a escala de 2"/pixel para 4"/pixel, passaríamos a ter um valor de 0.86 FWHM, que corresponde no gráfico do estudo a pouco mais de 90% do SNR máximo que se pode conseguir. Esta experiência ainda não foi verificada.

## 7) Considerações finais:

Com o uso da técnica Track and Stack, criou-se uma nova possibilidade de se observar asteróides/ cometas, que antes não eram detectados por equipamentos comuns à astrônomos amadores, o que foi exatamente demonstrado neste artigo. Sem o uso desta técnica, como foi demonstrado na figura 6, o asteróide 2003 UW26 não seria detectado pelo equipamento do observatório Wykrota. Além disso, a técnica prova que para objetos medidos com SNR maior que 5, obtém-se bons dados astrométricos e fotométricos (observando os comentários já mencionados no texto, sobre a precisão fotométrica).

Apesar de não ser objetivo do artigo, é importante lembrar aos observadores com câmeras CCD a adequação de sua escala de "/pixel às condições de seeing, para obter o máximo valor SNR com seu setup.

## Referências:

\* (1) - Este artigo foi baseado no excelente paper escrito por Herbert Raab, autor do software Astrometrica .

Ele pode ser acessado em <http://www.astrometrica.at/Papers/PointSources.pdf>

\* Programa para calculo de órbitas : [http://www.projectpluto.com/find\\_orb.htm](http://www.projectpluto.com/find_orb.htm)

Revisão de texto: Andreza Xavier