

Camargo, J.I.B.¹, Assafin, M.², Vieira-Martins, R.¹, Braga-Ribas, F.¹, da Silva Neto, D.N.³, Andrei, A.H.¹, Oliveira, A.D.², Benedetti-Rossi, G.¹
 (¹Observatório Nacional/MCT – ²Observatório do Valongo/UFRJ – ³Univ. Estadual da Zona Oeste/RJ)

Introdução

Objetos transnetunianos (TNOs), constituem uma população remanescente, e relativamente inalterada, do disco protoplanetário que deu origem aos objetos do Sistema Solar. Por isto, seu estudo permite acessar a história da formação e evolução do Sistema Solar externo. Embora um cenário geral venha lentamente se formando, muitas questões permanecem sem respostas: a distribuição dos tamanhos dos TNOs permanece incerta e o conhecimento de informações básicas sobre as propriedades de suas superfícies, presença de atmosfera, densidade e estrutura interna é pouco ou inexistente. Ainda assim, estes parâmetros físicos são essenciais para se acessar a massa presente do Cinturão de Edgeworth-Kuiper e obter sua história. A partir do solo, ocultações estelares são a única maneira de se obter tamanhos de TNOs com precisão quilométrica, bem como detectar atmosferas tão tênues quanto poucos nanobars (veja, por exemplo, [1] e [2]). Determinar uma previsão confiável é o ponto crucial inicial de todo o programa. Tal confiabilidade não existe sem um aporte astrométrico onde, como requer a própria natureza do problema, a tolerância ao erro é mínima. A maioria dos TNOs possuem diâmetros angulares menores que 0",05 no céu e, portanto, uma precisão melhor que este valor para as posições de ambos TNO e estrela precisa ser obtida para a predição tenha chance razoável de se concretizar. Aqui, apresentaremos o trabalho ligado à previsão bem como alguns resultados oriundos das ocultações. Nosso grupo de trabalho conta com pesquisadores do ON/MCTI, OV/UFRJ, UEZO/RJ e tem atuado de maneira determinante na predição de ocultações estelares por TNOs.

1. Observações iniciais: ESO

A região do céu, contendo a trajetória futura de um dado TNO como vista por observador sobre a superfície da Terra, é observada com a câmera de grande campo do telescópio de 2.2m do ESO/MPG. A Fig. 1 ilustra este procedimento. Essas observações permitem que sejam determinadas quais estrelas são candidatas e serem ocultadas pelo dado TNO. Com o mesmo telescópio são também efetuadas as primeiras observações dos TNOs propriamente ditos. Essas observações são necessárias para efetuarmos correções à propagação das efemérides para o instante do evento. A partir dessas observações, posições estelares com precisões de 0",05 são obtidas. Quanto aos TNOs, por conta de suas magnitudes (R~20.0), precisões em posição de 0",08 são obtidas. Com essas informações, mapas como aqueles mostrados pela Fig. 2 são produzidos. Eles indicam onde e quando, sobre a Terra, o evento de ocultação se dará.

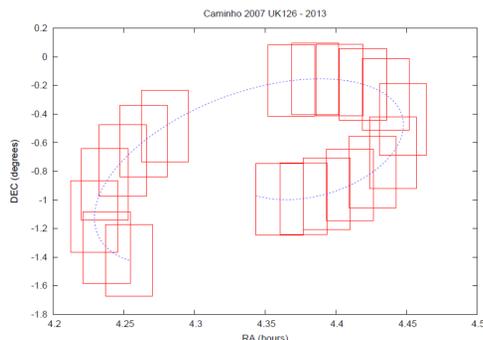
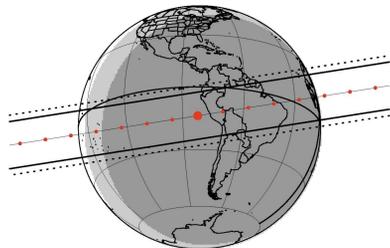


Figura 1. Em azul: trajetória do TNO como vista por um observador sobre a Terra. Em vermelho: área coberta pela câmera *Wide Field Imager* instalada no foco Cassegrain do telescópio de 2.2m do ESP/MPG. A parte não coberta da trajetória é aquela onde o ângulo TNO-Sol-Observador é menor ou igual a 30°.

Pluto: Star WFI ESO2p2, PLU21-DE413/BS Offset (mas): -75.0 187.0



d	m	year	h:m:s	UT	ra_dec_j2000_candidate	C/A	P/A	vel	Delta	R*	K*	long						
18	07	2012	04	13	45.	18	32	14.6748	-19	24	19.304	0.027	351.12	-22.54	31.30	14.8	11.0	-82.

Figura 2. Mapa mostrando data e local para observação de um dado evento. Tais mapas ficam disponíveis livremente através dos endereços <http://www.lesia.obspm.fr/perso/bruno-sicardy/> e <http://www.lesia.obspm.fr/perso/braga-ribas/campaigns/>

2. Observações de acompanhamento

Após as primeiras determinações de posições de estrelas candidatas e de correções às efemérides dos TNOs, uma longa e intensa campanha observacional, visando o refinamento dessas posições, é iniciada com o auxílio de telescópios de pequeno porte (frequentemente, diâmetros menores que 2m). Em nosso caso, o OPD/LNA tem papel essencial nesta tarefa. Quando esse acompanhamento eleva as expectativas para a ocorrência de uma dada ocultação, o refinamento pode prolongar-se a até menos de uma semana da data do evento e as precisões alcançadas são de 0",02. Mesmo após o evento, tais observações são importantes. Todas essas observações, tanto as iniciais como as de acompanhamento, constituem vários gigabytes de imagens astronômicas cuja astrometria é determinada, de forma automática, pelo pacote astrométrico PRAIA [3]

3. Resultados: parâmetros físicos de TNOs

Eventos de ocultação geram curvas de luz e é partir da análise dessas curvas que as dimensões de TNOs são determinadas bem como a presença de uma eventual atmosfera é detectada. A Fig. 3 ilustra este ponto através das observações oriundas de uma ocultação dupla: um TNO (Plutão) e um de seus satélites (Caronte). As dimensões dão acesso ao albedo do corpo e, quando ha' um satélite, densidades podem ser determinadas. Quando há atmosfera, a análise da curva permite que sua temperatura, sua escala de altura, sua pressão, e sua composição química sejam examinadas.

Referências

- [1] Widemann *et al.*, "Titan's size and atmospheric upper limit", *Icarus*, 199, 458 (2009).
- [2] Sicardy *et al.*, "A Pluto-like radius and a high albedo for the dwarf planet Eris from an occultation", *Nature*, 478, 493 (2011).
- [3] M. Assafin, *Bol. Soc. Astron. Bras.* 26 (1), 189 (2006).
- [4] G. Benedetti-Rossi, "Plutão: análise astrométrica de 15 anos de observações", dissertação de mestrado, ON/MCTI (2012).

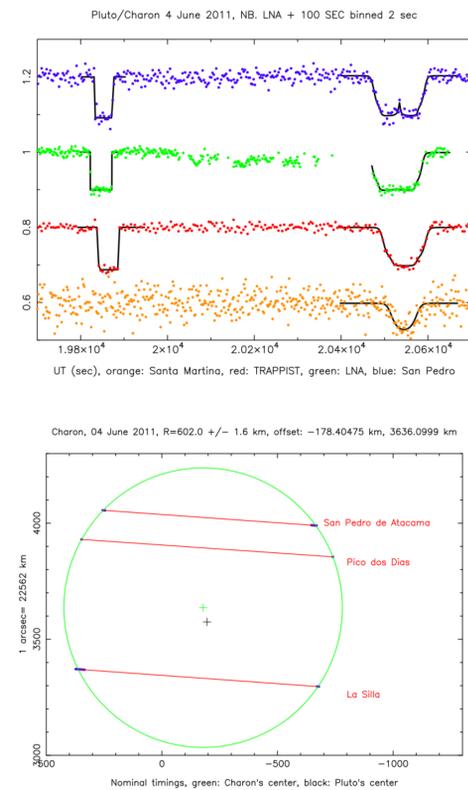


Figura 3. Painel superior: curvas de luz obtidas em quatro observatórios diferentes. A ocultação por Plutão é vista nas quatro curvas. A ocultação por Caronte não foi visível para Santa Martina (curva laranja). Vale notar a queda abrupta de luz na ocultação por Caronte, típica para um corpo **sem** atmosfera, bem como a queda gradual de luz na ocultação por Plutão, típica para um corpo **com** atmosfera. Vale também notar, na curva azul, a presença de um aumento de fluxo no instante central da queda de luz para a ocultação por Plutão. Esse aumento de fluxo, denominado *flash* central, ocorre para aqueles observadores que se encontram na parte central da faixa de sombra da ocultação por um objeto com atmosfera. Painel inferior: Dimensões de Caronte, determinadas através das durações da queda de fluxo oriunda das curvas de luz dos diferentes observatórios que observaram o evento.

4. Resultados: astrometria

Ocultações estelares por TNOs, por sua natureza, representam um forte vínculo para a posição relativa do TNO com respeito à da estrela ocultada. Sabendo-se que esta posição relativa pode ser conhecida com precisões de 0",001 a 0",005, uma boa determinação da posição da estrela significa uma boa determinação da posição do TNO. A Fig. 4 ilustra tal situação no caso de Plutão. Essas informações, junto com aquelas oriundas do mestrado de G. Benedetti-Rossi [4], deverão ser incorporadas às próximas efemérides planetárias do JPL (DEs) no tocante a Plutão.

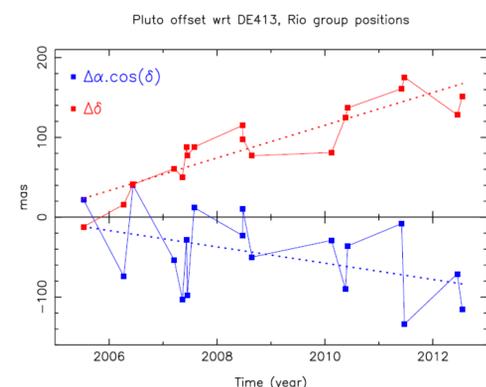


Figura 4. Diferenças no sentido observação menos efemérides para Plutão. Em azul: desvios em ascensão reta. Em vermelho: desvios em declinação. Vale notar que, em declinação, o erro é de -0",02/ano no período estudado. Não é possível uma predição, confiável, de ocultação por Plutão se este desvio não for levado em conta. A refração cromática diferencial é tida como responsável por esse erro, como justificado em [4]. Créditos da figura: B. Sicardy (Observatório de Paris-Meudon).

5. Gostaria de saber como participar da Rede Brasileira de Ocultações?

Além de inúmeras ocultações envolvendo Plutão e Caronte, nosso grupo de pesquisa previu 9 do total de 10 ocultações estelares por TNOs conhecidas, tendo inclusive participado das observações de todas aquelas que foram visíveis a partir do território brasileiro. Trata-se de um estudo que, junto com sua importância, envolve forte cooperação nacional e internacional. Caso tenha interesse em participar, não hesite em contactar Roberto Vieira-Martins (rvm@on.br) ou Felipe Braga-Ribas (ribas@on.br).