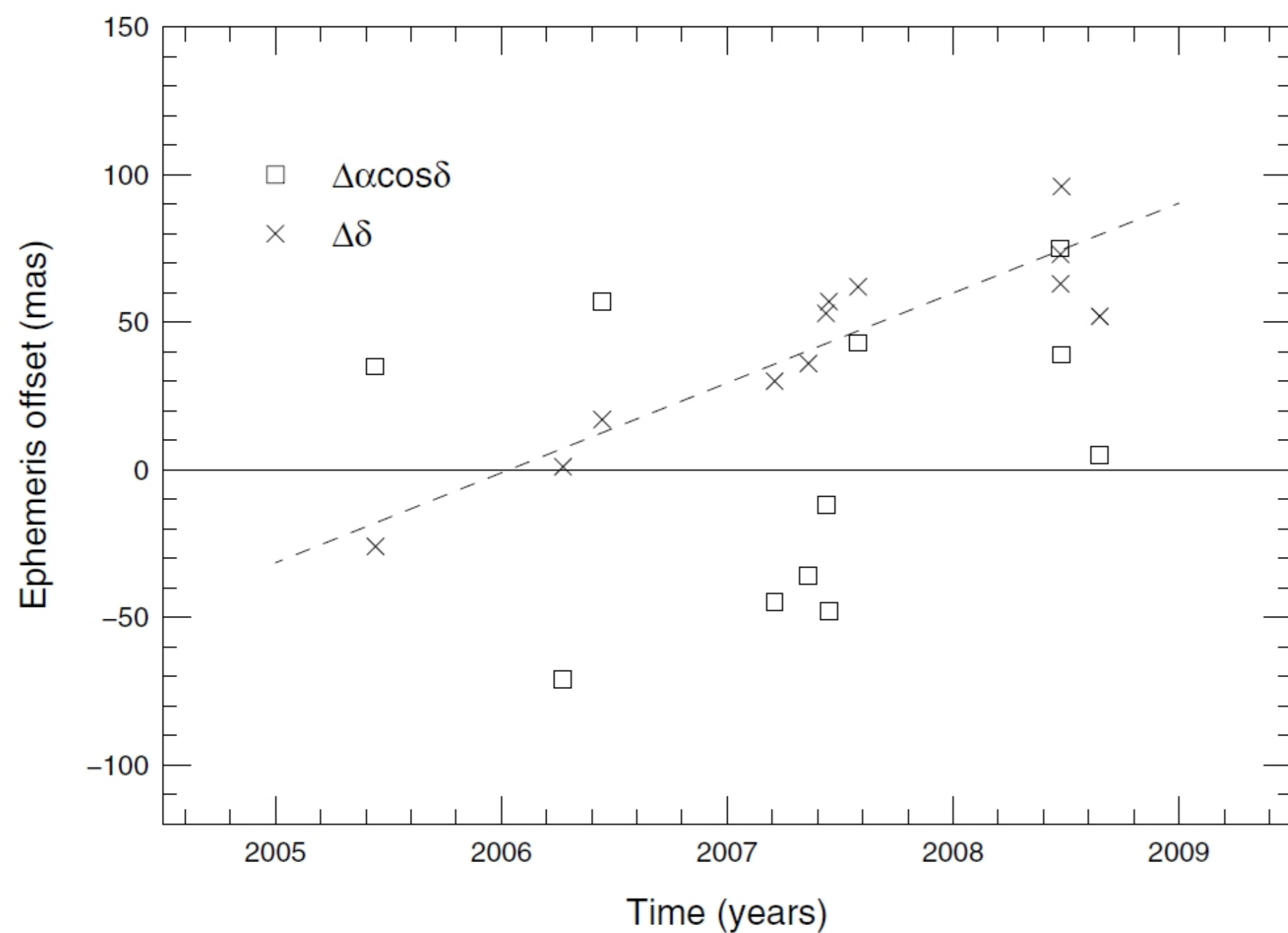


## INTRODUÇÃO

Plutão é o principal representante TNO's, apresentando peculiaridades tais como uma atmosfera e um sistema de 5 satélites conhecidos: Caronte, Nix, Hydra, P4 e P5. Até a chegada da sonda New Horizons a este sistema (prevista para julho de 2015), ocultações estelares constituem uma das maneiras mais eficientes de se conhecer propriedades físicas e dinâmicas desse sistema a partir do solo. Em 2010, ficou evidente uma deriva das declinações (aproximadamente 20 mas/ano) em relação às efemérides (Figura 1). Isto nos motivou a retomar a redução e a análise de grande conjunto de nossas observações realizadas no Observatório do Pico dos Dias (OPD/LNA) e no ESO.



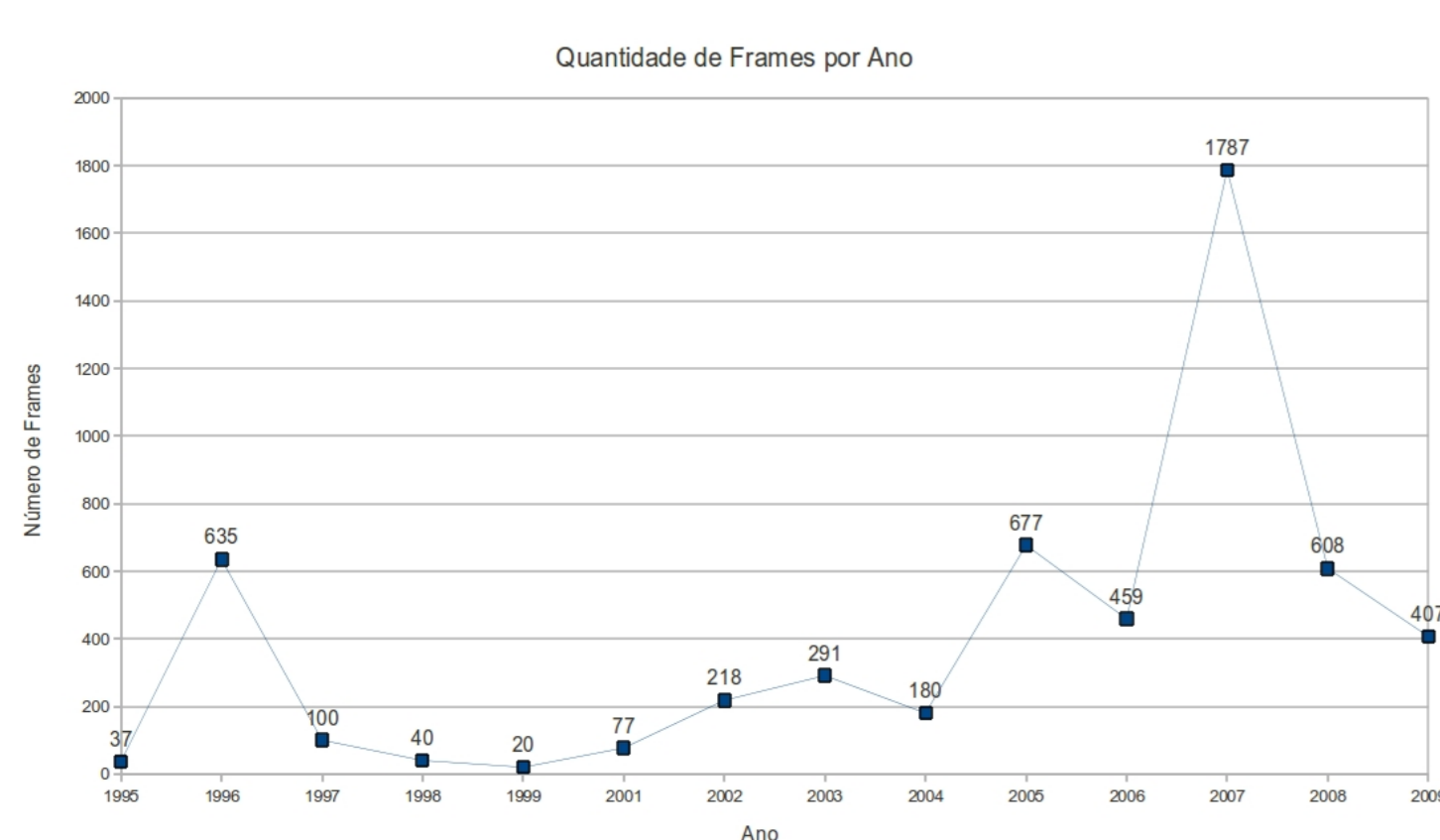
**Figura 1** – Imagem do artigo (Assafin et al., 2010, A&A) mostrando a deriva em declinações da posição de Plutão. As posições foram obtidas nas observações de ocultações estelares.

Após as reduções astrométricas e fotométricas de imagens CCD de Plutão (cerca de 6500 imagens distribuídas em 15 anos), duas correções foram utilizadas: refração diferencial cromática e de fotocentro. Em seguida, uma comparação com as posições de efemérides existentes e com os resultados de ocultações.

## METODOLOGIA

Primeiramente foi realizado um levantamento de dados das observações de Plutão:

- 151 noites no OPD/LNA (3 telescópios; filtros V, R e I – além de observações sem filtro)
- 13 noites no telescópio de 2,2m do ESO (filtro R)

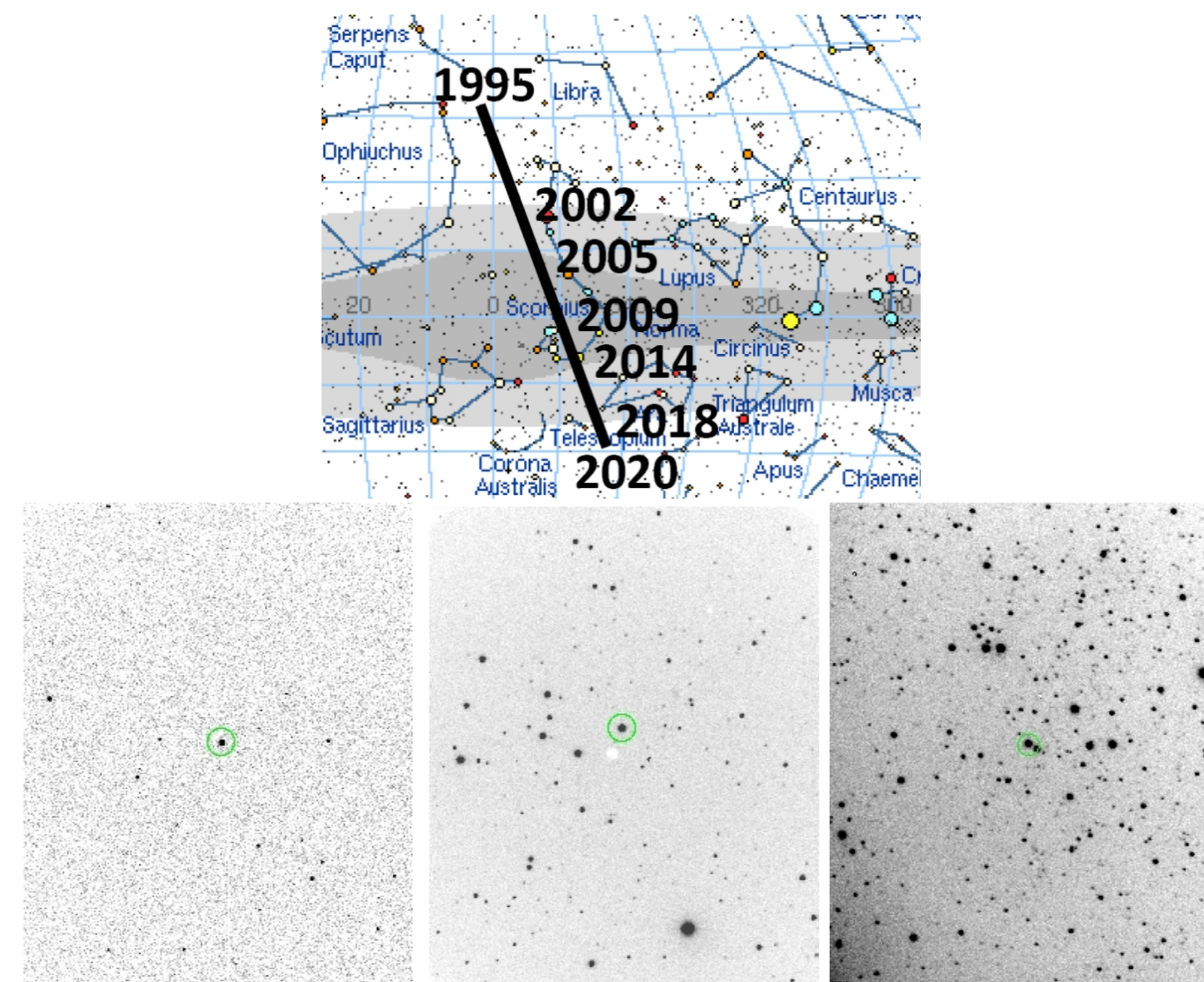


**Figura 2** – Distribuição das imagens por ano de observação. A grande quantidade de imagens em 2007 foi devido ao número maior de noites concedidas nos telescópios do OPD/LNA por conta dos fenômenos mútuos de Urano.

A redução astrométrica foi realizada com um ajuste polinomial de 1º grau e com as posições calculadas a partir do UCAC2 com diferença "O-C" menor que 120mas em relação às estrelas de referência. Uma comparação com as efemérides foi feita (utilizando os núcleos "DE421+plu021" do SPICE/JPL - <http://ssd.jpl.nasa.gov/?ephemerides>) buscando as diferenças em ascensão reta (ΔX) e declinação (ΔY). Esses valores são corrigidos de refração cromática e fotocentro.

## REFRAÇÃO DIFERENCIAL CROMÁTICA

A refração cromática ocorre devido à cor média das estrelas de fundo do campo ser mais avermelhada que a cor de Plutão, fazendo com que a posição relativa entre Plutão e as estrelas seja alterada no caminho da luz pela atmosfera.

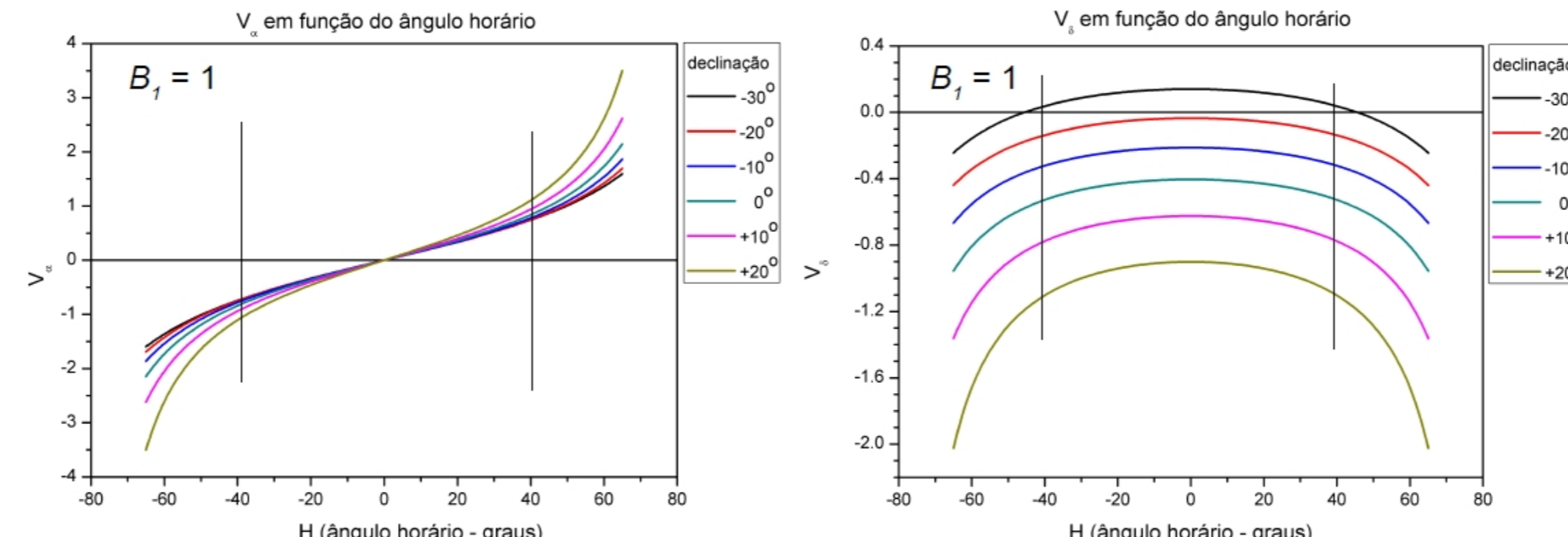


**Figura 3** – Caminho percorrido por Plutão atravessando o centro da galáxia (acima) e a variação da densidade de estrelas no campo observado em 1997 (esquerda), 2003 (meio) e 2009 (direita).

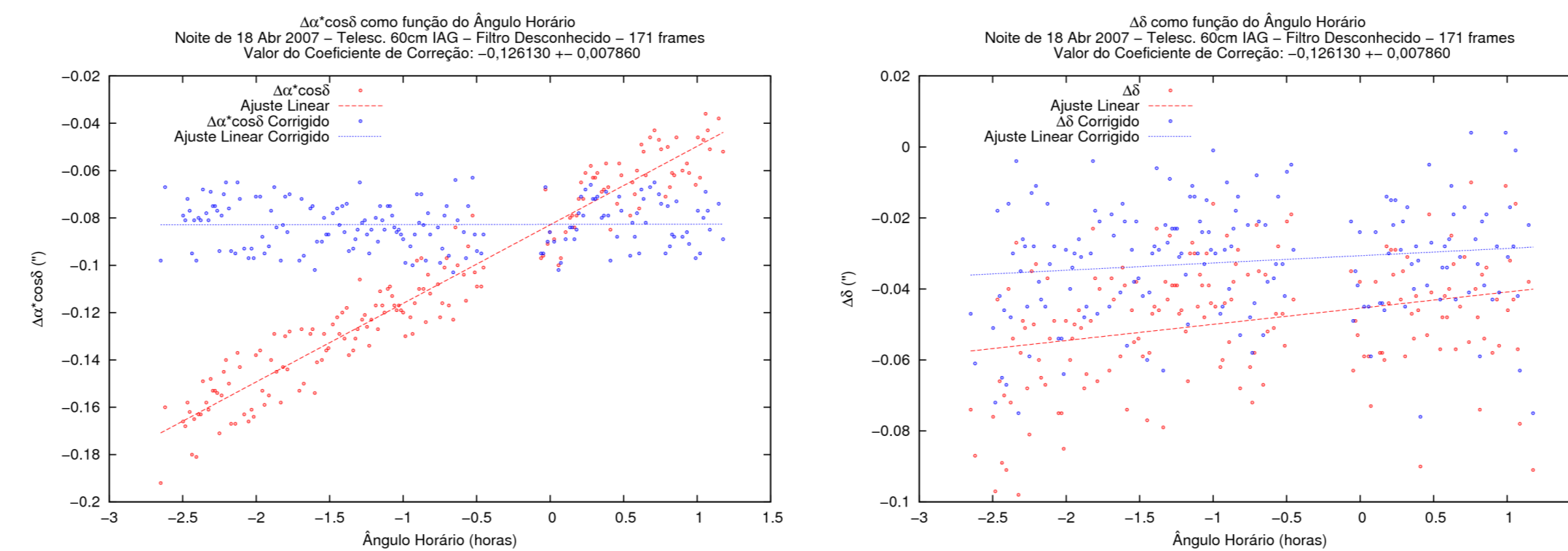
As equações da correção de refração são dadas a seguir com a Figura 4 apresentando o comportamento. A Figura 5 apresenta os dados de uma noite antes e depois da correção.

$$\Delta \alpha_{ref} = \alpha - \alpha' = B_1 \frac{\sec^2 \delta \sin H}{\tan \delta \tan \phi + \cos H} = B_1 V_{\alpha}(H)$$

$$\Delta \delta_{ref} = \delta - \delta' = B_1 \frac{\tan \phi - \tan \delta \cos H}{\tan \delta \tan \phi + \cos H} = B_1 V_{\delta}(H)$$



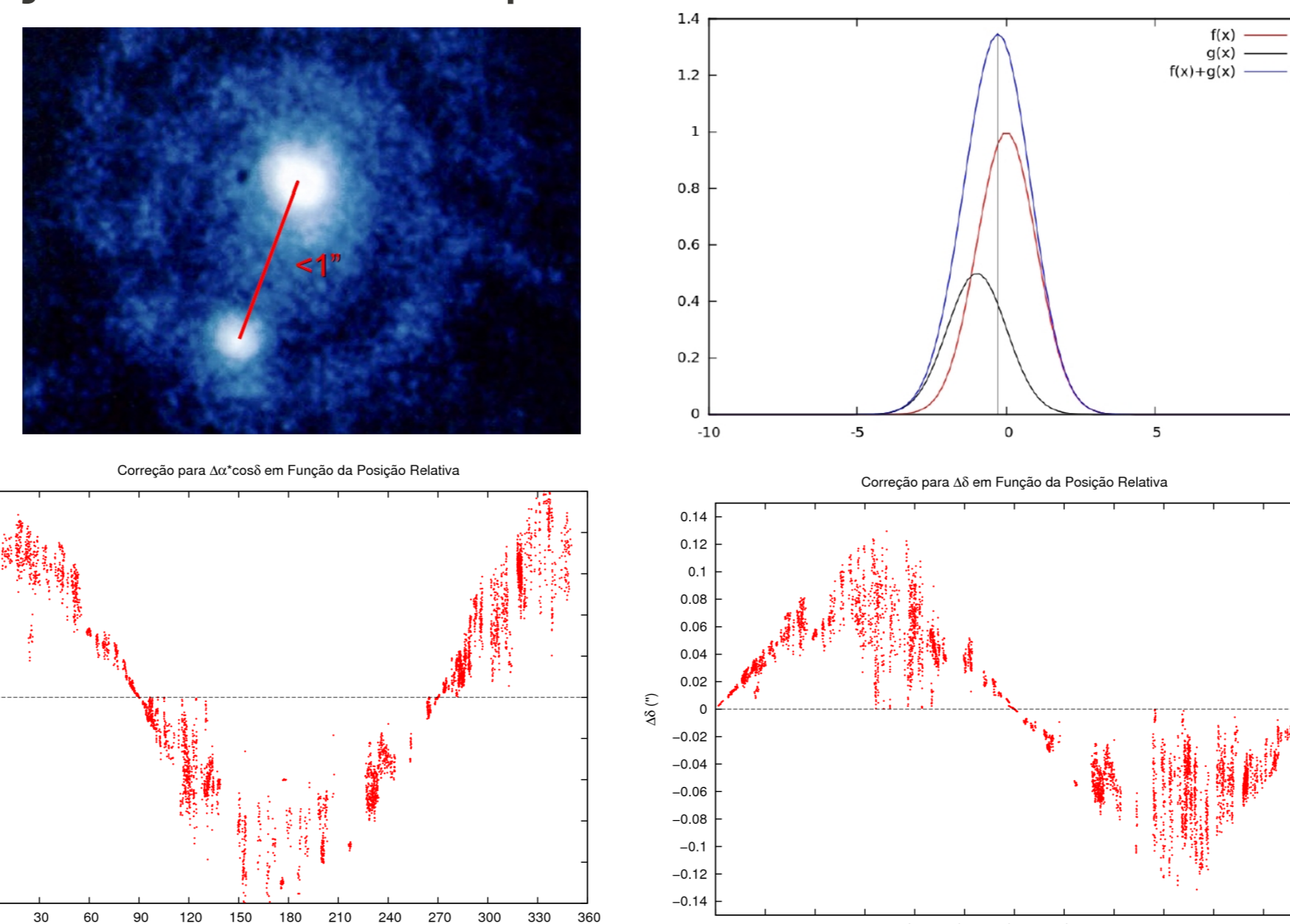
**Figura 4** – Comportamento da função de correção de refração cromática. Note que as escalas são diferentes para  $V_{\alpha}$  e  $V_{\delta}$ , sendo a correção mais sensível para ascensão reta. Nossas observações encontram-se dentro das linhas verticais, onde as funções possuem um comportamento aproximadamente linear. O valor de  $B_1$  depende do comprimento de onda e das condições climáticas da noite e pode ser considerado constante para uma noite.



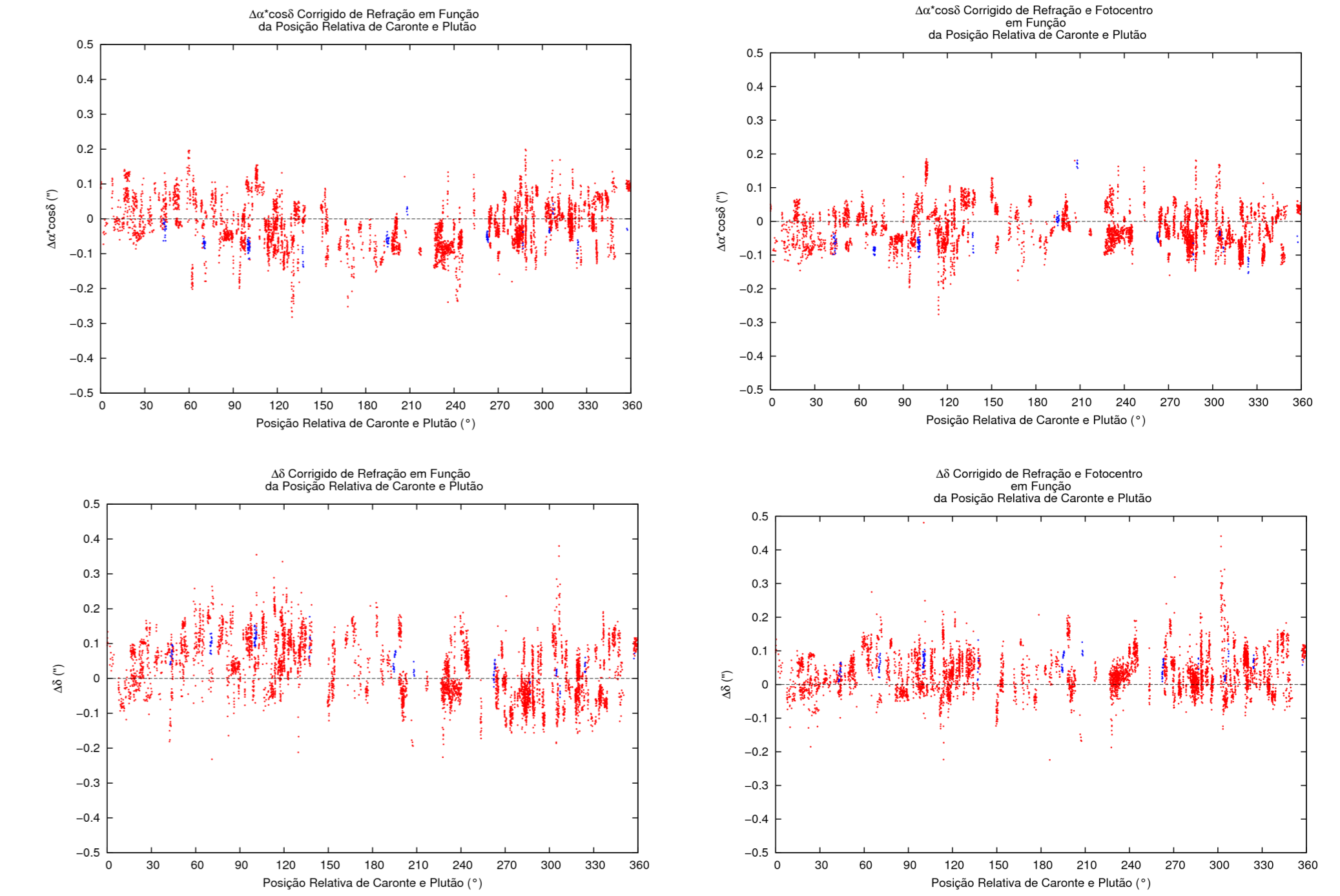
**Figura 5** – Resíduos em ascensão reta (esquerda) e declinação (direita) antes, em vermelho, e depois da correção de refração, mostrado em azul.

## FOTOCENTRO

A correção de fotocentro baseia-se na ideia de duas curvas tipo gaussianas sobrepostas, com centros não coincidentes e com alturas diferentes, uma correspondente a Caronte e a outra a Plutão. O objetivo é separar essas duas gaussianas da curva observada e determinar com maior precisão as posições dos dois corpos.



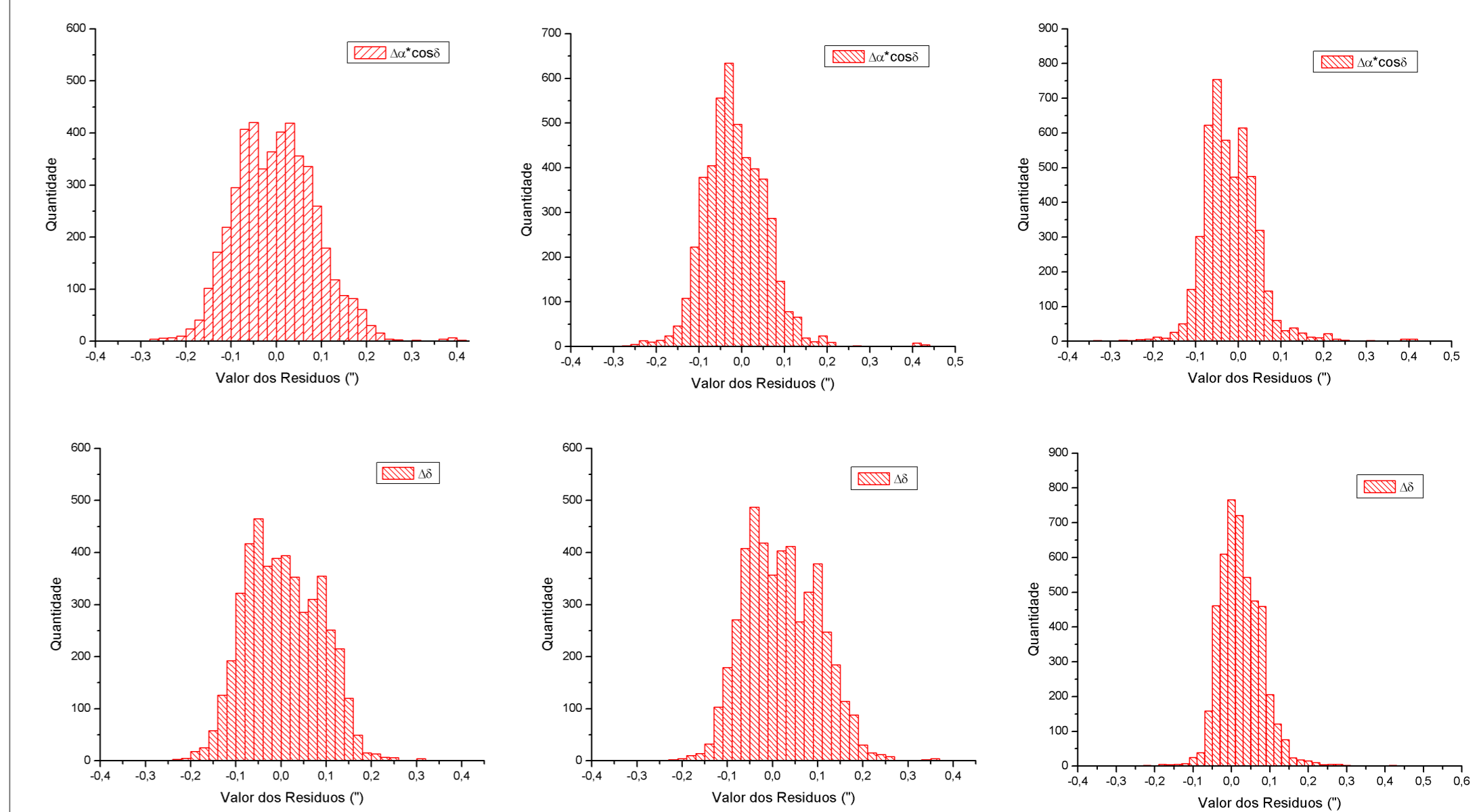
**Figura 6** – Problema do fotocentro. Como a separação angular é menor que 1", as curvas se sobrepõem, resultando em uma terceira curva com o pico deslocado (acima). Abaixo temos os valores de correção aplicado aos resíduos em ascensão reta (direita) e declinação.



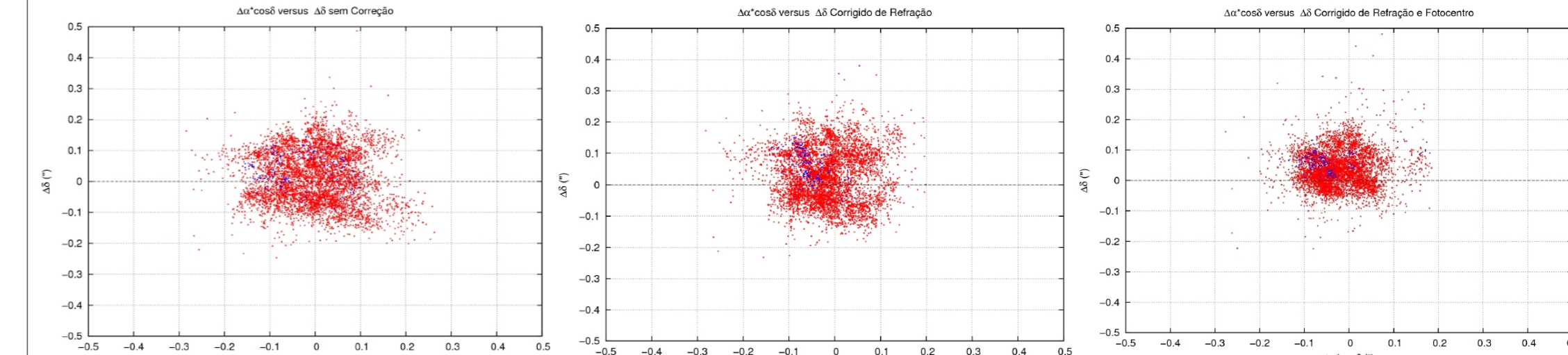
**Figura 7** – Comparação dos resíduos antes (esquerda) e depois (direita) da correção de fotocentro.

## RESULTADOS

Após a redução astrométrica e a aplicação das correções de refração e fotocentro é possível analisar a distribuição dos resíduos ΔX e ΔY.

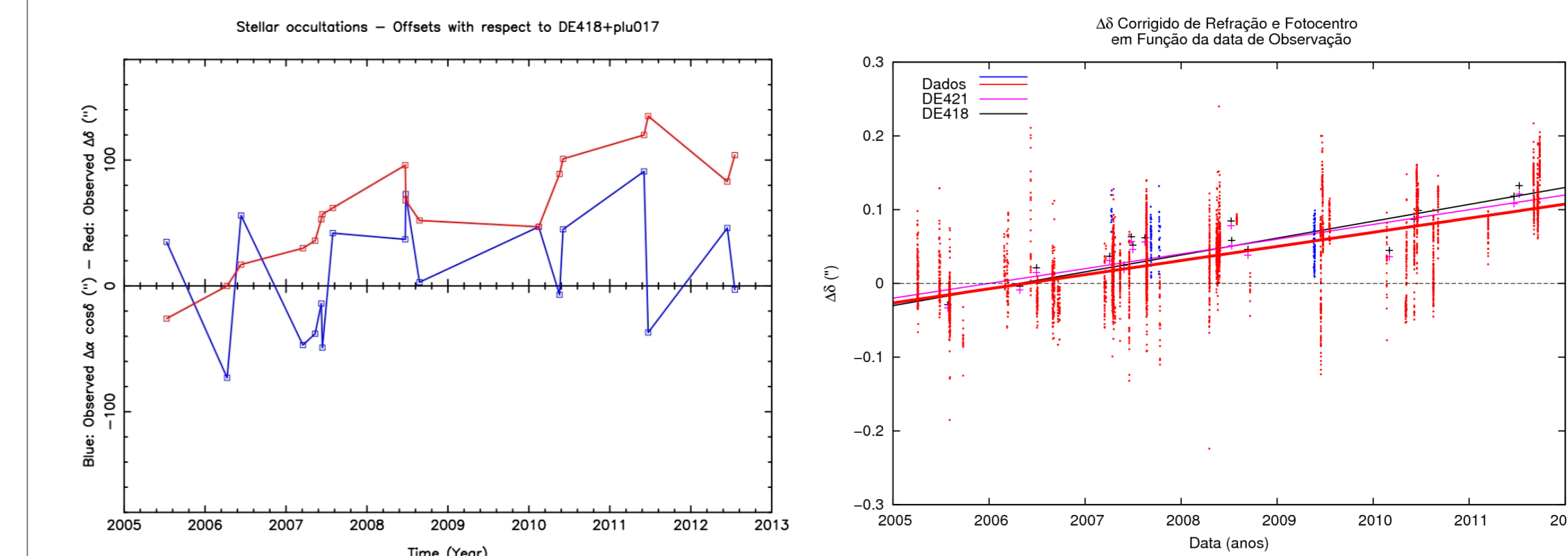


**Figura 8** – Histogramas dos resíduos ΔX (acima) e ΔY (abaixo). Os histogramas da esquerda são da redução astrométrica; os do meio após a aplicação da correção de refração – note que a correção é muito mais sensível para ascensão reta; os histogramas da direita são corrigidos de refração e fotocentro – note que a correção é mais sensível em declinação.



**Figura 9** – Dispersão dos resíduos após a redução astrométrica (esquerda), com correção de refração (meio) e fotocentro (direita). Os pontos em vermelho são das imagens do OPD/LNA e os azuis das imagens do ESO.

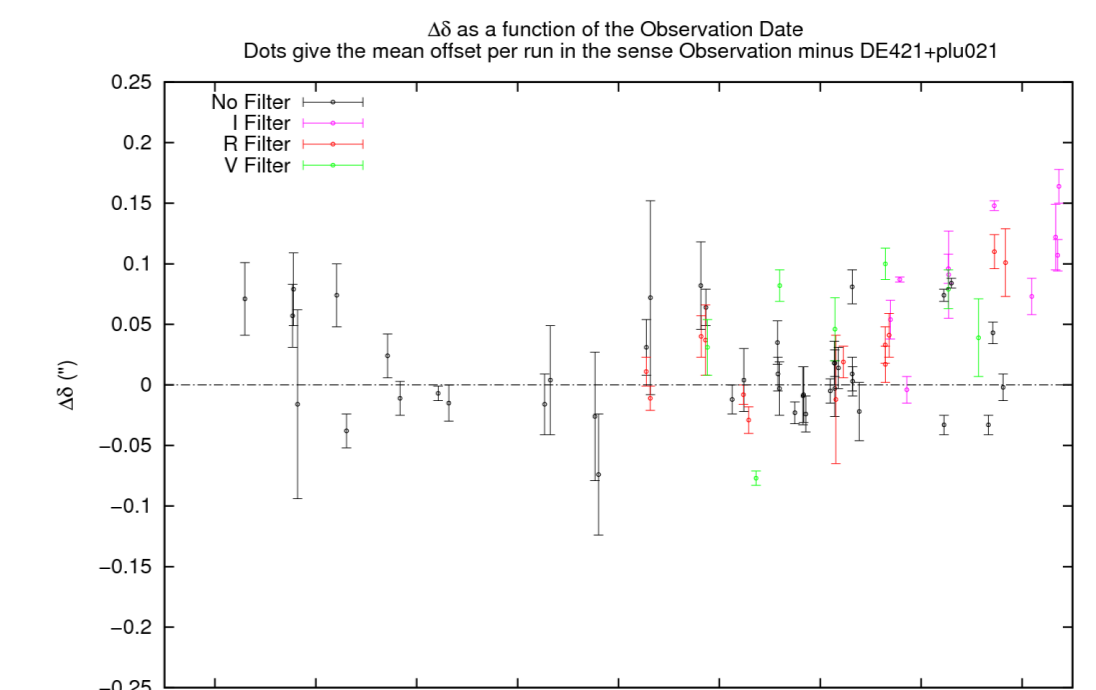
Após as correções, podemos comparar o resultado com o artigo (Assafin et al., 2010) para verificar a existência da deriva em declinações.



**Figura 10** – Na esquerda é apresentado as posições de Plutão, a partir de ocultações, entre 2005 e 2012. Na direita, os offsets das posições obtidas no OPD/LNA (pontos e ajuste linear em vermelho) e ESO (azul). Os pontos pretos são os mesmos do gráfico à esquerda, obtidos com a DE418, e os em rosa são as posições para a DE421, a mesma utilizada neste trabalho.

## CONCLUSÕES

- Pode-se verificar a mesma deriva em declinações de Plutão mostrada no artigo (Assafin et al., 2010)
- Um estudo mais amplo através torna-se necessário quando se analisa todo o período considerado no trabalho (1995 a 2011), como a variação do albedo como função do tempo ou a posição relativa de Caronte.



**Figura 11** – Média das posições de cada noite, separados por filtro observado, em função da data de observação. A pouca quantidade de dados entre 2005 e 2003 não permite tirar boas conclusões sobre o comportamento da deriva em declinações neste período.