

# Relatório sobre o ajuste dos offsets dos satélites irregulares

Altair Ramos

11 de Julho de 2015

# Ajuste

O problema consiste em ajustar uma função dependente do tempo e da anomalia verdadeira aos offsets obtidos e publicados no artigo de posições dos satélites irregulares. Assim estimando correções às posições dos satélites para predição de ocultações estelares.

As equações utilizadas são as seguintes e dependem da situação:

$$F(t, f) = p[0] \times \frac{t - 2451544.5}{365.65} + p[1] \times \sin(f) + p[2] \times \cos(f) + p[3], \quad (1)$$

$$F(t, f) = p[0] \times \sin\left(\frac{2\pi}{p[1]} \times \frac{t - 2451544.5}{365.25} + p[2]\right) + p[3] \times \sin(f) + p[4] \times \cos(f) + p[5], \quad (2)$$

$$F(t, f) = p[0] \times \cos\left(\frac{2\pi}{p[1]} \times \frac{t - 2451544.5}{365.25} + p[2]\right) + p[3] \times \sin(f) + p[4] \times \cos(f) + p[5], \quad (3)$$

onde  $t$  é o tempo em data juliana,  $f$  é a anomalia verdadeira e  $p[i]$  são os parâmetros de ajuste onde  $i$  é o número do parâmetro.

A equação 1 é basicamente uma variação linear com o tempo mais variações senoidais dependentes da anomalia verdadeira.  $p[0]$  foi colocado de forma a ter a unidade de mas/ano. Apenas o ajuste para a declinação de Carme foi utilizada essa função.

As equações 2 e 3 correspondem a uma variação senoidal com o tempo (uma utilizando o seno e outra o cosseno) mais variações senoidais da anomalia verdadeira. Pra maioria dos casos as duas últimas dão o mesmo resultado.  $p[1]$  foi colocado de forma a ser o período da oscilação em anos.

Para cada satélite há quatro gráficos, dois para RA e dois para DEC. Dos pares, um é *offset X tempo* com os ajustes. O outro é *offset X anomalia verdadeira*. Além disso, temos tabelas com os valores e erros obtidos para os parâmetros através do método de mínimos quadrados não-linear.

Nos gráficos em função do tempo, as linhas verticais marcam os instantes de anomalia verdadeira igual a zero (periastro). A linha verde é o ajuste

utilizando  $1/\sigma^2$  como peso onde  $\sigma$  é a dispersão da noite. A linha vermelha é o ajuste dos offsets onde todos os offsets tem o mesmo peso.

Nas tabelas temos os valores derivados para os parâmetros e seus erros a partir dos dois ajustes (com peso e sem peso). Além disso, também mostro o resíduo médio de cada ajuste calculado a partir da seguinte equação:

$$RM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - F(t_i, f_i))^2 w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}}, \quad (4)$$

onde  $x_i$  é o offset,  $F$  é a função ajustada para tempo  $t_i$  e anomalia verdadeira  $f_i$  e  $w_i$  é o peso do offset  $i$ ,  $n$  é o número total de offsets.

Começo apresentando para os satélites de Júpiter. Primeiro os satélites que são únicos de seu grupo orbital e por fim para o grupo de Himalia. Notem que muitos desses ajustes obtêm como período na senoide do tempo um valor entre 10 e 13 anos. Lembrando que o período da órbita de Júpiter é 11.8 anos. Para Phoebe e Nereida, coloquei como chute inicial para o período 1 ano de forma a tentar obter uma variação de paralaxe da Terra, já que não temos observações suficientes para obter uma senoide cujo período seja da ordem da órbita dos planetas Saturno (29.4) e Netuno (164.8).

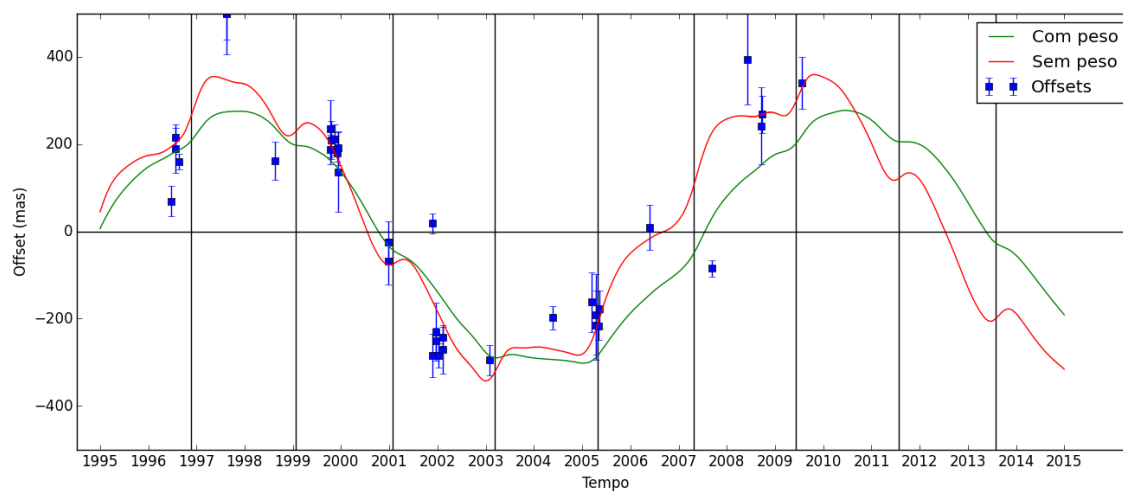
Ainda precisamos melhorar os ajustes, talvez limitando o peso para que noites com dispersão muito baixa não crie um erro no ajuste ou eliminando offsets com resíduo maior que  $2\sigma$  do resíduo médio. Outra possibilidade é mudar as funções em relação à anomalia verdadeira e/ou ao tempo.

# Sinope

Número total de noites: 36.

## Ascensão Reta

Para Sinope (RA), o ajuste foi feito utilizando a função 2. Vemos pelo gráfico em função do tempo e a tabela que a variação em função da anomalia verdadeira influencia menos que o tempo.



## Declinação

Para Declinação também foi utilizada a função 2. Nesse, o seno da anomalia verdadeira tem uma importância maior que para RA e que a amplitude do tempo é bem menor que para RA.

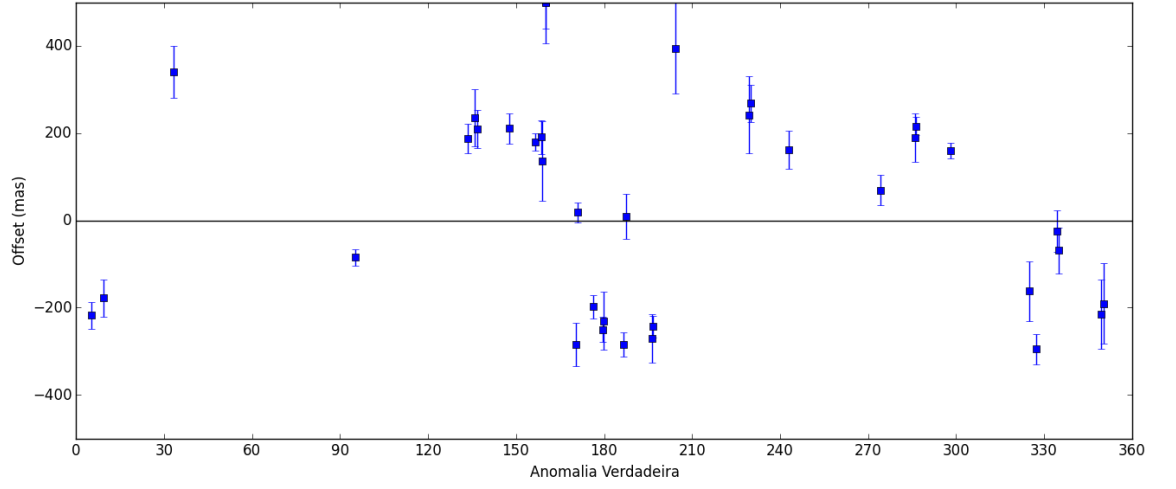
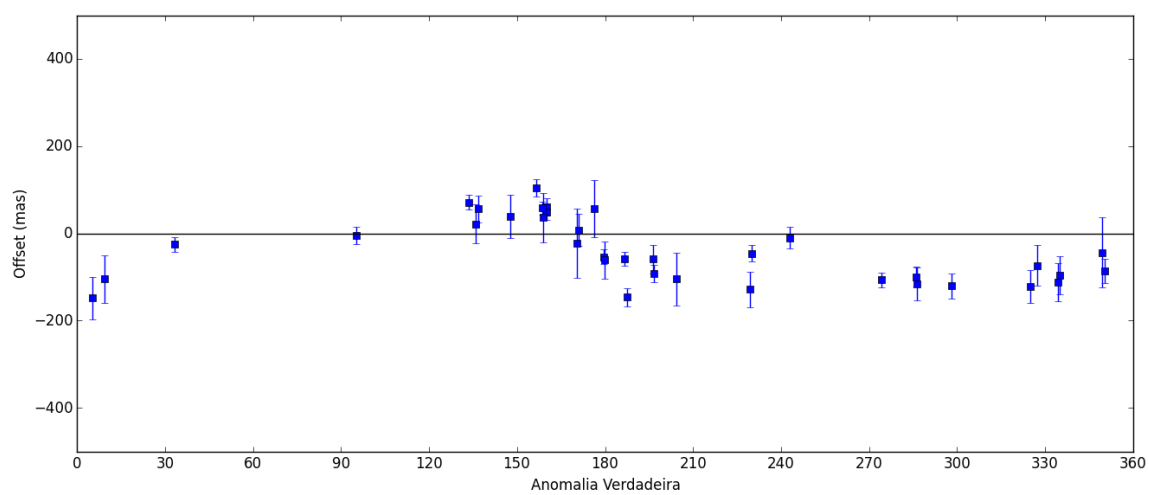
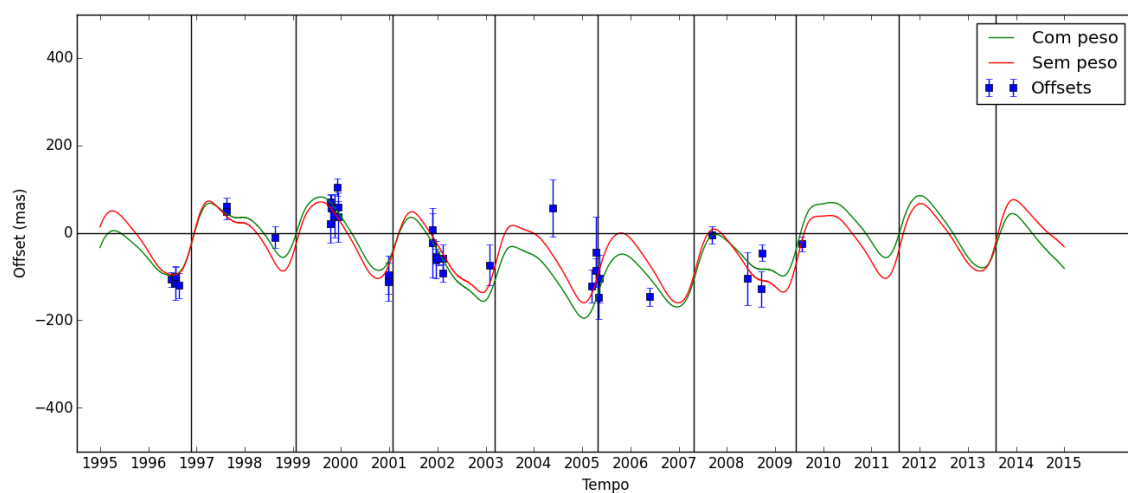


Tabela 1: Resultados dos ajustes para Sinope - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$-284 \pm 28$	$-316 \pm 25$	mas
p[1]	$12 \pm 1$	$11.7 \pm 0.7$	anos
p[2]	$-30 \pm 8$	$-22 \pm 7$	graus
p[3]	$10 \pm 48$	$44 \pm 37$	mas
p[4]	$-15 \pm 31$	$-18 \pm 24$	mas
p[5]	$-26 \pm 21$	$1 \pm 21$	mas
Residuo	91	88	mas

Tabela 2: Resultados dos ajustes para Sinope - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$-69 \pm 11$	$-38 \pm 11$	mas
p[1]	$12.7 \pm 0.7$	$15 \pm 3$	anos
p[2]	$123 \pm 8$	$129 \pm 23$	graus
p[3]	$69 \pm 11$	$79 \pm 15$	mas
p[4]	$-18 \pm 9$	$-19 \pm 10$	mas
p[5]	$-54 \pm 7$	$-43 \pm 8$	mas
Residuo	30	38	mas



# Pasiphae

Número total de noites: 65.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 2.

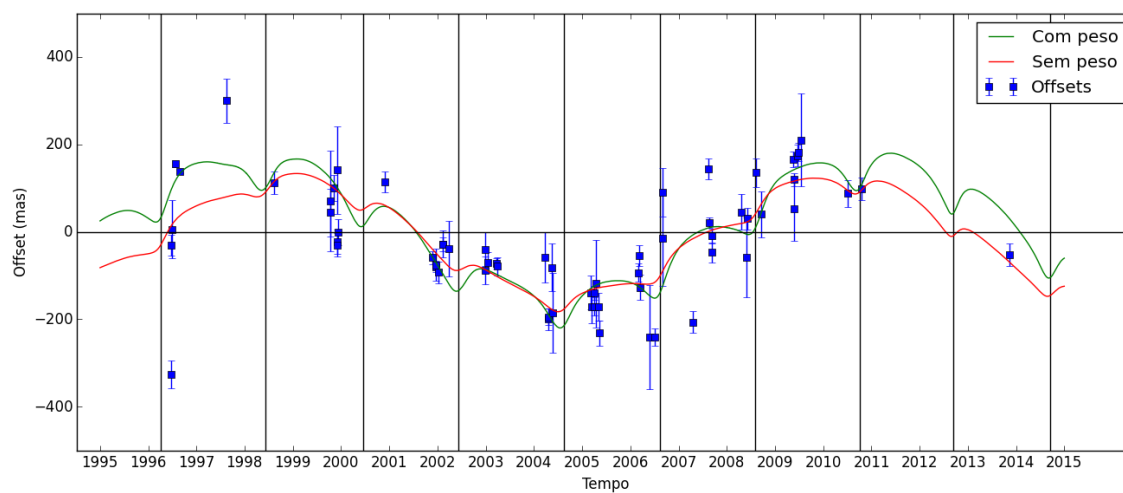
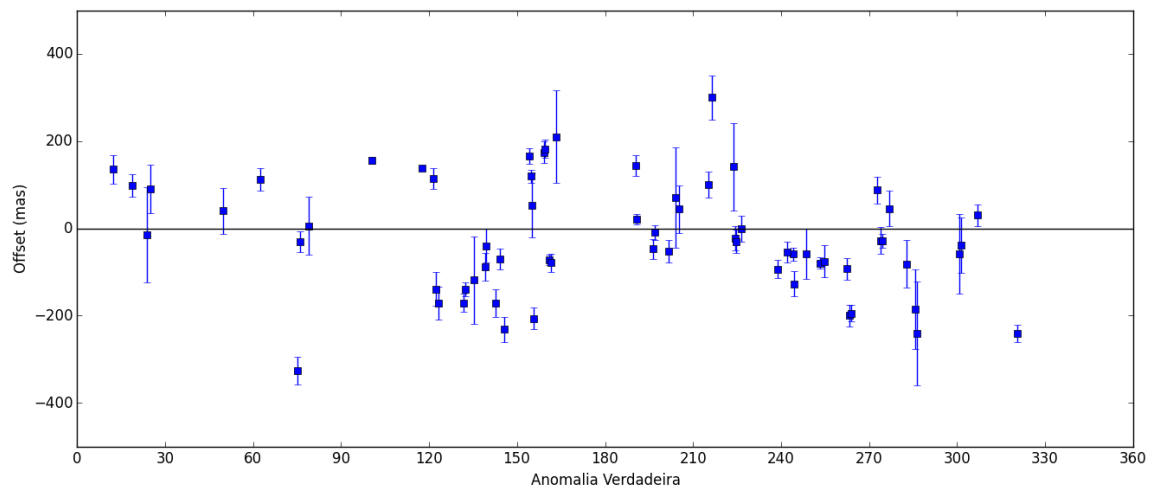


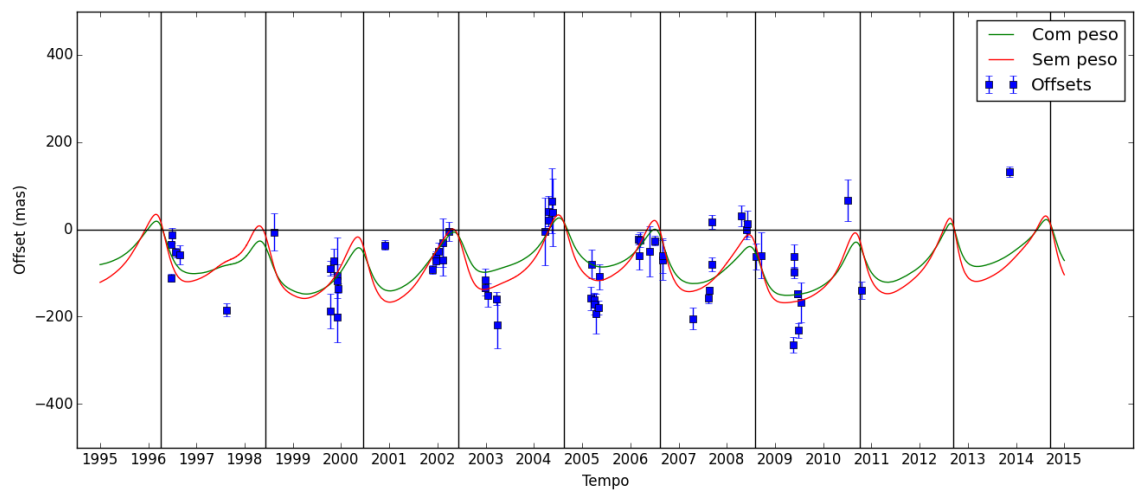
Tabela 3: Resultados dos ajustes para Pasiphae - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$-157 \pm 14$	$-136 \pm 15$	mas
p[1]	$12.7 \pm 0.4$	$11.3 \pm 0.6$	anos
p[2]	$-39 \pm 7$	$-57 \pm 10$	graus
p[3]	$20 \pm 16$	$15 \pm 17$	mas
p[4]	$-39 \pm 19$	$-16 \pm 19$	mas
p[5]	$-17 \pm 12$	$-24 \pm 13$	mas
Residuo	57	84	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 2.





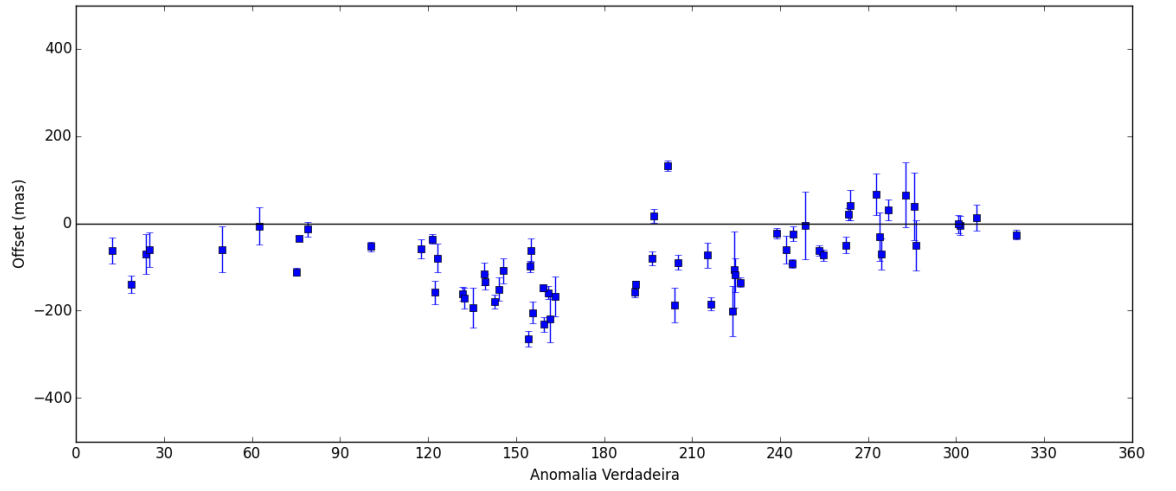


Tabela 4: Resultados dos ajustes para Pasiphae - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$35 \pm 13$	$26 \pm 10$	mas
p[1]	$9 \pm 1$	$8 \pm 2$	anos
p[2]	$-85 \pm 29$	$-110 \pm 45$	graus
p[3]	$-30 \pm 14$	$-48 \pm 11$	mas
p[4]	$44 \pm 16$	$58 \pm 13$	mas
p[5]	$-62 \pm 10$	$-67 \pm 9$	mas
Residuo	59	60	mas

# Ananke

Número total de noites: 30.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 3. A equação com seno dava um período de 2 anos

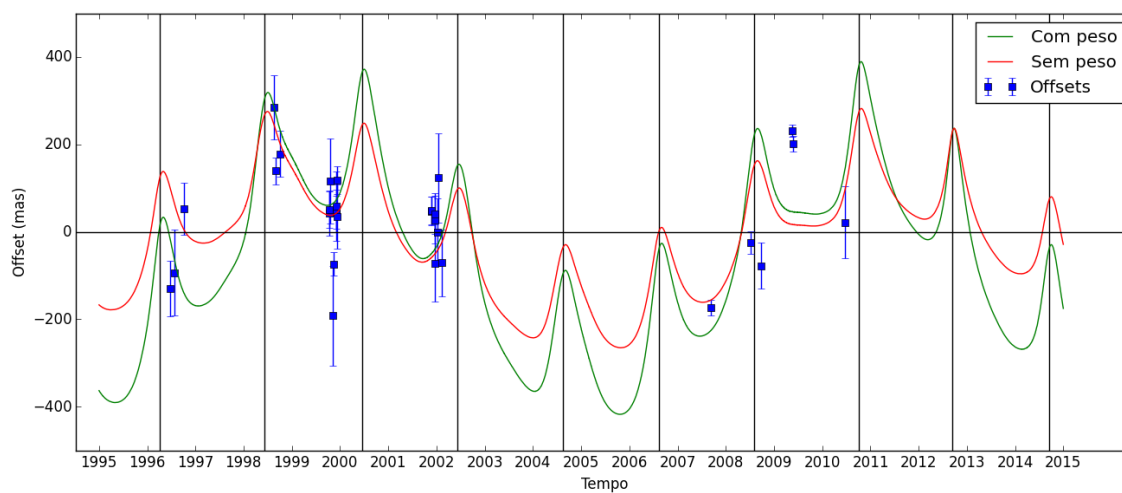
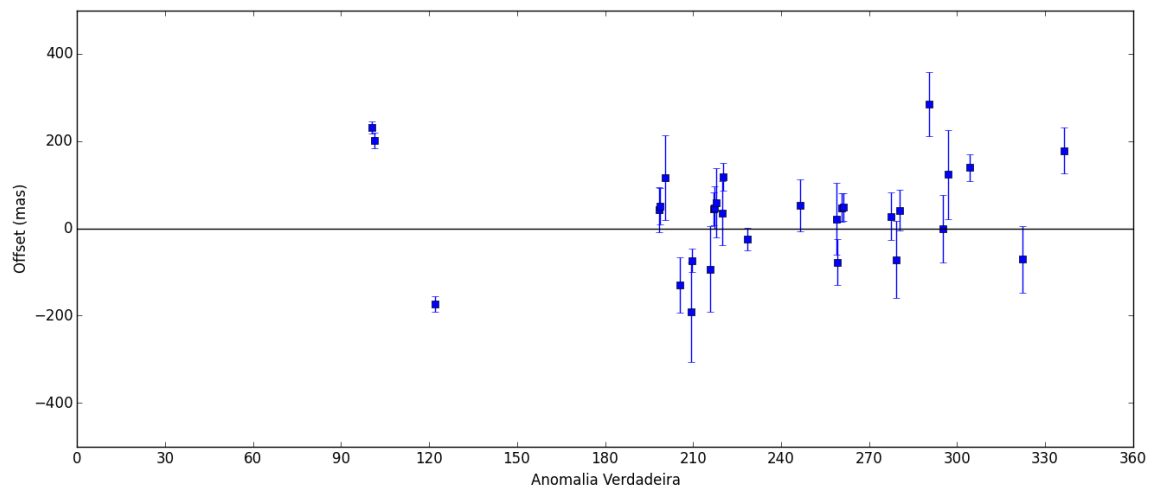


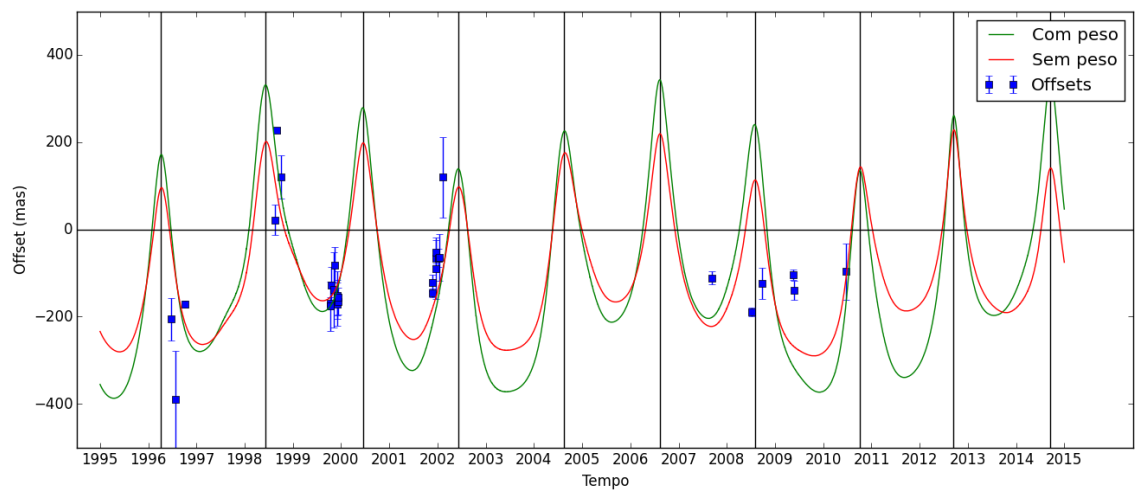
Tabela 5: Resultados dos ajustes para Ananke - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$246 \pm 39$	$160 \pm 43$	mas
p[1]	$10.8 \pm 0.5$	$12.0 \pm 0.9$	anos
p[2]	$5 \pm 8$	$24 \pm 10$	graus
p[3]	$60 \pm 29$	$44 \pm 39$	mas
p[4]	$152 \pm 37$	$111 \pm 32$	mas
p[5]	$-20 \pm 37$	$5 \pm 37$	mas
Residuo	71	82	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 3. A equação com o seno dava um período de 2 anos



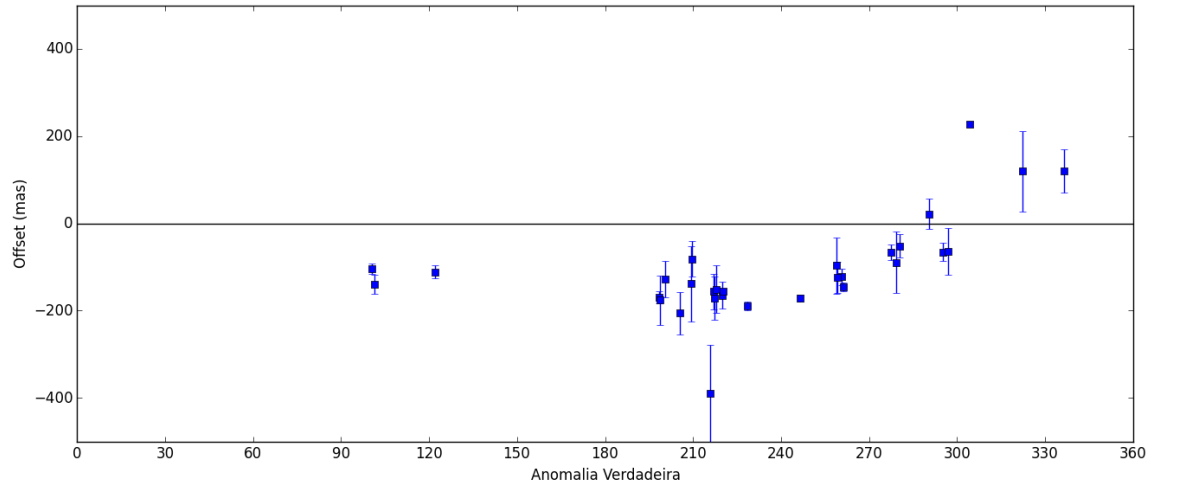


Tabela 6: Resultados dos ajustes para Ananke - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$105 \pm 8$	$66 \pm 12$	mas
p[1]	$7.6 \pm 0.2$	$6.6 \pm 0.4$	anos
p[2]	$45 \pm 5$	$31 \pm 18$	graus
p[3]	$9 \pm 11$	$18 \pm 18$	mas
p[4]	$260 \pm 10$	$194 \pm 19$	mas
p[5]	$-22 \pm 13$	$-34 \pm 16$	mas
Residuo	23	46	mas

# Carme

Número total de noites: 44.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 3. A equação com o seno não conseguia ajustar bem o período do tempo com o peso. encontrava  $33 \pm 43$ .

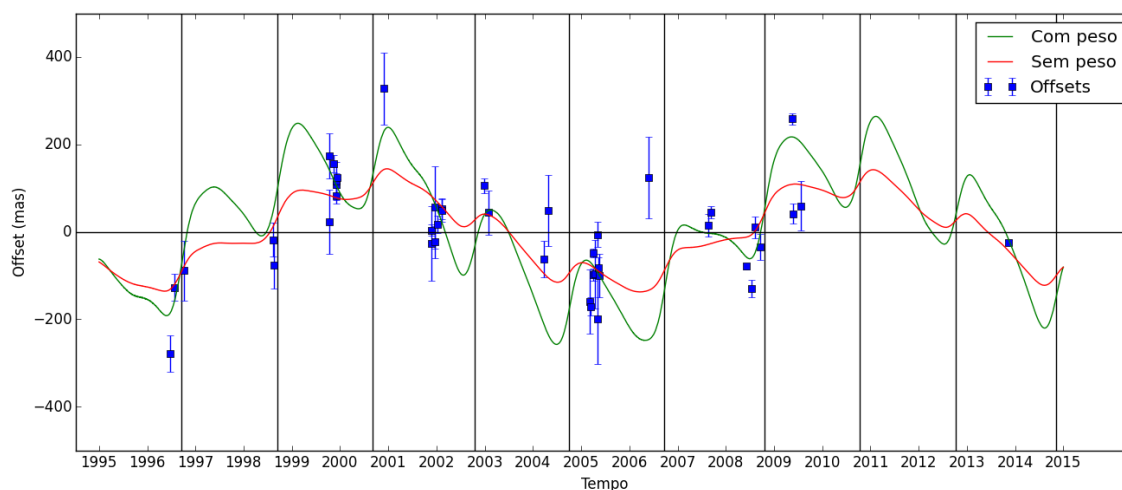
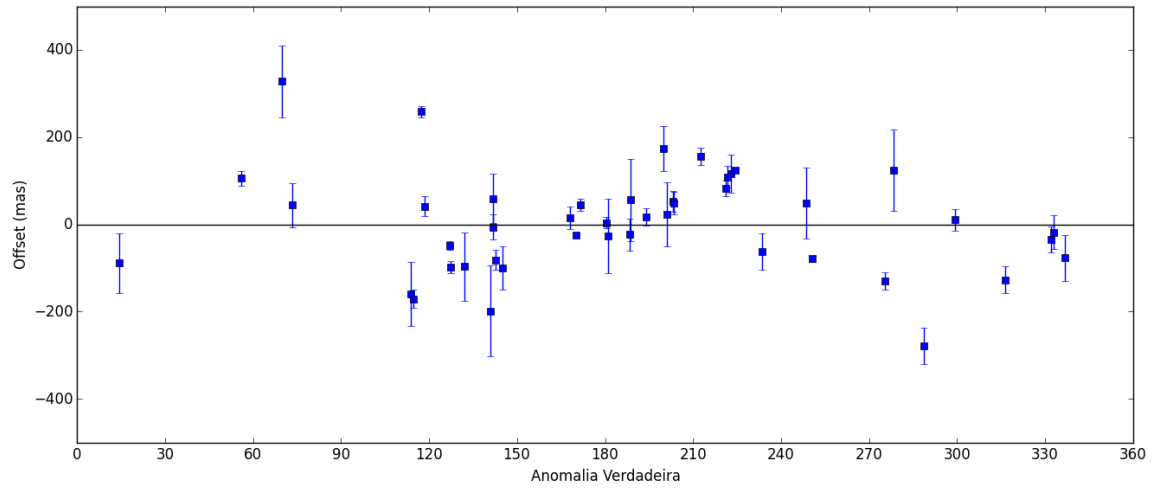


Tabela 7: Resultados dos ajustes para Carme - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$167 \pm 14$	$112 \pm 20$	mas
p[1]	$10.7 \pm 0.2$	$9.9 \pm 0.7$	anos
p[2]	$1 \pm 8$	$-24 \pm 16$	graus
p[3]	$104 \pm 16$	$33 \pm 22$	mas
p[4]	$-17 \pm 20$	$0 \pm 24$	mas
p[5]	$-4 \pm 15$	$0 \pm 17$	mas
Residuo	45	83	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 1.

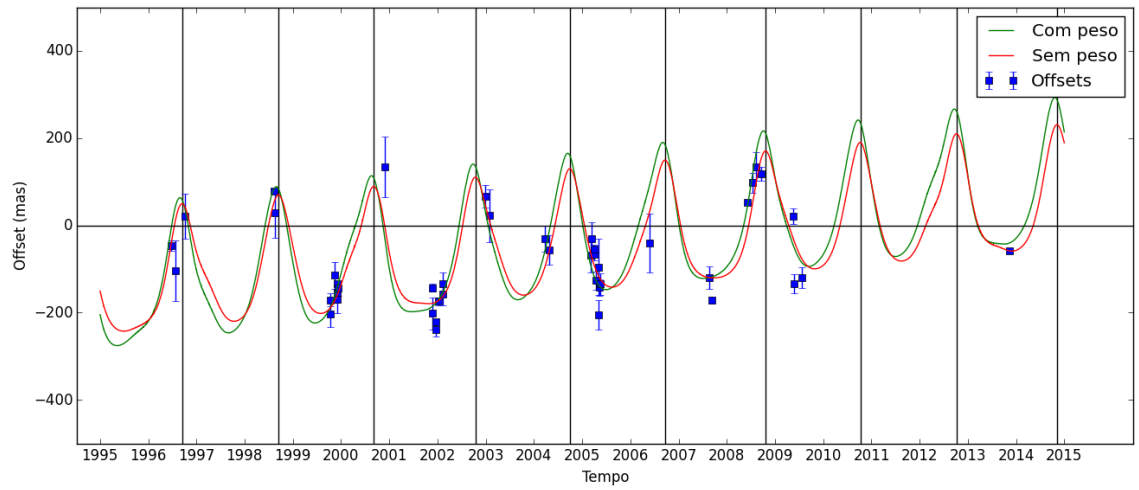
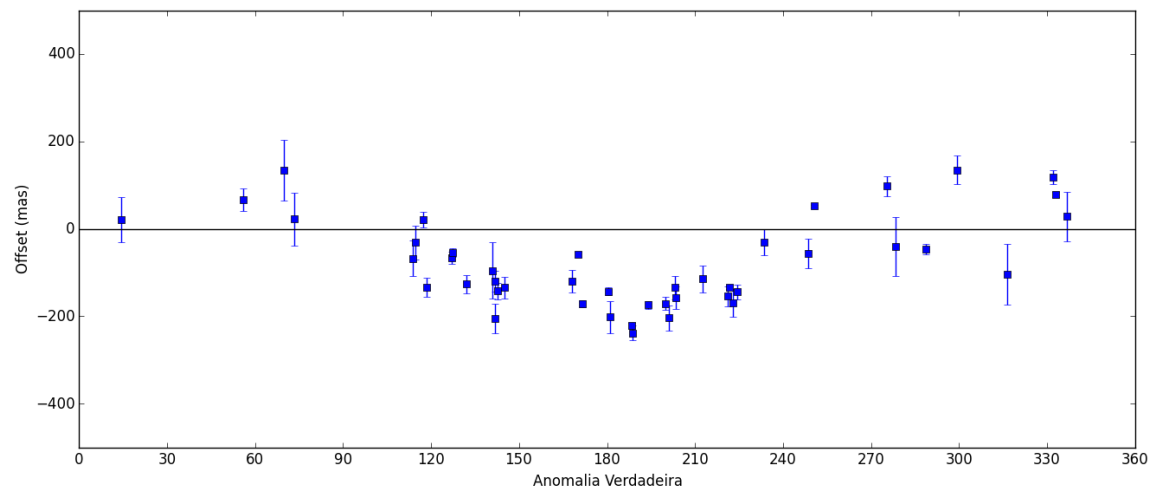


Tabela 8: Resultados dos ajustes para Carne - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$12 \pm 1$	$10 \pm 2$	mas/ano
p[1]	$-44 \pm 9$	$-4 \pm 12$	mas
p[2]	$155 \pm 9$	$140 \pm 12$	mas
p[3]	$-55 \pm 9$	$-57 \pm 11$	mas
Residuo	29	47	mas



# Elara

Número total de noites: 65.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 2

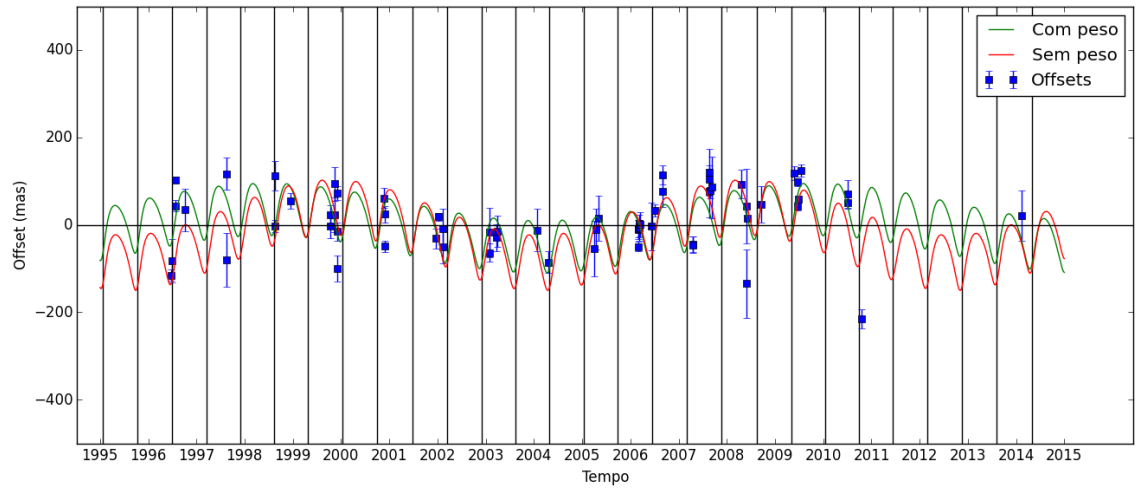
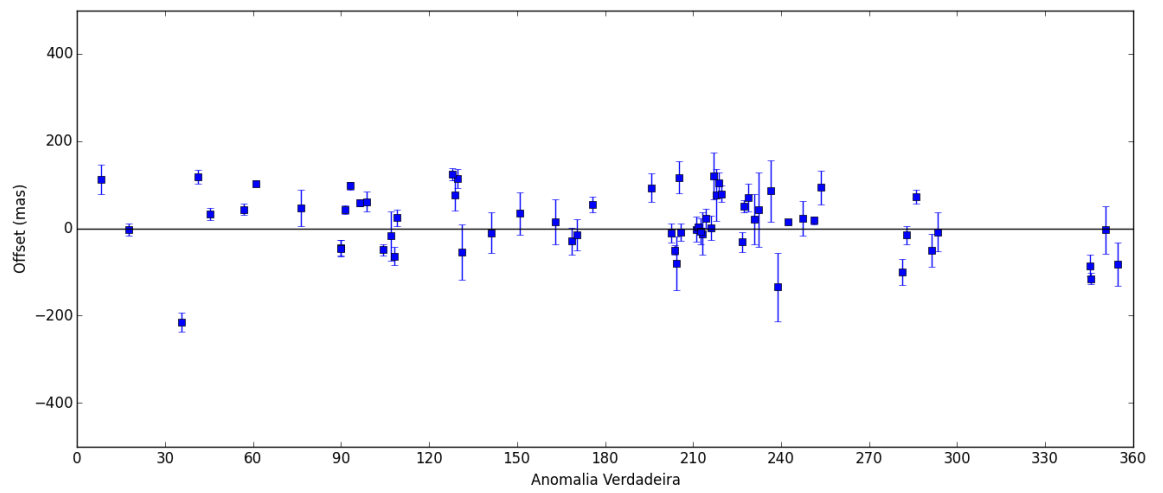


Tabela 9: Resultados dos ajustes para Elara - RA

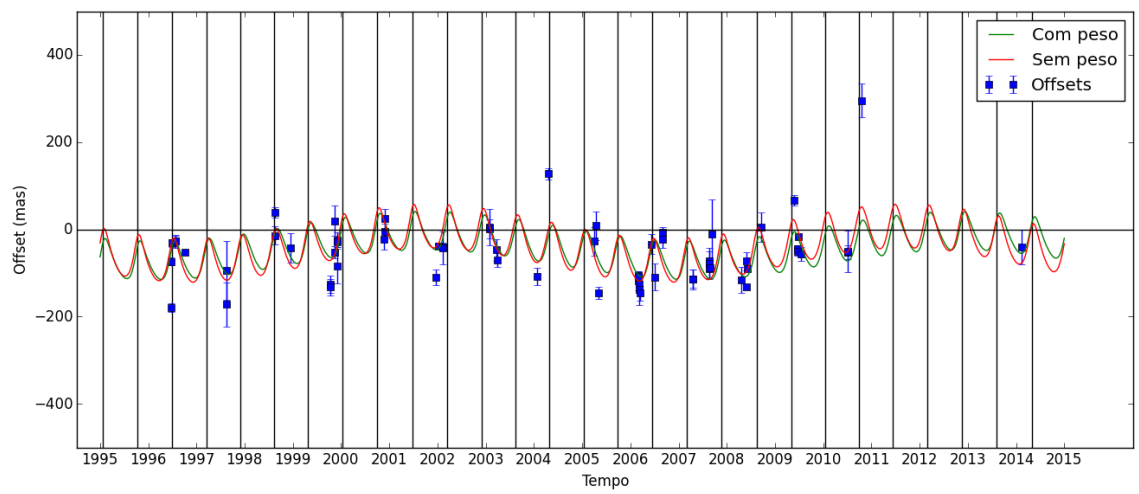
Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$-42 \pm 17$	$-63 \pm 20$	mas
p[1]	$11 \pm 2$	$8.5 \pm 0.8$	anos
p[2]	$-41 \pm 26$	$-82 \pm 24$	graus
p[3]	$33 \pm 13$	$27 \pm 18$	mas
p[4]	$-49 \pm 23$	$-57 \pm 21$	mas
p[5]	$-7 \pm 14$	$-23 \pm 15$	mas
Residuo	66	98	mas





## Declinação

Foi utilizada a equação 2.



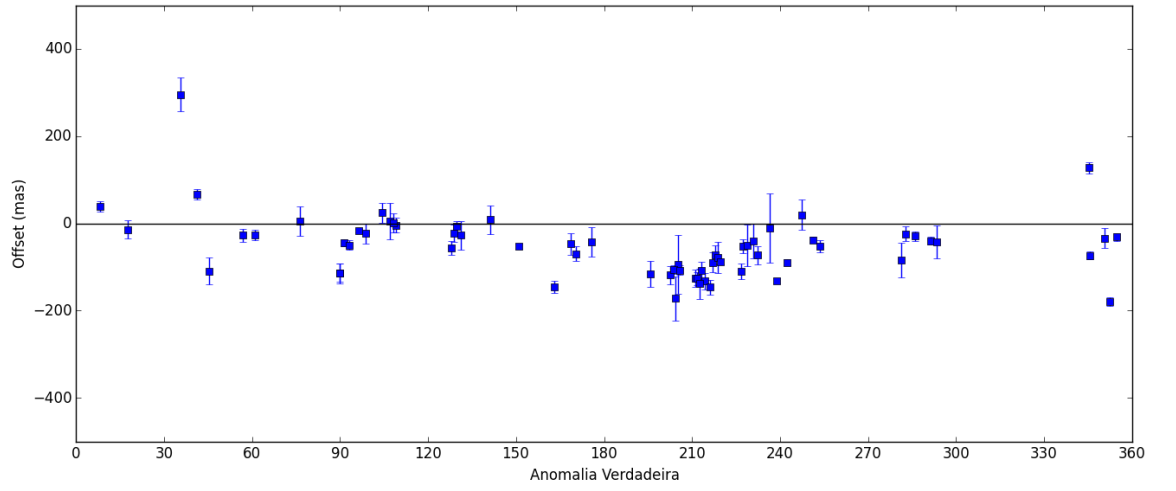


Tabela 10: Resultados dos ajustes para Elara - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$34 \pm 8$	$39 \pm 10$	mas
p[1]	$11.1 \pm 1.2$	$9.8 \pm 0.9$	anos
p[2]	$33 \pm 27$	$23 \pm 24$	graus
p[3]	$32 \pm 8$	$26 \pm 10$	mas
p[4]	$29 \pm 8$	$42 \pm 11$	mas
p[5]	$-37 \pm 7$	$-31 \pm 8$	mas
Residuo	41	55	mas

# Himalia

Número total de noites: 98.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 2.

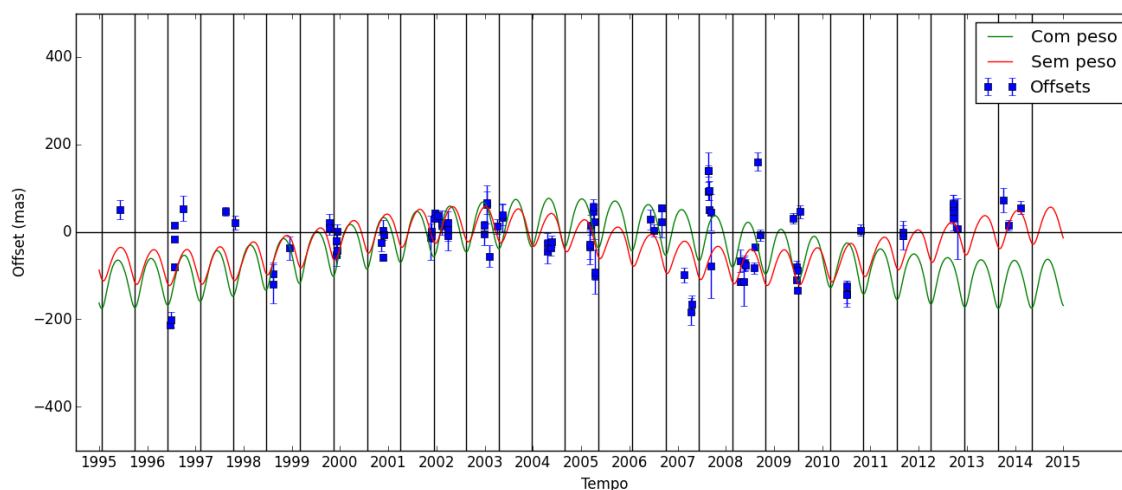
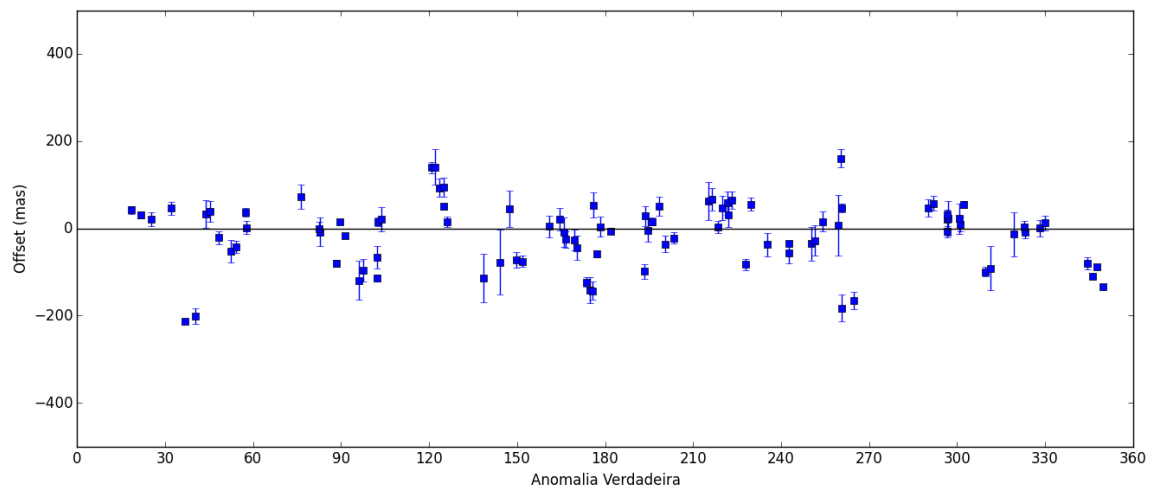


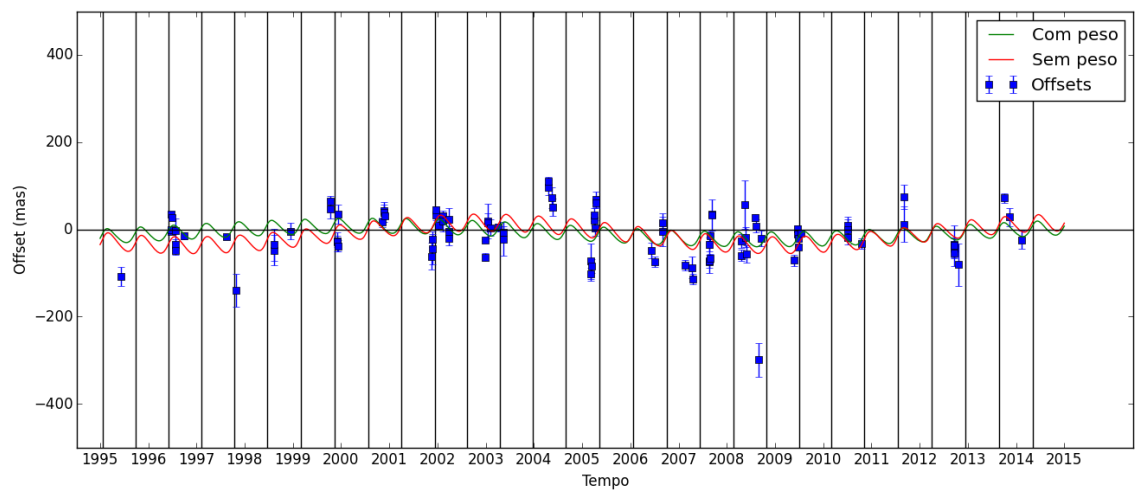
Tabela 11: Resultados dos ajustes para Himalia - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$71 \pm 24$	$49 \pm 19$	mas
p[1]	$18 \pm 8$	$12 \pm 2$	anos
p[2]	$5 \pm 46$	$12 \pm 41$	graus
p[3]	$0 \pm 21$	$-17 \pm 21$	mas
p[4]	$-55 \pm 17$	$-36 \pm 21$	mas
p[5]	$-49 \pm 36$	$-32 \pm 14$	mas
Residuo	108	136	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 2.



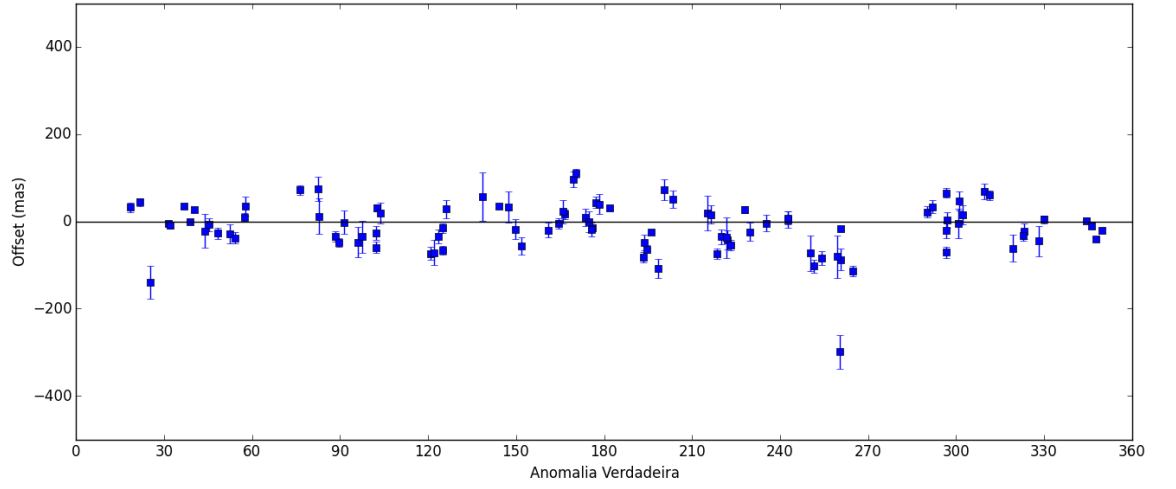


Tabela 12: Resultados dos ajustes para Himalia - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$15 \pm 5$	$26 \pm 7$	mas
p[1]	$16 \pm 3$	$12.2 \pm 1.6$	anos
p[2]	$76 \pm 23$	$3 \pm 29$	graus
p[3]	$15 \pm 6$	$19 \pm 8$	mas
p[4]	$7 \pm 5$	$3 \pm 7$	mas
p[5]	$-7 \pm 4$	$-10 \pm 5$	mas
Residuo	34	51	mas

# Lysithea

Número total de noites: 29.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 3. A equação com o seno diverge muito com período de mais de 400 anos no tempo para o ajuste com peso.

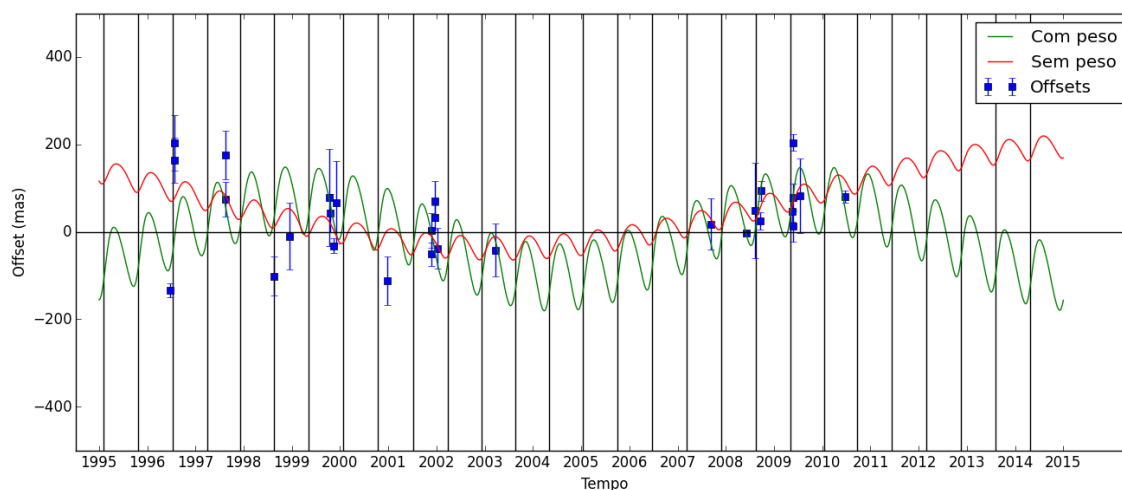
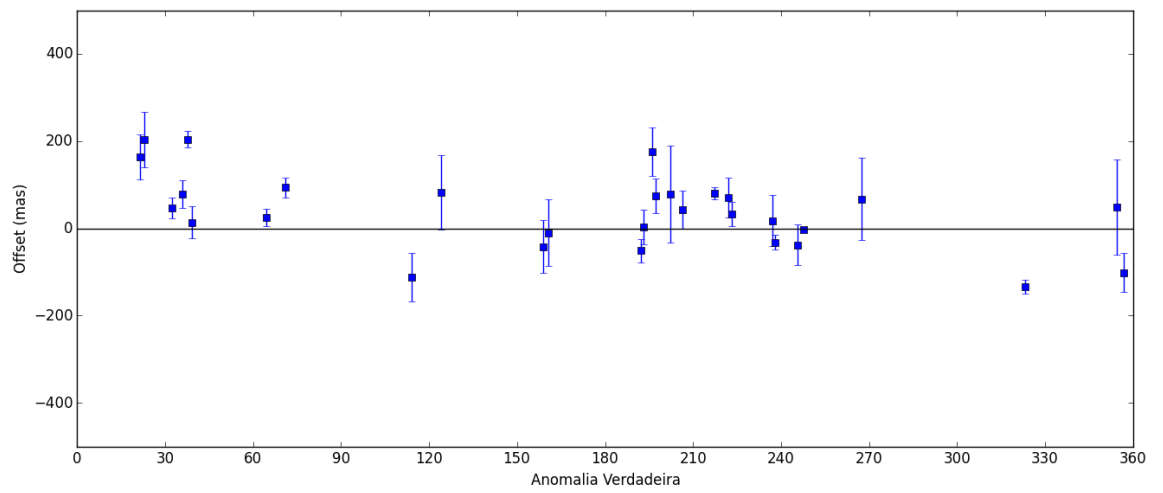


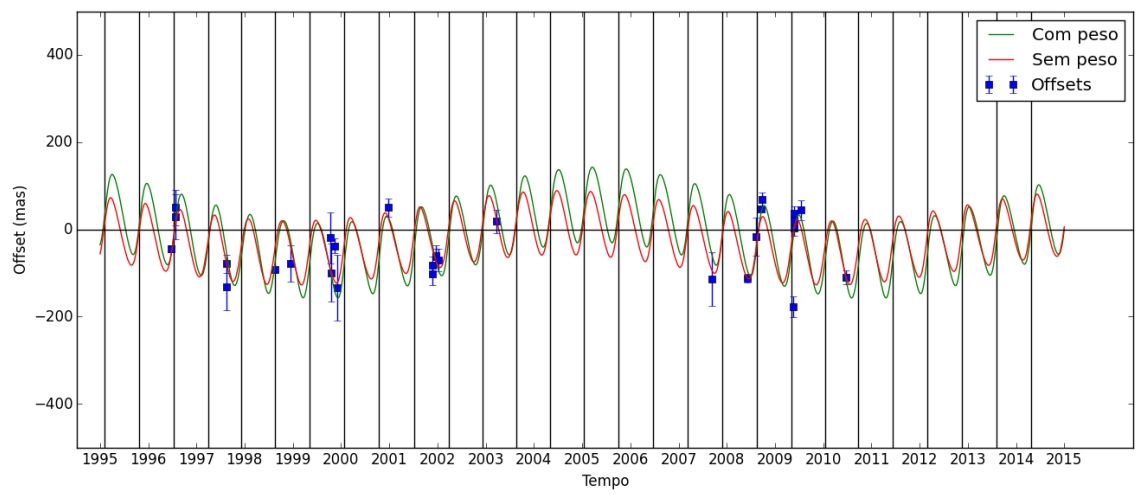
Tabela 13: Resultados dos ajustes para Lysithea - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$88 \pm 37$	$117 \pm 350$	mas
p[1]	$10.8 \pm 0.9$	$24 \pm 49$	anos
p[2]	$31 \pm 21$	$132 \pm 96$	graus
p[3]	$67 \pm 27$	$12 \pm 28$	mas
p[4]	$-38 \pm 33$	$-24 \pm 26$	mas
p[5]	$-16 \pm 28$	$79 \pm 370$	mas
Residuo	54	73	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 2.



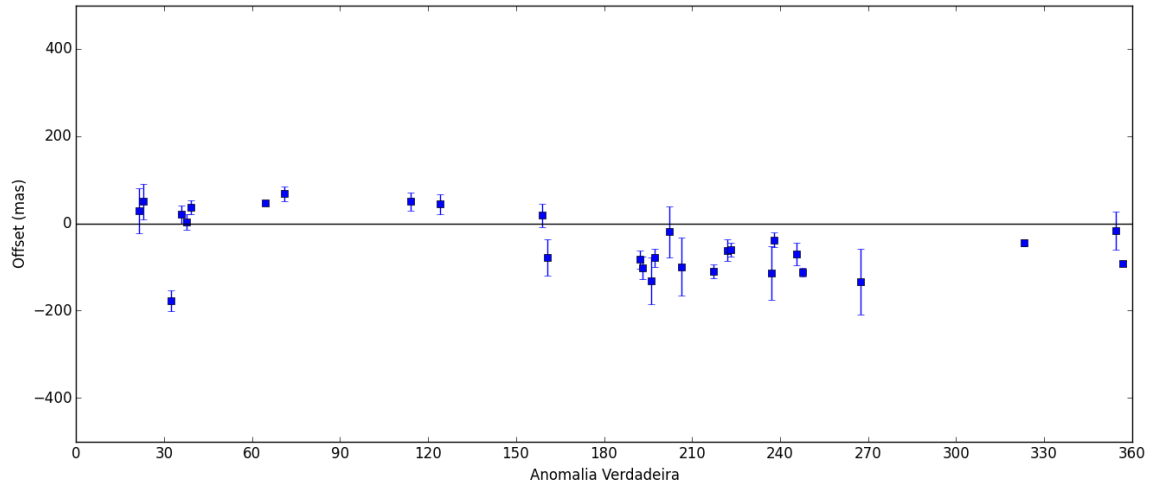


Tabela 14: Resultados dos ajustes para Lysithea - DEC

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$64 \pm 20$	$34 \pm 24$	mas
p[1]	$11.3 \pm 0.7$	$11.1 \pm 1.9$	anos
p[2]	$-77 \pm 16$	$-57 \pm 29$	graus
p[3]	$85 \pm 14$	$72 \pm 17$	mas
p[4]	$-12 \pm 15$	$11 \pm 16$	mas
p[5]	$-8 \pm 14$	$-19 \pm 15$	mas
Residuo	32	46	mas



# Phoebe

Número total de noites: 133.

## Ascensão Reta

Foi utilizada a equação 2

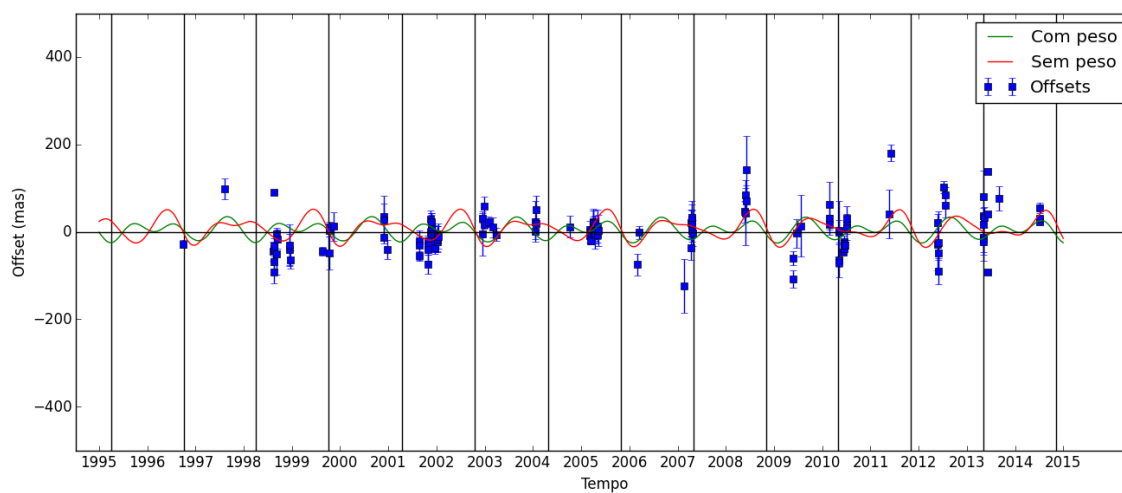
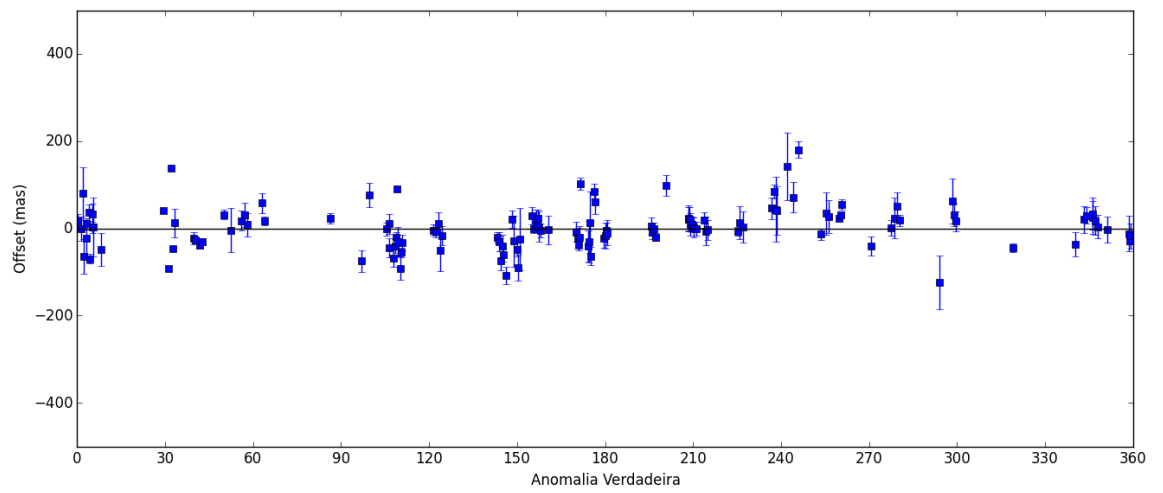


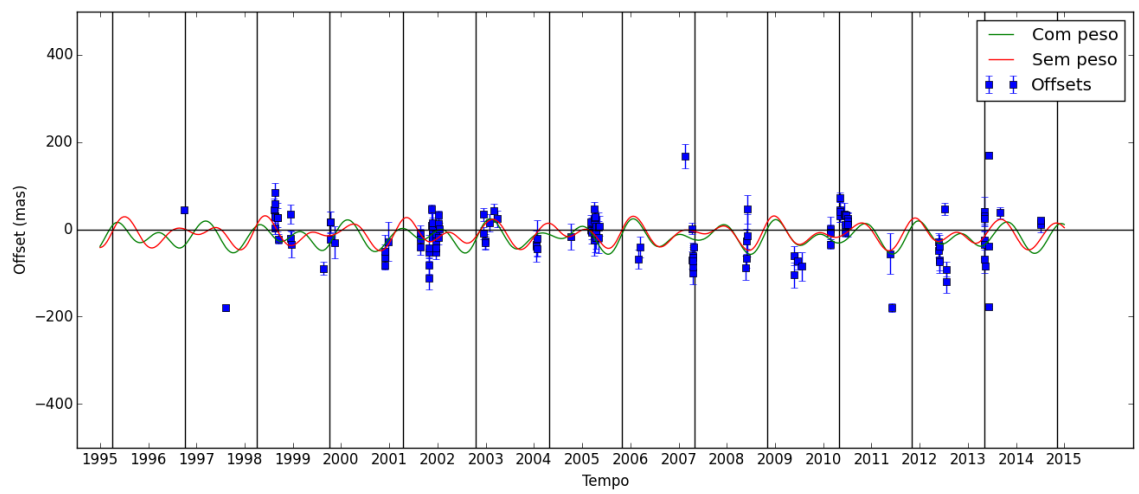
Tabela 15: Resultados dos ajustes para Phoebe - RA

Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$-17 \pm 8$	$-17 \pm 8$	mas
p[1]	$0.99 \pm 0.01$	$1.01 \pm 0.01$	anos
p[2]	$36 \pm 49$	$112 \pm 31$	graus
p[3]	$-8 \pm 7$	$-26 \pm 6$	mas
p[4]	$-12 \pm 8$	$1 \pm 5$	mas
p[5]	$2 \pm 9$	$8 \pm 8$	mas
Residuo	49	43	mas



## Declinação

Foi utilizada a equação 2.



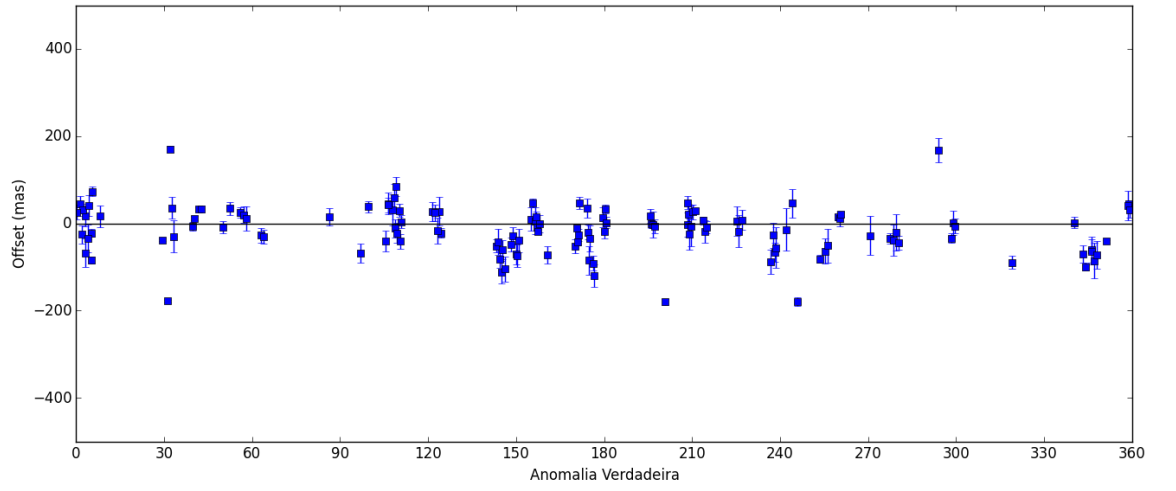


Tabela 16: Resultados dos ajustes para Phoebe - DEC

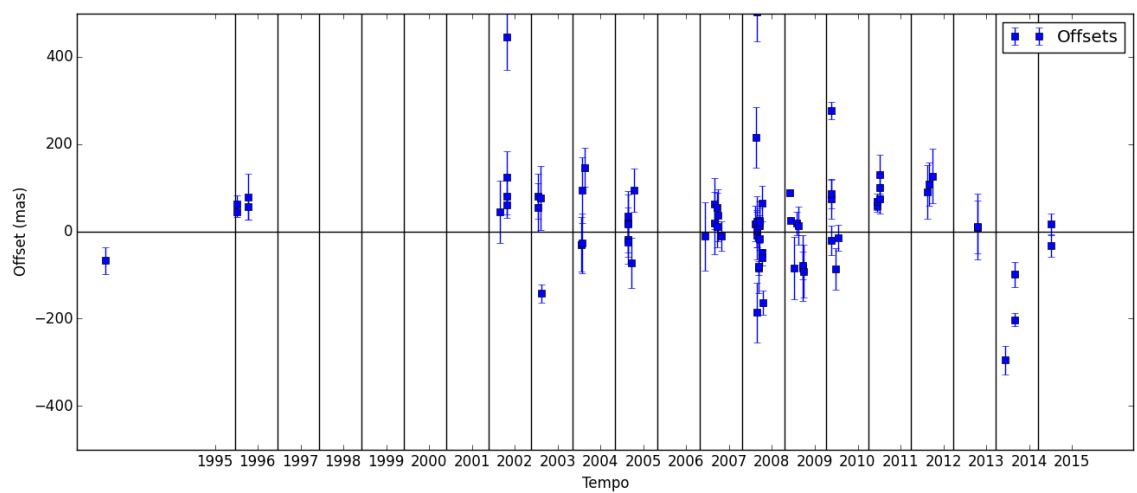
Parâmetro	Com peso	Sem peso	Unidade
p[0]	$22 \pm 14$	$20 \pm 8$	mas
p[1]	$0.98 \pm 0.01$	$0.95 \pm 0.01$	anos
p[2]	$26 \pm 43$	$-37 \pm 27$	graus
p[3]	$17 \pm 12$	$16 \pm 7$	mas
p[4]	$2 \pm 10$	$10 \pm 6$	mas
p[5]	$-16 \pm 8$	$-9 \pm 5$	mas
Residuo	70	51	mas

# Nereida

Número total de noites: 79.

Não mostro nenhum ajuste pois não encontrei nenhuma função com ajuste razoável. Isso provavelmente se deve pelo fato de não haver observações na metade próxima ao periastro.

## Ascensão Reta



## Declinação

