

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Roberto Salvador Mengato

Tratamento de Dados de Radioobservações: Dois Casos

São Paulo

2014

Roberto Salvador Mengato

Tratamento de Dados de Radioobservações: Dois Casos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Astronomia do Instituto
de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
da Universidade de São Paulo como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel
em Astronomia.

Área de Concentração: Astronomia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Zulema Abraham

São Paulo

2014

Agradecimentos

À Professora Zulema, pela paciência e compreensão, enquanto transmitia relevantes conhecimentos.

*“Hofstadter’s Law: It always takes longer than you expect,
even when you take into account Hofstadter’s Law.”*

Hofstadter, Douglas R.

Resumo

Este trabalho consiste de duas partes. A primeira envolve o estudo dos componentes ejetados do quasar 3C 273, que foram acompanhados usando técnicas de VLBI em 2 cm pelo Programa MOJAVE. Através dos dados de posição das componentes em diferentes datas publicadas na literatura, procurou-se extrair modelos cinemáticos baseados na hipótese de trajetórias balísticas radiais, em velocidades relativísticas, e a partir desses modelos, inferir parâmetros de precessão do jato. A aplicação simples do modelo não exhibe evidências de características periódicas, podendo significar um tempo de amostragem insuficiente. No trabalho, foi inconclusiva a aderência das observações ao modelo proposto.

A segunda parte do trabalho consiste em unificar os dados de observações em 43 GHz de η Carinae acumulados de 2003 a 2014, que receberam tratamento e redução para remover os “outliers” e extrair a curva de luz. Melhorias operacionais foram introduzidas no processo para permitir o tratamento uniforme e eficiente. Obteve-se um resultado compatível com a periodicidade da literatura.

Abstract

This work consists of two parts. The first involves the study of the components ejected from the quasar 3C 273, which were followed using VLBI techniques at 2 cm in the MO-JAVE program. Through the position data of the components on different dates published in the literature, we tried to extract kinematic models based on the hypothesis of radial ballistic trajectories at relativistic speeds, and from these models to infer parameters of jet precession. Application of this simple model does not exhibit evidence of periodic characteristics, which can mean insufficient sampling time. In this work, the adherence to the proposed model was inconclusive.

The second part consisted in unifying the data observations at 43 GHz of η Carinae accumulated from 2003 to 2014, which received treatment and reduction to remove the outliers and extract the light curve. Operational improvements were made to the process to allow uniform treatment. The result is compatible with the periodicity found in the literature.

Lista de Figuras

1.1	Diagrama para a dedução de β_{obs} , a velocidade aparente ao observador. . .	20
1.2	Geometria do modelo	21
1.3	Distância dos componentes ejetados de 3C 273 medidos em diferentes datas	22
1.4	Ajuste tentativa da velocidade do componente e da projeção do angulo em função da data de sua ejeção. Dados: $\gamma = 15$, $T = 5.8$ anos, $\phi_0 = 3.25^\circ$, $\Omega = 2.6^\circ$. Fracamente possível na velocidade, inaceitável na projeção do angulo de ejeção no plano do céu. Os números indicam a identificação dos componentes. Os quadros indicam os melhores dados da época de ejeção.	25
1.5	Possíveis v_0 (0.001 a 0.004 mas/d) x época de ejeção (1/1/1980 a 1/1/2010), eixos omitidos.	27

Lista de Tabelas

1.1	Propriedades Cinemáticas Ajustadas dos Componentes dos Jatos de 3C 273	23
-----	--	----

Sumário

1. <i>Precessão de jatos de 3C 273</i>	17
1.1 Introdução	17
1.1.1 AGNs e Quasares	17
1.2 3C 273	18
1.3 MOJAVE Project (Purdue)	19
1.4 Velocidades Superluminais	20
1.5 Pressupostos e hipóteses	20
1.6 Modelos	20
1.7 Embasamento matemático	21
1.7.1 Convenções gerais do modelo empregado	21
1.8 Tratamento dos dados experimentais	22
1.8.1 Tratamento de Incertezas	22
1.9 Procedimento	22
1.10 Processo alternativo	26
1.11 Conclusões	26
2. <i>Curva de luz de η Carinae</i>	29
2.1 Introdução	29
2.2 Observações	30
2.3 Convenções gerais do modelo empregado	30
2.4 Tratamento dos dados	31
2.5 Conclusões	32
<i>Referências</i>	33

<i>Apêndice</i>	37
<i>A. Programa Fonte do Modelo: Teste com Dados Antigos</i>	39
<i>B. Programa Fonte do Modelo: com Dados do MOJAVE</i>	43
<i>C. Curvas de luz de η Car e Carina II e da relação η Car e Carina II</i>	49
<i>D. Exemplo de Página Resumo</i>	53
<i>E. Macros para o tratamento dos dados escritas para este trabalho</i>	55

Precessão de jatos de 3C 273

1.1 Introdução

Na primeira fase do trabalho, procurou-se revisar a identificação, feita por Lister et al. (2009), dos componentes ejetados do núcleo de 3C 273. Verificou-se alguma sensibilidade da identificação correta dos componentes no modelo proposto. Após a publicação Lister et al. (2013), optou-se por usar, sem interferência, apenas as observações consideradas robustas pelos autores.

Procurou-se então uma forma de se obter evidência visual da hipótese, descartando-se a necessidade da pré-identificação dos componentes.

1.1.1 AGNs e Quasares

Quase todos os núcleos de galáxias abrigam um buraco negro central às vezes com bilhões de massas solares. Quando eventualmente alguns corpos, estrelas ou nuvens de gás, se aproximam do buraco negro, podem ser capturados pela gravidade deste, e, ao serem assimilados liberam grande quantidade de energia, detectável a grandes distâncias.

O material capturado orbita o buraco negro, numa região que se estende de fora do horizonte de eventos a dezenas de anos luz.

Na interação entre as partículas desse material, a troca de momento angular conforma o num disco. A colisão das partículas do disco o aquece, elevando a sua temperatura a milhares de graus tornando-o visível em muitas faixas de comprimentos de onda. Na borda interna o gás movimenta-se com mais velocidade e, portanto com mais energia, brilhando no ultravioleta. À medida que se distancia do centro as velocidades diminuem e a emissão ocorre com picos na faixa do óptico e depois na do infravermelho. Externamente um toróide

mais denso de gás e poeira circunda o disco, com a mesma orientação. O torus absorve a luminosidade gerada no centro quando interposto ao observador. As orientações com relação à linha de visada deram aos astrônomos diferentes percepções, o que inicialmente os confundiu, dando origem a diversas denominações para o mesmo tipo de objeto.

Os fótons ultravioletas, emitidos próximo ao centro, chocam-se com os elétrons de alta energia da região, por efeito Compton inverso, adquirem energia e são convertidos em raios-X.

Pares de jatos altamente colimados e velozes, emergem em sentidos opostos a partir da borda central do disco. A direção da ejeção do jato é determinada ou pela direção do momento angular do disco de acreção ou do eixo de rotação do buraco negro. O mecanismo de produção do jato não é ainda compreendido em escala local devido à baixa resolução dos instrumentos astronômicos. As observações não fornecem elementos suficientes para fundamentar uma escolha dentre os muitos modelos teóricos de produção de jato. Um modelo atualmente popular na comunidade científica, quanto ao lançamento, aceleração e colimação de jatos astrofísicos é o magnetohidrodinâmico /eletrodinâmico. Um forte campo eletromagnético nas proximidades do buraco negro, acoplado à rotação diferencial converte energia cinética de rotação em energia cinética linear do jato.

Os jatos têm seus elementos observacionais mais evidentes na banda de frequências de rádio, onde a técnica de VLBI (Very Long Baseline Interferometry) pode ser usada para estudar a radiação sincrotron que emitem com resoluções em escalas subparsec, contudo, eles irradiam em todas as faixas de comprimentos de ondas, de rádio a raios gama, através dos processos sincrotron, formação/aniquilação de pares e espalhamento Compton inverso, assim jatos de AGNs emitem radiação num espectro contínuo.

O proposito deste trabalho é validar a hipótese de modelo balístico na ejeção de componentes individualizáveis pelo quasar 3C 273, com o modulo da velocidade constante porém com a direção afetada por precessão, e, na sequencia, extrair dados de precessão do jato de 3C 273 dos parâmetros do modelo ajustado.

1.2 3C 273

3C 273, ou 1226+023 na nomenclatura B1950, é um quasar localizado na constelação de Virgem ($\alpha = 12^h 29^m 5^s, \delta = 2^\circ 4' 1''$). Foi o primeiro quasar a ser identificado. Foi

descoberto por Allan Sandage.

É o quasar opticamente mais brilhante no nosso céu ($m \sim 12,9$) e um dos mais próximos com $z = 0,158$. Seu brilho é $4 \times 10^{12} L_{\odot}$, e a massa do seu buraco negro central é $0,9 \times 10^9 M_{\odot}$.

O nome significa que ele é o 273º objeto (ordenados por ascensão reta) do Terceiro Catálogo de Cambridge de fontes de rádio (3C), publicado em 1959. Depois que posições precisas foram obtidas, utilizando-se ocultação lunar, por Cyril Hazard no Parkes Radio Telescope, a fonte de rádio foi imediatamente associada a um objeto estelar visível.

Como o espectro não correspondia ao de uma estrela típica, os objetos dessa classe receberam a denominação de QSRs (quasi-stellar radio sources) ou, simplificada e pronunciada: quasares.

Em 1963, Maarten Schmidt e Bevan Oke publicaram artigos na revista *Nature* reconhecendo que o espectro de 3C 273 tem um substancial desvio para o vermelho, colocando-o a 750Mpc ou 2,4 bilhões de anos-luz de distância, afastando a possibilidade de ser uma estrela pelo seu brilho desproporcional.

Os jatos do 3C 273 não são uniformes, de tempos em tempos, segmentos de maior densidade (de energia) são ejetados e são notáveis pela sua luminosidade acima da média do jato. É este fenômeno que permite estudar a cinemática dos jatos, que é a base deste trabalho. Neste trabalho, esses segmentos são referidos como “componentes”.

1.3 MOJAVE Project (Purdue)

É um programa de longo prazo para monitorar a emissão de rádio e variações de polarização em jatos associados a galáxias ativas visíveis no céu do hemisfério norte. Cerca de 2/3 dessas observações foram realizadas entre 1994 e 2002, como parte da pesquisa do VLBA em 2 cm. As variações de brilho rápidas e movimentos aparentemente superluminais indicam que esses jatos contêm plasma altamente energizado, movendo quase em nossa direção, a velocidades próximas à da luz.

As observações são feitas com o telescópio de maior resolução do mundo: o conjunto VLBA (Very Long Baseline Array) em um comprimento de onda de 2 cm, o que permite fazer imagens globais de polarização com uma resolução angular melhor do que um milissegundo de arco, como citado em seu sítio.

1.4 Velocidades Superluminais

No referencial do observador as velocidades aparentam ser superiores à da luz.

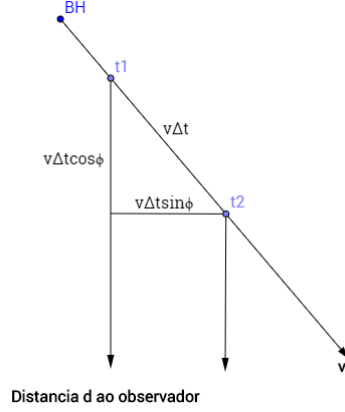


Figura 1.1: Diagrama para a dedução de β_{obs} , a velocidade aparente ao observador.

$$v_{obs} = \frac{l}{\Delta t_{obs}}$$

$$\beta_{obs} = \frac{v_{obs}}{c}$$

$$l = v\Delta t \sin \phi; \quad \Delta t_{obs} = t_2 - t_1 = [(d - v\Delta t \cos \phi)/c + \Delta t] - [d/c]$$

$$\beta_{obs} = \frac{1}{c} \frac{v\Delta t \sin \phi}{(d - v\Delta t \cos \phi)/c + \Delta t - d/c} = \frac{v\Delta t \sin \phi}{\Delta t(c - v \cos \phi)} = \frac{(v/c) \sin \phi}{1 - (v/c) \cos \phi}$$

$$\boxed{\beta_{obs} = \frac{\beta \sin \phi}{1 - \beta \cos \phi}} \quad (1.1)$$

1.5 Pressupostos e hipóteses

Os componentes ejetados seguem uma trajetória reta.

1.6 Modelos

Uma vez que as transformações de Lorentz entre referenciais são lineares, qualquer trajetória reta no referencial do buraco negro, também será uma trajetória reta no referencial do observador, bem como será reta a sua projeção no plano do céu. Pela conservação do

momento angular, os jatos tendem a manter certa orientação, porém é provável que estes apresentem precessão em função das forças de Lorentz de interações elétricas e magnéticas que estão submetidos, ou mesmo da interação entre os momentos angulares do buraco negro e do disco. Isto não afeta a trajetória dos componentes após ejetados.

1.7 Embasamento matemático

1.7.1 Convenções gerais do modelo empregado

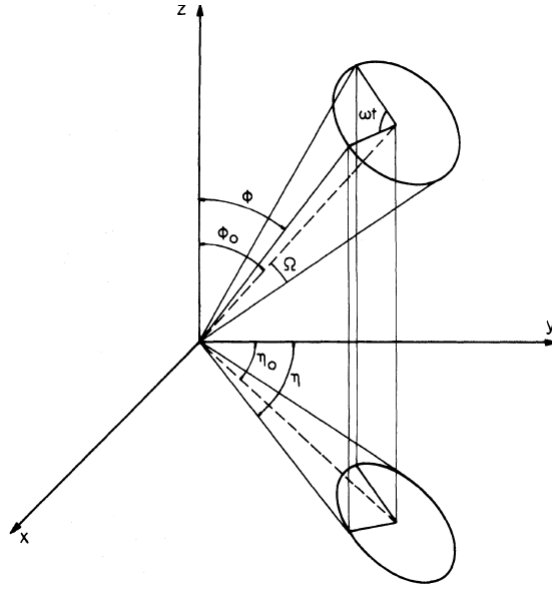


Figura 1.2: Geometria do modelo

As convenções geométricas do modelo, estão sintetizadas na Figura 1.2, com as orientações x e y – definindo o plano do céu, y apontando o polo norte celeste, e z a linha de visada. Um cone de semiabertura Ω com eixo inclinado de ϕ_0 da linha de visada e girado de η_0 em torno de z , conforme Carrara et al. (1993). Na referência do buraco negro o modelo matemático foi obtido com a ajuda do Programa MathematicaTM. O Apêndice B apresenta o modelo completo.

Nesse Apêndice deduz-se o valor de $\varphi = \omega t$ e a sua correção Doppler relativística necessária. Gower et al. (1982) Caproni et al. (2009)

$$\varphi_{obs} = \varphi - (1 - \cos \varphi) \left[\frac{\beta \sin \phi_0 \sin \Omega}{1 - \beta \cos \phi_0 \cos \Omega} \right]$$

sendo que o apresentado entre colchetes é constante neste modelo, pois β , ϕ_0 e Ω são constantes.

1.8 Tratamento dos dados experimentais

Para cada componente, determinou-se, através de regressão linear, os pares: data de ejeção e o modulo da projeção da velocidade no plano do céu.

1.8.1 Tratamento de Incertezas

Embora não explicito em nos dados, para os efeitos desta análise, admite-se que há um erro de ± 1 no último dígito significativo.

1.9 Procedimento

Análise visual dos gráficos de posição.

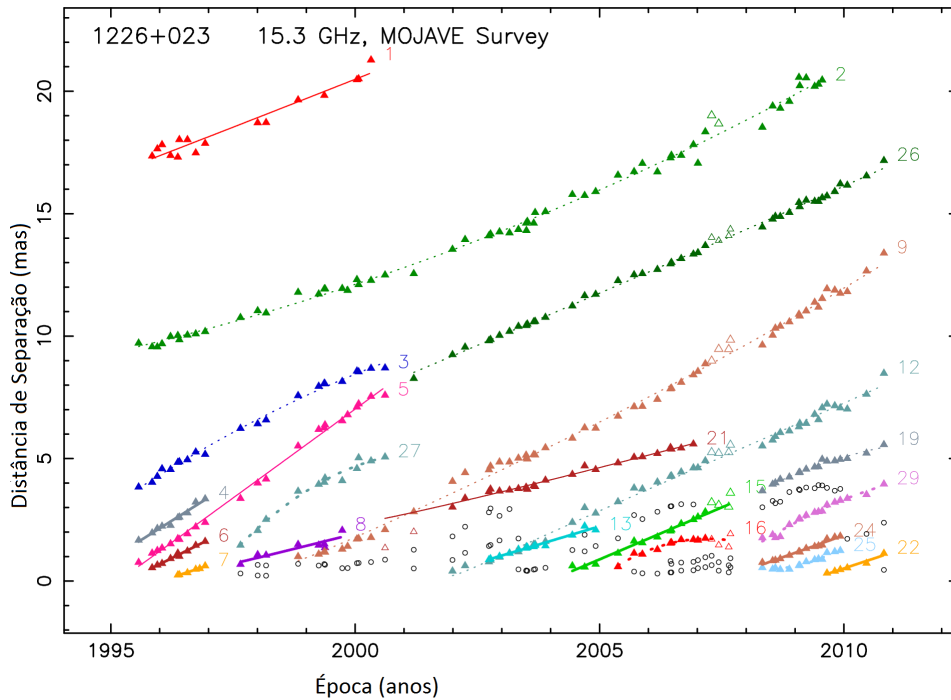


Figura 1.3: Distância dos componentes ejetados de 3C 273 medidos em diferentes datas

Análise visual de anomalias.

Pode-se restringir o campo de pesquisa dos parametros pelas propriedades da amostra e da geometria do sistema. Partindo-se da expressão de β_{obs} (1.1), deduzida acima, temos:

Tabela 1.1 - Propriedades Cinemáticas Ajustadas dos Componentes dos Jatos de 3C 273

I.D.	N	$\langle R \rangle$ (mas)	$\langle \eta \rangle$ (deg)	μ ($\mu\text{as ano}^{-1}$)	β_{obs} (c)	T_{ej}	T_{mid}	T_{ej} extrapolado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	16	18.6	236.2 ^b	829 $\pm$ 45	8.47 $\pm$ 0.46	...	1998.09	1975.65 ^c
2	60	14.5	236.9 ^b	784.1 $\pm$ 5.5 ^a	8.011 $\pm$ 0.056	...	2002.56	1984.07 ^c
3	22	6.4	246.4 ^b	1026 $\pm$ 15 ^a	10.48 $\pm$ 0.15	...	1998.09	1991.85
4	10	2.5	245.4	1255 $\pm$ 54	12.82 $\pm$ 0.56	1994.287 $\pm$ 0.087	1996.25	1994.26
5	23	4.1	242.7 ^b	1455 $\pm$ 16	14.86 $\pm$ 0.17	...	1998.09	1995.27
6	9	1.0	237.0	1001 $\pm$ 50	10.23 $\pm$ 0.51	1995.332 $\pm$ 0.053	1996.39	1995.39
7	6	0.4	238.3	655 $\pm$ 38	6.70 $\pm$ 0.39	1996.005 $\pm$ 0.021	1996.65	1996.04
8	8	1.3	234.9	509 $\pm$ 67	5.20 $\pm$ 0.69	...	1998.69	1996.14
9	54	6.8	234.5 ^b	1013.3 $\pm$ 6.8 ^a	10.353 $\pm$ 0.070	...	2004.83	1998.12
12	43	4.1	227.8 ^b	887.1 $\pm$ 8.1 ^a	9.063 $\pm$ 0.082	...	2006.40	2001.78
13	14	1.4	249.2	600 $\pm$ 28	6.13 $\pm$ 0.29	2001.25 $\pm$ 0.11	2003.83	2001.5
15	13	1.7	218.6	849 $\pm$ 25	8.67 $\pm$ 0.26	2003.972 $\pm$ 0.064	2005.80	2003.8
16	10	1.4	217.4	611 $\pm$ 33 ^a	6.24 $\pm$ 0.34	...	2006.27	2003.98
19	17	4.6	221.1	713 $\pm$ 33 ^a	7.29 $\pm$ 0.34	...	2009.58	2003.13
21	24	4.3	236.3	538 $\pm$ 15	5.50 $\pm$ 0.15	...	2004.46	1996.47
22	6	0.6	216.6	664 $\pm$ 47	6.78 $\pm$ 0.48	...	2010.24	2009.34
24	14	1.3	220.1	716 $\pm$ 24	7.31 $\pm$ 0.25	2007.392 $\pm$ 0.062	2009.13	2007.31
25	14	0.8	212.2	513 $\pm$ 26 ^a	5.24 $\pm$ 0.26	...	2009.13	2007.57
26	44	12.9	240.8 ^b	878.3 $\pm$ 5.0 ^a	8.973 $\pm$ 0.051	...	2006.01	1991.32
27	12	3.8	239.4	1206 $\pm$ 49 ^a	12.32 $\pm$ 0.50	...	1999.13	1995.98
29	17	2.7	216.8	928 $\pm$ 33 ^a	9.48 $\pm$ 0.33	...	2009.58	2006.67

^aO componente apresenta movimento significativamente acelerado.

^bO componente apresenta movimento não radial significativo.

^cVisualmente descartados da análise.

Note. — Os valores cinemáticos ajustados são derivados do ajuste a um modelo com aceleração se esta é significativa, ou do modelo de ajuste do vetor movimento, caso contrário. As colunas são as seguintes: (1) número do componente, (2) número de épocas amostradas, (3) distância média do componente núcleo em mas, (4) ângulo médio com respeito ao componente núcleo em graus, (5) movimento próprio angular em microsegundos de arco por ano, (6) velocidade ajustada em unidades de velocidade da luz, (7) data de ejeção ajustada por Lister et al., (8) data de referência (média) usada para ajustar, (9) data de ejeção extrapolada: (8)-1000(3)/(5).

$$\frac{d}{d\phi}\beta_{obs} = \frac{\beta \cos \phi}{1 - \beta \cos \phi} - \left(\frac{\beta \sin \phi}{1 - \beta \cos \phi} \right)^2$$

no ponto de máximo:

$$\frac{\beta \cos \phi_{max}}{1 - \beta \cos \phi_{max}} - \left(\frac{\beta \sin \phi_{max}}{1 - \beta \cos \phi_{max}} \right)^2 = 0 \implies \beta = \cos \phi_{max}$$

$$\frac{\beta \cos \phi_{max}}{1 - \beta \cos \phi_{max}} - (\beta_{obs,max})^2 = 0 \implies \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} = \frac{(\cos \phi_{max})^2}{1 - (\cos \phi_{max})^2} = (\beta_{obs,max})^2$$

conclui-se que:

$$\gamma_{min} = \sqrt{1 + \max(\beta_{obs})^2}$$

$$\phi_{max} = \cot^{-1} \max(\beta_{obs})$$

Neste estudo $\max(\beta_{obs}) = 14.83$, daí tira-se: $\gamma_{min} = 14.9$ e $\phi_{max} = \phi_0 + \Omega = 7^\circ 42'$

A Figura 1.4 contém os gráficos ajustados sobre os pontos medidos. São os gráficos chave deste estudo. Apresentam: $\beta_{obs} \times t_{obs}$; $\eta_{obs} \times t_{obs}$ e $\beta_{obs} \times \eta_{obs}$.

Visualmente não se reconhece no gráfico uma função de característica periódica. Uma análise “Non-uniform sampling Fourier Transform” não é indicada devido ao pequeno número de pontos pois não seria conclusiva quanto ao período fundamental. Marginalmente, ignorando-se os dados anteriores a 1995, poder-se-ia estimar o período em 5.8 anos, pelo gráfico de velocidades, porém, o gráfico do angular sugere que o período deve ser maior que o tempo de amostragem: 25 anos. A análise do gráfico $\beta_{obs} \times \eta_{obs}$, cujos pontos medidos deveriam estar sobre uma curva fechada, dado que o modelo é cíclico, demonstra imediatamente a implausibilidade de um bom ajuste, pela qualidade dos dados ou do modelo.

O Apêndice A apresenta um teste do modelo com dados publicados por Abraham e Romero (1999), com um ajuste convincente.

Notou-se que a solução adotada na primeira parte deste trabalho, ou seja, uma segmentação das amostras teria influência na posição dos pontos obtidos, porém tanto a classificação de Lister quanto as possíveis de serem propostas, seriam consequências de um arbítrio do analisador, o que é estatisticamente pouco rigoroso.

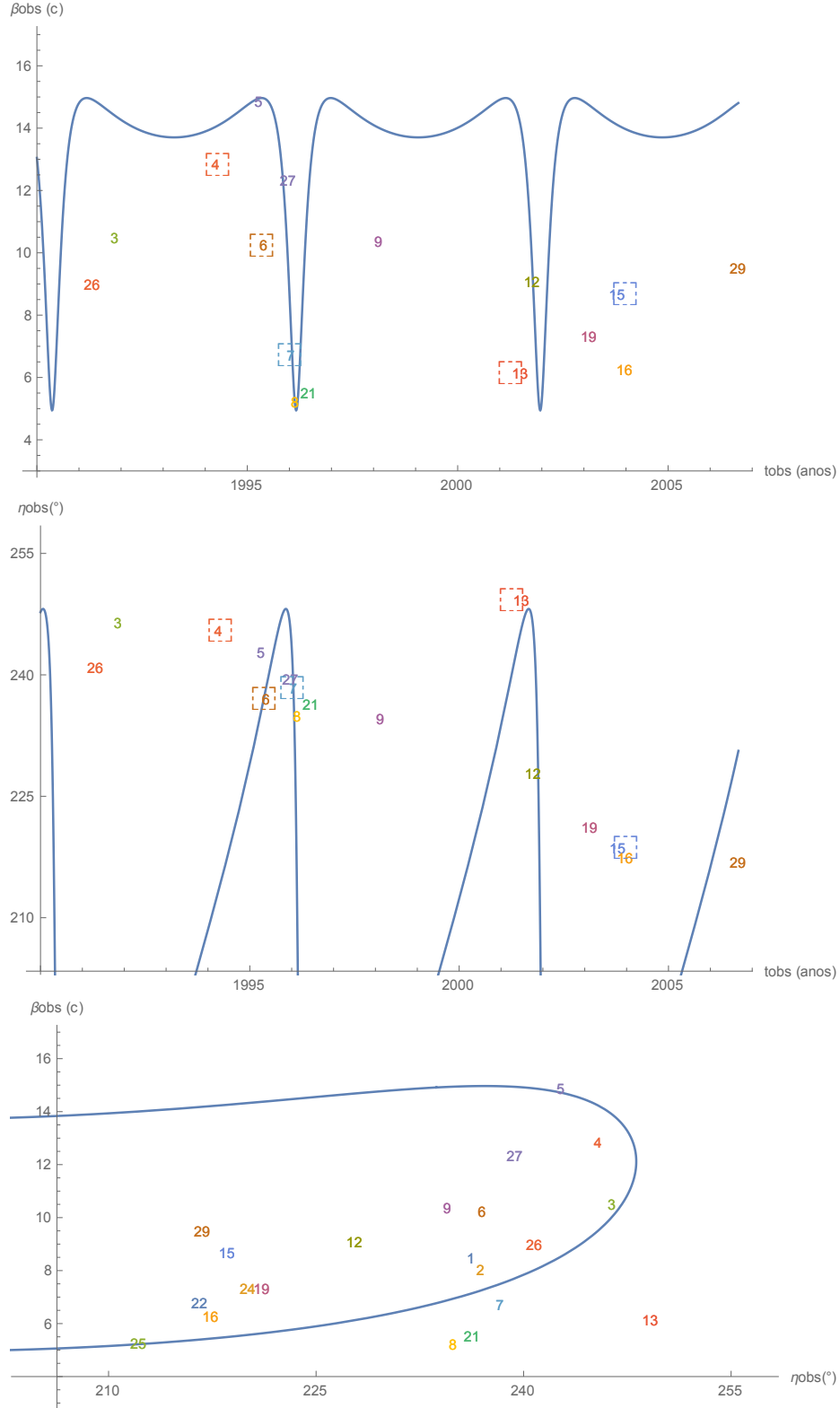


Figura 1.4: Ajuste tentativa da velocidade do componente e da projeção do ângulo em função da data de sua ejeção. Dados: $\gamma = 15$, $T = 5.8$ anos, $\phi_0 = 3.25^\circ$, $\Omega = 2.6^\circ$. Fracamente possível na velocidade, inaceitável na projeção do ângulo de ejeção no plano do céu. Os números indicam a identificação dos componentes. Os quadros indicam os melhores dados da época de ejeção.

1.10 Processo alternativo

O método empregado consistiu em: dado cada medida de distância de um componente em certa data, traçar no gráfico velocidade e época de ejeção as possibilidades (lugar geométrico, hipérboles) das combinações que atendem a restrição.

O espaço discretizado de datas e velocidades forma um histograma bidimensional onde os pontos de máxima indicam um par provável de data de ejeção e respectiva velocidade aparente ou β_{obs} .

Na construção deste gráfico, foram usadas todas as medidas de Lister et al. para 3C 273, mesmo as que ele não considerou robustas, a fim de evitar qualquer polarização.

Um gráfico obtido, após ajuste de contraste é apresentado a seguir, na Figura 1.5. A intensidade de cada pixel é proporcional ao número de medidas de componentes que poderiam ter sido ejetados numa certa data (abscissa) a certa velocidade (ordenada).

Caso a figura apresentasse pontos de densidade concentrada (mesma velocidade e data de ejeção) evidenciaria a hipótese de trajetórias balísticas retas (não necessariamente da precessão). Mas não é o caso. Posterior elaboração deste método, incluindo-se as incertezas poderia dar mais informação sobre o nível de significância da hipótese.

1.11 Conclusões

A tecnologia VLBI permite acompanhar as posições, ao longo do tempo, dos componentes ejetados do quasar 3C 273. Com a base de dados do referido quasar, publicada na literatura, testou-se um modelo balístico, com velocidades apenas radiais, para a cinemática desses componentes.

O processo de extrapolação da data de ejeção com os melhores dados publicados por Lister et al. não resultam em uma função periódica evidente, mesmo considerando-se as incertezas na velocidade observada e na data de ejeção. A principal discrepância é no ângulo de ejeção no plano do céu. Este sugere que o período é mais extenso que o de amostragem, provavelmente mais que o dobro deste. Daí, para explicar as oscilações na velocidade, ter-se-ia de incluir nutação, o que é a sugestão para futuros trabalhos.

Procurou-se desenvolver um método independente dessa classificação para a extração da função de velocidade observada pela época de ejeção. O método se mostra promissor, mas exige um tratamento estatístico mais fundamentado que permita extrair os eventos

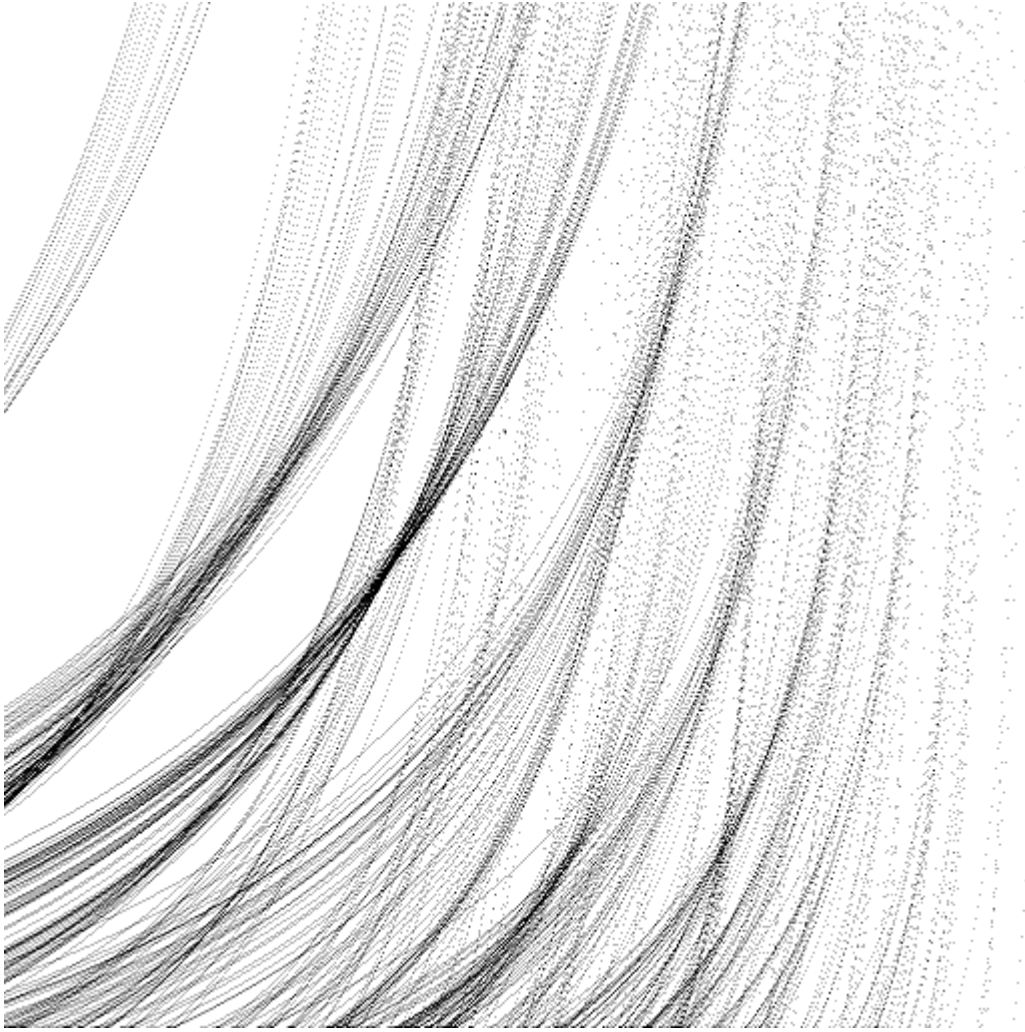


Figura 1.5: Possíveis v_0 (0.001 a 0.004 mas/d) x época de ejeção (1/1/1980 a 1/1/2010), eixos omitidos.

de ejeção juntamente com as respectivas incertezas.

Curva de luz de η Carinae

2.1 Introdução

η Carinae é um objeto estelar variável do tipo S Doradus. Objetos desse tipo receberam esse nome por semelhança a S Dor, estrela da Grande Nuvem de Magalhães, extremamente brilhante, que oscila em magnitude com um período da ordem de 10 anos. Karttunen et al. (2007)

Damineli (1996), de forma pioneira, reconheceu a periodicidade daquela curva de luz, propôs que η Car consiste na realidade um sistema binário. A sua periodicidade foi observada a partir do rádio por Duncan e White (2003), através de RI Whitelock et al. (2004), visível, por exemplo, van Genderen et al. (2006), UV distante por Iping et al. (2005) e para a banda de raios-X Corcoran (2005). O período atual foi determinado recentemente sendo $P_{pres} = 2022,7 \pm 3 \text{ d} \sim 5,54 \text{ anos}$ Damineli et al. (2008).

É largamente aceito que o plano orbital desse sistema binário é o plano equatorial da estrutura bipolar: o *Homunculus* Davidson et al. (2001). No entanto, existe uma discordância sobre a orientação do semieixo maior no plano orbital, com alguns grupos argumentando que o estrela secundária (menor massa) está mais distante de nós durante passagens periastro Nielsen, Corcoran, Gull, Hillier, Hamaguchi, Ivarsson e Lindler (2007); Damineli, Hillier, Corcoran, Stahl, Levenhagen, Leister, Groh, Teodoro, Albacete Colombo, Gonzalez, Arias, Levato, Grosso, Morrell, Gamen, Wallerstein e Niemela (2008), enquanto outros argumentam que está mais próxima de nós nesse evento Abraham, Falceta-Gonçalves, Dominici, Caproni e Jatenco-Pereira (2005), Abraham (2005); Kashi e Soker (2007). Outras orientações semieixo maior também têm sido propostas Smith, Morse, Collins e Gull (2004); Dorland (2007).

A diversidade de interpretações demonstra a necessidade de continuar as observações.

O presente trabalho consiste da análise e apresentação dos dados de emissão em rádio de η Carinae. Esses dados foram colhidos no período de 2003 a 2014 pela Professora Zulema Abraham no Radiobservatório do Itapetinga.

Nesta etapa, apenas a apresentação das observações será trabalhada, modelos não serão propostos ou testados.

2.2 Observações

Desde 2003 colheram-se dados de intensidade de emissão em 43 GHz de η Car em um segmento de pouco mais de 20' de arco centrado nesse objeto. Outra varredura, em trajeto paralelo, amostra a região HII Carina II. As duas medidas são feitas alternadamente e consistem em 81 leituras de intensidade realizadas em 30 varreduras (metade em cada sentido) de 20 s de duração cada, totalizando 10 min por alvo. As médias das medidas em cada posição nas varreduras de cada alvo sintetizam uma observação registrada.

O programa de aquisição e a planilha de análise de dados foram escritos pela Professora Doutora Zulema Abraham, orientadora deste trabalho.

A soma, ponderada pelo inverso da variância, é submetida a um ajuste de uma gaussiana. No caso da varredura que contém a estrela, uma linha de base polinomial do quinto grau é subtraída antes do ajuste. Na varredura da nuvem, não se consegue remover a linha de base. O programa de análise é estruturado sobre o MS Excel e faz um ajuste de uma gaussiana de σ fixo, em cada caso.

Os parâmetros de posição (x_0) e amplitude ou temperatura de antena (T_A) são ajustados minimizando-se os quadrados da diferença entre o modelo e a observação. A incerteza na temperatura da antena é obtida da variância das observações.

2.3 Convenções gerais do modelo empregado

Para o ajuste das gaussianas, na varredura de η Car, usa-se $HBPW = 2,4'$ e na varredura do Carina II, $HBPW = 6,8'$. Obtidos experimentalmente em fase anterior.

2.4 Tratamento dos dados

Os dados são disponibilizados em blocos de observações sequentes. São apresentados em dois arquivos em formato de texto, um com o *log*, contendo as informações do alvo, do tipo de varredura, hora sideral local, data e hora solar local e outros não usados no cálculo. O outro arquivo tem um cabeçalho com informações de horários, passo de amostragem e 81 valores obtidos com o voltímetro.

Os dados foram registrados com separação por dia civil e não por *corridas*, o que introduziu quebras de sequência de observações quando essas são realizadas à noite e cruza-se de 24h para 0h, iniciando um novo arquivo que poderá inclusive conter medidas realizadas na noite seguinte, em outra sessão de observações. Isto não é interessante para a análise. Reagrupar os dados por sessões torna-os mais homogêneos em efeitos de outras variáveis incidentes. Para solucionar este problema, concatenaram-se as observações de um período e as reparticionaram quando houvesse um intervalo maior que 04h.

Antes de concatená-los, esses dados foram *filtrados* para remover outras observações que não interessam diretamente ao problema, retendo apenas os dados desta análise. Os comandos usados estão listados em anexo.

O reparticionamento foi realizado dentro do próprio Excel que separou as observações cronológicas em blocos.

A planilha original de análise foi adaptada para navegar e operar sobre esses blocos, gerando gráficos e resumo de análise, adequados à produção da curva de luz de η Car e Carina II e da relação η Car/Carina II, realizados, em separado, numa nova planilha. Este último gráfico procura remover efeitos de condições efêmeras da atmosfera e do instrumento, dado que, em princípio, apenas η Car é variável, Carina II é constante, contudo, como não foi possível remover a linha de base de Carina II, o resultado apresenta maiores incertezas.

A periodicidade é evidente à vista dos gráficos. Os resultados principais e um exemplo de detalhe encontram-se nos Apêndices C e D.

As Macros escritas para este trabalho se encontram no Apêndice E.

2.5 Conclusões

Um processo eficiente para tratar os dados de η Car e Carina II acumulados desde 2003 foi introduzido nos programas existentes de análise. O retrabalho permite a garantia de um tratamento uniforme para esses dados e a visão global desses resultados.

A curva de luz de η Car resultou compatível com a periodicidade esperada.

Referências Bibliográficas

- Abraham Z., Eta Carinae, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 2005, vol. 48, p. 103
- Abraham Z., Falceta-Gonçalves D., Dominici T., Caproni A., Jatenco-Pereira V., Wind-wind collision in the η Carinae binary system - II. Constraints to the binary orbital parameters from radio emission near periastron passage, MNRAS, 2005, vol. 364, p. 922
- Abraham Z., Romero G. E., Beaming and precession in the inner jet of 3C 273, A&A, 1999, vol. 344, p. 61
- Caproni A., Monteiro H., Abraham Z., Cross-entropy optimizer: a new tool to study precession in astrophysical jets, MNRAS, 2009, vol. 399, p. 1415
- Carrara E. A., Abraham Z., Unwin S. C., Zensus J. A., The milliarcsecond structure of the quasar 3C 279, A&A, 1993, vol. 279, p. 83
- Corcoran M. F., X-Ray Monitoring of η Carinae: Variations on a Theme, AJ, 2005, vol. 129, p. 2018
- Damineli A., The 5.52 Year Cycle of Eta Carinae, ApJ, 1996, vol. 460, p. L49
- Damineli A., Hillier D. J., Corcoran M. F., Stahl O., Groh J. H., Arias J., Teodoro M., Morrell N., Gamen R., Gonzalez F., Leister N. V., Levato H., Levenhagen R. S., Grosso M., Colombo J. F. A., Wallerstein G., A multispectral view of the periodic events in η Carinae, MNRAS, 2008, vol. 386, p. 2330
- Damineli A., Hillier D. J., Corcoran M. F., Stahl O., Levenhagen R. S., Leister N. V., Groh J. H., Teodoro M., Albacete Colombo J. F., Gonzalez F., Arias J., Levato H., Grosso

- M., Morrell N., Gamen R., Wallerstein G., Niemela V., The periodicity of the η Carinae events, MNRAS, 2008, vol. 384, p. 1649
- Davidson K., Smith N., Gull T. R., Ishibashi K., Hillier D. J., The Shape and Orientation of the Homunculus Nebula Based on Spectroscopic Velocities, AJ, 2001, vol. 121, p. 1569
- Dorland B. N., An astrometric analysis of eta Carinae's eruptive history using HST WF/PC2 and ACS observations, University of Maryland, College Park, 2007, Tese de Doutorado
- Duncan R. A., White S. M., Radio evidence of recent mass ejection from η Carinae, MNRAS, 2003, vol. 338, p. 425
- Gower A. C., Gregory P. C., Unruh W. G., Hutchings J. B., Relativistic precessing jets in quasars and radio galaxies - Models to fit high resolution data, ApJ, 1982, vol. 262, p. 478
- Hofstadter, Douglas R. Godel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid. Basic Books, Inc. New York, NY, USA, 1979
- Iping R. C., Sonneborn G., Gull T. R., Massa D. L., Hillier D. J., Detection of a Hot Binary Companion of η Carinae, ApJ, 2005, vol. 633, p. L37
- Karttunen H., Krüger P., Oja H., Poutanen M., Donner K. J., eds., 2007 Fundamental Astronomy
- Kashi A., Soker N., The source of the helium visible lines in η Carinae, New A, 2007, vol. 12, p. 590
- Lister M. L., Aller M. F., Aller H. D., Homan D. C., Kellermann K. I., Kovalev Y. Y., Pushkarev A. B., Richards J. L., Ros E., Savolainen T., MOJAVE. X. Parsec-scale Jet Orientation Variations and Superluminal Motion in Active Galactic Nuclei, AJ, 2013, vol. 146, p. 120
- Lister M. L., Cohen M. H., Homan D. C., Kadler M., Kellermann K. I., Kovalev Y. Y., Ros E., Savolainen T., Zensus J. A., MOJAVE: Monitoring of Jets in Active Galactic Nuclei with VLBA Experiments. VI. Kinematics Analysis of a Complete Sample of Blazar Jets, AJ, 2009, vol. 138, p. 1874

-
- Nielsen K. E., Corcoran M. F., Gull T. R., Hillier D. J., Hamaguchi K., Ivarsson S., Lindler D. J., η Carinae across the 2003.5 Minimum: Spectroscopic Evidence for Massive Binary Interactions, *ApJ*, 2007, vol. 660, p. 669
- Oke J. B., Absolute Energy Distribution in the Optical Spectrum of 3C 273, *Nature*, 1963, vol. 197, p. 1040
- Purdue U., , 2013 The MOJAVE Homepage <http://www.physics.purdue.edu/MOJAVE/>
- Schmidt M., 3C 273 : A Star-Like Object with Large Red-Shift, *Nature*, 1963, vol. 197, p. 1040
- Smith N., Morse J. A., Collins N. R., Gull T. R., The Purple Haze of η Carinae: Binary-induced Variability?, *ApJ*, 2004, vol. 610, p. L105
- van Genderen A. M., Sterken C., Allen W. H., Walker W. S. G., An overview of the photometric events, trends and brightenings of eta Carinae, *Journal of Astronomical Data*, 2006, vol. 12, p. 3
- Whitelock P. A., Feast M. W., Marang F., Breedt E., The 2003 shell event in η Carinae, *MNRAS*, 2004, vol. 352, p. 447

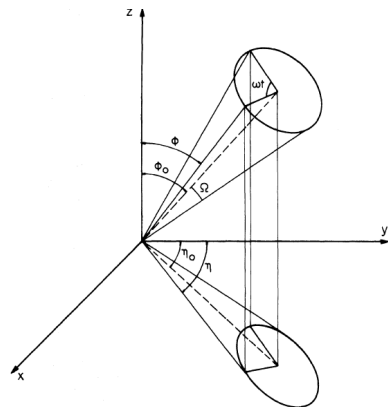
Apêndice

Apêndice A

Programa Fonte do Modelo: Teste com Dados Antigos

Este apêndice apresenta o modelamento do sistema na linguagem interpretada pelo Programa Mathematica TM.

Modelo geométrico da precessão


$$\text{ArcCos}[\text{Cos}[\phi_0] \text{Cos}[\Omega] + \text{Sin}[\varphi] \text{Sin}[\phi_0] \text{Sin}[\Omega]]$$

$$\sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

Teste com problema conhecido

```
(ZulemaData = Import["C:\\Users\\Roberto\\Google Drive\\IAG\\2013\\S2\\AGA0601 IC\\zulema.csv"]) //
Grid

C2 7.7 1. -130 5 1963. 1
C3 5.2 0.3 -118 3 1970.2 1
C4 6.6 1. -98 4 1976.4 1
C5 7.7 0.5 -115 4 1978.6 1
C6 7.3 0.5 -134 4 1980. 1
C7 5.2 0.5 -135 4 1983.6 1
C8 5.4 0.5 -124 4 1984.7 1
C9 4.9 0.5 -114 4 1988.4 1

ZLD = Transpose[ZulemaData];

id = ZLD[[1]];

βapp = ZLD[[2]];

epoc = ZLD[[6]];

ηapp = (ZLD[[4]] + 360) Degree;

βapperr = ZLD[[3]];

ηapperr = (ZLD[[5]]) Degree;

epocerr = ZLD[[7]];
```

■ Limites do ajuste

```
βobsmax = Max[βapp] (* v*365.25*QuantityMagnitude[UnitConvert[Quantity[2.70,"Parsecs"],"LightYear"]])*)
7.7

γmin = Sqrt[βobsmax^2 + 1]
7.76466

φmax = ArcSin[2 βobsmax / (βobsmax^2 + 1)]
0.258295

DMSString[φmax/Degree, 0]
14°47'57."
```

Ajuste dos dados ao modelo

```
βrange = {Min[βapp] - 0.25 (Max[βapp] - Min[βapp]), Max[βapp] + 0.25 (Max[βapp] - Min[βapp])}
{4.2, 8.4}

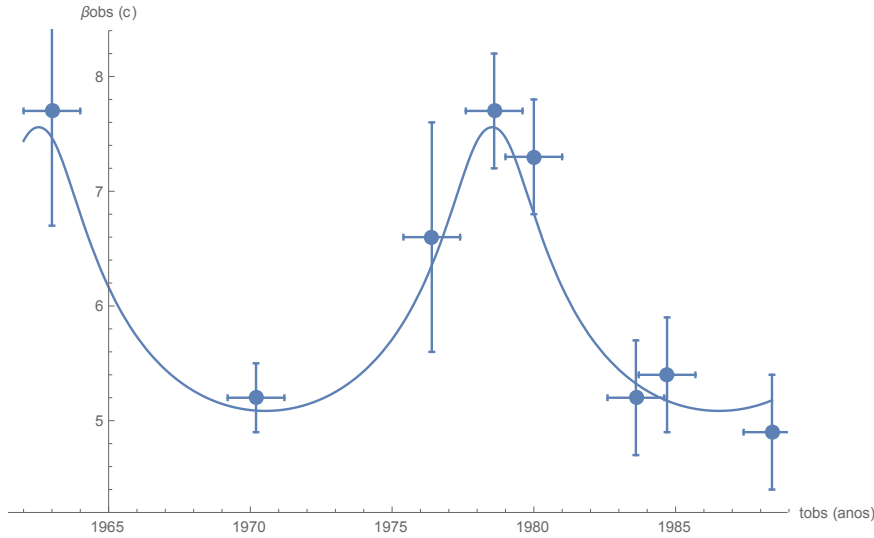
ηrange = {Min[ηapp] - 0.25 (Max[ηapp] - Min[ηapp]), Max[ηapp] + 0.25 (Max[ηapp] - Min[ηapp])}
{3.76555, 4.73421}

ticdeg = Table[{tic (Degree), tic}, {tic, 0, 360, 15}];

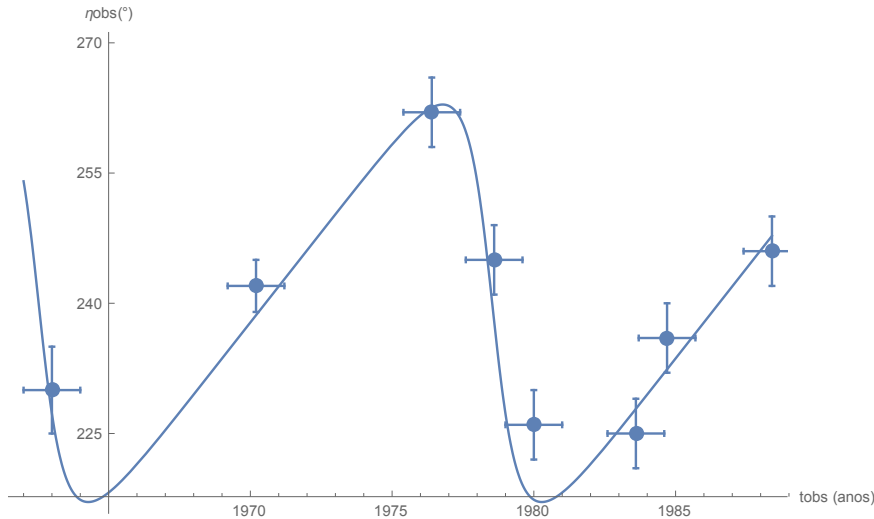
{φ0 = 14 Degree, Ω = 5.4 Degree, η0 = -120 Degree, γ = 7.7, per = 16, off = 3.1}
{14 °, 0.0942478, -120 °, 7.7, 16, 3.1}

φcomov[tobs1_] = InverseFunction[φobs][Mod[(tobs1) 2 π / per - off, 2 π]]
φobs(-1) [Mod[-3.1 +  $\frac{\pi \text{ tobs1}}{8}$ , 2 π]]
```

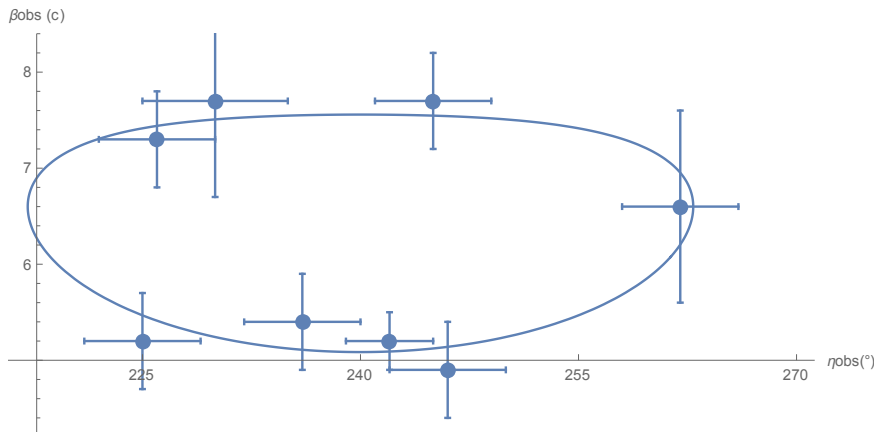
```
Show[Plot[ $\beta$ obs[ $\varphi$ comov[tobs]], {tobs, Floor[epoc[[1]] - 1], Last[epoc]}, PlotRange -> {Full,  $\beta$ range},
  ImageSize -> Large, AxesLabel -> {"tobs (anos)", " $\beta$ obs (c)"},
  ErrorListPlot[Table[{{epoc[[n]],  $\beta$ app[[n]]}, ErrorBar[epocerr[[n]],  $\beta$ apperr[[n]]}], {n, Length[epoc]]}
  (*, PlotMarkers -> id*)]]
```



```
Show[Plot[ $\eta$ [ $\varphi$ comov[tobs]], {tobs, Floor[epoc[[1]] - 1], Last[epoc]}, PlotRange -> {Full,  $\eta$ range},
  ImageSize -> Large, AxesLabel -> {"tobs (anos)", " $\eta$ obs (°)"}, Ticks -> {Automatic, ticdeg}],
  ErrorListPlot[Table[{{epoc[[n]],  $\eta$ app[[n]]}, ErrorBar[epocerr[[n]],  $\eta$ apperr[[n]]}], {n, Length[epoc]]}
  (*, PlotMarkers -> id*)]]
```



```
Show[ParametricPlot[{ $\eta$ [ $\varphi$ ],  $\beta$ obs[ $\varphi$ ]}, { $\varphi$ , 0, 2  $\pi$ }, ImageSize -> Large, AxesLabel -> {" $\eta$ obs (°)", " $\beta$ obs (c)"},
  PlotRange -> { $\eta$ range,  $\beta$ range}, Ticks -> {ticdeg, Automatic}],
  ErrorListPlot[Table[{{ $\eta$ app[[n]],  $\beta$ app[[n]]}, ErrorBar[ $\eta$ apperr[[n]],  $\beta$ apperr[[n]]}], {n, Length[epoc]]}
  (*, PlotMarkers -> id*)], AspectRatio -> 1/2]
```



Apêndice B

Programa Fonte do Modelo: com Dados do MOJAVE

Este apêndice apresenta o modelamento do sistema na linguagem interpretada pelo Programa Mathematica TM.

Precessão de Jatos de AGN's: caso 3C 273

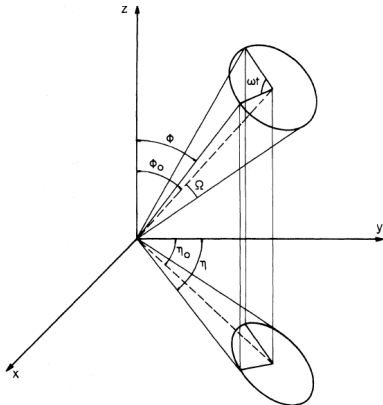
Modelo geométrico da precessão

```

Clear["Global`*"]

SetOptions[$FrontEnd, DynamicEvaluationTimeout -> 120]

Import["C:\\Users\\Roberto\\Google Drive\\IAG\\2013\\S2\\AGA0601 IC\\Carrara.png"]



(*Carrara et al 1993*)

{x, y, z} = {{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} (*versores base canonica*);

z (*parte de um vetor unitario orientado em z, =linha de visada*)
{0, 0, 1}

RotationMatrix[(*gira de abertura do cone*)Ω, (*em torno de*)y].%
{Sin[Ω], 0, Cos[Ω]}

RotationMatrix[(*roda φ=ωt parametrizado*)φ, (*em torno de*)-z].%
{Cos[φ] Sin[Ω], -Sin[φ] Sin[Ω], Cos[Ω]}

RotationMatrix[(*inclina de*)φ₀, (*em torno de*)-x].%
{Cos[φ] Sin[Ω], Cos[Ω] Sin[φ₀] - Cos[φ₀] Sin[φ] Sin[Ω], Cos[φ₀] Cos[Ω] + Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω]}

{r[φ_], ηpm[φ_], Cosφ[φ_]} = CoordinateTransform["Cartesian" -> "Cylindrical", %]
{Sqrt[Cos[φ]² Sin[Ω]² + (Cos[Ω] Sin[φ₀] - Cos[φ₀] Sin[φ] Sin[Ω])²],
ArcTan[Cos[φ] Sin[Ω], Cos[Ω] Sin[φ₀] - Cos[φ₀] Sin[φ] Sin[Ω], Cos[φ₀] Cos[Ω] + Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω]]}

η[φ_] = Mod[π/2 + η₀ - ηpm[φ], 2π] (*gira de η₀ no plano do céu e compatibiliza com coords celestes*)
Mod[π/2 + η₀ - ArcTan[Cos[φ] Sin[Ω], Cos[Ω] Sin[φ₀] - Cos[φ₀] Sin[φ] Sin[Ω]], 2π]

φ[φ_] = ArcCos[Cosφ[φ]]
ArcCos[Cos[φ₀] Cos[Ω] + Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω]]

```

■ Efeito Doppler relativístico

```

δ[φ_] = 1 / (γ * (1 - β * Cosφ[φ]))
1 / (γ (1 - β (Cos[φ₀] Cos[Ω] + Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω])))

φobs[φ_] = FullSimplify[Integrate[1/δ[φprime], {φprime, 0, φ}] / Integrate[1/δ[φprime], {φprime, 0, 2π}]] * 2π
φ - β (-1 + Cos[φ]) Sin[φ₀] Sin[Ω] / (-1 + β Cos[φ₀] Cos[Ω])

βobs[φ_] = Sqrt[1 - Cosφ[φ]^2] (*=Sin[φ]*) / (1 / β - Cosφ[φ])
Sqrt[1 - (Cos[φ₀] Cos[Ω] + Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω])²] / (1 / β - Cos[φ₀] Cos[Ω] - Sin[φ] Sin[φ₀] Sin[Ω])

β = Sqrt[1 - γ^(-2)]
Sqrt[1 - 1/γ²]

```

Dados Experimentais

```
(ListerData = Import["C:\\Users\\Roberto\\Google Drive\\IAG\\2013\\S2\\AGA0601 IC\\Lister.csv"]) //
Grid

1 16 399 18.6 50.3 236.2 216.1 3 20.1 3 829 45 8.47 0.46 1998.09 257 294
2 60 1137 14.5 39.21 236.9 228.56 0.4 8.39 0.41 784.1 5.5 8.011 0.056 2002.56 185 185
3 22 1375 6.4 17.31 246.4 240.82 0.61 5.54 0.63 1026 15 10.48 0.15 1998.09 129 66
4 10 2043 2.5 6.76 245.4 245.7 2.7 0.3 2.7 1255 54 12.82 0.56 1994.29 0.087 1996.25 67 76
5 23 2329 4.1 11.09 242.7 245.17 0.61 2.45 0.71 1455 16 14.86 0.17 1998.09 132 123
6 9 2263 1 2.7 237 241.4 3 4.4 3.1 1001 50 10.23 0.51 1995.33 0.053 1996.39 50 55
7 6 6645 0.4 1.08 238.3 239.3 2.1 1 2.3 655 38 6.7 0.39 1996.01 0.021 1996.65 22 6
8 8 2445 1.3 3.52 234.9 221.2 7.7 13.7 7.9 509 67 5.2 0.69 1998.69 143 130
9 54 2471 6.8 18.39 234.5 239.89 0.39 5.36 0.44 1013.3 6.8 10.353 0.07 2004.83 179 183
12 43 3743 4.1 11.09 227.8 232.39 0.54 4.61 0.62 887.1 8.1 9.063 0.082 2006.4 135 155
13 14 1549 1.4 3.79 249.2 242.4 3.5 6.7 3.7 600 28 6.13 0.29 2001.25 0.11 2003.83 59 97
15 13 2197 1.7 4.6 218.6 219.9 1.6 1.3 1.8 849 25 8.67 0.26 2003.97 0.064 2005.8 71 85
16 10 2751 1.4 3.79 217.4 219.8 3 2.4 3.1 611 33 6.24 0.34 2006.27 55 60
19 17 1365 4.6 12.44 221.1 237.1 1.9 16 1.9 713 33 7.29 0.34 2009.58 104 36
21 24 1086 4.3 11.63 236.3 258.3 2.3 22 2.3 538 15 5.5 0.15 2004.46 104 159
22 6 4718 0.6 1.62 216.6 223.1 4.2 6.5 4.6 664 47 6.78 0.48 2010.24 52 41
24 14 6994 1.3 3.52 220.1 223.3 2 3.3 2 716 24 7.31 0.25 2007.39 0.062 2009.13 47 42
25 14 2922 0.8 2.16 212.2 219.4 2.7 7.2 2.8 513 26 5.24 0.26 2009.13 36 52
26 44 2139 12.9 34.89 240.8 231.43 0.36 9.41 0.37 878.3 5 8.973 0.051 2006.01 70 113
27 12 564 3.8 10.28 239.4 235.2 2.1 4.2 2.2 1206 49 12.32 0.5 1999.13 167 129
29 17 2845 2.7 7.3 216.8 212.7 1.7 4.1 1.8 928 33 9.48 0.33 2009.58 66 97

TLD = Transpose [ListerData] ;

id = TLD[[1]] ;

βapp = TLD[[13]] ;

epoc = TLD[[17]] - TLD[[4]] * 1000 / TLD[[11]]

{1975.65, 1984.07, 1991.85, 1994.26, 1995.27, 1995.39, 1996.04, 1996.14, 1998.12, 2001.78,
 2001.5, 2003.8, 2003.98, 2003.13, 1996.47, 2009.34, 2007.31, 2007.57, 1991.32, 1995.98, 2006.67}

ηapp = TLD[[6]] Degree ;
```

■ Limites do ajuste

```
βobsmax = Max [βapp] (* v*365.25*QuantityMagnitude [UnitConvert [Quantity [2.70, "Parsecs"], "LightYear"]]) *
14.86

γmin = Sqrt [βobsmax ^ 2 + 1]
14.8936

φmax = ArcSin [2 βobsmax / (βobsmax ^ 2 + 1)]
0.134387

DMSString [φmax / Degree, 0]
7°42'0."
```

Ajuste dos dados ao modelo

```
βrange = {Min [βapp] - 0.25 (Max [βapp] - Min [βapp]), Max [βapp] + 0.25 (Max [βapp] - Min [βapp])}
{2.785, 17.275}

ηrange = {Min [ηapp] - 0.25 (Max [ηapp] - Min [ηapp]), Max [ηapp] + 0.25 (Max [ηapp] - Min [ηapp])}
{3.54215, 4.5108}

ticdeg = Table [{tic (Degree), tic}, {tic, 0, 360, 15}];

(* {φ0=3.25Degree, Ω=2.6Degree, η0=290Degree, γ=15, per=75, off=3.45} *)

(* {φ0=3.25Degree, Ω=2.6Degree, η0=250Degree, γ=15, per=5.8, off=3.46} *)

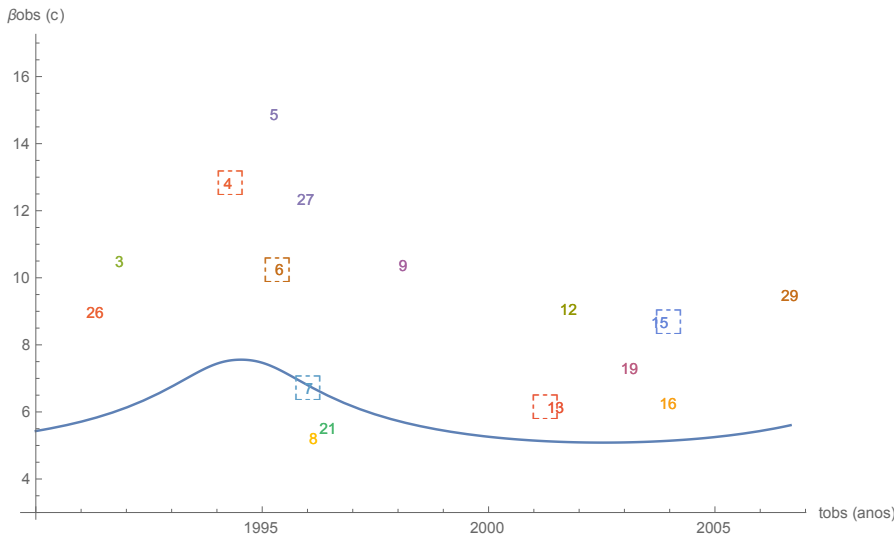
{φ0 = 14 Degree, Ω = 5.4 Degree, η0 = -120 Degree, γ = 7.7, per = 16, off = 3.1}
{14 °, 0.0942478, -120 °, 7.7, 16, 3.1}
```

```
(*Manipulate[*)( $\varphi_{\text{obs}}[\varphi_-] = \varphi - (\beta * (-1 + \text{Cos}[\varphi]) * \text{Sin}[\phi_0] * \text{Sin}[\Omega]) / (-1 + \beta * \text{Cos}[\phi_0] * \text{Cos}[\Omega])$ *)

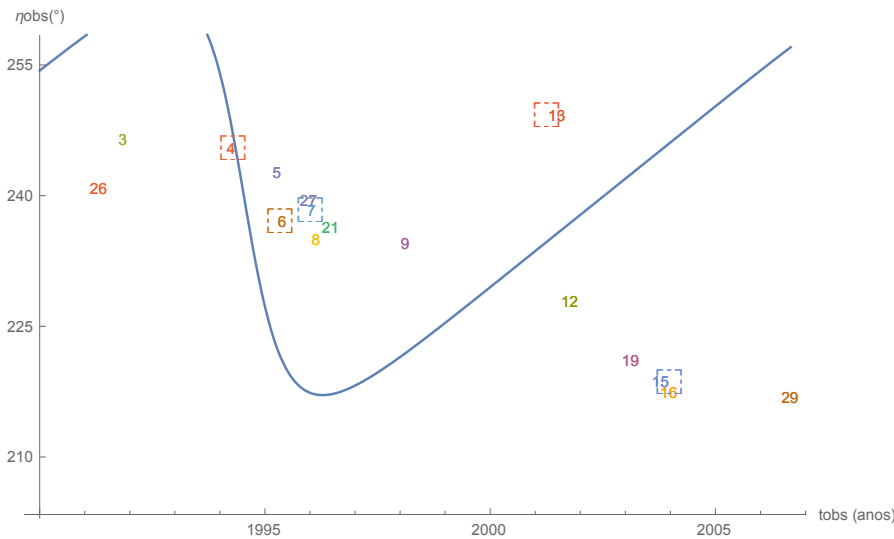
 $\varphi_{\text{comov}}[\text{tobs1}_-] = \text{InverseFunction}[\varphi_{\text{obs}}][\text{Mod}[(\text{tobs1}) 2 \pi / \text{per} - \text{off}, 2 \pi]]$ 

 $\varphi_{\text{obs}}^{(-1)}\left[\text{Mod}\left[-3.1 + \frac{\pi \text{ tobs1}}{8}, 2 \pi\right]\right]$ 

Show[Plot[ $\beta_{\text{obs}}[\varphi_{\text{comov}}[\text{tobs}]]$ , {tobs, Floor[epoc[[3]] - 1], Last[epoc]}, PlotRange → {Full,  $\beta_{\text{range}}$ },
  ImageSize → Large, AxesLabel → {"tobs (anos)", " $\beta_{\text{obs}}$  (c)"},
  ListPlot[Table[{{epoc[[n]],  $\beta_{\text{app}}[[n]]$ }}, {n, Length[epoc]}], PlotMarkers → id],
  ListPlot[Table[{If[NumberQ[TLD[[15]][[n]]], {TLD[[15]][[n]],  $\beta_{\text{app}}[[n]]$ }, {}, {}], {n, Length[epoc]}],
  PlotMarkers → {{id, Large}}]]
```

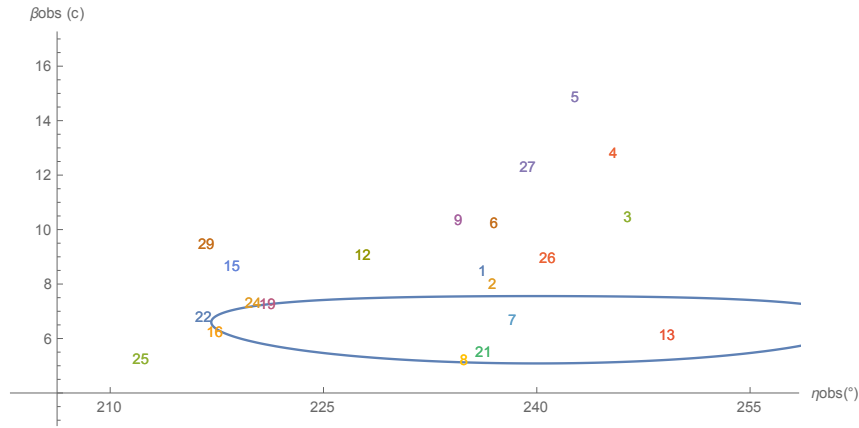


```
Show[Plot[ $\eta[\varphi_{\text{comov}}[\text{tobs}]]$ , {tobs, Floor[epoc[[3]] - 1], Last[epoc]}, ImageSize → Large,
  PlotRange → {Full,  $\eta_{\text{range}}$ }, AxesLabel → {"tobs (anos)", " $\eta_{\text{obs}}$  (°)"}, Ticks → {Automatic, ticdeg}],
  ListPlot[Table[{{epoc[[n]],  $\eta_{\text{app}}[[n]]$ }}, {n, Length[epoc]}], PlotMarkers → id],
  ListPlot[Table[{If[NumberQ[TLD[[15]][[n]]], {TLD[[15]][[n]],  $\eta_{\text{app}}[[n]]$ }, {}, {}], {n, Length[epoc]}],
  PlotMarkers → {{id, Large}}]]
```




```
(*PolarPlot[ $\beta_{\text{obs}}[\varphi_{\text{obs}}[\varphi]]$ , { $\varphi$ , 0,  $2\pi$ }],
Graphics3D[Cone[{Sin[ $\phi_0$ ], 0, Cos[ $\phi_0$ ]}, {0, 0, 0}],  $\Omega$ ], Boxed → False, ViewPoint → Top], *)

Show[ParametricPlot[{ $\eta[\varphi]$ ,  $\beta_{\text{obs}}[\varphi]$ }, { $\varphi$ , 0,  $2\pi$ }, ImageSize → Large, AxesLabel → {" $\eta_{\text{obs}}(^{\circ})$ ", " $\beta_{\text{obs}}(c)$ "},
PlotRange → { $\eta_{\text{range}}$ ,  $\beta_{\text{range}}$ }, Ticks → {ticdeg, Automatic}},
ListPlot[Table[{ $\eta_{\text{app}}[[n]]$ ,  $\beta_{\text{app}}[[n]]$ }, {n, Length[epoc]}], PlotMarkers → id, AspectRatio → 1/2]
```

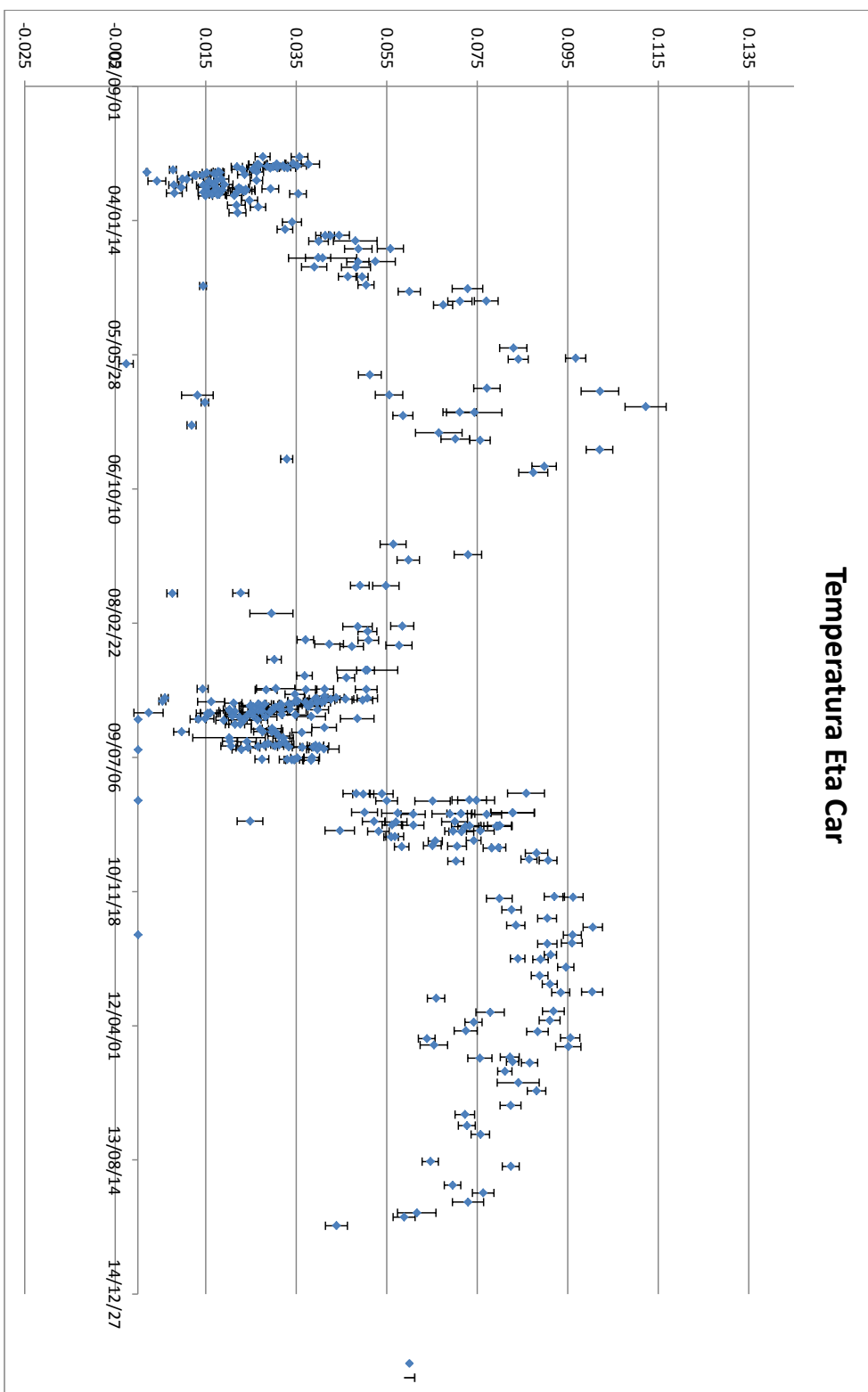


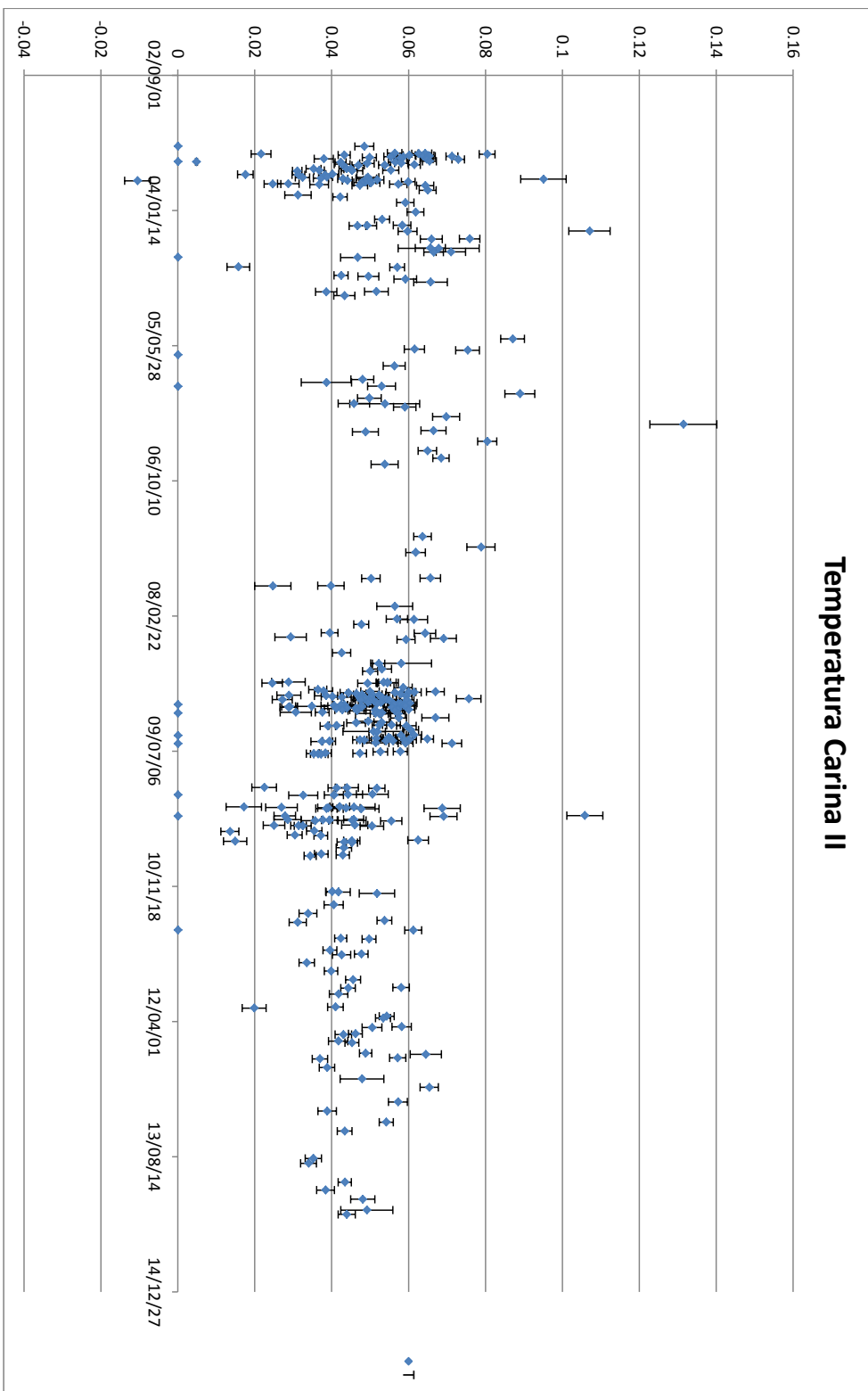
```
(*,{ $\phi_0$ , 0,  $\phi_{\text{max}}$ }, { $\Omega$ , 0,  $\phi_{\text{max}}$ }, { $\eta_0$ , 0,  $2\pi$ }, { $\gamma$ , 0.75 $\gamma_{\text{min}}$ , 1.5 $\gamma_{\text{min}}$ }, {per, 3, 80}, {off, 0,  $2\pi$ }, LocalizeVariables → False,
Paneled → False, SynchronousUpdating → True]*)
```

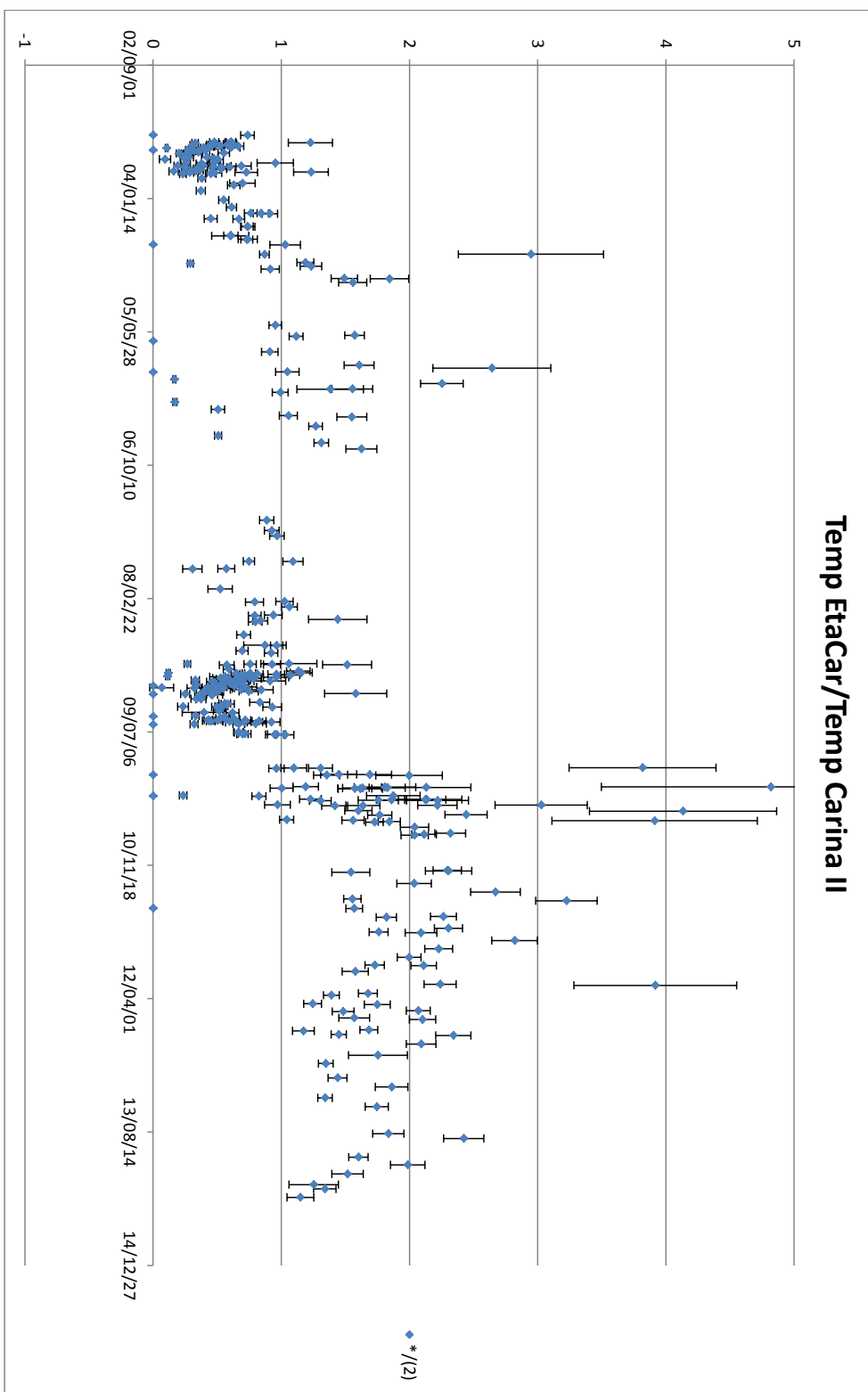

Apêndice C

Curvas de luz de η Car e Carina II e da relação η Car e Carina II

Este apêndice apresenta os gráficos obtidos pelo programa ExcelTM da MicrosoftTM, sendo: A curva de luz não calibrada de η Carinae, a curva de luz de calibração obtida na nuvem Carina II, por fim a razão entre as curvas ou a curva calibrada de η Carinae.



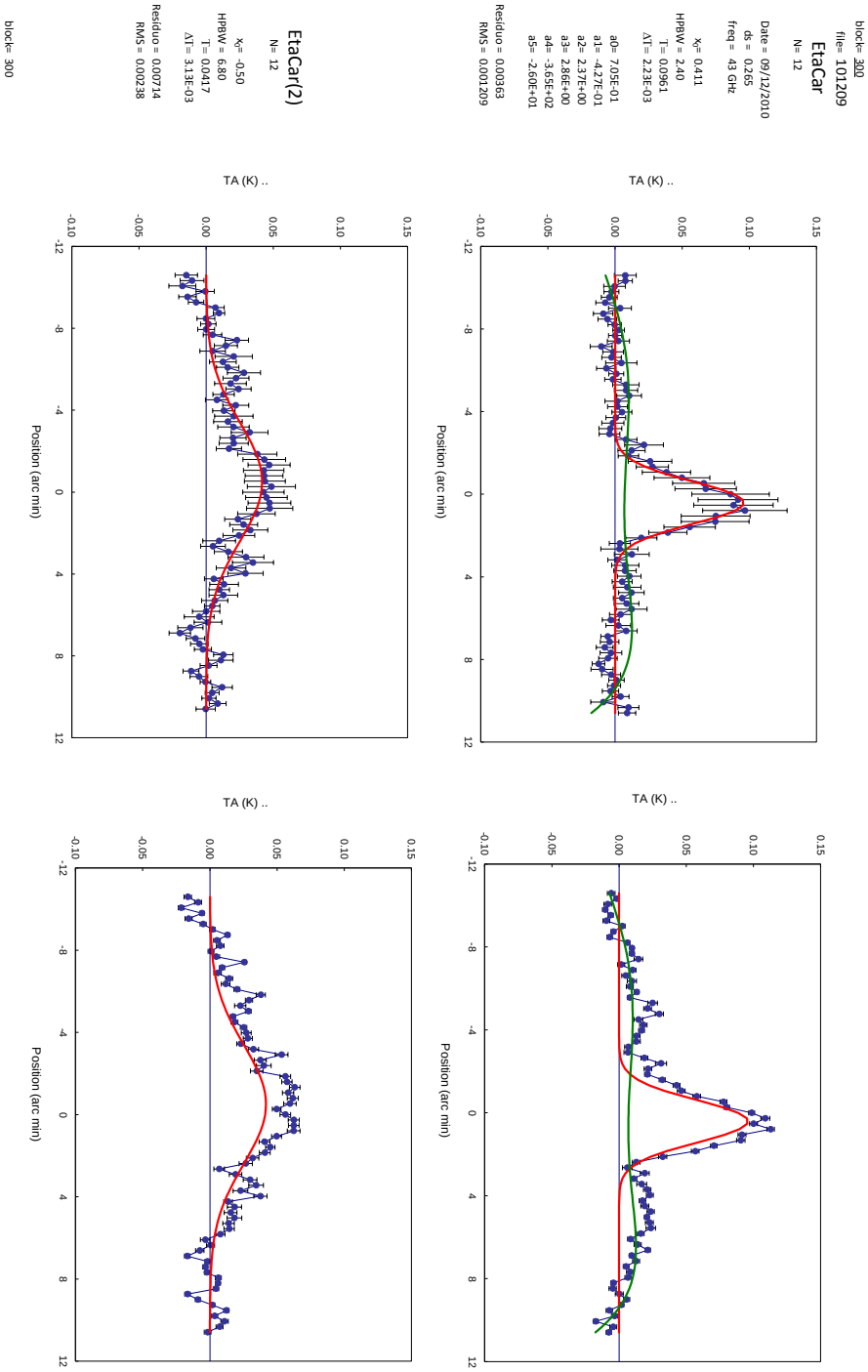




Apêndice D

Exemplo de Página Resumo

Este apêndice apresenta um dos mais de 350 gráficos obidos pelo programa ExcelTM da MicrosoftTM, referentes a uma sequência de observações realizadas sem interrupções superiores a quatro horas. O livro obtido com essas paginas serve para a primeira critica visual dos dados.



Apêndice E

Macros para o tratamento dos dados escritas para este trabalho

Neste apêndice encontra-se o conjunto de macros na linguagem MicrosoftTM Visual BasicTM, acessado pelo ExcelTM para o tratamento eficiente dos dados colhidos ao longo dos anos da emissão em rádio de η Car.

```
Sub ClearGauss()  
'  
' ClearGauss Macro  
'  
  
'  
    Range("AA11").ClearContents  
    Range("AA13").ClearContents  
    SalvaResu  
End Sub  
Sub ClearBaseline()  
'  
' ClearBaseline Macro  
'  
  
'  
    Range("$AA$16:$AA$21").ClearContents  
    SalvaResu  
End Sub  
Sub SolveGauss()  
'  
' SolveGauss Macro  
'  
  
'  
    SolverReset  
    SolverOptions AssumeNonNeg:=False
```

```

    SolverOk SetCell:="$AA$24", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, _
        ByChange:="$AA$11,$AA$13", Engine:=1, _
        EngineDesc:="GRG Nonlinear"
    SolverSolve UserFinish:=True
    SalvaResu
End Sub
Sub SolveBaseline()
'
' SolveBaseline Macro
'
'
    SolverReset
    SolverOptions AssumeNonNeg:=False
    SolverOk SetCell:="$AA$24", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, _
        ByChange:= "$AA$16:$AA$21", Engine:=1, _
        EngineDesc:="GRG Nonlinear"
    SolverSolve UserFinish:=True
    SalvaResu
End Sub
Sub SalvaResu()
'
' SalvaResu Macro
'
'
    Dim WS As Worksheet
    Dim bloco As Integer
    Dim grupo As Integer

    Set WS = ActiveSheet
    bloco = Range("AA2").Value

    If WS.Name = "EtaCarina" Then
        grupo = 0
    ElseIf WS.Name = "Carina II" Then
        grupo = 78
    Else
        Exit Sub
    End If
    WS.Range("AA2:AA24").Copy
    Sheets("Resu").Range("A1").Offset(bloco, grupo)._.
        PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, _
        Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=True

    Sheets("Resu").Range("X1:BZ1").Offset(bloco, grupo).Value _
        = WS.Range("AD27:CF27").Value

```

```

        Application.CutCopyMode = False
End Sub
Sub CarregaResu()
    Dim WS As Worksheet
    Dim bloco As Integer
    Dim grupo As Integer

    Set WS = ActiveSheet
    bloco = Range("AA2").Value

    If WS.Name = "EtaCarina" Then
        grupo = 0
    ElseIf WS.Name = "Carina II" Then
        grupo = 78
    Else
        Exit Sub
    End If

    WS.Range("AA11").Value = _
        Sheets("Resu").Range("J1").Offset(bloco, grupo).Value
    WS.Range("AA13").Value = _
        Sheets("Resu").Range("L1").Offset(bloco, grupo).Value
    Sheets("Resu").Range("O1:T1").Offset(bloco, grupo).Copy
    WS.Range("AA16").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, _
        Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=True
    WS.Range("AD27:CF27").Value = _
        Sheets("Resu").Range("X1:BZ1").Offset(bloco, grupo).Value

    Application.CutCopyMode = False
End Sub
Sub Incrementabloco()
    Range("AA2").Value = Range("AA2").Value + 1
    CarregaResu
End Sub
Sub Decrementabloco()
    If Range("AA2").Value > 1 Then Range("AA2").Value = _
        Range("AA2").Value - 1
    CarregaResu
End Sub
Sub RefazTudoPDF()
    Dim bloco As Integer
    bloco = 1
    Do While Sheets("detect").Cells(bloco + 1, 6).Value <> ""
        Application.ScreenUpdating = False
        Sheets("EtaCarina").Activate
        Range("AA2").Value = bloco
        CarregaResu
    ,

```

```

        Sheets("Carina II").Activate
        Range("AA2").Value = bloco
        CarregaResu
        Sheets("RelatPg").Activate
        ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
            Filename:=ActiveWorkbook.Path & "\PDFs\" & _
            Range("C4").Value & ".pdf", _
            Quality:=xlQualityStandard, _
            IncludeDocProperties:=True, _
            IgnorePrintAreas:=False, _
            OpenAfterPublish:=False
        bloco = bloco + 1
        Application.ScreenUpdating = True
    Loop
End Sub
Sub RefazTudo()
    Dim bloco As Integer
    bloco = 1
    Do While Sheets("detect").Cells(bloco + 1, 6).Value <> ""
        Application.ScreenUpdating = False
        Sheets("EtaCarina").Activate
        Range("AA2").Value = bloco
        CarregaResu
        ClearBaseline
        ClearGauss
        SolveGauss
        SolveBaseline
        SolveGauss
    ,

        Sheets("Carina II").Activate
        Range("AA2").Value = bloco
        CarregaResu
        ClearBaseline
        ClearGauss
        SolveGauss
        bloco = bloco + 1
        Application.ScreenUpdating = True
    Loop
End Sub
Sub SalvaMediasInd()
    Dim WS As Worksheet
    Dim bloco As Integer
    Dim grupo As Integer
    bloco = 1
    Do While Sheets("detect").Cells(bloco + 1, 6).Value <> ""
        Application.ScreenUpdating = False
        Sheets("EtaCarina").Activate
        Range("AA2").Value = bloco
    
```

```
CarregaResu
grupo = 1
Range("AB120:AB371").Copy
Sheets("Medias").Range("K20").Offset(grupo, bloco) _
    .PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, _
    Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, _
    Transpose:=False
,

Sheets("Carina II").Activate
Range("AA2").Value = bloco
CarregaResu
grupo = 400
Range("AB120:AB371").Copy
Sheets("Medias").Range("K20").Offset(grupo, bloco)_
    .PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, _
    Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, _
    Transpose:=False
bloco = bloco + 1
Application.ScreenUpdating = True
Loop
End Sub
```