

**OBSERVAÇÃO E COLETA DE DADOS DE LENTES
GRAVITACIONAIS UTILIZANDO O RADIOTELESCÓPIO DO
ITAPETINGA**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Mário Raia Neto (Universidade Presbiteriana Mackenzie, Bolsista
PIBIC/CNPq)**

E-mail: mraianeto@gmail.com

Luiz Cláudio Lima Botti (CRAAM/INPE, Orientador)

E-mail: luizquas@yahoo.com.br

Julho de 2014

RESUMO

O presente trabalho procura expor de forma clara e concisa alguns dos métodos observacionais utilizados no primeiro semestre de observação no rádio telescópio de Itapetinga (ROI) bem como uma introdução à história deste centro de pesquisa observacional. Apresentamos também uma breve introdução ao software de aquisição de dados e como operar no rastreamento de uma fonte.

O presente projeto de pesquisa busca verificar qual o comportamento do anel de Einstein PKS 1830-211 em diversas frequências e qual a importância de uma lente gravitacional, para com a cosmologia.

Temos também uma introdução sucinta aos quasares que busca a compreensão histórica desses objetos deixando a parte técnica exclusivamente para PKS 1830-211.

ABSTRACT

This paper attempts in simple ways but clearly and concisely, to introduce some of the observational methods used in the first semester on the Rádio telescópio do Itapetinga (ROI), as well as an introduction to the history of this observational center. We also present a brief introduction to data acquisition software and how to search for one source to study.

This first report seeks to verify that the behavior of the Einstein's ring PKS 1830-211 at several frequencies and the importance of a gravitational lens, to the cosmology.

We also present a brief introduction to quasars looking for historical understanding of these objects leaving the technical part exclusively for PKS 1830-211.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 O EFEITO LENTE GRAVITACIONAL.....	2
2.1 TIPOS DE LENTEAMENTO.....	2
3 QUASARES.....	3
3.1 BREVE HISTÓRICO.....	3
3.2 O QUASAR PKS 1830-211.....	4
4 OBJETIVOS.....	6
5 MÉTODOS.....	6
5.1 SOFTWARE DE AQUISIÇÃO	6
5.2 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS.....	11
5.3 RÁDIO OBSERVATÓRIO DO ITAPETINGA.....	11
5.4 RESULTADOS PRELIMINARES.....	12
6 CONCLUSÃO.....	12
7 BIBLIOGRAFIA.....	13

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da Teoria da Relatividade Geral, a visão newtoniana sobre o espaço e o tempo, foi mudada drasticamente (ASIMOV, 1993). Quanto a natureza do espaço, Einstein propôs que o mesmo seria uma estrutura não absoluta e que seria passível de modificações perante a massa dos corpos. A Relatividade Geral, dentre outras coisas, prediz que raios de luz ao entrar em contato com um campo gravitacional suficientemente forte se desviam e percorrem um novo caminho levemente curvado. Tendo essa concepção em mente, astrônomos procuraram um meio viável de experimentar a tão recente Teoria da Gravitação de Einstein. A única maneira viável era a de estudar as estrelas vizinhas do halo solar, em um eclipse total, para então se comprovar, a curvatura do raio de luz.

A curvatura da luz, em um campo gravitacional de um corpo massivo, foi observada pela primeira vez em 29 de maio de 1919, em duas expedições realizadas pela Real Sociedade Astronômica de Londres, para o Brasil (Sobral, Ceará) e para África (Ilha de Príncipe no Golfo de Guiné (ASIMOV, 1993). O experimento consistiu em medir a posição relativa das estrelas brilhantes no momento do eclipse. As duas expedições comprovaram, sem sombra de dúvidas, a Relatividade Geral, pois os raios de luz rasantes ao halo solar, tornaram as estrelas ligeiramente afastadas (EDDINGTON, 1920).

Segundo Burke (1997), Einstein cogitou que mais de um raio de luz poderia ser visto de uma mesma fonte; essa conjectura foi então confirmada em 1979 quando os cientistas (Walsh, Carswell e Weymann, 1979) descobriram a rádio fonte *B0957+561*, que apresentava duas “estrelas” com o mesmo espectro e o mesmo *redshift*¹. Com essa descoberta, foi proposto que a separação das duas imagens era devido a uma refração gravitacional, devido a uma galáxia que se encontra na frente da rádio fonte, e que atuava como uma espécie de “lente” na linha de visada. A rádio fonte era um objeto estelar, então desconhecido na época, mais tarde denominada *Quasar*, o qual fora chamado, neste caso,

¹ O efeito *redshift*, em física, acontece quando a luz ou qualquer outra radiação eletromagnética de algum objeto se afasta do observador aumentando o comprimento de onda, ou como é frequentemente conhecido o jargão, desvio para o vermelho.

de *Duplo Quasar*. Com a descoberta desse objeto e desse efeito gravitacional, a pesquisa sobre Lentes Gravitacionais nascera.

2 O EFEITO LENTE GRAVITACIONAL

As lentes gravitacionais são, basicamente, um sistema onde existe um observador, uma fonte e um corpo, que devido a sua massa, tem a capacidade de curvar o espaço entre os dois, apresentando o efeito da lente gravitacional.

O objeto que representa a lente pode ser uma galáxia e até mesmo outros objetos atuando de forma semelhante, tais como buracos negros e super aglomerados de estrelas. Um objeto que seja suficientemente massivo para curvar a luz proveniente da fonte, pode ser considerado uma lente e, dentro dessa afirmação, a literatura apresenta certos tipos de lenteamento, que curvam a luz proveniente da fonte e assim produzem uma variedade de efeitos (SCHNEIDER;EHLERS;FALCO, 1999).

2.1 TIPOS DE LENTEAMENTO

O efeito das lentes gravitacionais pode acontecer em graus diferentes de intensidade. Nós podemos ter grandes efeitos em arco e cruzeiros principalmente, devido ao efeito de lenteamento forte. Esse efeito é bastante observado e PKS 1830-211 é em verdade um objeto que apresenta, no sistema de lentes gravitacionais, o efeito de anel de Einstein.

Temos também os lenteamentos fracos onde só podem ser observados com metodologias estatísticas onde é necessária observação de vários objetos, para então chegar a uma medição precisa.

É necessário ressaltar que quando o objeto, que está curvando o espaço e criando o efeito de lente gravitacional, está em nossa própria galáxia, temos o efeito do “micro-lensing” que pelo fato do objeto estar em nossa galáxia a escala deste tal objeto é em microssegundos de arco.

3 QUASARES

3.1 BREVE HISTÓRICO

No final da década de 50, os radio astrônomos haviam compilado catálogos repletos de radio fontes que ainda não haviam sido identificadas com nenhum objeto óptico (A.C.S. FIANÇA; DAL PINO; SODRÉ JR; JATENCO-PEREIRA. 2008). No começo da observação dos Quasares, estes não eram totalmente entendidos devido as suas linhas de emissão largas que não condiziam com nenhuma literatura presente na época e, sobre o ponto de vista observacional, os quasares eram, morfológicamente quase idênticos a estrelas distantes.

O histórico das indagações sobre a natureza de um novo tipo de objeto (o quasar) se deu quando, no primeiro ano da década de 60 com a fonte 3C48; os cientistas Thomas Matthews e Allan Sandage descobriram um objeto de magnitude aproximadamente 16, que até então parecia ser uma estrela ordinária, porém que coincidia com a posição da rádio fonte 3C 48 e apresentava linhas de emissão largas e possuía emissões majoritariamente em comprimentos de onda do ultravioleta do espectro. Pouco tempo depois, em 1963, outra radio fonte foi observada, 3C 273, onde Matthews e Sandage puderam observar com mais precisão constatando que as linhas de emissão na verdade apresentavam a característica das linhas de emissão dos átomos de hidrogênio, porém deslocadas para cima do espectro, para os comprimentos menos energéticos, como o vermelho.

Após uma revisão do espectro de 3C 48, Matthews e Greenstein verificaram que suas linhas de emissão estavam deslocadas de um fator 0,367 para o vermelho (A.C.S. FIANÇA; DAL PINO; SODRÉ JR; JATENCO-PEREIRA. 2008). Com isso, eles introduziram um novo objeto de estudo, os quasares, que significa “quase-stellar radio sources”.

3.2 O QUASAR PKS 1830-211

A rádio fonte PKS 1830-211 (RAO; SUBRAHMANYAN, 1988; SUBRAHMANYAN et al. 1990; JAUNCEY et al. 1991) é uma das dez rádio fontes mais brilhantes ($\sim 10 \text{ Jy}^2$) em comprimentos de onda centimétricos, distando cerca de $5,7^0$ do plano galáctico³. Ela foi modelada como um *quasar* composto por um núcleo, um nó e um jato na escala de 100-200 milissegundos de arco (SUBRAHMANYAN et al. 1990).

Como PKS1830-211 situa-se em uma linha de visada próxima ao plano galáctico, houve pouco sucesso até 1992 (DJORGOVSKY et al. 1992) na identificação da fonte em óptico e infravermelho. Em óptico foi encontrado um objeto vermelho bem fraco dentro de um segundo de arco, que pareceu ter o espectro de uma estrela anã M3. Este não seria o objeto esperado. No entanto, imagens no infravermelho obtidas do telescópio anglo-australiano no comprimento de onda de $2,1 \mu\text{m}$ indicam que a estrela M3 pareceu ser ligeiramente estendida na direção sudoeste, próxima à posição da componente obtida por (DJORGOVSKI et al. 1992), em rádio. Este objeto muito vermelho poderia ser a galáxia-lente ou o objeto-lente esperado. Porém, espectroscopicamente, este objeto foi muito difícil de ser observado devido a sua extrema proximidade com a estrela anã M3.

Em 1995, foi feito um estudo para verificar se existiam linhas de emissão ou absorção associadas à fonte usando o telescópio Parkes equipado com um receptor de banda larga (LOVELL et al., 1996). Foi encontrada uma única linha a $1,19 \text{ GHz}$, exibindo características de absorção HI. Se interpretada como HI, essa linha revela um desvio para o vermelho de $0,19$. Observações realizadas, por meio de telescópios localizados na Austrália (Australian Telescope Compact Array), confirmaram a existência dessa linha e mostraram que a absorção estava centrada na região da componente NE.

² Unidade de densidade de fluxo, que confere a equação: $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{Hz}}$

³ Em astronomia, se denomina um plano galáctico, o plano onde se encontram a maior parte das estrelas de uma galáxia.

Wiklind e Combes (1995) observaram PKS 1830-211 com o SEST (Swedish-ESO Submillimeter Telescope) e detectaram características de absorção por diferentes moléculas, dentre elas, HCO^+ , HCN , HNC , H^{13}CO^+ , CS e N_2H^+ (GERIN et al. 1997) resultando num desvio para o vermelho de 0,886. De acordo com Wiklind e Combes (1996) o gás responsável pela absorção encobre somente a componente SE da fonte, sugerindo que esta se situaria mais próxima ao centro da galáxia absorvedora. Isso é consistente com o modelo de Nair, Narasimha e Rao (1993) e com a ordem de grandeza das variações de densidade de fluxo correlacionadas nas duas componentes, conforme detectado por (OMMEN et al. 1995). Sendo assim, e considerando-se que a galáxia-lente tenha o tamanho de $1''$ de arco (centro coincidente com a imagem SE e raio igual à distância entre as duas imagens), chega-se a um raio de 10 kpc^4 (o diâmetro da Via-Láctea é de 50 kpc) a um z de 0,886. Portanto, não seria possível que um único objeto fosse responsável pelos dois distintos desvios para o vermelho. Explicando, então, dois objetos ao longo da linha de visada, de um a quatro vezes e meia mais distante que o outro.

(OMMEN et al. 1995) identificaram um atraso de 44 ± 9 dias entre variações na densidade de fluxo, correlacionada entre as duas imagens. Inserindo esse valor de atraso no modelo de lente única de Mathur (1997), Narasimha (2002) e Rao (1988) associado ao z^5 da lente de 0,886 identificado por Wiklind e Combes, o desvio para o vermelho do *quasar* se situaria entre 1,5 e 2,4 (com $H_0 = 50 \text{ km}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $q_0 = 0,5$).

Através do programa de observações *ROSAT* All Sky Survey, Mathur e Nair (1997) obtiveram dados em raios-X e estimaram o índice espectral do *quasar* PKS1830-211 na banda óptico- Raios-X em $\alpha_{\text{OX}} = 0,87$ para um z de 1,5 supondo uma densidade de fluxo em óptico, um pouco abaixo do limite de detecção a $5,7^0$ do plano galáctico.

⁴ *Parsec*(*pc*) é unidade de medida de distância com valor $3.08567758 \times 10^{16}$ m, cuja a palaraxe anual média tenha valor de um segundo de arco. Neste caso o valor é ligeiramente maior pois trata-se do *Kiloparsec* (*kpc*), sendo então, $3.08567758 \times 10^{19}$ m.

⁵ “z” é o parâmetro determinador do *redshift*

4 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é fazer um estudo da rádio fonte PKS 1830-211 (conhecida como Anel de Einstein), nas frequências de 22 e 43 GHz, utilizando a antena de 13,7 m do rádio observatório do Itapetinga (ROI), Atibaia. Através do monitoramento ao longo do tempo deste quasar será possível determinar sua variabilidade temporal e também a espectral. Esta rádio fonte é composta por duas principais regiões de emissão, que monitoradas pela antena do ROI separadamente, poderão nos fornecer duas curvas de luz cujos possíveis eventos podem apresentar um atraso temporal e a partir disso será possível estimar a idade do Universo. Este trabalho também visa entender as Lentes Gravitacionais como um todo e sua importância para a Cosmologia. Como etapas de treinamento, entre março e maio de 2014 foi possível realizar observações no ROI em 43 GHz de diversas rádio fontes extragalácticas, tais como 3C273, 3C120, 0735+178, e da rádio galáxia Virgo A (utilizada como fonte calibradora). Foi possível durante este período relativamente curto aprender as principais etapas de observação e aquisição de dados numa antena de grande porte como a do Itapetinga, Pretende-se nos próximos meses fazer observações sistemáticas do Anel de Einstein para serem determinadas suas curvas de luz em 22 e 43 GHz . Outras Lentes Gravitacionais também serão observadas nessas frequências.

5 MÉTODOS

Os dados do presente relatório preliminar foram adquiridos com o rádio telescópio do rádio observatório do Itapetinga em um período de dois dias e meio que visavam a capacitação para o manuseio da antena e do software de aquisição de dados.

5.1 SOFTWARE DE AQUISIÇÃO

Para a coleta efetiva dos dados, são utilizados dois computadores; o computador de aquisição de dados e o de rastreamento.

Por meio do computador de rastreamento, pode-se adquirir várias variáveis sobre a fonte. Neste computador também tem-se as técnicas necessárias para o monitoramento da fonte em questão, tais como o tempo sideral, tempo universal, a posição da fonte a distância angular que a antena está da fonte “Position”, o status da antena “Status”, (Figura 1). Nós podemos ver também a data completa na tela da aba “Time” (Figura 2). Temos também no programa um sistema que mostra as coordenadas, ascensão reta e declinação (Figura 3 e 4), azimute e elevação (Figura 5) a tela que mostra a conexão entre os dois computadores (Figura 6), os métodos de rastreamento e o tempo de duração de cada varredura (Figura 7). Na (Figura 8) temos todos os parâmetros de controle da antena, como por exemplo o ganho para os motores. Com todos os parâmetros do software de aquisição pode-se então registrar os dados na tabela fornecida pelo rádio observatório.

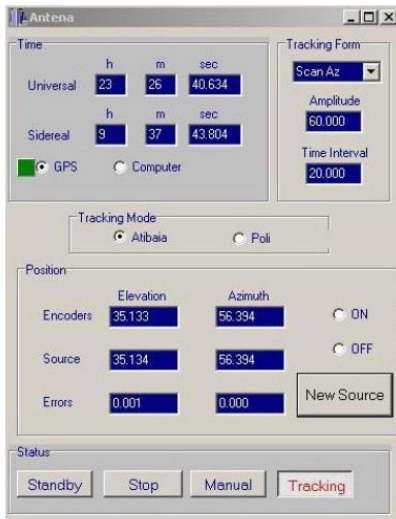


Figura 1 - Configuração da antena e status



Figura 2 - Tempo

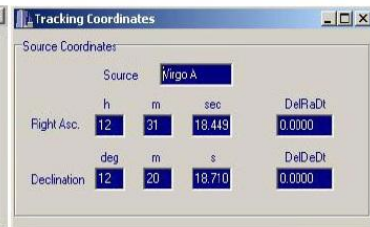


Figura 3 - Coordenadas da fonte

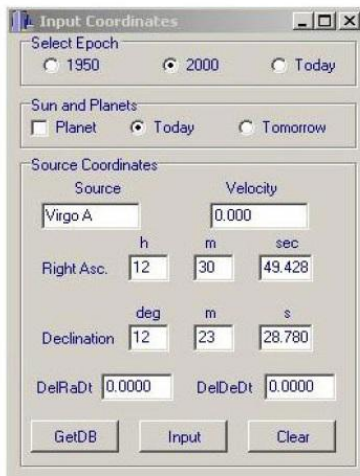


Figura 4 - Coordenadas

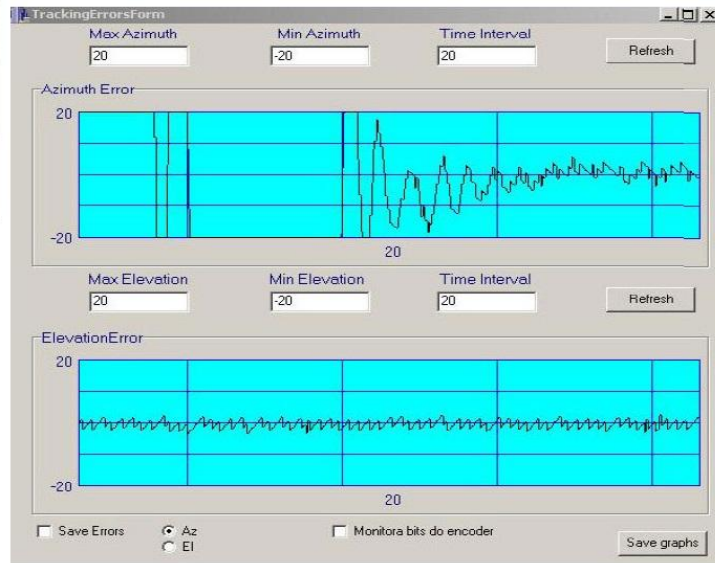


Figura 5 - Gráficos em Azimute e Elevação da antena em relação a fonte



Figura 6 - Observação

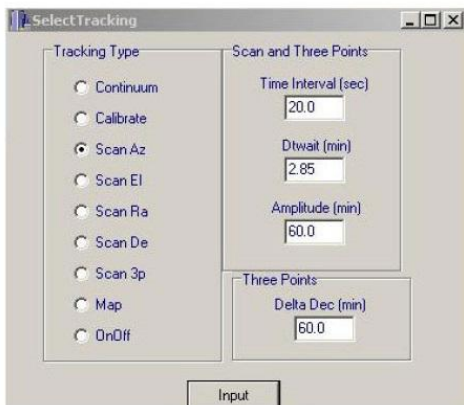


Figura 7 - Tipos de rastreio e tempo de duração de cada varredura

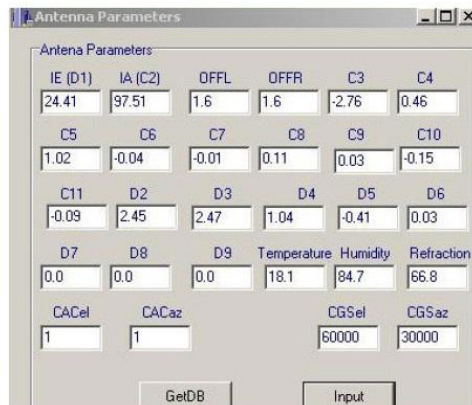


Figura 8 - Parâmetros da Antena

A partir do computador de aquisição podemos então inicializar a observação da fonte organizando os dados coletados tanto escritos como digitais.

Antes de começar a observação, é realizada a calibração de ruídos e carga à temperatura ambiente (Figura 9)

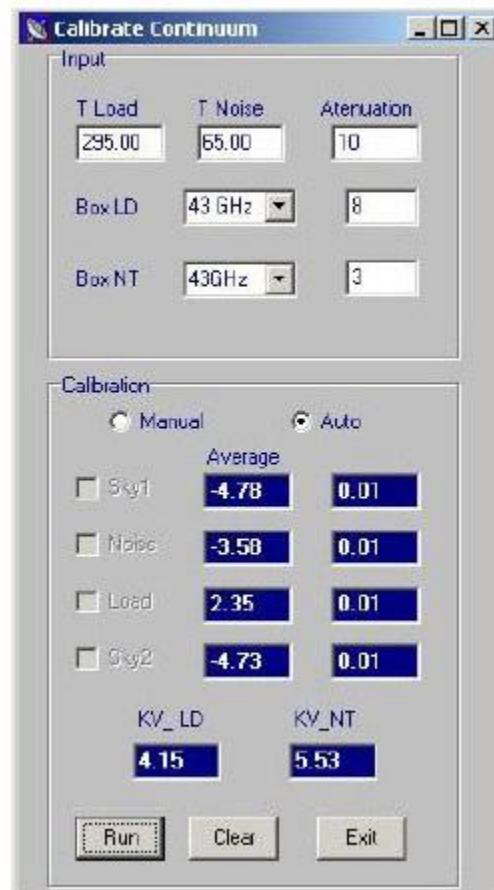


Figura 9 – Calibração.

Quando a observação é iniciada devemos verificar o nome da fonte, suas coordenadas, a posição da antena em azimute e elevação no momento que realizou o scan, o tempo sideral,

as constantes (parâmetros) da antena, o tipo de scan e o tipo de observação (no contínuo) (Figura 10).

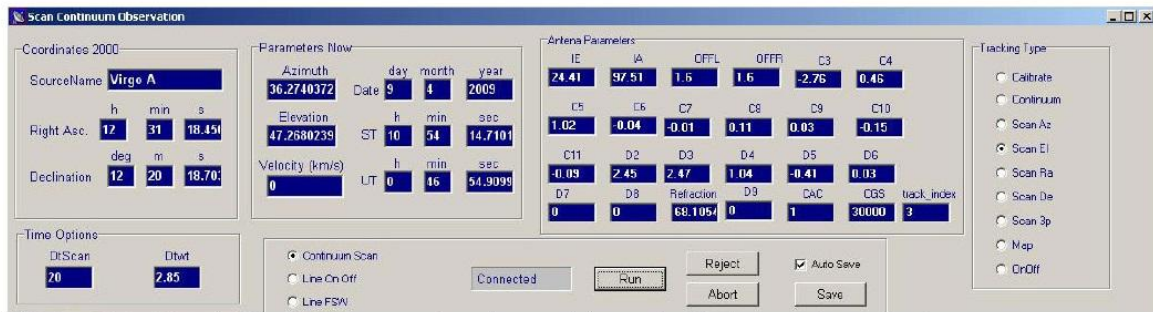


Figura 10 – Parte superior da tela do computador de aquisição de dados.

Por fim, verifica-se o total de scans para cada observação, a posição X0 , a temperatura máxima Tmax e HPMW.

Neste setor pode-se também acompanhar as varreduras já realizadas pela antena. A aba “Average Observation” representa a integração no tempo das observações afim de realizar uma média e construir uma gaussiana no final das observações. (Figura 11)

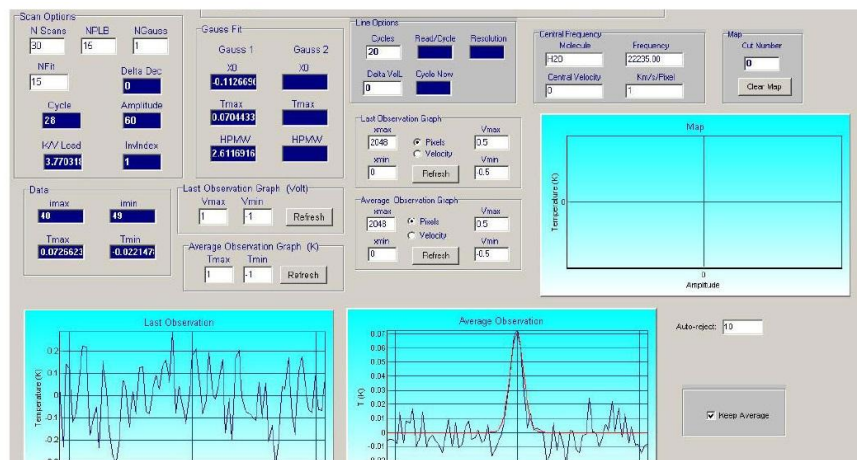


Figura 11 – Parte inferior do computador de aquisição de dados.

5.2 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS

As observações foram realizadas nas frequências de 22 e 43 GHz, sendo que em 22GHz a largura do feixe à meia potência é cerca de 4,2', com amplitude de 60' e em 43 GHz a largura do feixe à meia potência é cerca de 2,1', com amplitude de 30', sendo que as respectivas amplitudes são ajustadas antes de realizar as observações, possibilitando a verificação do apontamento da antena (Botti, 1990).

5.3 RÁDIO OBSERVATÓRIO DO ITAPETINGA

O rádio observatório do Itapetinga (ROI) foi inaugurado em 1974 na cidade de Atibaia, interior da cidade de São Paulo.

O rádio observatório conta com uma estrutura completa para aquisição e tratamento de dados de experimentos observacionais tanto em rádio astronomia quanto em experimentos diversos que abrangem várias áreas como física solar e VLF.

O ROI possui uma antena parabólica de 13,7 m de diâmetro e um refletor secundário de 1,10m de diâmetro. A antena é constituída de 72 painéis de alumínio, sendo que 24 constituem o anel interno de 5,3 m de diâmetro e os 48 restantes são externos.

O tipo da montagem do ROI é azimutal com foco Cassegrain. A antena encontra-se no interior de uma redoma (Figura 12) que a protege contra ações externas como ventos e chuva, e promove vantagens para o desempenho da observação como evitar deformações devido à variações de temperatura ; é constituída por 620 painéis triangulares dispostos de uma forma assimétrica.

Ainda sobre a redoma, o material utilizado da membrana é chamado de Esscolam V que é a base de um material chamado Tedlar com espessura de 0,75 mm. No foco da antena encontra-se uma corneta retangular, que desempenha o papel de detectar a componente vertical da polarização. Cada frequência possui uma corneta específica.



Figura 12 – Redoma do ROI

5.4 RESULTADOS PRELIMINARES

As observações foram feitas no Rádio Observatório do Itapetinga para as rádio fontes 0735+17, 3C 120 e 3C 273 com fins de aprendizado do aluno para o manuseio do software de aquisição de dados e aparelhagem da antena. O tratamento dos dados ainda não pôde ser feito, devido a sucessivas manutenções nos motores da antena e o pouco tempo de observação. O registro das três fontes observadas foi escrito na tabela padrão fornecida (Figura 11) pelo radio observatório onde aguarda o tratamento de dados no software “Drawspec”.

6 CONCLUSÃO

As lentes gravitacionais formam um grande método observacional da cosmologia atual. Com o estudo mais aprofundado das lentes gravitacionais podemos estudar vários pontos importantes para o entendimento do estudo da astrofísica como formação de galáxias e mapeamento da matéria escura. Vale ainda ressaltar sua importância para a pesquisa de exoplanetas.

Quanto ao estudo dos quasares, as lentes gravitacionais desempenham um papel importante pois com esse efeito natural podemos estudar quasares com *redshifts* mais acentuados.

Sobre os objetivos principais deste projeto no que diz respeito a Cosmologia; o estudo da expansão e idade do universo pelo “Time Delay” de PKS 1830-211 ainda não pôde ser concluído.

A cerca da parte observacional; embora os dados preliminares sejam , de fato, pouco conclusivos para os objetivos do trabalho no que diz respeito ao entendimento da cosmologia e até das lentes gravitacionais, esses dados serão vitais para o processo de aprendizado de tratamento dos dados. Foi possível aprender com êxito a manipulação preliminar do manuseio da aparelhagem analógica que controla os motores da antena e a utilização do software de aquisição de dados .

O levantamento de dados de PKS 1830-211 é ainda pequeno, porém com o decorrer do resto da pesquisa pode se esperar um histórico de PKS 1830-211 em todos os comprimentos de onda, principalmente em rádio.

7 BIBLIOGRAFIA

ASIMOV, I.**Cronologia das Ciências e das Descobertas**. 1.ed. Civilização Brasileira: Rio de Janeiro, 1996.

BURKE.F.B; SMITH.G.F. **An Introduction to Radio Astronomy**. 2.ed. Cambridge University Press: Cambridge,1998.

DJORGOVSKI, S.; MEYLAN, G.; KLEMOLA, A.; THOMPSON, D.J.; WEIR, W.N.; SARUP,G.; RAO, A.P.;SUBRAHMANYAN, R. E SMETTE, A. **A search for the optical/IR counterpart of the probable Einstein ring source PKS1830-211**. Mon.Not.R.astr.Soc, v.257,p.240-244,1992.

EDDINGTON.A.S; M.A; M.Sc; F.R.S.**Report on the relativity theory of gravitation**.The physical society of London,1920.

GERIN, M.; PHILLIPS, T. G.; BENFORD, D. J.; YOUNG, K.H.; MENTEN, K. M.; FRYE, B. **Redshifted Molecular Absorption Systems toward PKS 1830-211 and B0218+357: Submillimeter CO, C i, and H 20 Data.** *Astrophysical Journal Letters*, v.488,p.L31,1997.

JAUNCEY,D.L. et al. **An unusually strong Einstein ring in the radio source PKS1830-211.** *Nature*, v.352,p.132,1991.

LINDMAN, C. ; COURBIN, F. ; MEYLAN, G. ; BROADHURST, T. ; FRYE, B.;WELCH,W.J.W.,**A redshift of the gravitationally lensed radio source PKS 1830-211** ,*Ap.J.*, v.514,p.L57,1999.

LOVELL, J. E. J.; REYNOLDS, J. E.; JAUNCEY, D. L.; BACKUS, P. R.; MCCULLOCH, P. M.; SINCLAIR, M. W.; WILSON, W. E.; TZIOUMIS, A. K.; KING, E. A.; GOUGH, R. G.; ELLINGSEN, S. P.; PHILLIPS, C. J.; PRESTON, R. A.; JONES, D. L. **PKS 1830-211: A Possible Compound Gravitational Lens**, *Astrophysical Journal Letters*, v.472,p.L5,1996.

MATHUR, S.; NAIR, S. **X-Ray Absorption toward the Einstein Ring Source PKS 1830-211**, *Astrophysical Journal*, v.484,p.140,1997.

NARASHIMA, D.; KANEKAR, N.;CHENGALUR, J.N. **Tracking the Shadows through GMRT**, *J. Astrophys. Astr*, v.23,p.165-171,2002.

OMMEN, T. D.; JONES, D. L.; PRESTON, R. A.; JAUNCEY, D. L. **Time delay in the Einstein ring PKS 1830-211.** *Astrophysical Journal*, Part 1, v.444,n. 2,p.561-566,1995.

RAO, A.P. SUBRAHMANYAN,R. **1830-211 - A flat-spectrum radio source with double structure.** *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, v.231,p. 229-236,1988.

SCHNEIDER.P; EHLERS.J; FALCO.E.E. **Gravitational Lenses.** 2.ed. Springer, p.41-89,1999.

SHIMMINGS, A.J.;MANCHESTER,R.N.;HARRIS,B.J.**Accurate flux densities at 5009 MHz of 753 radio sources,***Aust.J.Phys.Astr.Suppl.*, 8,3,1969.

SUBRAHMANYAN, R.; NARASIMHA, D.; PRAMESH-RAO, A.; SWARUP, G. R. **Gravitational lensed images of a flat-spectrum radio core** ,*Mon. Not.R.astr.Soc.*, v.246,n.2,p.263,1990.

WALSH.D ; CARSWELL R. F ; WEYMANN R. J. **0957 + 561 A, B: twin quasi-stellar objects or gravitational lens?**, *Nature*, v.279, p.381-384,1979.

WIKLIND,T.; COMBES,F. **The redshift of the gravitational lens of PKS1830–211 determined from molecular absorption lines,***Nature*, v.379, p.139-141,1996.