

Construção de radiotelescópio para análise de micro-ondas solares em 12 GHz

Radio telescope construction for analysis of 12 GHz solar microwaves

César Hipolito Pinto¹, Norberto Aranha*²

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie, Astrofísica Solar, São Paulo, SP, Brasil.

²Universidade de Sorocaba, Programa de Mestrado Profissional em Processos Tecnológicos e Ambientais, Sorocaba, Paulo, SP, Brasil.

Recebido em 15 de Agosto, 2017. Revisado em 18 de Outubro, 2017. Aceito em 23 de Outubro, 2017.

Este trabalho trata da construção de um radiotelescópio, suas características e funcionamento. Todos os equipamentos, materiais, softwares e ajustes necessários são especificados passo a passo, para a análise de micro-ondas solares na frequência de 12 GHz. Na construção do protótipo utilizaram-se materiais de fácil aquisição e custo relativamente baixo, de modo a se ter um equipamento acessível e versátil. Para os ajustes e calibração do protótipo montado mediu-se, em ambiente fechado, a radiação emitida por uma lâmpada fluorescente. No segundo teste foi realizada a medida do transito solar. O equipamento mostrou-se de fácil montagem e calibração, o que permite sua utilização em sala de aula, laboratório e em ambientes abertos para detecção de radiação solar e de outros corpos celestes, bem como para a discussão de diferentes conceitos físicos.

Palavras-chave: Radiotelescópio, Radioastronomia, Micro-ondas solares.

This work deals the construction of a radio telescope, its characteristics and functioning. All the equipment, materials, software and adjustments necessary are specified step by step for the analysis of solar microwaves at the 12 GHz frequency. In the prototype construction, materials of easy acquisition and relatively low cost were used in order to have an affordable and versatile equipment. For the adjustments and calibration of the assembled prototype, the radiation emitted by a fluorescent lamp was measured in a closed environment. In the second test the measurement of the solar transit was made. The equipment showed up to be easy to assemble and calibration, allowing its use in the classroom, laboratory and in open environments for the detection of solar radiation and other celestial bodies, as well as for the discussion of different physical concepts.

Keywords: Radio Telescope, Radio astronomy, solar Microwave.

1. Introdução

A Astronomia, uma das áreas mais antigas da Física, tem sido tema de vários trabalhos [1, 2], porém, quando se fala de Astronomia e pesquisas espaciais, geralmente se remete às estrelas, planetas e, devido ao avanço da tecnologia, de aparelhagem sofisticada de altíssimo custo e sobre sua capacidade de captura do espectro ótico visível (conhecidos telescópios óticos) que são parte do espectro visível [3]. Sabe-se que grande parte dos objetos astronômicos emitem na faixa de frequência do visível, radio frequência e raios-x, dependendo da temperatura que se encontram [4]. Têm-se, com isso, as portas abertas para a radioastronomia, no que diz respeito à observação astronômica. Para este fim o equipamento apropriado é o radiotelescópio como, por exemplo, o desenvolvido pelo Observatório Haystack para servir como uma ferramenta educacional para universidades e escolas com objetivo de ensino da Física, Astronomia e Tecnologias de Rádio [5].

Abordar esses temas, assim como tantos outros conceitos da Física envolvendo tecnologia, tem sido um desafio constante. Segundo Moreira [6] “... o ensino da Física na educação contemporânea é desatualizado em termos de conteúdos e tecnologias, centrado no docente, comportamentalista, focado no treinamento para as provas e aborda a Física como uma ciência acabada, tal como apresentada em um livro de texto.” Portanto, propostas que contribuam para um melhor entendimento de mundo através da Física e traga o estudante para a posição de protagonista do processo de ensino aprendizagem é um dos objetivos a ser perseguido pois, conforme discutido por Borges “...qualquer que seja o método de ensino aprendizagem escolhido, deve mobilizar a atividade do aprendiz, em lugar de sua passividade...” [7].

Porque a escolha do tema Radioastronomia? Apesar do estudo sobre Astronomia ser antigo, segundo Lattari et al ‘A Radioastronomia, por ser uma ciência recente, muito pouco ou nada é discutida no nível do Ensino Fundamental e Médio, ou sobre suas aplicações e importância no desenvolvimento científico e tecnológico...’ [8].

*Endereço de correspondência: norberto.aranha@prof.uniso.br.

Visando contribuir com o ensino da Radioastronomia com o auxílio da tecnologia, a proposta deste projeto de desenhar um radiotelescópio é proporcionar aos professores, estudantes e entusiastas, a capacidade para desenvolver cada etapa do projeto por conta própria, seguindo instruções, pesquisando sobre o assunto em livros e na internet, estudando conceitos científicos e ajustando software conforme a necessidade do tipo de radiofrequência a ser estudada.

Este artigo abordará técnicas simples e de custo reduzido, com grau de eficiência e acurácia, de acordo com o material técnico utilizado, para a construção de um radiotelescópio. Será um excelente exercício de técnicas e conhecimentos científicos, que pode auxiliar radioastrônomos amadores nos detalhes das ciências celestes, assim como os fenômenos celestes interessantes como raios cósmicos e radioatividade.

O equipamento proposto será construído com materiais e dispositivos de fácil aquisição e de pouco investimento. Este permitirá a identificação de vários objetos no espaço e na Terra, uma vez que o mesmo responde à presença de qualquer corpo que possui temperatura e, consequentemente, emite ondas de rádio, como Sol e os seres vivos [9]. O aparelho poderá ser explorado inclusive em escolas de todos os níveis, auxiliando o professor a estimular nos estudantes o gosto pelas ciências, com demonstrações de princípios básicos da radioastronomia, abordando importantes conceitos e métodos.

2. Radioastronomia básica

As ondas eletromagnéticas são sinais que podem ser transmitidos através do espaço, uma vez que não necessitam de um meio físico para se propagar. Quando se observa o céu a noite, a olho nu ou utilizando um telescópio, os olhos recebem radiação das estrelas. Esta radiação visível é a luz emitida por elas [10, 11]

O astrônomo que observa as estrelas utilizando um radiotelescópio capta a radiação conhecida como “ondas de rádio” ao invés da luz visível. Equipamentos mais sofisticados são necessários para analisar essas ondas de rádio, uma vez que a olho nu seria impossível. Um observador de ondas de rádio pode montar uma imagem

do assim chamado “radio universo” de forma tão clara quanto qualquer objeto real presente no universo. O astrônomo na verdade observa diferentes frequências de radiação do espectro eletromagnético (Figura 1) [8, 11]

A radiação eletromagnética vinda do espaço que atravessa a atmosfera terrestre é decorrente de diferentes fontes, como estrelas, planetas, nossa própria galáxia e buracos negros. A vastidão do espaço ainda não é totalmente conhecida pelo homem, por isso novos objetos e novas fontes emissoras ainda podem ser encontrados usando a “janela” de ondas de rádio [8]. Galáxias são fortes emissoras de ondas de rádio, por isso a radioastronomia traz enorme progresso, revelando mistérios sobre galáxias conhecidas como quasares. Uma das qualidades mais importantes dos quasares são seus elevados níveis de radiação e rápida mudança em seu brilho. Quasares são 100 a 1000 vezes mais brilhantes que uma galáxia regular [12].

Diferentes fontes emitem diferentes tipos de ondas. O Sol, por exemplo, envia uma grande variedade de radiação eletromagnética em direção ao planeta Terra.

Diferentes faixas de regiões do espectro eletromagnético são denominadas de “janelas” como, por exemplo, a janela do visível na faixa de aproximadamente 375.000 a 1.000.000 GHz e a janela de rádio entre 0,015 e 1.300 GHz.

As frequências do espectro eletromagnético também podem ser vistas como comprimento de onda, segundo a relação:

$$c = \nu \cdot \lambda \tag{1}$$

onde λ é o comprimento de onda (metros), c a velocidade da luz no vácuo (m/s) e ν a frequência (Hz). Nota-se que o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência da onda: quanto maior a frequência menor o comprimento de onda e vice-versa. Quando se movendo no espaço, a velocidade da onda eletromagnética é fixa e igual à velocidade da luz no vácuo ($c \approx 300.000.000$ m/s).

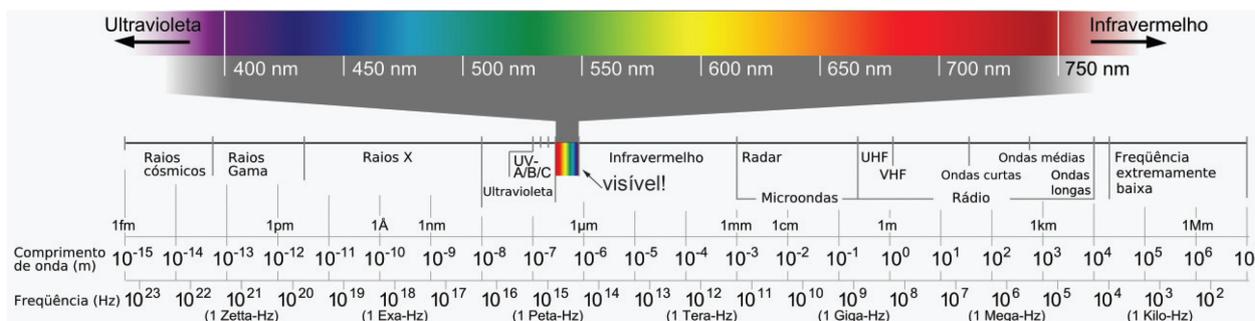


Figura 1: Ilustração de parte do espectro eletromagnético. Fonte: [11].

3. Capturando a radiação desejada

Em virtude da “cegueira” do olho humano para ondas de rádio, não se pode fazer observações a olho nu. Por isso é necessário utilizar aparelhos específicos para “visualizar” através da janela de rádio.

O comprimento de onda em radioastronomia é milhares de vezes maior que a janela do visível. Isso coloca o astrônomo em posição delicada porque a energia diminui significativamente conforme o comprimento de onda aumenta. Isso aumenta a dificuldade em alcançar bom poder de resolução, comparado com os telescópios óticos convencionais. Para se ter uma ideia, um telescópio ótico com diâmetro de 5 metros tem resolução aproximadamente 36.000 maior que um radiotelescópio de 78 metros de diâmetro trabalhando em 300 MHz [13].

A região do espectro visível (ótico) foi por muito tempo a única parte do espectro eletromagnético que astrônomos tiravam proveito para estudos do Cosmos. Por volta de 1932, Karl Jansky, estudando interferências causadas por tempestades descobriu, por acaso, um tipo de ruído que era enviado pela nossa galáxia, Via Láctea. Desde então, a radioastronomia tem-se desenvolvido fortemente como importante ramo da Astronomia [14].

Na radioastronomia os sinais recebidos do espaço são geralmente muito fracos desta forma, intensidades de fontes cósmicas são usualmente medidas em Janskys (Jy) [14].

Considere uma onda plana de uma fonte bem distante vinda em direção a Terra. Se a energia por unidade de frequência passa por uma área de um metro quadrado, mantida perpendicularmente à linha de visada da fonte, for de 10^{-26} watts, então é dito que a fonte tem um brilho de 1 Jy ($1\text{Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2\text{Hz}$).

Para uma fonte extensa, não há uma única direção que assegure o metro quadrado, logo este tipo de fonte é caracterizado por um brilho $I(\nu, T)$, chamado de intensidade específica monocromática do corpo negro de temperatura T . A energia flui na Terra por unidade de área (Figura 2), por unidade de tempo, por unidade de ângulo sólido, por unidade de frequência, portanto, a unidade Física de brilho é dada por: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$.

Para se ter uma ideia, um celular na lua emitindo 1 Watt em todas as direções, teria seu sinal medido na terra de $5 \times 10^{-19} \text{ W/m}^2$, para um astrônomo na terra este sinal é identificado como uma fonte muito forte. Um outro exemplo, um celular na lua operando na faixa de 200kHz corresponde a um sinal de 250 jansky [14]. Nas observações em radioastronomia, um sinal forte de radio fica em torno de dezenas de Janskys e sinais fracos da ordem de milli Jansky (10^{-3} Jy) ou menos.

O radiotelescópio, foco deste trabalho, é desenhado para estudantes e observadores amadores identificarem uma faixa de frequência específica. Para demonstrar a utilidade da configuração do equipamento, será medida a intensidade de temperatura do Sol representado pela faixa de frequência. Também pode discutido como medir

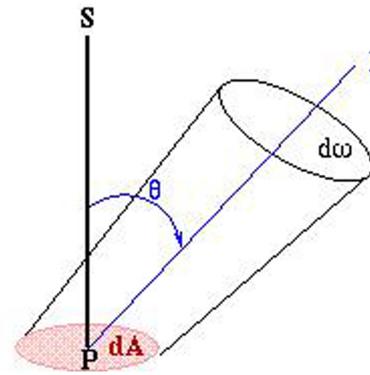


Figura 2: Intensidade de radiação em um elemento de área. Fonte: [15].

a densidade de fluxo do sol e correlaciona-la com dados conhecidos, isto é, em situações onde anomalias como tempestades solares podem ser detectadas pelo equipamento, efeitos de comparação com padrões já existentes podem ser discutidos. Modificação nas técnicas de observação irá proporcionar melhora na sensibilidade do equipamento para detectar outros pontos de radiação micro-ondas, como Saturno e braços da galáxia.

O sinal recebido pela antena do radiotelescópio encontra-se na faixa de 10,7 à 12 GHz, o qual é transformado pelo LNB (*Low noise block converter*) para a faixa de 950 à 2 GHz. O Sol emite ondas de rádio na faixa de micro-ondas que é convertido pelo LNB para faixa de análise. Essa variação é analisada graficamente pelo *software* Skypipe [16].

A radiação estudada neste trabalho é a radiação térmica descrita pela Lei de Planck, isto é, a radiação emitida pelo radiador perfeito, assim chamado corpo negro [17, 18]. Essa radiação decorre da agitação térmica das partículas, em que o comprimento de onda corresponde à intensidade da emissão máxima, diminuindo proporcionalmente com o aumento da temperatura do corpo em estudo.

A Figura 3 apresenta o espectro de emissão de um corpo negro em função do comprimento de onda. Cada curva corresponde a uma determinada temperatura do corpo e, à medida que esta temperatura aumenta, a curva vai se estreitando e seu pico máximo aumenta de intensidade e se desloca para menores comprimentos de onda [19].

Este efeito foi estudado por vários pesquisadores da época [17, 20], entre eles pode-se destacar: Stefan-Boltzmann, cuja lei é expressa pela relação $W = \sigma T^4$, onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$) e T a temperatura absoluta; Wien, que propôs uma relação entre o comprimento de onda correspondente à máxima emissão (corresponde ao pico de cada curva da Figura 3) da radiação eletromagnética de corpo negro e sua temperatura segundo a expressão:

$$\lambda_{max} = \frac{0,0028976}{T} \quad (2)$$

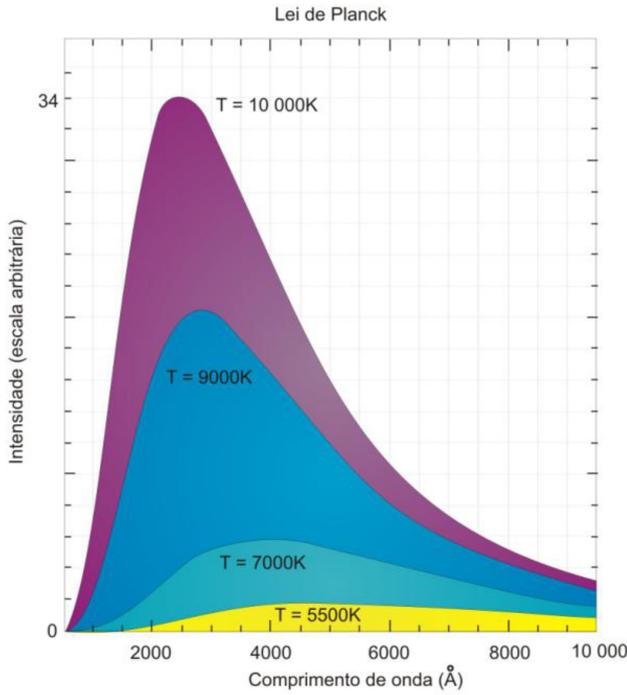


Figura 3: Curvas de emissão de um corpo negro em diferentes temperaturas. Fonte: [15].

com a temperatura T dada em Kelvin e $\lambda_{m\acute{a}x}$ em metros; e Rayleigh-Jeans que expressou a densidade de energia (ρ_T) da radiação do corpo negro de comprimento de onda λ como

$$\rho_T(\lambda) = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT \tag{3}$$

sendo T em Kelvin (K), λ em metros (m) e a constante de Boltzmann $k = 1,3806503 \times 10^{-23}$ J/K. Esses pesquisadores tentaram encontrar uma lei que explicasse o resultado experimental (representado pelas curvas da Figura 3) obtido quando um corpo é aquecido, porém foi Planck que com sua teoria conseguiu explicar corretamente este resultado.

Pela lei de Planck, todo e qualquer corpo com uma temperatura acima do zero absoluto emite radiação conhecida como radiação do corpo negro [17, 20], dada por:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{(e^{h\nu/kT} - 1)} \tag{4}$$

onde h é a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), k a constante de Boltzman, T é a temperatura absoluta e ν é a frequência em Hz. Para uma radiofrequência típica de 1000 MHz tem-se a relação $h\nu/k = 0,048$, então:

$$e^{h\nu/kT} \approx 1 + \frac{h\nu}{kT} \tag{5}$$

$$B(\nu) \cong \frac{2\nu^2}{c^2} = \frac{2kT}{\lambda^2} \tag{6}$$

Esta aproximação para o espectro de Planck é chamada de aproximação de Rayleigh-Jeans [17], e é válida para a maior parte da faixa de radio, dessa forma tem-se

$$T = \frac{\lambda^2}{2k} B(\nu) \tag{7}$$

onde $B(\nu) = I(\nu, T)$ é a intensidade específica monocromática do corpo negro de temperatura T da fonte emissora. Verifica-se que no geral a temperatura de brilho T não tem relação com a temperatura física da fonte [17].

4. Importância da antena

Antenas para radiotelescópios vêm em diferentes formas e tamanhos. Em radioastronomia, uma característica essencial da antena é sua capacidade de distinguir sinais vindos de diferentes direções. Esta é conhecida como “antena direcional”, isto é, significa medir com precisão a “focalização” da antena na direção da radiação a ser estudada, em outras palavras, “direcional” significa coletar mais energia da radiação para o receptor do telescópio [14, 21].

Cada antena tem seu padrão de radiação próprio [22]. A Figura 4 mostra um exemplo do padrão de radiação de uma antena parabólica.

Para um mesmo comprimento de onda, o lóbulo principal é diretamente proporcional ao tamanho da antena. Quanto maior a antena maior o lóbulo principal. Esta é a razão pela qual as antenas de radiotelescópios serem muito grandes, pois isto torna o telescópio mais direcional.

O ganho é outra característica fundamental que descreve o quanto de intensidade de sinal está sendo transmitida da fonte. A unidade utilizada para expressar este ganho é o Decibel (dB) [23], que é uma relação logarítmica entre duas potências

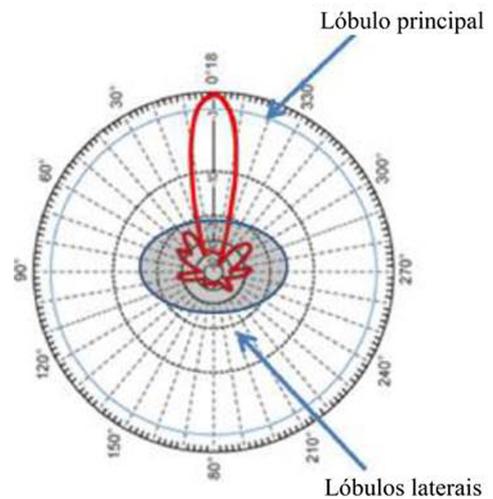


Figura 4: Padrão de radiação de uma antena parabólica. Fonte: [22]

$$P_{dB} = 10 \log_{10}(P_2/P_1) \tag{8}$$

ou entre duas intensidades

$$I_{dB} = 10 \log_{10}(I_2/I_1) \tag{9}$$

onde P_2 (ou I_2) e P_1 (ou I_1) correspondem, respectivamente, à potência (intensidade) medida e a potência (intensidade) de referência.

Uma antena com 3 dB de ganho significa que o sinal recebido é duas vezes mais significativo que uma antena com 0 dB [24]. A antena comercial da Sky ou DirectTV, por exemplo, tem entre 20 e 25 dB de ganho. A parabólica é feita em alumínio e o sinal estudado é refletido pela parábola e capturado pelo dispositivo chamado “*feedhorn*”, como ilustra a Figura 5.

Com o objetivo de compensar as perdas de sinal que podem ocorrer nos cabos coaxiais e dispositivos conectados à antena, é feito uso de um circuito LNA (*Low Noise Amplifier*) para recuperar a intensidade e “*buffering*” de sinal.

5. Montagem do radiotelescópio

Radioastronomia é o fundamento científico para estudos do espaço exterior, isto é observar e analisar a energia de rádio frequência que é emitida pelos corpos celestes. Em radioastronomia os sinais que chegam são muito fracos, portanto, os equipamentos dessa área devem ser capazes de medir esses sinais e separa-los de outras emissões que eventualmente possam existir durante a fase de coleta de dados. Mesmo que o radiotelescópio proposto neste trabalho não seja capaz de medidas muito exatas, suas características básicas e fundamentos teóricos são os mesmos dos grandes aparelhos existentes hoje em dia. A tecnologia básica envolvida nos radiotelescópios e sua instrumentação são bastante simples, isto permite realizar o projeto com dispositivos baratos e de forma eficiente [26]. A construção segue um padrão bastante simples, mas



Figura 5: Radiação na antena parabólica. Fonte: [25].

exige alguns conceitos prévios de eletrônica e informática, além do manuseio de materiais metálicos.

Neste artigo será mostrado, passo-a-passo, as etapas para a construção do radiotelescópio

As Figuras 6 a 9 apresentam as fotos das peças necessárias para a montagem do protótipo. A seguir são apresentados os materiais necessários para a construção do protótipo, facilmente encontrados em lojas de material elétrico ou eletrônico São eles:

- Antena parabólica de 90 cm de diâmetro (mesma antena de TV a cabo): tem o propósito de captar micro-ondas na faixa de 12 GHz
- Um LNB (low noise block converter): tem a função de receber o sinal na frequência de banda KU e convertê-lo para banda L, isto é, de 12GHz para a faixa de 950 a 2000 MHz.
- Medidor de sinal de satélite (SATFINDER): indica a intensidade do sinal de micro-ondas que chega até a antena.
- Cabo coaxial.



Figura 6: Circuito LNA em série (Low Noise Amplifier).



Figura 7: Aparelho Low Noise Block Converter.



Figura 8: Aparelho SatFinder.



Figura 9: Antena Parabólica e tripé de sustentação.

- Sintonizador de frequência USB: coleta de dados e processamento no PC.
- Amplificadores de Sinal (LNA – Low Noise Amplifier): usado para reforço de frequência e “buffering” de sinal.

A seguir as etapas para a construção do radiotelescópio.

1. Montagem do disco parabólico junto ao LNB. Neste projeto utilizou-se LNB (Figura 10) com duas saídas coaxiais, uma para localizador de satélite e a segunda para sintonizador de frequência USB.
2. Dois cabos coaxiais com aproximadamente 2m cada para conectar as saídas do LNB. Um cabo deve ser conectado no canal “antena” do localizador de satélite (SATFINDER), o segundo no sintonizador de frequência USB.
3. No SATFINDER, conector REC, deve-se inserir uma fonte de alimentação de 13~18 VDC (ou duas baterias de 9 V em série).
4. O sintonizador USB deve ser ligado no PC onde serão feitas as configurações dos Softwares SDRSharp e SKYPIPE View [16, 24]



Figura 10: Conexões do LNB.

A Figura 11 a seguir mostra o dispositivo pronto.

5.1. Aplicativos

Para o funcionamento do radiotelescópio é necessário instalar no computador alguns aplicativos, que têm por função capturar os sinais já digitais e transformá-los em gráficos apropriados.

5.1.1. SDRSharp

O “SDRSharp” – SDR (Software Defined Radio) é um software gratuito. O custo somente está associado a aquisição do “Dongle” (sintonizador de frequência USB). O SDR é uma implementação de sistema de comunicação de rádio onde os componentes físicos, que são normalmente dispositivos eletrônicos como moduladores, amplificadores, mixers e detectores, são substituídos por um software instalado em um computador dedicado. Este software equivale a um rádio comum com as suas funções e características físicas [24].

Uma quantidade considerável de processamentos de sinais é realizada por processadores de propósito geral do que em hardware especial dedicado. Este tipo de desenho produz um “radio” capaz de trabalhar na faixa de frequência de 50Hz até 2,5 GHz sem a necessidade de alterar qualquer tipo de hardware. O SDR também permite diferentes protocolos de rádio, acessando simplesmente bibliotecas específicas [27].

O que segue é um método de medir a intensidade de um sinal de rádio (a antena recebe em micro-ondas, que é uma faixa de sinal de rádio) de acordo com uma faixa de operação, por exemplo, AM, FM ou CW. A habilidade de medir a intensidade de sinal é extremamente valiosa nos estudos de sinais de rádio que está a longa distância da fonte geradora.

No SDRSharp não há como recuperar a intensidade do sinal de onda da portadora [24]. Porém, é possível converter o nível de sinal da portadora para áudio, cuja amplitude varia com o nível de sinal, usando a função “Beat Frequency Oscillator” (BFO), que está disponível no SDRSharp quando se utiliza o “sintonizador” CW (Figura 12). O sinal de áudio da saída, (som característico emi-



Figura 11: LNB conectado ao Satfinder.

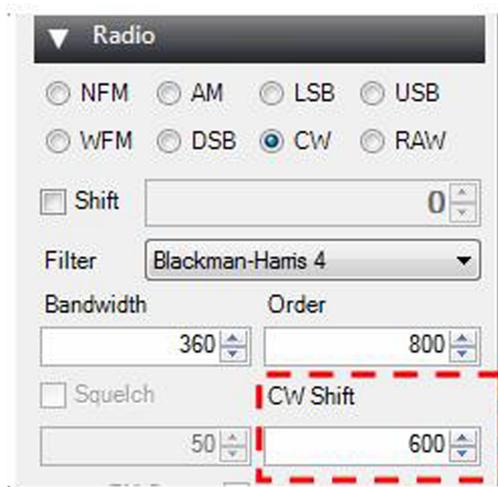


Figura 12: Vista da aba “radio” na janela principal do aplicativo SDRSharp.

tido pela faixa de frequência) pode ser configurado para diferentes frequências no painel do SDRSharp, mas neste caso, para os testes preliminares, foi usada a frequência padrão de 600 Hz (CW Shift – 600, Figura 12).

Filtro de banda – A largura de banda deve ser estreita, somente algumas centenas de Hz a cada lado da portadora, com objetivo de reduzir o ruído de fundo e, dessa forma, fazendo o BFO (“Beat Frequency Oscillator”) ser dominante na escuta (Bandwidth = 360 Hz, Figura 12). Este passo é importante porque será utilizado o Skypipe para converter o sinal de áudio para dados gráficos, isto é, o áudio gerado no SDRSharp será enviado via cabo virtual para o Skypipe e este irá gerar um gráfico cartesiano da variação deste mesmo áudio ao longo de certo período de tempo.

Controle de ganho automático – A função AGC não deve ser ativada no painel virtual, porque nos testes iniciais será usada configuração CW de sinal. O “Audio Filter” deve ser habilitado conforme Figura 13.

Zoom FFT – A opção “Zoom FFT” deve ser habilitada conforme Figura 14. A visibilidade da frequência intermediária (IF) é importante para o ajuste fino do sinal a ser medido.

A Figura 15 mostra o sinal de frequência da portadora no centro da banda IF.

O áudio do BFO é mais puro com sinal CW centralizado na faixa IF. Produzindo deste modo uma medida precisa e estável.

Configurando a medida de frequência – Este procedimento pode ser realizado digitando-se a frequência desejada na parte superior do SDRSharp ou usando o cursor vermelho. Neste trabalho fixou-se a frequência em 1,2 GHz e a largura de banda de 2MHz, dessa forma diminui-se a incidência de ruído no sinal que pode comprometer resultados da coleta de dados. Nesta etapa é desejado monitorar uma determina faixa de frequência,

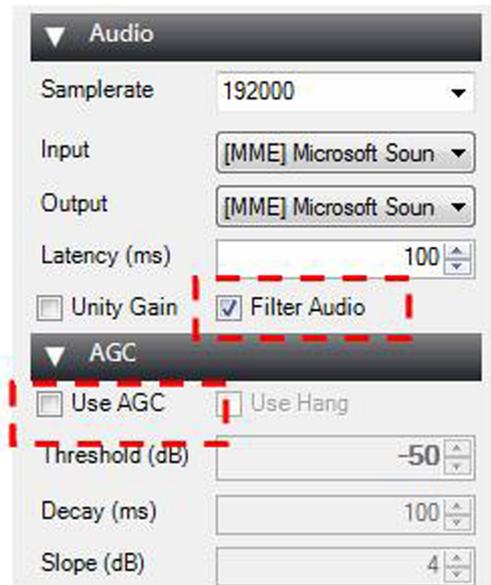


Figura 13: Vista da aba “áudio” na janela principal do aplicativo SDRSharp.

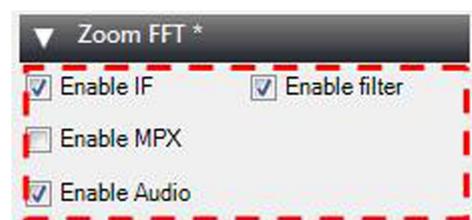


Figura 14: Vista da aba “Zoom FFT” na janela principal do aplicativo SDRSharp.

mas com restrição a direita e a esquerda do ponto central (Figura 16).

Configurando parâmetros do Dongle USB – Para configurar o “Dongle”, basta acionar o botão “configure” ao lado do ajuste de frequência. O “Offset Tuning”, “RTL AGC” e “AGC Tuner” devem estar desmarcados (Figura 17). O “RTL Gain” ou “RF Gain” são opções de ajuste conforme apresentado na Figura 17 e deve ser ajustado apropriadamente, alinhado com o sinal a ser medido, isto é, alto o suficiente para uma boa relação sinal-ruído, mas não muito para não sobrecarregar o dispositivo com sinais muito fortes. O “frequency correction” (parte inferior da Figura 17) é ajustado para compensar cada modelo de “Dongle”. A próxima etapa é configurar a placa de som do sistema computacional.

Configurando a Placa de Som – Quando a saída do headfone está configurada, deve-se observar as Figuras 18 e 19.

O nível de saída deve ser ajustado de modo a não saturar o BFO. O nível de saída do headfone deve ser ajustado para aproximadamente 30%. Selecione para aproximadamente 50% a opção “cable input”, mas verifique que não saturar para sinais mais fortes.

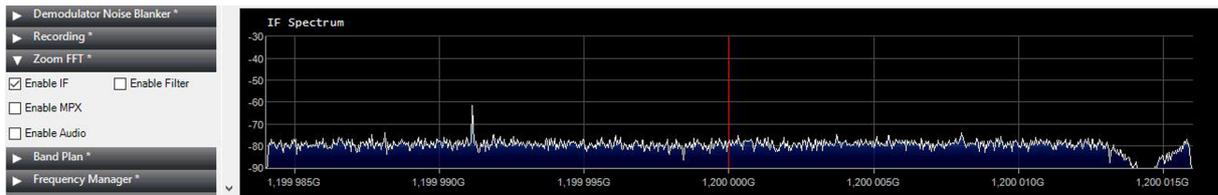


Figura 15: Gráfico IF Spectrum obtido ao se habilitar “Enable IF”.

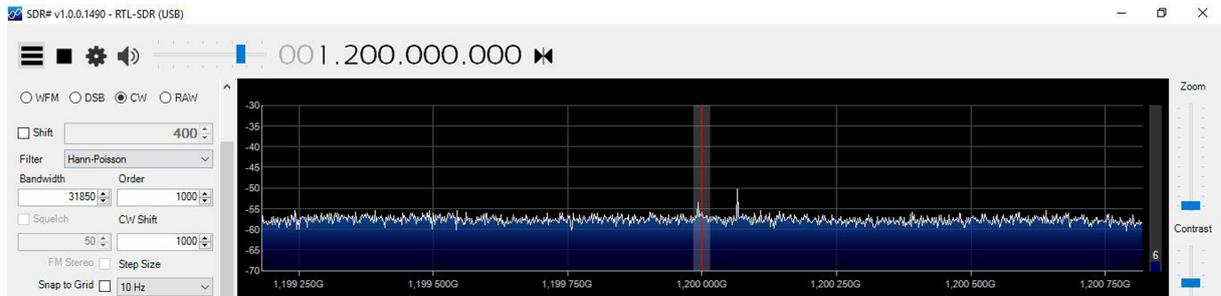


Figura 16: Vista da janela principal do aplicativo SDRSharp, onde é apresentado o espectro de frequência.

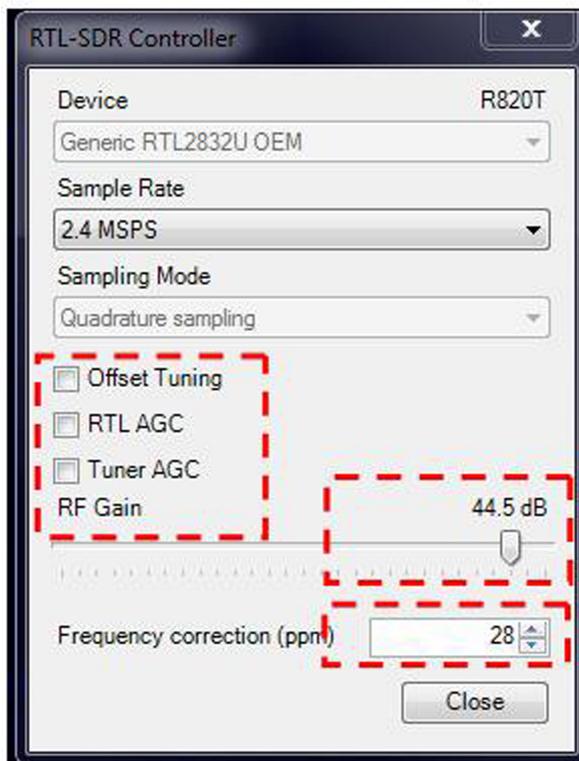


Figura 17: Vista da aba “RTL-SDR Controller” na janela principal do aplicativo SDRSharp.

5.1.2. SkyPipe

Radio SkyPipe é um programa muito popular para coleta de dados e representação gráfica de sinais, e também é um software livre [16]. Este programa nesta etapa do projeto é para validar as configurações para que trabalhe em conjunto com o Dongle USB e o SDRSharp.

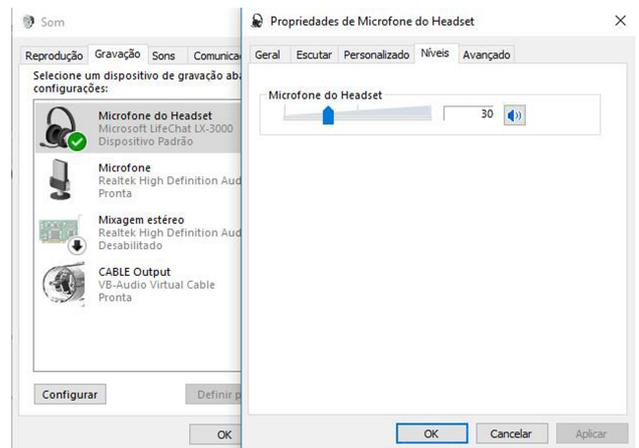


Figura 18: Vista da aba “RTL-SDR Controller”, após acionar “configure” na janela principal do aplicativo SDRSharp.

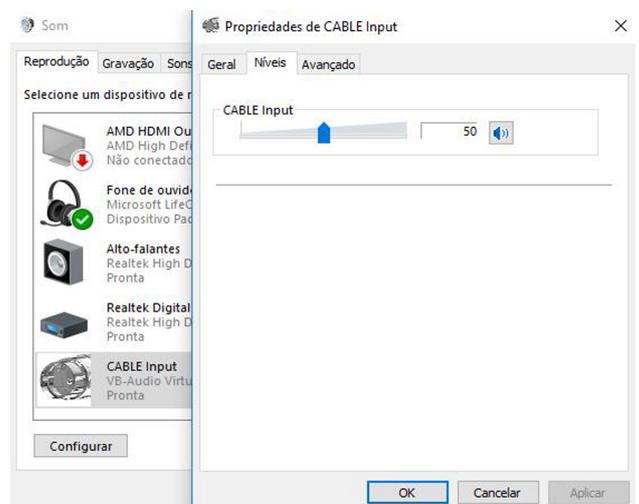


Figura 19: Vista da opção “som” na janela de configuração do Windows 10.

Configurações do SkyPipe – Na aba “Options”, a partir da janela principal, seleciona-se a aba “sound”, em seguida o dispositivo de som adequado. Neste caso é “Line In” ou “Cable In”, dependendo da placa de som instalada no computador, conforme Figura 20. Em seguida, na aba “data source”, seleciona-se “sound card left” ou “right” (na versão gratuita somente um canal é permitido). Veja Figura 21. O período de captura é ajustado na aba “Timing” e usualmente utilizam-se os valores 0,1 e 1 segundo.

O gráfico em tempo real pode ser melhor configurado fazendo-se ajustes de apresentação na aba ‘Strip Chart’ (Figura 21).

A prioridade do programa SkyPipe é configurada na aba “Priority” a partir da janela principal. Pode ser necessário ajustar para “high” ou “real time” caso se esteja usando um computador de baixa performance. Como o SDRSharp é um aplicativo que usa muitos recursos,

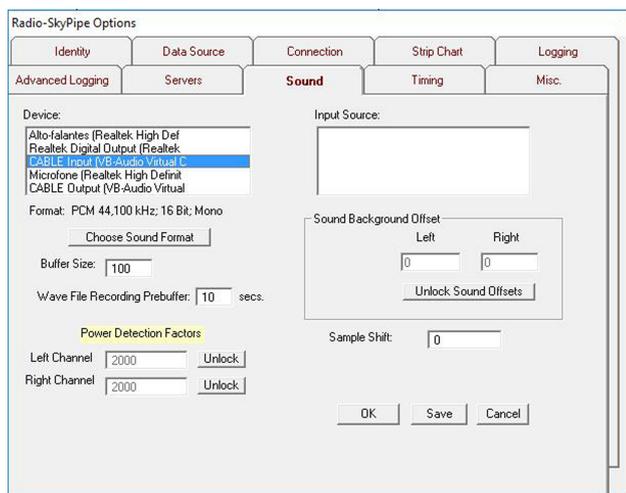


Figura 20: Vista da janela “Radio-SkyPipe Options”, onde é selecionada a “entrada” de som correta.

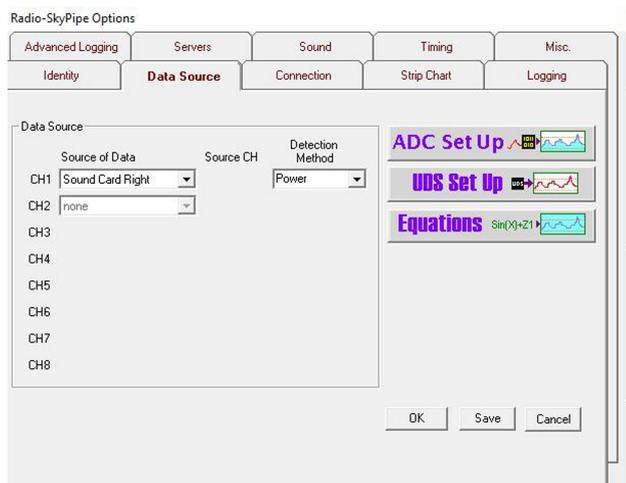


Figura 21: Vista da janela “Radio-SkyPipe Options - Data Source”, onde é selecionada “Channel” para placa de som.

dessa forma o SkyPipe pode não “plotar” corretamente o gráfico conforme a Figura 24, isto é, nível de sinal de áudio versus tempo, cuja leitura Skypipe apresenta Temperatura em Kelvin por Tempo T em horas.

6. Medidas com o radiotelescópio

O primeiro teste com o protótipo montado neste trabalho foi realizado medindo-se a radiação emitida por uma Lâmpada fluorescente de 20 Watts. Para este teste foi utilizada a montagem do sistema como descrito anteriormente, sendo a antena parabólica posicionada a uma distância de aproximadamente 2 m de uma lâmpada fluorescente como mostrado na Figura 22. No primeiro teste dessa montagem a antena permaneceu fixa e as medidas foram realizadas com a lâmpada nas condições desligada e ligada. Na sequência, a antena parabólica foi transladada em frente da lâmpada ligada, simulando o movimento solar.

No segundo teste, o objetivo foi captar a radiação solar. Para este fim, a antena parabólica foi posicionada numa área externa. Com o auxílio de uma bússula, localizou-se o leste (Sol nascente), é estabelecido um angulo de inclinação (neste caso o angulo utilizado foi de 85° em relação a base da antena) e a antena apontada para leste onde o Sol incidia durante todo o dia (Figura 23). Uma vez fixada a antena, esta ficou por um período de 3 horas recebendo a incidência da radiação solar.



Figura 22: Montagem da antena parabólica (A) direcionada para lâmpada fluorescente.



Figura 23: Montagem da antena parabólica voltada para leste para captar a radiação solar.

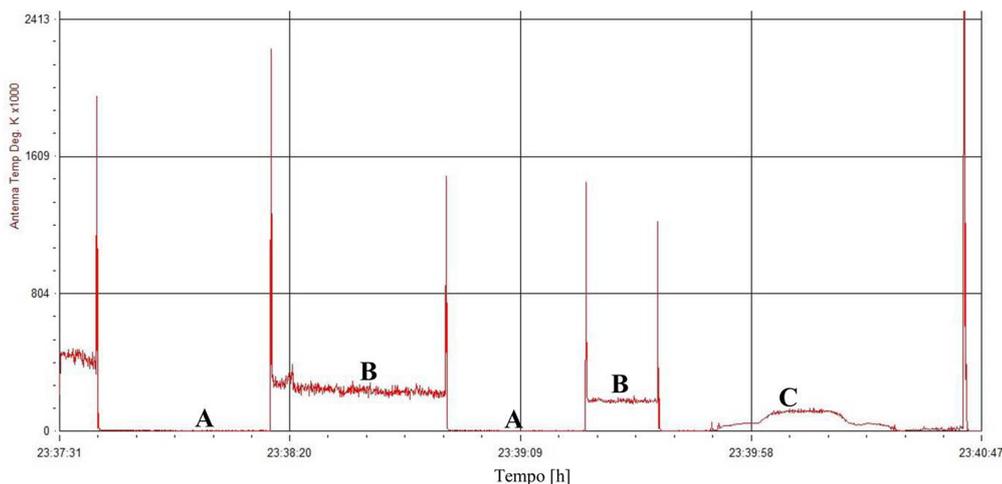


Figura 24: Gráfico de temperatura (Kelvin) versus tempo (horas) gerado pelo SkyPipe, a partir da luminosidade gerada pela lâmpada fluorescente, quando desligada (A), ligada (B) e com a antena parabólica em movimento (C).

7. Resultados e discussão

A montagem do equipamento seguiu o procedimento conforme descrito nos itens anteriores. No início dos testes foram acionados os sistemas SDRSharp e configurado conforme apresentado no item 5.1.1, adicionando funcionalidades do SkyPipe para medida de sinal-ruído gerado no SRDSharp. Posicionando-se a antena diretamente em frente da fonte emissora (no caso a lâmpada florescente, Figura 22) realizaram-se os testes ligando e desligando a lâmpada. Quando desligada não há radiação e o sistema de captação indica ausência de sinal (Figura 24-A). Com a lâmpada ligada, o sistema capta a radiação emitida e indica um sinal de intensidade praticamente constante (Figura 24-B).

Em outro teste realizado com a lâmpada ligada, fez-se o transito da antena pela fonte emissora, num comportamento semelhante ao transito solar. Neste caso têm-se como resposta a curva da Figura 24-C.

O SkyPipe propicia visualização em tempo real do transito solar pela antena conforme o resultado do segundo teste realizado, cuja curva pode ser vista na Figura 25, comprovando o funcionamento do radiotelescópio. Neste gráfico observa-se o seguinte processo: o Sol nasce de leste para oeste, a antena parabólica é posicionada em

uma direção que ficará no caminho do transito solar, com os raios solares incidindo sobre o prato da antena a mesma irá capturar micro-ondas na faixa de 12 GHz e os sistemas secundários (amplificadores, LNB, SDRSharp e Skype) transformam este sinal analógico para digital que será plotado como apresentado na Figura 25.

Os gráficos das Figuras 24C e 25 são semelhantes. Nos dois casos as curvas representam a variação da intensidade da radiação incidente captada pela antena parabólica.

Na Figura 25 pode-se ver claramente o momento onde há menor captura da radiação solar, entre 00:15:59 até 00:18:58; em seguida ocorre o aumento gradativo na intensidade da radiação por micro-ondas até 00:21:57 e, a partir deste ponto, o sinal diminui até o patamar inicial. Tem-se, portanto, o transito solar sobre a antena representada pela curva da Figura 25.

8. Proposta de atividades

Os experimentos são uma boa estratégia para abordar os temas da Física de uma forma mais descontraída e instigante. O radiotelescópio proposto permite tratar não só do assunto radioastronomia como também de questões

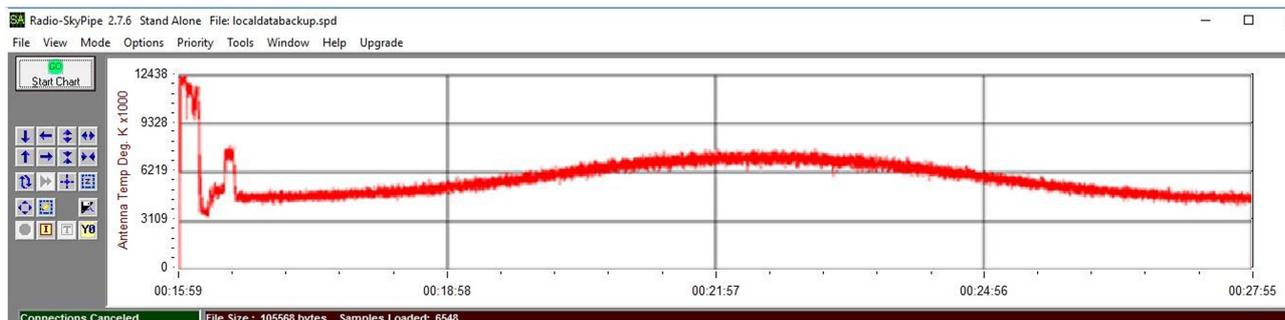


Figura 25: Gráfico gerado pelo transito solar captado pela antena parabólica. Sinal ruído em Kelvin por tempo em horas.

básicas da Física e eletrônica. O aparelho pode ser explorado em escolas de todos os níveis, para estimular alunos e professores o gosto pelas ciências com demonstrações de princípios básicos da radioastronomia, eletrônica e sistemas computacionais.

A partir de oficinas pode-se discutir, por exemplo, o conteúdo de Eletromagnetismo cuja complexidade conceitual e teórica varia à medida que se aprofunda os conceitos. Neste caso sugerimos a realização de oficinas, com uma abordagem mais simples para o Ensino Fundamental, focando a relação Sol - Terra e a radiofrequência, por se tratar de um fenômeno mais simples de se explicar, sem o emprego de equações e cálculos matemáticos; outra, mais detalhada, para ser aplicada ao Ensino Médio, trabalhando os conceitos de espectro eletromagnético, radiação do corpo negro, eletrônica e computação.

A aplicação de oficinas tem sua importância na fala de Valadares, onde afirma que “*O objetivo das oficinas é criar um verdadeiro ateliê científico e tecnológico, um ambiente instigante onde os participantes se sintam estimulados a trabalhar em equipe e a desenvolver novas idéias, associando conceitos básicos a projetos práticos.*” [28].

O objetivo geral dessas atividades é desenvolver nos educandos condições para a participação efetiva na realidade social, percebendo a Física como parte do conhecimento acumulado pelo gênero humano, com papel central na cultura contemporânea e com aplicação em todas as áreas da atividade humana, ajudando-os a pensar abstratamente, a argumentar e justificar procedimentos com coerência, lógica e clareza.

Como objetivos específicos tem-se, com este trabalho, a possibilidade de desenvolver habilidades do processo científico como da observação, comunicação, medida e coleta de dados, inferência, previsão, construção de modelos, interpretação de dados, controle de variáveis, capacidade de definição operacional e investigação.

Esta proposta está em sintonia com as ideias de Wieman sobre a aplicação de metodologias ativas para melhoria do ensino de Física, segundo o qual “*a prática deliberada envolve o aprendiz na resolução de um conjunto de tarefas ou problemas que são desafiadores, mas factíveis, viáveis, e que envolvem explicitamente a prática de raciocínio e desempenho científicos. O professor, ou mediador, oferece incentivos apropriados para estimular os alunos a dominar as competências necessárias, assim como uma contínua realimentação para mantê-los ativos.* (p. 294)” [29].

Além desses pontos, pode-se ressaltar o interesse pelo uso de instrumentos tecnológicos que auxiliem na realização de alguns trabalhos, sem anular o esforço da atividade compreensiva, a utilizar de conceitos físicos e matemáticos na resolução de situações – problema (construção do radiotelescópio e análise da Física envolvida), e a possibilidade de utilizar a Física no cotidiano, envolvendo-os em fatos reais.

Um exemplo de “plano de aula”, proposto para 4 aulas semanais, pode envolver os seguintes tópicos:

- Teoria simplificada do eletromagnetismo.
- Propagação de onda.
- Morfologia e comportamento da Ionosfera e Magnetosfera.
- Sol e seu comportamento, manchas solares, *flares*, emissão de Raios-X, micro-ondas.
- Distúrbios Ionosféricos.

Para completar os conceitos discutidos em sala de aula, propõe-se a realização de uma oficina (ou laboratório) com os seguintes tópicos:

- Eletrônica básica - Amplificado operacional, interface de computador.
- Construção de instrumentos (tripé), desenho de circuitos.
- Uso de internet para acesso de informações relevantes.
- Planejamento de projeto
- Trabalho em grupo.
- Técnicas observacionais, Ascensão reta e declinação.
- Geração de dados e manipulação.
- Análise de dados.
- Uso de software de processamento digital.
- Matemática simples.
- Organização de dados e formulação de conclusões.
- Apresentação de resultados.

Como estratégias de ensino, as aulas podem ser realizadas nas salas de aula e as atividades extraclasse na biblioteca e no laboratório de Física ou oficina disponíveis na escola. Nas aulas poderão ser utilizados retroprojetor, projetor multimídia e equipamentos do Laboratório de Física, a fim de demonstrar suas aplicações práticas.

Avaliação:

- Apresentação para professores mentores e diretoria da escola;
- Participação em feiras e eventos;
- Debates;
- Observação do desempenho dos alunos na sala de aula e nas atividades propostas de forma contínua;

Em complementação às oficinas são apresentadas, a seguir, três atividades práticas programadas para a utilização do protótipo do Radiotelescópio.

Atividade 1: Medida de intensidade luminosa. A Figura 26 apresenta uma montagem simples onde a antena parabólica é posicionada diretamente na frente de uma fonte luminosa.

Nesta atividade, que reproduz o primeiro teste realizado neste trabalho, o estudante pode verificar o funcionamento do sistema variando, por exemplo, o tipo e potência da lâmpada utilizada. Outro estudo que pode ser realizado é medir a variação da intensidade do sinal emitido pela lâmpada em função da distância da antena



Figura 26: Montagem experimental para medidas da intensidade de radiação.

parabólica, solicitando que os estudantes analisem os resultados e tentem elaborar o modelo matemático que rege esta situação.

Atividade 2: Medida da linha do hidrogênio. Neste caso utiliza-se a mesma montagem proposta na Figura 23. Para esta medida é necessário ajustar a frequência do radiotelescópio para que possa capturar exatos 1.420 MHz, que é uma das frequências mais importantes em radioastronomia. Uma das razões é que esta emissão de rádio que é observada não é de luz vinda das estrelas, mas ondas de rádio de nuvens de gás e poeira que são remanescentes de supernovas e ou explosões de estrelas cuja frequência de emissão da linha do hidrogênio corresponde a exatos 21 cm de comprimento de onda, que é usado para mapear a estrutura da Via-Láctea [17]. Esta atividade permite que o professor aborde tanto o tema astronomia quanto a Física Moderna referente à absorção e emissão de radiação dos elementos mencionados.

Atividade 3: Ecos de rádio de chuva de meteoros. Com pequenas alterações de configurações, isto é, posicionamento da antena, estudos de frequência, etc. O radiotelescópio pode ser adaptado para análise de emissão de radiofrequência de chuva de meteoros. Quando um meteoro entra na atmosfera superior terrestre, ele excita as moléculas, produzindo uma trilha de ionização por onde passa. Esta trilha ionizada pode refletir ondas de rádio emitidas a partir do solo, isso é conhecido como ecos de rádio de chuva de meteoros. Ondas de rádios serão refletidas pelas trilhas ionizadas de meteoros e, dessa forma, capturadas pelo sistema sendo possível determinar, por exemplo, a velocidade radial do meteoro [30].

9. Considerações finais

Neste trabalho foram apresentados, de forma detalhada, os materiais e passos necessários para a montagem de um radiotelescópio de custo acessível. Suas características permitem utiliza-lo não somente em ambientes externos como também no laboratório ou mesmo em sala de aula.

Para atestar o funcionamento e praticidade do radiotelescópio desenvolvido foram realizados inicialmente testes em ambiente fechado, onde se mediu de forma simples e rápida, a radiação eletromagnética emitida por uma lâmpada fluorescente. Neste primeiro teste o resultado das medidas foi fornecido na forma de um gráfico de

temperatura *versus* tempo, gerado pelo software livre SkyPipe.

O segundo teste, realizado externamente, foi para observar o transito solar. Neste caso também o SkyPipe gerou o gráfico de temperatura *versus* tempo, onde pode-se observar claramente a variação da emissão solar durante seu transito.

O equipamento proposto mostrou-se de fácil instalação e ajuste, podendo ser montado em diferentes ambientes, o que facilita sua utilização em atividades didáticas. Como sua montagem e as medidas que realiza envolvem diferentes áreas da Física, sua utilização permite abordar os conceitos físicos, particularmente da Física Moderna, de uma forma mais lúdica e conectada com a realidade. Tópicos importantes como, ondas, espectro eletromagnético, radiação do corpo negro, entre outros, podem ser abordados na discussão sobre a utilidade deste equipamento. Vários outros conceitos da ciência, como eletrônica, computação e simulações de dados, também podem ser tratados em atividades utilizando o radiotelescópio proposto.

Como exemplos de aplicação do radiotelescópio, foram propostas temas para serem abordados em oficinas e três atividades que podem ser realizadas nas escolas, tanto em ambiente externo como na própria sala de aula.

Referências

- [1] R. Caniato, *(Re) Descobrimdo a Astronomia* (Átomo, Campinas, SP, 2010).
- [2] A. Damineli e J. Steiner, *O Fascínio do universo* (Odysseus Editora, São Paulo, 2010).
- [3] P. Singh, *Telescope Making for Amateur Astronomer*, v. 4 (Corona Publication, 2015).
- [4] B.C. Joshi, in: 40th COSPAR Scientific Assembly (Held, Moscow, 2014), p. 2-10.
- [5] Portal Haystack Observatory, *Small Radio Telescope*, disponível em <http://www.haystack.mit.edu/>, acesso em 10/01/2017.
- [6] M.A. Moreira, *Revista do Professor de Física*, **1**, 1 (2017).
- [7] A.T. Borges, *Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências, Coleção Explorando o Ensino*, v. 7 – Física (Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Brasília, 2010).
- [8] C.J.B. Lattari e R.H. Trevisan, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 229 (2001).
- [9] J.S. Hey, *The Evolution of Radio Astronomy*, v. 1 (Science History Publication, New York, 1973).
- [10] M. Spencer, in: *IJSRD - National Conference on Technological Advancement and Automatization in Engineering* (IJSRD, Mumbai, 2016), p. 329.
- [11] D.N. Micha, G.M. Penello, R.M.S. Kawabata, T. Camarotti, G. Torelly, P.L. de Souza, *Física na Escola* **12**(2), 19 (2011).
- [12] Portal Jornal USP, *Quasares Buracos Negros que Brilham Mais Do Que As Galáxias*, disponível em <http://jornal.usp.br/atualidades/quasares-buracos-negros-que-brilham-mais-do-que-as-galaxias/>, acesso em 15/06/2017.

- [13] F. Graham-Smith, *Radio Astronomy* (Whitefriars Press Ltd., London, 1960).
- [14] A. Räsänen and A. Lehto, *Radiotekniikan Perusteet* (Otatieto, Helsinki, 2011).
- [15] K. Oliveira Filho e M.FO. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (LF Editora, Rio de Janeiro, 2014), p 196
- [16] Portal RadioSky, *Skypipe*, disponível em <http://www.radiosky.com/skypipeishere.html>, acesso em 10/10/2017.
- [17] K. Rohlfs and T.L. Wilson, *Tools of Radio Astronomy* (Springer-Verlag, Berlin, 2004), 4th ed.
- [18] P.A. Tipler e R.A. Llewellyn, *Física Moderna* (LTC-GEN, Rio de Janeiro, 2010), 5ª ed.
- [19] K. Oliveira Filho e M.FO. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (LF Editora, Rio de Janeiro, 2014) p. 210
- [20] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física IV* (LTC, Rio de Janeiro, 2006), 7ª ed.
- [21] Portal Universidade do Porto, *Parâmetros Fundamentais*, disponível em https://paginas.fe.up.pt/~amoura/APROWEB/AAM_Param_Fundamentais.pdf, acesso em 04/09/2017.
- [22] CA World Wifi *2408U-PRO, 2.4 Ghz Antenna, 8 Dbi Gain* disponível em <http://www.caworldwifi.com/2408U-PRO-omni-wifi-antenna.html>, acesso em 20/09/2017.
- [23] H. Young y R. Freedman *Física Universitaria* (Pearson Education, São Paulo, 2003), v. 2, 10ª ed.
- [24] Portal SDR Sharp, *DR Sharp*, disponível em <http://sdrsharp.com/>, acesso em 20/09/2017.
- [25] <https://pixabay.com/pt/sat%C3%A9lite-prato-receptor-de-sat%C3%A9lite-70409/>, acesso em 16/10/2017.
- [26] Richard Berry, *Build Your Own Telescope* (Scribner, New York, 1985).
- [27] Portal RTL-SDR, *RTL SDR*, disponível em <http://www.rtl-sdr.com/>, acesso em 10/10/ 2017.
- [28] Eduardo de Campos Valadares *Física na Escola* **2**(2), 10 (2001).
- [29] Carl Wieman, *Science* **19**, 290 (2013).
- [30] Portal American Meteor Society, *Radio Observing*, disponível em <http://www.amsmeteors.org/ams-programs/radio-observing/>, acesso em 05/10/2017.