

# ENSINANDO FÍSICA POR MEIO DE IMAGENS ASTRONÔMICAS

André de Castro Milone (Divisão de Astrofísica, INPE)  
email: acmilone@das.inpe.br

## RESUMO

O uso de recursos multimídia tem sido uma das alavancas motivadoras para o processo de ensino-aprendizagem no Ensino Formal contemporâneo, especialmente na área da Física e ciências afins. O ensino de Ciências deve exemplificar pelo menos um dos seus métodos de investigação. No presente trabalho, apresento uma abordagem do método empírico de investigação científica utilizando-se de observações astronômicas. Tais observações precisam ser elaboradas pelos estudantes com a finalidade de se definir os alvos de estudo e suas justificativas e objetivos. Elas são concretizadas através de imagens digitais captadas por uma câmera astronômica CCD acoplada a um telescópio óptico, podendo ser imagens diretas de pequenas regiões angulares do céu noturno ou imagens do espectro eletromagnético do objeto de estudo. Devem ser incluídos o tratamento das imagens brutas adquiridas bem como as reduções dos dados pertinentes à pesquisa e obviamente a análise final dos resultados, que podem ser comparados com outros trabalhos. O telescópio e câmera CCD utilizados são do recém-inaugurado Miniobservatório Astronômico do INPE que disponibilizará num futuro próximo o acesso remoto para observações astronômicas via internet para observadores credenciados. Algumas atividades observacionais serão apresentadas: (i) movimento próprio de asteróides brilhantes, (ii) movimento relativo e orbital dos satélites galileanos de Júpiter, (iii) brilho e cores relativas das estrelas, e (iv) análise qualitativa de espectros diversos (de linhas de emissão de um gás rarefeito a baixa pressão, de corpo negro de uma lâmpada incandescente e da luz solar); algumas das quais abordadas em 2003 no Ciclo de Capacitação de Professores em Astronomia do INPE e no II Encontro de Professores das Escolas Parceiras do Projeto *Educação em Ciências com Observatórios Virtuais*. Também serão propostos um curso de capacitação para professores de Física e uma disciplina extracurricular para estudantes do ensino médio ou superior, como uma maneira de disseminar a presente proposta.

## INTRODUÇÃO

O Miniobservatório Astronômico, localizado na sede do INPE em São José dos Campos, SP, foi criado para servir como suporte às atividades de ensino e difusão da Divisão de Astrofísica (DAS), à qual está vinculado.

Um dos projetos mult institucionais em educação ligados à implementação do observatório, *Educação em Ciências com Observatórios Virtuais (OVs)*, coordenado pelo Prof. Dr. Laerte Sodré Jr. da USP, visa a utilização de observações astronômicas no ensino de Ciências, as quais poderão inclusive ser realizadas por meio de acesso remoto aos instrumentos através da internet. Tal projeto, financiado pela Fundação Vitae, permitiu a aquisição do instrumental básico do Miniobservatório Astronômico do INPE: o telescópio óptico e a câmera astronômica digital. Outro projeto mult institucional em educação, ENSINAST que foi coordenado pelo Prof. Dr. Horacio Dottori da UFRGS e financiado pelo CNPq, permitiu a aquisição de um espectrógrafo.

O presente trabalho apresenta atividades de observação astronômica abordadas no Ciclo de Capacitação de Professores em Astronomia, ministrado por pesquisadores da DAS/INPE no segundo semestre de 2003, sendo uma também apresentada no II Encontro de Professores das Escolas Parceiras do Projeto OV's em dezembro de 2003, além de propostas de um curso de capacitação para professores de Física do ensino médio ou superior e de uma disciplina extracurricular para estudantes do ensino médio ou superior compilando um conjunto de projetos de observação com uso de um telescópio.

## **JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS**

A utilização de recursos de laboratório e multimídia é de grande valia no processo ensino-aprendizagem em ciências exatas seja na graduação ou no ensino fundamental e médio, especialmente porque proporciona um estímulo aos educandos e educadores e exemplifica fenômenos físicos diversos. O presente projeto enquadra-se perfeitamente neste âmbito visto que irá propiciar um conjunto de atividades práticas e agradáveis aos estudantes fazendo uso de telescópio, computador e câmera digital para captar e analisar imagens de objetos físicos, no caso astros diversos.

Através dessas atividades práticas, será possível abordar conceitos e conhecimentos de disciplinas diversas (Física, Química, Matemática, Geografia, História e Informática) em função do caráter multidisciplinar tanto do projeto em si como da Astronomia. O principal motivador educacional da presente proposta é propiciar aos nossos jovens estudantes o uso de uma metodologia científica de caráter observacional, como aquela lançada por Galileo Galilei, fazendo-os refletir de maneira crítica e construtiva sobre os fenômenos físicos naturais.

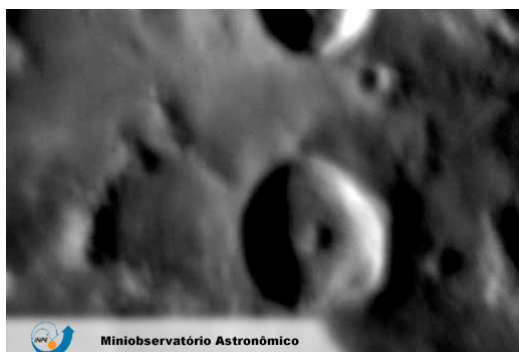
## **DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA**

A proposta possui um caráter multidisciplinar e, portanto, deve ser apresentado como disciplina extracurricular dentro do ensino formal no decorrer de um ano letivo. Os estudantes deverão ser, preferencialmente, do segundo ano do ensino médio ou do ensino superior visto que possuem formação e maturidade adequadas, os quais podem ser selecionados de acordo com os seus interesses.

A prática pedagógica baseia-se no ensino do método observacional de investigação científica utilizando-se da coleta e análise de dados relativos a fenômenos astronômicos e astrofísicos com a finalidade de abordar conceitos físicos diversos. Os estudantes deverão ser orientados por um educador especialmente capacitado com o objetivo de desenvolverem um trabalho de pesquisa observacional, desde a escolha do fenômeno e objetos de estudo até a análise final dos resultados, passando pelo planejamento das observações astronômicas e pela coleta, tratamento e análise dos dados. Alguns exemplos de projetos observacionais são:

- (i) Cálculo das dimensões das crateras e montanhas da Lua, utilizando imagens do relevo lunar captadas pela câmera CCD acoplada ao telescópio e abordando conceitos geométricos e físicos da iluminação da Lua e sua posição orbital relativa ao observador terrestre;

*Figura 1- Imagem das crateras Godin e Agrippa feita em 3/9/2003 às 22h18min (TU), horas depois do quarto crescente da Lua.*



- (ii) Análise do movimento próprio de asteróides, utilizando imagens digitais captadas ao telescópio das regiões do céu onde estão localizados os asteróides durante um dado intervalo de tempo com a finalidade de se obter a distância e a velocidade linear dos mesmos além da velocidade angular;

*Figura 2- Imagem composta do campo do asteróide Thetis desde 23h37min de 31/8 às 0h56min de 1/9/2004 (TU); é visualizada como uma animação através de um editor de textos!*



- (iii) A análise dos movimentos orbitais dos satélites galileanos de Júpiter, utilizando imagens captadas ao telescópio a fim de se identificar cada um deles e obter seus respectivos períodos orbitais aplicando-se conceitos dos movimentos circular e oscilatório se aplicados como primeira aproximação;
- (iv) A análise da variabilidade do brilho aparente de estrelas variáveis de determinadas classes ou de sistemas com eclipses utilizando imagens captadas ao telescópio a fim de se determinar primeiramente os seus períodos e, para algumas, calcular as luminosidades das mesmas ou investigar efeitos geométricos dos sistemas estelares (binário);

- (v) A análise comparativa dos brilhos aparentes e cores de estrelas de um mesmo aglomerado utilizando imagens captadas ao telescópio com fins de se calcular a distância do aglomerado e alguns parâmetros fundamentais das estrelas (luminosidade, temperatura superficial e tamanho); e
- (vi) A análise comparativa de espectros ópticos (quais linhas de absorção são presentes e como são os seus perfis de alargamento) utilizando o espectrógrafo acoplado ao telescópio com a finalidade de se investigar os diferentes tipos espectrais, como função da temperatura superficial, e classes de luminosidades das estrelas como função de suas temperatura e dimensão.

## RESULTADOS E PERSPECTIVAS

Os projetos sobre brilhos/cores das estrelas e espectros estelares foram apresentados na forma conceitual a professores do ensino fundamental e médio no Ciclo de Capacitação de Professores em Astronomia da DAS/INPE.

O primeiro foi apresentado com todas as suas etapas utilizando imagens de um aglomerado globular de estrelas (Messier 71) captadas com diferentes filtros coloridos R & B (vermelho e azul) e o segundo foi abordado de forma introdutória visto que apenas o espectro da luz solar foi obtido para exemplificar os espectros de estrelas além dos espectros de uma lâmpada de filamento incandescente (corpo negro) e de uma lâmpada fluorescente (gás rarefeito a baixa pressão) como espectros de referência. Foi possível, ao menos classificar o espectro do Sol como de um corpo negro circundado por um gás frio (espectro contínuo com absorções) e identificar as suas principais linhas de absorção no óptico (raias de Fraunhofer). Apenas o projeto sobre os brilhos e cores das estrelas foi mostrado com todas as suas etapas para professores do ensino médio do Projeto OV's de modo a ter sido possível inclusive revisar alguns conceitos físicos sobre as estrelas como temperatura superficial, tamanho e potência luminosa em comparação com os dados obtidos (brilhos aparentes em duas diferentes regiões espectrais). Contudo, nenhum projeto observacional foi ainda abordado de maneira satisfatória aos profissionais do ensino formal porque ambas oportunidades foram limitadas em tempo (apenas 2 horas).

É necessário, portanto, um aprofundamento da capacitação dos professores nestas atividades de caráter observacional utilizando imagens astronômicas muito embora um roteiro da primeira atividade tenha sido elaborado e exemplificado com imagens brutas e reduzidas. Por outro lado, será bastante produtivo realizar um curso de capacitação para professores de Física do ensino médio ou superior a fim de se obter um efeito multiplicador dessa empreitada ou, até mesmo, atuar diretamente com os estudantes do ensino médio ou superior por meio de uma disciplina extracurricular durante um ano letivo.

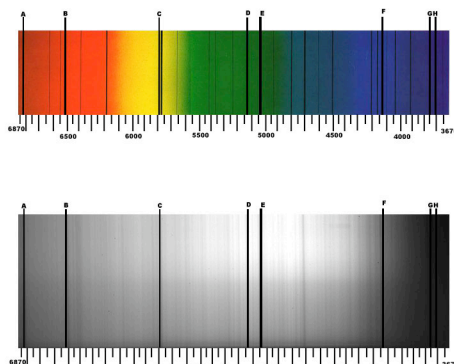
Figura 4 Imagem de M71 feita com o filtro Red



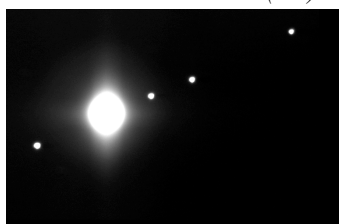
Figura 3 Imagem de M71 feita com o filtro Blue



*Figura 5 Imagem (em negativo) do espectro solar com raiais de Fraunhofer identificadas*



*Figura 8 Júpiter e seus satélites galileanos às 21h37min de 29/6/2004 (TU)*



*Figura 7 Júpiter e seus satélites galileanos às 21h50min de 30/6/2004 (TU)*



*Figura 6 Júpiter e seus satélites galileanos às 23h38min de 1/7/2004 (TU)*



Para alguns dos projetos observacionais propostos, tem-se imagens coletadas ao telescópio do Miniobservatório Astronômico, as quais já foram tratadas e reduzidas com a finalidade de se analisar as características e a aplicabilidade de cada projeto, como por exemplo o dos movimentos dos satélites de Júpiter cujas algumas imagens são apresentadas acima.

## PROPOSTA DE UM CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA PROFESSORES

A estrutura de um curso de capacitação de professores de Física ou de uma disciplina extracurricular para os estudantes do ensino médio ou superior é apresentada adiante. O primeiro pode ser aplicado de forma intensiva durante duas semanas ou continuada por 4 meses num total de 64 horas e o segundo durante um ou dois semestres letivos totalizando-se 32 ou 64 horas. Os passos planejados são:

1. Introdução a conceitos de Astronomia Fundamental;

2. Introdução a conceitos de Astrofísica Observacional;
3. Visita inicial ao Miniobservatório, se possível;
4. Estudo da óptica do telescópio e formação de imagens segundo as diferentes configurações disponíveis no telescópio do Miniobservatório;
5. Escolha e estudo preliminar teórico do(s) projeto(s), incluindo a seleção do(s) objeto(s) e/ou campo(s) da(s) imagen(s), sugerindo que apenas um único projeto observacional deva ser escolhido para todo o grupo;
6. Programação da(s) sessão(ões) de observação no Miniobservatório ou seleção de imagens já arquivadas no banco de dados do Miniobservatório;
7. Aquisição e tratamento das imagens digitais (observação em si), na forma clássica local ou realizada de modo remoto através da “internet”;
8. Redução e seleção dos dados;
9. Análise dos dados;
10. Confrontação com a teoria do fenômeno observado;
11. Redação de relatório final da pesquisa; e
12. Apresentação oral aos colegas do(s) projeto(s) realizado(s) em grupo(s), no final do curso, estimulando inclusive apresentações em congressos científicos no ano seguinte.

## REFERÊNCIAS

Página Web do Miniobservatório: <http://www.das.inpe.br/miniobservatorio/>

Projeto *Educação em Ciências com Observatórios Virtuais*: <http://www.observatoriovirtual.pro.br/>

Projeto *ENSINAST (Ensinando Ciências através da Astronomia: recursos didáticos e capacitação de professores)*: <http://www.craam.mackenzie.br/~asilva/ensinast/>

## PRIMEIROS RESULTADOS

### MOVIMENTO PRÓPRIO DE ASTERÓIDES BRILHANTES

Na noite do dia 31 de agosto de 2004 foram captadas imagens digitais do campo do asteróide Thetis com o telescópio e câmera CCD do Miniobservatório Astronômico do INPE. As coordenadas médias do campo foram: ascensão reta, AR ou  $\alpha = 17^{\text{h}} 56^{\text{min}} 24^{\text{s}}$  e declinação DEC ou  $\delta = -21^{\circ} 56' 29''$ . As imagens foram tomadas em quatro séries disparadas a partir das 20h26min28s até 21h55min39s (horário local), ou das 23h26min28s de 31/08 às 0h55min39s de 01/09 (Tempo Universal TU), cobrindo um intervalo temporal aproximado de 1 hora, 29 minutos e 11 segundos (5.351 segundos). A primeira série foi tomada aproximadamente às 20h27min, a segunda às 20h55min, a terceira às 21h25min e a quarta às 21h56min (instantes médios no horário local). Cada série corresponde a 9 exposições de 5 segundos, cujas imagens foram tratadas, alinhadas e somadas (usando o programa CCDSoft), de modo a obter uma integração total de 45 segundos com a finalidade de registrar com melhor qualidade (razão sinal-ruído) as posições do asteróide e das estrelas de referência. As imagens finais de cada série também foram alinhadas e são representadas adiante. A orientação das mesmas apresenta aproximadamente Norte para baixo (sentido crescente de DEC) e Leste para direita (sentido crescente de AR).

O movimento relativo da Terra foi medido a partir da posição do asteróide que varia de uma imagem a outra. Foi possível obter as coordenadas equatoriais ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) do asteróide em cada imagem usando 13 estrelas como referência astrométrica (através da tarefa Auto-astrometria do programa CCDSoft feita em conjunto com o programa TheSky). A fim de determinar a velocidade angular instantânea relativa a Terra,

$$\mu$$

mede-se as diferenças de coordenadas do asteróide em ascensão reta e declinação

$$\Delta\alpha \text{ e } \Delta\delta$$

, calcula-se a distância angular total percorrida

$$\Delta\theta$$

aplicando o Teorema de Pitágoras porque os ângulos são muito pequenos (da ordem de segundos de arco),

$$\Delta\theta^2 = (\Delta\alpha \cdot \cos\delta)^2 + \Delta\delta^2$$

, e assim se obtém a velocidade angular

$$\mu = \Delta\theta/\Delta t$$

considerando o intervalo temporal das observações  $\Delta t$ . Para tal observação do asteróide Thetis, medimos no intervalo  $\Delta t = 5.351 \text{ s}$ :  $\Delta\alpha \cdot \cos\delta = +44,1 \text{ arcsec}$  ( $\Delta\alpha = +47,2 \text{ arcsec}$ ),  $\Delta\delta = -10,6 \text{ arcsec}$  e  $\Delta\theta = 45,4 \text{ arcsec}$ . A velocidade angular relativa a Terra do asteróide Thetis em 31/08-01/09 de 2004 foi  $\mu = 0,0085 \text{ arcsec/s}$  enquanto que o TheSky fornece um valor de  $0,0083 \text{ arcsec/s}$ . Na verdade, tal velocidade angular refere-se a um valor médio relativo ao local da observação propriamente, pois o mesmo também se movimentou no decorrer da observação em função da rotação e translação da Terra.

Tendo a velocidade angular instantânea do asteróide Thetis (relativa a Terra) e conhecendo-se sua distância até nós, pode-se calcular sua velocidade linear instantânea projetada no plano do céu (relativa a Terra obviamente) ou vice-versa. A distância do mesmo a Terra fornecida pelo TheSky é 1,6159 UA, assim sua velocidade linear tangencial ao plano do céu é cerca de 10 km/s. Usa-se a fórmula

$$v = (\mu/206.265) \cdot \text{Distância}$$

, onde  $\mu$  tem unidades de arcsec/s, a qual é uma variante da expressão geral

$$v = \omega \cdot r$$

Tal velocidade é coerente com sua distância instantânea ao Sol (2,1812 UA)? O semi-eixo maior da sua órbita é 2,4689 UA, a excentricidade é 0,1363 e a inclinação orbital é 5,6 graus. A Terra, que apresenta o semi-eixo de sua órbita por definição igual a 1 UA, possui uma velocidade linear total média  $\langle v_{\text{tot}} \rangle$  de 30 km/s. Usando a terceira lei de Kepler,

$$(\text{Período-de-translação})^2 = \text{cte.} \cdot (\text{distância-média-ao-Sol})^3$$

, e fazendo

$$\langle v_{\text{tot}} \rangle = 2\pi d/P$$

para uma órbita circular onde P: período orbital e d: distância média ao Sol (ou semi-eixo maior da órbita e, no caso, raio da órbita circular) obtém-se para o asteróide Thetis uma velocidade linear total média de 19 km/s. Portanto, a velocidade linear do asteróide na linha de visada do observador era de pelo menos 16 km/s, pois o mesmo havia passado há alguns meses pelo seu periélio (ponto da órbita de maior aproximação ao Sol quando sua velocidade linear é máxima) e a Terra apresentava um afastamento relativo ao próprio.

