

# COMPREENDENDO A TRAJETÓRIA APARENTE SOLAR: UM TEXTO PARA ENRIQUECER O ENSINO DA ASTRONOMIA PELA CONSTRUÇÃO DE UM MARCADOR SOLAR

## UNDERSTANDING THE APPARENT SOLAR TRAJECTORY: A TEXT TO ENRICH THE ASTRONOMY TEACHING BY THE USING OF SUNDIALS

Marcos Cesar Danhoni Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá/ Departamento de Física, macedane@yahoo.com

### Resumo

*O presente trabalho elabora um texto básico para o ensino dos elementos fundamentais para a compreensão da trajetória solar aparente em diferentes estações do ano, a apresentação de diferentes marcadores solares e a construção de um relógio solar inclinante (equatorial).*

**Palavras-chave:** movimento solar aparente; estações do ano; instrumentos astronômicos; relógios solares.

### Abstract

*The aim of the present paper is to elaborate a basic text to teach the essential notions to understand the apparent solar trajectory in different seasons of the year, the presentation of several sundials and the construction of an equatorial sundial.*

**Keywords:** Apparent solar movement; seasons of the year; astronomical tools; sundials.

### INTRODUÇÃO

Na História da Astronomia, a observação dos movimentos celestes e a utilização dos dados obtidos como marcadores de tempo foi sempre uma questão lapidar. Dos relógios solares, variando dos gnomons (varas espetadas no chão), relógios equatoriais, horizontais e verticais, aos modelos de relógios estelares ou noturnos, o homem da mais remota Antiguidade observava o céu com um sentido prático.

Obviamente, esse sentido se perdeu na modernidade, e a educação científica não foi capaz de resgatá-lo. O currículo do Estado do Paraná resolveu introduzir no Ensino Fundamental, como um dos eixos do ensino de Ciências, a Astronomia. No entanto, como sempre acontece em mudanças e/ou reformas escolares, a 'boa intenção' colapsou na falta de planejamento para recapacitar docentes e integrar a mudança com melhorias no ensino de graduação de diferentes cursos, especialmente Biologia, Geografia, Física, Matemática e Licenciatura em Ciências. A esmagadora maioria desses cursos não conhecem, em seus currículos, a ciência da Astronomia.

Quando isso acontece, o tratamento é, invariavelmente, ligeiro, pseudo-informativo, memorístico, desonesto, posto que realizado sempre desde um referencial pós-heliocêntrico, a-priorístico (negligenciando a História da Ciência) e, portanto, dogmático.

Toda ciência é compreendida e construída pelo aluno quando ela encerra dentro de si um caráter prático. Mesmo os mais áridos campos do saber nasceram graças a um caráter prático motivador. Não existe ciência fora de contexto ou 'ciência etérea'.

Sendo, assim, este não é, ou não deveria ser, o caso da Astronomia, mas é exatamente assim que ela é apresentada e 'ensinada' nas escolas (o verbo 'ensinar' encontra-se aqui entre aspas porque ele, no atual contexto pedagógico, não indexa possibilidades de compreensão, alijando o sujeito conhecedor de sua potencialidade em construir a ciência). Trataremos aqui de alguns aspectos da fenomenologia cotidiana do movimento aparente do Sol. Discorreremos sobre a regularidade de seu movimento e de como essa regularidade pode nos conduzir à elaboração e confecção de instrumentos de marcação de tempo (relógios astronômicos). Para tanto, o trabalho discorrerá sobre a construção de relógios (ou marcadores) solares, fornecendo, assim, instrumental para ser utilizado para as horas diurnas e em diferentes períodos sazonais, e de potencial pedagógico poderoso na Escola.

## **CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS**

### **O RELÓGIO SOLAR**

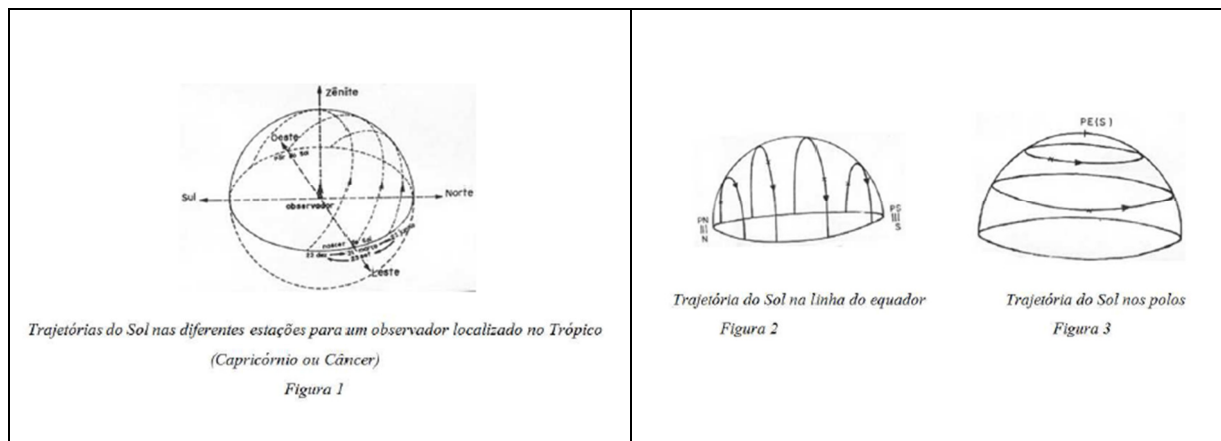
Para se construir um marcador de horas pelo Sol, ou melhor dizendo, pela sombra projetada de uma haste sobre um marcador dividido nas horas do dia, devemos trabalhar com diversos conceitos e sentidos de orientação espacial, sem os quais são impossíveis não somente a construção do dito instrumento como também sua utilização prática.

O Sol nasce e se põe em diferentes posições do horizonte, nascente e poente, respectivamente, ao longo do ano, caracterizando aquilo que definimos como estações do ano: outono, inverno, primavera e verão.

As estações, hoje sabemos, devem-se à inclinação do eixo terrestre com respeito ao seu plano orbital (ao redor do Sol). Isso pode ser facilmente demonstrado, tomando-se uma bola de isopor (ou qualquer material) e fazendo-a girar ao redor de uma lâmpada acesa. Perfurando a bola com um palito (atravessando-a), vemos que se aquela não estiver inclinada, a incidência da luz será igual e uniforme ao longo de todo o ano (giro - translação). No entanto, quando inclinamos ligeiramente (ou cerca de  $23,5^\circ$ ) a bola, vemos que a situação muda drasticamente, com diferentes incidências de luz ao longo do giro. Podemos notar, inclusive, que, em certa posição, um ou outro pólo da bola não recebe nenhuma incidência de luz, configurando nos invernos polares, como conhecemos por relatos.

Porém, a discussão acima se trata de uma abstração, pois não temos acesso a uma observação que se realize acima do plano do sistema solar para se divisar essa situação dinâmica. O que temos a fazer, pois, é descrever a fenomenologia do 'movimento' anual do Sol, especialmente sua posição nos horizontes leste e oeste (ao falar em 'horizontes leste e oeste' não estamos querendo dizer 'pontos cardeais leste e oeste' - é importante citar este fato, pois um dos erros frequentes no ensino de Astronomia é a afirmação de que 'o Sol nasce sempre a leste e se põe sempre a oeste'). A figura 1 mostra como um observador veria as diferentes trajetórias do Sol ao redor da Terra (adotando-se um referencial geocêntrico - Terra fixa no espaço) nas diferentes estações do ano. Essas trajetórias são aquelas para um observador localizado próximo ao Trópico de Capricórnio (para

situações ‘extremas’, observador ou no equador – figura 2 - ou nos pólos – figura 3 -, a situação seria completamente diferente).



Assim, vê-se que no inverno (início 21/06), com uma trajetória bastante inclinada, a duração do dia claro (ver o arco da trajetória do Sol acima do horizonte) é inferior àquela da noite (arco noturno - abaixo do horizonte). Nos dias de outono e primavera (respectivamente, 21/03 e 23/09), os arcos diurnos e noturnos são idênticos (nos dias de início dessas duas estações) e, portanto, dia e noite são iguais, ou seja, o Sol passa 12 h acima do horizonte e 12 h abaixo dele. No verão (21/12), temos uma situação oposta àquela do inverno, com o arco diurno maior que o noturno, ou, o que é a mesma coisa, com o dia claro maior que a noite.

Pela Figura 1, percebe-se que, quando o Sol se desloca do outono para o inverno, há, após o início do inverno, uma ‘retomada’ do movimento para leste. Assim, o Sol, que vinha se distanciando do ponto cardeal leste (no início do outono), pareceu, num dia (21/06), ‘estacionar’ e inverter sua posição novamente. Esse ‘estacionar’ remete à palavra latina *sol statio*, que originará a palavra ‘solstício’.

Portanto, as datas de início de inverno e de seu oposto, o verão, são denominadas de datas de ‘solstício de inverno e solstício de verão’, respectivamente. As datas de início de outono e primavera são conhecidas como datas de ‘equinócios’, pois dia e noite têm duração idêntica e o Sol, nesses dias, percorre o equador celeste, que divide a abóbada celeste em dois Hemisférios, Sul e Norte.

Um marcador solar pode se constituir numa simples vareta fincada no chão, como já faziam os índios de Bornéu (ver figura 4). Esse marcador, conhecido pelo estranho nome de *gnomon* (palavra que se origina da matemática e que tem a ver com o cateto de um triângulo) não diz nada a respeito das horas do dia, mas é um ‘instrumento’ valioso para se determinar, com precisão, as coordenadas geográficas locais. A Figura 5 mostra os padrões de sombras (uma vez que façamos unir todas as pontas de sombra de um obelisco, por exemplo) para as quatro estações. Vê-se, pela figura citada, que a linha das sombras nos equinócios (G-H, pela Figura 5) é uma linha reta, enquanto as linhas de solstícios (E-F – solstício de inverno - e C-D – solstício de verão) se dispõem simetricamente ao redor daquela última, formando duas linhas hiperbólicas. Assim, temos um marcador sazonal (de estações) válido para qualquer época do ano. Se tomássemos medidas dos comprimentos das sombras ao longo do dia em intervalos pré-estabelecidos, de, por exemplo, meia em meia hora, poderíamos encontrar a diferença que existe entre o meio-dia local (quando o Sol cruza o meridiano central, ou, o que é o mesmo, a parte onde a

abóbada celeste acima de nós se divide em duas – nesse momento, a sombra do obelisco apresenta seu tamanho mais curto) e o meio-dia do relógio (que estamos utilizando para registrar as medidas do tamanho, ou, melhor dizendo, da ponta das sombras).

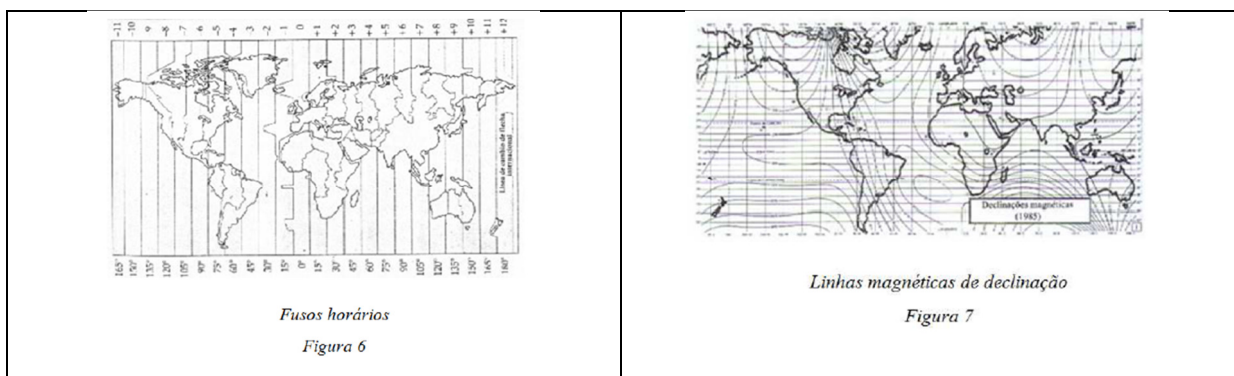


Índios de Bornéu observando as sombras projetadas por uma haste (gnomon)  
 Figura 4

Sombras de um obelisco nas diferentes estações do ano  
 Figura 5

Em uma cidade do sul do país, a diferença entre o meio dia solar (local) e aquele do relógio (hora oficial do país) é da ordem de 28 min ou, o que é o mesmo, 7º (já que 24 h correspondem a 360º - assim, 1 h ou 60 min equivale a 15º ). Como sabemos que a hora oficial (de Brasília) começa na longitude 45º (ver Figura 6 – mapa-mundi com os diversos fusos horários), então, este valor, somado àqueles 7º, fornecerão como longitude local (da cidade em questão), 52º.

Além de funcionar como ‘relógio’ sazonal e marcador da longitude local, o gnomon pode fornecer ainda a ‘declinação magnética local’. Quando lemos a direção Norte-Sul de uma bússola, devemos estar atentos ao fato de que esta direção não coincide com as do Norte-Sul geográficos. Existe um pequeno ângulo entre as direções Norte-Sul magnética e Norte-Sul geográfica. Esse ângulo é aquilo que se convencionou chamar de declinação magnética local. Esse é um assunto complicado no sentido de que a declinação sofre uma variação temporal e ninguém ainda sabe ao certo o porquê desse fenômeno (ver linhas magnéticas na figura 7). Os pólos Norte ou Sul geográficos distam daquele magnético em cerca de 1.900 quilômetros (RONAN, 1982).

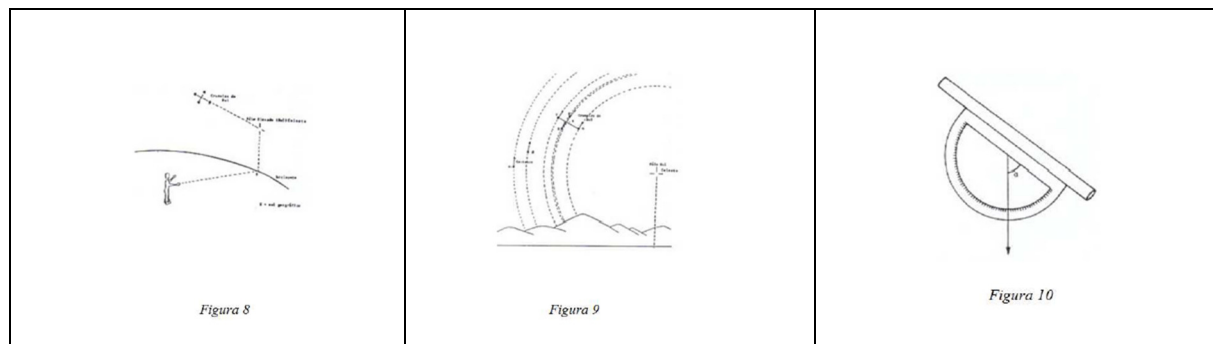


Fusos horários  
 Figura 6

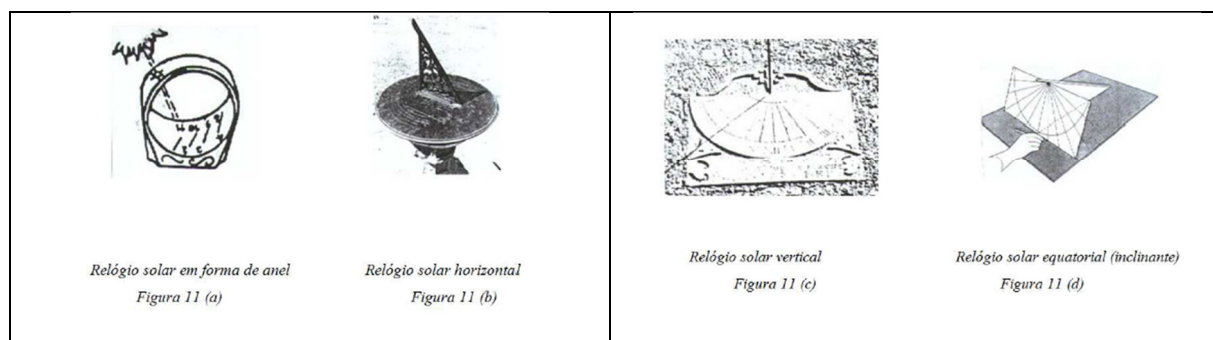
Linhas magnéticas de declinação  
 Figura 7

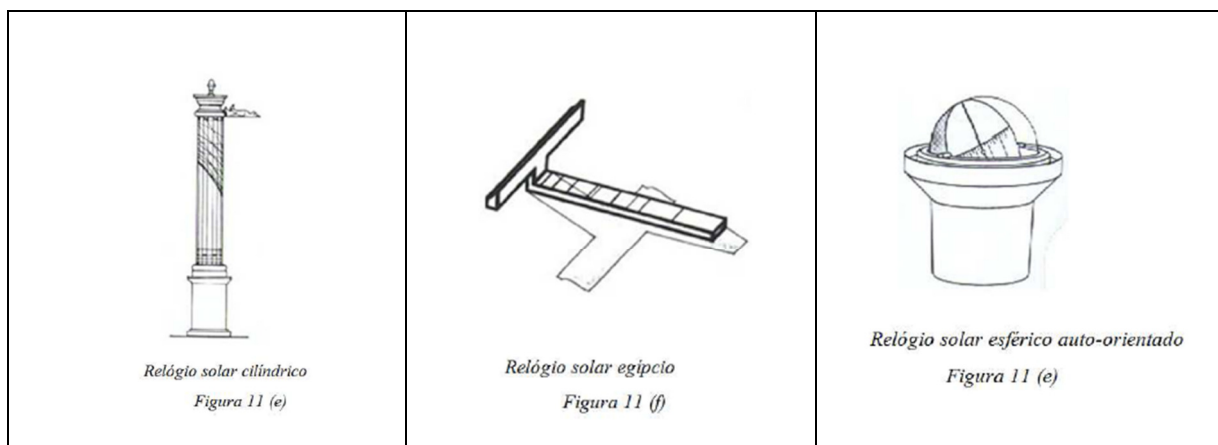
Conhecendo agora os conceitos de hora local, hora oficial, longitude, estações do ano, movimento anual do Sol, falta-nos aquele da ‘latitude’. Esta é a mais simples das definições: trata-se do ângulo com que um observador na Terra vê o centro de rotação das ‘estrelas fixas’. Hoje sabemos que nem as estrelas são fixas e nem estas giram ao redor da Terra. No entanto, devemos lembrar que estamos adotando o referencial geocêntrico: Terra imóvel no centro do Universo, com todos os demais corpos girando ao redor dela.

Para nós, habitantes do Hemisfério Sul, esse é um procedimento bastante simples, pois o centro de rotação (ou pólo elevado Sul) está próximo a uma constelação bastante conhecida: a do Cruzeiro do Sul. Para encontrarmos o pólo elevado, basta que projetemos quatro vezes e meia o ‘braço maior’ ou ‘poste’ da Cruz (Figura 8). A projeção terminará num ponto onde se localiza o eixo imaginário que corta a Terra de um pólo a outro (ver Figura 9). Para encontrarmos, pois, o ângulo da latitude local, basta tomarmos um transferidor e adicionar a ele um fio de prumo (ou uma pedra amarrada a um barbante – Figura 10). Ao inclinar o transferidor para encontrar o pólo elevado Sul, teremos o ângulo da latitude local. Para Maringá e região, este ângulo é de cerca de 23,5° Sul.

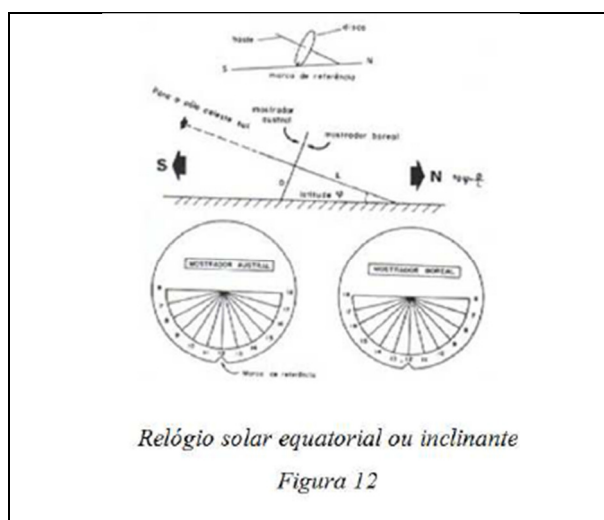


Estes são os ‘ingredientes’ para a construção de qualquer marcador de tempo baseado seja no movimento do Sol, da Lua ou das estrelas. Para a construção de um relógio de Sol, poderíamos discutir aqui inúmeras formas e escalas para as horas. A Figura 11(a,b,c,d,e,f) mostra diversos tipos de relógios possíveis e que foram utilizados durante a longa história da ciência e da técnica: (a) o de anel (com a escala das horas na parte interna - a hora é marcada pelo raio de Sol que penetra por um orifício, ao alto, disposto na parte oposta da escala); (b) o horizontal (ou relógio de praça); (c) o vertical (ou relógio de parede); (d) o inclinante ou equatorial; (e) o cilíndrico (ou relógio dos pastores); (f) o egípcio (que pertenceu ao faraó Tutmós), em forma de uma espécie de ‘T’; (g) o inclinante esférico auto-orientado (é um relógio cujo eixo consiste de uma agulha magnetizada que se orienta com o campo magnético terrestre; a auto-orientação se dá porque a esfera, em cujo interior está a escala das horas, repousa sobre uma espécie de pote d’água). Os exemplos poderiam continuar ao ‘infinito’, mas pararemos por aqui, pois o relógio, cujo princípio explicaremos, o ‘equatorial’ ou ‘inclinante’, é o mais simples de se construir, envolvendo, além de uma geometria bastante simples, grande parte dos conceitos discutidos aqui.



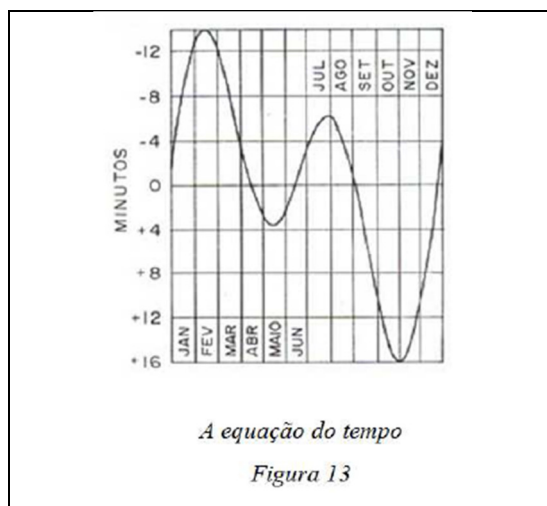


O relógio equatorial é um marcador solar que reproduz elementos da esfera celeste. Ele possui um eixo orientado no sentido Sul-Norte (a parte superior indica o pólo sul elevado), inclinado no ângulo da latitude local (numa determinada cidade da região Sul, cerca de  $23,5^\circ$  S). Perpendicularmente a esse eixo (que representa o próprio eixo terrestre) está disposto o marcador com semicírculos desenhados na sua frente e às suas costas. Esses semicírculos estão divididos de 15 em 15 graus, já que 1 h corresponde a  $15^\circ$ . O mostrador da frente, ou *mostrador austral*, indicará as horas (pela sombra do eixo) durante as estações da primavera e do verão (quando o Sol se encontra posicionado na parte do Hemisfério Sul celeste). O mostrador traseiro, ou ‘mostrador boreal’, será usado para se ler as horas durante as estações de outono/inverno. O relógio deve ser posicionado exatamente na direção Sul-Norte e com o ângulo correto de latitude local. A Figura 12 apresenta os mostradores e a forma de como orientar o relógio.



A Figura 13 mostra um gráfico, conhecido como ‘equação do tempo’. É um ‘corretor’ das horas lidas. Como o relógio é construído baseado num modelo de Sol que se ‘desloca’ à velocidade constante no céu (sempre pensando no modelo geocêntrico [...]), o ‘Sol real’ ‘desloca-se’ de forma diferente ao longo do ano graças à elipticidade (pequena) da órbita do planeta (devido a esse fato, as estações não duram exatos três meses cada uma!). O gráfico da equação do tempo corrige o valor lido no relógio (pela sombra do eixo no mostrador), adiantando ou atrasando de acordo com os meses do ano.





## REFERÊNCIAS SUGERIDAS E UTILIZADAS

ALBERTO, E. J. **Nuevo manual de la Unesco para la enseñanza de las ciencias**. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1997.

ARGÜELLO, C. A.; DANHONI NEVES, M. C. Determinação didática da duração do dia sideral pela observação das estrelas  $\alpha$  e  $\beta$  do Centauro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 1, n. 9, p. 3-13, 1987.

BOCKZCO, R. **Conceitos de astronomia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

BRUTON, E. **The history of clocks and watches**. New York: Crescent Books, 1989.

CANTÚ, M. C.; BONELLI, M. L. R. **Gli strumenti antichi al Museo di Storia della Scienza di Firenze**. Firenze: Arnaud, 1980.

DANHONI NEVES, M. C.; ARGUELLO, C. A. **Astronomia de régua e compasso: de Kepler a Ptolomeu**. Campinas: Papirus, 1986.

DANHONI NEVES, M. C.; GALLERANI, L. G. **Reflexões sobre o ensino de ciências: uma experiência no 1o. grau**. Campinas: Palavra Muda, 1988.

DANHONI NEVES, M. C.; GARDESANI, L. G. **O Mago que veio do Céu**. Maringá: Eduem, 1998.

DANHONI NEVES, M. C. **Memórias do invisível: uma reflexão sobre a história no ensino de física e a ética da ciência**. Maringá: LCV, 1999.

MELLA, F. A. **La misura del tempo nel tempo**. Milano: Ulrico Hoepli, 1990.

ROMANO, G. **Introduzione all'astronomia**. Padova: Franco Muzzio Editore, 1993.

RONAN, C. **Los amantes de la astronomia**. Barcelona: Blume, 1982.

RONAN, C. **História ilustrada da ciência**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987.

SAGAN, C. **Cosmos**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1980.