RELÓGIOS SOLARES

Daniel Rutkowski Soler
Planetário Municipal do Parque do Carmo de São Paulo

10 de novembro de 2005

Introdução

Na História do Homem, a medida da passagem do tempo sempre foi algo de seu interesse, uma vez que a partir dela podem ser estabelecidas relações sociais e comerciais, bem como serem feitas previsões a respeito dos mais variados eventos. Pode-se fazê-lo por intermédio de fenômenos *periódicos* (repetitivos), que devem ser contáveis, ou fenômenos *contínuos*, que devem mensuráveis [1].

Dentre os fenômenos periódicos, talvez o mais notável seja o da passagem do Sol pelo céu, dando origem ao dia e a noite. O estudo desse fenômeno data de milhares de anos antes de Cristo, tanto no Ocidente como no Oriente. A contagem do número de passagens do Sol pelo céu tornou-se a forma mais natural da medida da passagem do tempo, e muitos povos antigos estruturam seus *calendários* [1] [1] baseados nesse fenômeno, juntamente com outros fenômenos como, por exemplo, as mudanças periódicas das fases da Lua ou das estações do ano.

A falta de regularidade na periodicidade da passagem do Sol, todavia, foi notada à medida que outros fenômenos mais regulares, e de períodos mais curtos, foram sendo utilizados para a medida da passagem do tempo (Ex.: clepsidras, pêndulos, ampulhetas, relógios de quartzo, relógios atômicos e moleculares). Tal fato pode ser verificado, por exemplo, utilizando-se um *gnômon* e um relógio com movimento uniforme. Nota-se que o período de duas passagens sucessivas da sombra do gnômon pelo plano do meridiano local (a sombra obtida nessa situação é a mínima possível durante o dia) não é sempre o mesmo, podendo varia até quase 17 minutos, tanto para mais quanto para menos. Essa variação tem período de um ano, e é devida à elipticidade da órbita da Terra em torno do Sol e à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano orbital. Dá-se o nome de *dia médio* ao dia cuja duração é igual à média dos tempos decorridos entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano local durante um ano. Por definição, um dia médio tem exatas 24 horas. À diferença entre a duração do dia médio e a duração verdadeira de cada dia dá-se o nome de *equação dos tempos*. A figura 1 representa os valores que a equação dos tempos pode assumir ao longo do ano [1].

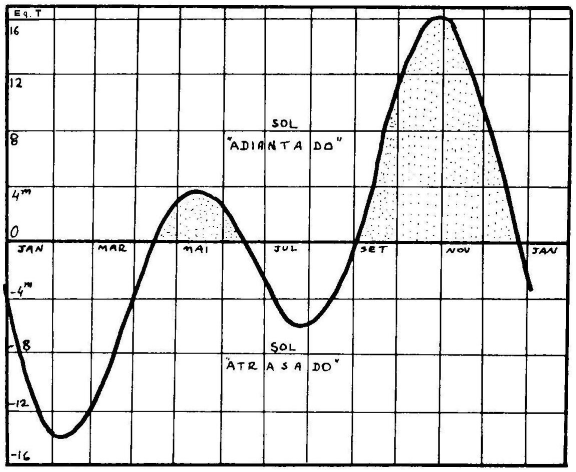

Figura 1: Valores que a equação dos tempos pode assumir ao longo de um ano.

Relógios solares

Relógios solares são instrumentos que servem para medir a passagem do tempo por meio da projeção da sombra de um *estilo* (haste retilínea ou estilete) sobre um mostrador, a qual muda de posição à medida que o Sol se move no céu (vide figura 2 [2]). A diferença entre um gnômon e um relógio solar está no posicionamento do estilo: um gnômon tem sua haste posta na vertical, apontando para o zênite local, enquanto que um relógio solar possui a sua apontada para os pólos celestes (pontos no céu em relação aos quais todas as estrelas aparentam girar), de maneira a ela estar paralela ao eixo de rotação do planeta. Esta diferença é o que faz com que gnômons não sirvam como bons marcadores do tempo, uma vez que a sombra projetada por meio deles mude de direção de um dia para o outro no mesmo horário. Os relógios solares, apesar de terem os tamanhos de suas sombras projetadas modificados à medida que os dias passam, devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano orbital, são bons indicadores da passagem do tempo. Suas sombras projetadas apontam para a mesma direção em dias diferentes num mesmo horário (fazendo-se a devida correção a partir da equação dos tempos) pelo fato de, ao longo do ano, apesar de o Sol possuir um movimento próprio na esfera celeste, tal movimento se dá numa direção paralela ao eixo de rotação do planeta, de maneira que a sombra possa variar apenas de tamanho.

Existem três tipos de relógios solares, cujos nomes se referem à posição de seu mostrador em relação a um plano de referencia. São eles: relógio de Sol horizontal, relógio de Sol vertical e relógio de Sol equatorial. O primeiro possui o plano do mostrador paralelo ao horizonte. O segundo tem por mostrador um plano vertical, como um muro, por exemplo. O último tem o plano mostrador paralelo ao equador [2]. A figura 3 fornece a ilustração de um relógio de Sol horizontal posicionado no hemisfério norte. A figura 4 fornece

[1] Calendário: conjunto de regras e tabelas usadas com a finalidade de agrupar os dias em diversos períodos que possibilitem um fácil cômputo de dias passados ou a passar.

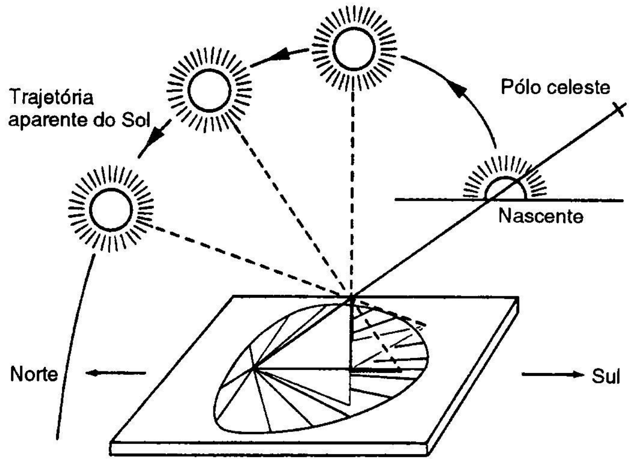

Figura 2: Ilustração de um relógio solar e da mudança da projeção da sombra formada a partir do movimento do Sol durante o dia.

as ilustração de duas possíveis montagens de um relógio de Sol equatorial no hemisfério sul [1]. A diferença entre elas está no tipo de base do mostrador: a primeira possui base opaca, de maneira que só pode ser usada quando o Sol estiver no hemisfério celeste correspondente ao hemisfério local; a segunda, por sua vez, pode ser usada ao longo de todo o ano, pois sua base é um semi-cilindro.

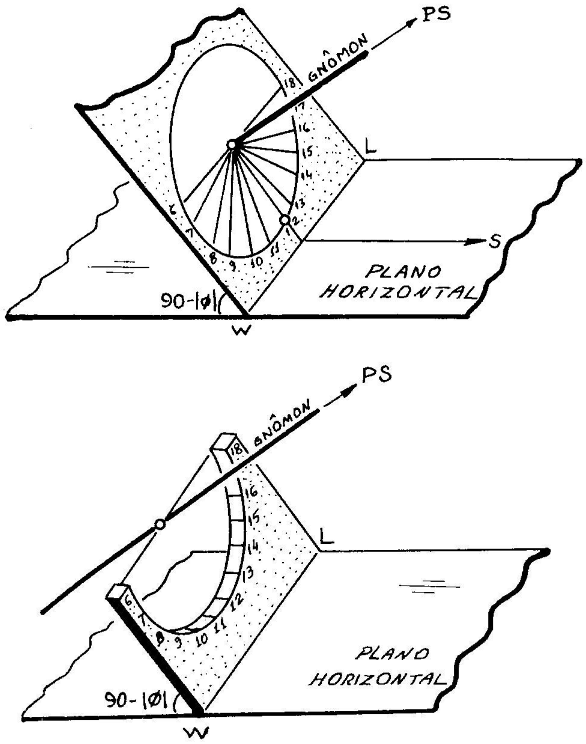

Figura 4: Ilustração de dois relógio solares do tipo equatorial.

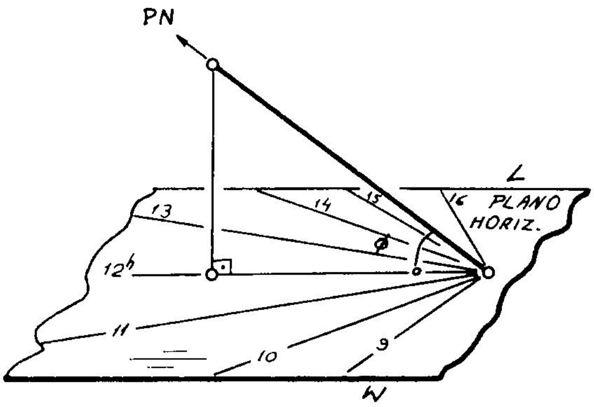

Figura 3: Ilustração de um relógio solar do tipo horizontal.

Montagem e Leitura

Todos os tipos de relógio solar possuem o mesmo princípio de funcionamento. Todos devem ter, portanto uma característica básica em comum: seu estilete deve estar posicionado ao longo de uma reta contida no *plano meridiano* [2] e que aponte na direção dos pólos celestes. Conseqüentemente, todos os relógios solares devem ficar posicionados de tal maneira que seus estiletes forneçam a direção norte-sul geográfica (e, automaticamente, a direção leste-oeste). Não sendo possível se determinar a posição exata do pólo celeste visível, pode-se utilizar o fato de que o ângulo entre um pólo celeste acima da linha do horizonte e essa linha, medido ao longo do meridiano local, é igual à ao valor absoluto da latitude local ϕ. Sabendo-se a direção norte-sul, por meio de uma bússola ou mesmo de um gnômon, pode-se facilmente apontar o estilete para a direção correta e assim posicionar o relógio da maneira apropriada para a efetuação de leituras.

Para se calibrar o mostrador de um relógio do tipo equatorial, basta se basear no fato de que o movimento aparente do Sol ao longo do céu é circular. Para dar uma volta ao redor da Terra (360°), o tempo gasto pelo Sol, em média, é de 24h. Conseqüentemente, cada hora passada corresponde a uma variação angular de 15°. Devido ao posicionamento do estilete e do mostrador, a variação angular correspondente efetuada pela sombra ao longo do mostrador é também de 15°. Desta maneira, basta dividir o semi-círculo de 15 em 15°, começando a partir da posição onde ocorre o cruzamento do meridiano local com o mostrador, a qual corresponde o horário de 12h (convenção adotada de que à passagem do Sol pelo meridiano local deve-se fazer a correspondência com tal horário) (vide figura 4). Note que aos ângulos −90° e 90° correspondem aos horários 6h e 18h.

Para se calibrar o mostrador de um relógio do tipo horizontal, enfrenta-se um problema de trigonometria básica. Deve-se encontrar agora uma relação entre um ângulo varrido pelo Sol e o ângulo correspondente varrido pela sombra ao longo do plano do horizonte. Para tanto, vide a figura 5. Nela encontra-se uma junção de um relógio solar horizontal com um equatorial, para indicar a correspondência entre o ângulo b varrido pelo Sol e o ângulo a varrido pela som-

[2] Plano Meridiano: plano que contém a linha norte-sul e a vertical do local.

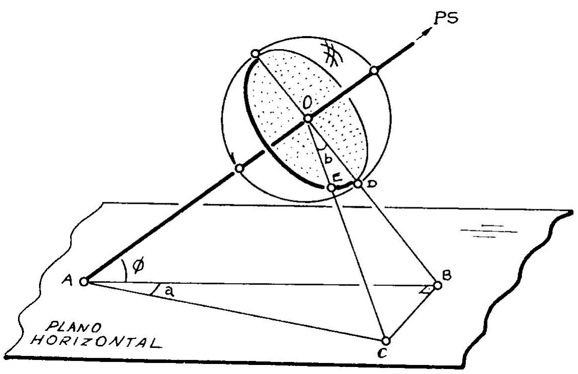

Figura 5: Ilustração de um relógio solar do tipo horizontal onde se identificam os ângulos varridos pelo Sol (b) e pela sombra do estilete (a).

bra. Pela figura, tem-se que $A\hat{O}B = 90°$. Assim, pode-se escrever:

$$\begin{cases} \sin\phi = \overline{OB}/\overline{AB} \\ \tan a = \overline{BC}/\overline{AB} \\ \tan b = \overline{BC}/\overline{OB} \end{cases}$$

Igualando $\overline{BC}$ e substituindo a primeira relação, obtém-se que:

$$\begin{cases} \overline{AB}\tan a = \overline{OB}\tan b \Rightarrow \tan a = \overline{OB}/\overline{AB}\tan b \\ \Downarrow \\ a = \arctan(\sin\phi\tan b) \end{cases}$$

Assim, fazendo-se a equivalência:

b	Horário
90°	6h
75°	7h
60°	8h
45°	9h
30°	10h
15°	11h
0°	12h
15°	13h
30°	14h
45°	15h
60°	16h
75°	17h
90°	18h

pode-se encontrar a medida dos ângulos a, correspondentes para cada horário, substituindo na última relação obtida os respectivos valores de b e o valor absoluto da latitude local ϕ.

Fuso-horário

Após a instalação cuidadosa de um relógio solar devidamente calibrado, devem-se levar em conta duas correções para a obtenção correta do horário local.

A primeira é a devida à equação dos tempos, conforme já explicado. Em cada dia do ano, deve-se consultar a tabela 6 [2], que é equivalente ao gráfico da figura 1, e verificar quantos minutos devem ser adicionados ou diminuídos do horário lido no relógio.

Tabela: Equação do tempo

	min.		min.		min.
Jan.	1 + 3	Maio	1 - 3	Out.	3 - 11
	3 + 4		11 - 4		6 - 12
	6 + 5		25 - 3		10 - 13
	7 + 6				14 - 14
	10 + 7	Junho	2 - 2		19 - 15
	13 + 8		7 - 1		26 - 16
	15 + 9		12 0		
	18 + 10		+ 1	Nov.	16 - 15
	21 + 11		22 + 2		21 - 14
	25 + 12		27 + 3		25 - 13
	30 + 13				27 - 12
		Julho	2 + 4		
Fev.	6 + 14		8 + 5	Dez.	1 - 11
	25 + 13		16 + 6		3 - 10
					6 - 9
Março	3 + 12	Agosto	11 + 5		8 - 8
	7 + 11		16 + 4		10 - 7
	11 + 10		21 + 3		12 - 6
	15 + 9		24 + 2		14 - 5
	18 + 8		29 - 1		16 - 4
	22 + 7				18 - 3
	25 + 6	Set.	1 0		20 - 2
	29 + 5		4 - 1		22 - 1
			7 - 2		24 0
Abril	1 + 4		10 - 3		27 + 1
	4 + 3		12 - 4		28 + 2
	8 + 2		15 - 5		31 + 3
	11 + 1		18 - 6		
	15 0		21 - 7		
	20 - 1		24 - 8		
	25 - 2		27 - 9		
			30 - 10		

Figura 6: Tabela que fornece a correção no horário lido num relógio solar devida à equação dos tempos.

A segunda correção vem do fato da existência dos fusos horários. O que ocorre é para cada local do planeta existe um meridiano, e portanto um horário específico determinado pela posição do sol em relação a esse meridiano. Isso gera um inconveniente quando se é necessário estabelecer relações sociais ou comercias ou mesmo se locomover, pois dever-se-ia efetuar correções e conversões de horário constantemente. A solução encontrada pela comunidade internacional foi a de dividir a Terra em 24 fusos horários de uma hora cada um, dentro dos quais deve vigorar a mesma hora, a qual deve corresponder ao meridiano central de cada fuso. Tendo sido o relógio solar instalado num local de longitude l em relação ao meridiano de Greenwich, deve-se conhecer a longitude l_M do meridiano central do fuso horário correspondente. O valor absoluto da diferença angular $(l - l_M)^\circ$ deve ser então transformado para diferença de tempo, de acordo com a relação $\Delta t = 4\,(l - l_M)$ min, obtida a partir da regra de três

$$\frac{60\text{min}}{\Delta t} = \frac{15^\circ}{l - l_M}$$

Essa diferença de tempo deve ser somada ou subtraída do horário medido no relógio solar (já levando em conta a correção devida à equação dos tempos), dependendo da localização do relógio solar estar a leste ou a oeste do meridiano central do fuso horário. Se estiver a leste deve-se subtrair a diferença de tempo, e se estiver a oeste deve-se somar, o que provém do fato de o movimento aparente do Sol no céu se dar de leste para oeste. Como esta diferença de tempo é fixa para um determinado local, pode-se modificar a posição do mostrador do relógio solar de tal maneira a absorver essa correção. Para os equatoriais, basta girar o mostrador de $(l - l_M)^\circ$. Para os horizontais, basta deslocar todas as linhas de $(l - l_M)^\circ$ no mesmo sentido.

Referências

[1] BOCZKO, Roberto. *Conceitos de Astronomia*, Ed. Edgard Blücher, 1984.

[2] MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. *Manual do Astrônomo*, Ed. Jorge Zahar Editor, 1995.