



Relógios de Sol

O relógio equatorial e tipologias derivadas

Luís Filipe Marques Pinto

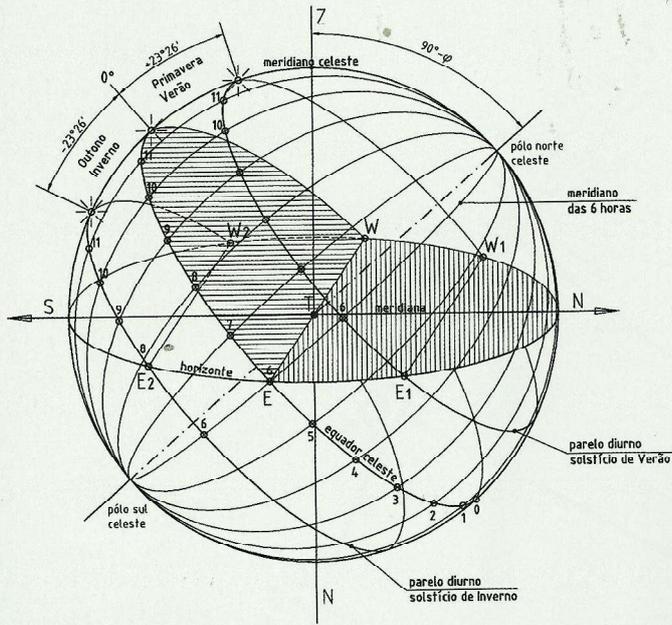
A esfera celeste e o movimento aparente do Sol

A apreensão e a interpretação que o Homem faz do Universo são, naturalmente, consequência das suas capacidades e resultam do seu ponto de vista (a Terra).

Quando, à noite, contemplamos o espectáculo do céu repleto de estrelas, temos a sensação de estar no centro de uma esfera imensamente grande, em cuja superfície estão suspensos os astros. Esta superfície é designada por *esfera celeste*. Apesar de a Terra não se encontrar no centro do Universo e de os astros que contemplamos se encontrarem a distâncias muito variáveis do nosso planeta, a representação esquemática da *abóbada celeste* através de uma esfera, com a Terra no centro, simplifica, extraordinariamente, a localização e a representação dos astros no firmamento. Como a *es-*

fera celeste não tem dimensões definidas, a distância entre os pontos nela contidos é convertida em ângulos, com vértice no seu centro (local de observação).

Se fixarmos, através de uma fotografia, p. e., a imagem do céu estrelado, apenas um ano depois voltaremos a ver, exactamente, a mesma perspectiva do firmamento. No final de um ciclo de 24 horas, os astros reassumem, no firmamento, uma posição aproximada, mas não exactamente igual. Este facto resulta da conjugação dos movimentos de revolução da Terra, em torno de si mesma e em torno do Sol. A perspectiva mutável e cíclica do cosmos está na base do *sistema de coordenadas equatoriais horárias*, definido por um *eixo de referência* e por um *círculo primário* (figura 1). O *eixo de referência* é a projecção radial do *eixo polar* e o *círculo pri-*



T - terra
 $[90^\circ - \varphi]$ - colatitude
 N, S, E e W - pontos cardeais
 Z e N - zênite e nadir
 FW - percurso do sol, acima do horizonte, nos equinócios
 E1W1 - percurso do sol no solstício de Verão
 E2W2 - percurso do sol no solstício de Inverno

Figura 1. Percurso do Sol, relativamente ao equador celeste e relativamente ao horizonte.

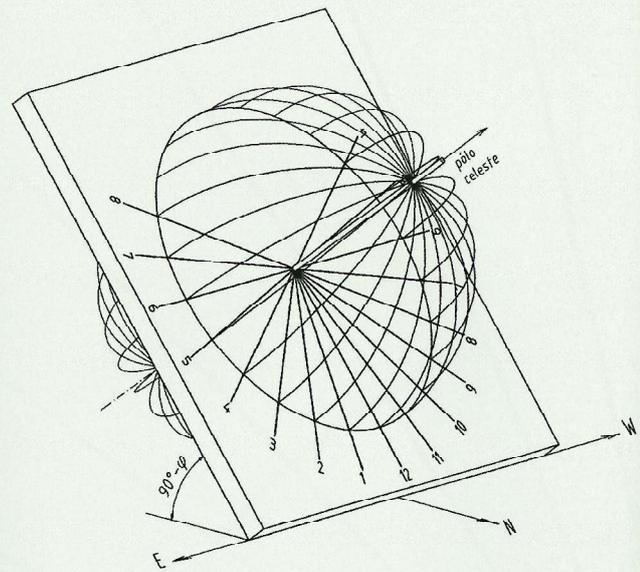


Figura 2. O relógio equatorial como réplica da esfera celeste.

mário é o equador celeste — projecção do equador terrestre. O círculo de referência do sistema designa-se por meridiano celeste do lugar e é o meridiano horário que passa pelo zênite do lugar. O meridiano celeste intersecta o horizonte do lugar nos pontos cardeais norte e sul, enquanto que o equador celeste intersecta o horizonte do lugar nos pontos cardeais nascente e poente.

A figura 1 ilustra o percurso do Sol relativamente ao equador celeste e ao horizonte do lugar. Podemos ver os paralelos diurnos que o Sol descreve na esfera celeste nos solstícios de Verão e de Inverno e a circunferência intermédia que coincide com o equador celeste e corresponde à trajectória do Sol nos equinócios da Primavera e do Outono.

Na construção da esmagadora maioria dos relógios, considera-se que o Sol, a uma determinada hora e nos diferentes dias do ano, se situa sempre no mesmo meridiano celeste¹ — acima do equador quando a declinação é positiva (na Primavera e no Verão) e abaixo do equador quando a declinação é negativa (no Outono e no Inverno).

Relógio solar equatorial

Por definição, os relógios solares medem o tempo em função do movimento do Sol. Embora exista apenas uma única tipologia de relógio de sol — a esfera armilar — que é, formalmente, uma representação da esfera celeste, todos os relógios de sol são réplicas mais ou menos abstractas da esfera celeste.

No relógio equatorial, o eixo polar é materializado pelo estilete e o equador celeste pelo quadrante (figura 2). As linhas de hora são as rectas de intersecção dos meridianos horários com o equador (plano do quadrante). Note-se que cada meridiano horário dá origem a duas horas, com o desfasamento rigoroso de meio-dia (o meridiano das 12 horas é, também, o das 24 horas, relativamente à superfície terrestre que está em sombra).

O equatorial é, provavelmente, o mais simples de todos os relógios de sol. Este tipo de relógio tem a particularidade de poder ser desenhado sem recurso a cálculos matemáticos

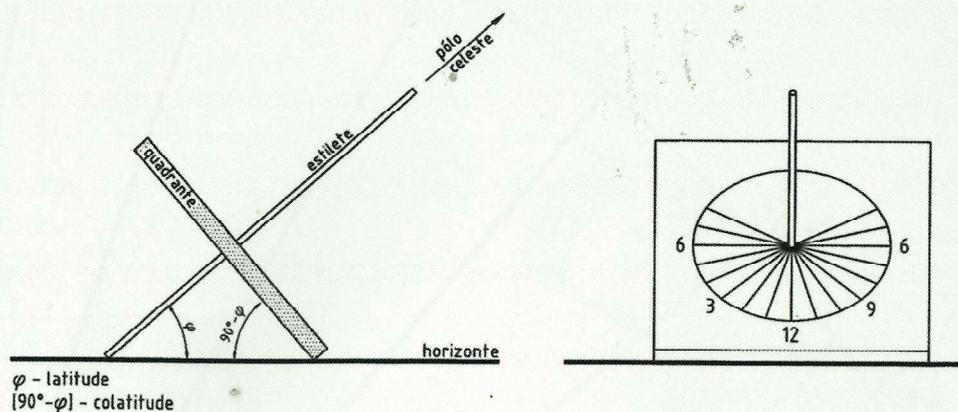


Figura 3. Vistas nascente e norte do relógio equatorial.

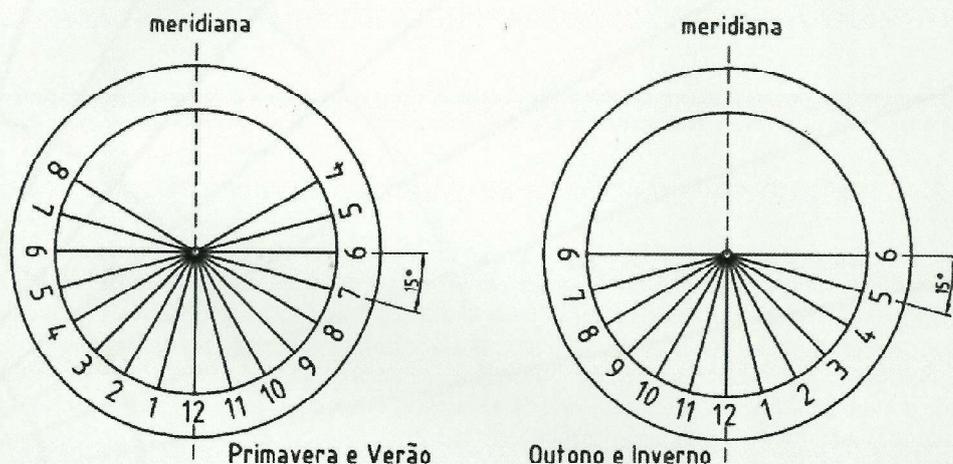


Figura 4. Vistas dos quadrantes superior e inferior do relógio equatorial.

ou traçados geométricos e, além disso, pode ser utilizado em qualquer latitude, desde que seja adequadamente instalado.

No relógio equatorial, o *estilete* é paralelo ao *eixo polar* (figura 3) e o *quadrante* é perpendicular, por conseguinte, paralelo ao *equador* — daí a designação de *relógio equatorial*.

Dado que o Sol, pressupostamente, se desloca na *esfera celeste*, em torno do *eixo polar*, a uma velocidade uniforme de 15° por hora ($360^\circ:24h=15^\circ$), as linhas de hora deverão ser espaçadas entre si de 15°, coincidindo a linha das 12h00 com a *meridiana*.

Dado que o *quadrante* é paralelo ao *equador* e o Sol se encontra acima do equador 6 meses do ano e abaixo do equador outros 6 meses, os raios solares incidirão na face superior do relógio apenas entre 20/21 de Março e 22/23 de Setembro. Se quisermos utilizar o relógio de sol durante todo o ano, teremos de duplicar os *quadrantes*.

No *quadrante* superior, para as latitudes de Portugal, deveremos inscrever 8 horas matutinas e 8 horas vespertinas

(figura 4). Como o *quadrante* inferior se destina apenas aos meses de Outono e Inverno, altura em que o período nocturno é mais longo do que o diurno, bastará inscrever apenas 12 horas neste *quadrante*, das 6h00 às 18h00 (figura 4).

Tipologias derivadas do relógio de sol equatorial

Entendo que todos os relógios prismáticos ou cilíndricos, cujas *arestas* ou *geratrizes* sejam dispostas paralelamente ao *eixo polar*, podem ser encarados como variantes, mais ou menos complexas, do relógio equatorial.

Relógios prismáticos

Um prisma recto, cujas bases correspondam a *hexagramas*² pode ser utilizado como relógio de sol. Para funcionar, bastará assinalar as *linhas de hora* nas faces laterais e orientar a base superior para o *pólo celeste* (que, no hemisfério norte, se situa nas imediações da estrela polar).

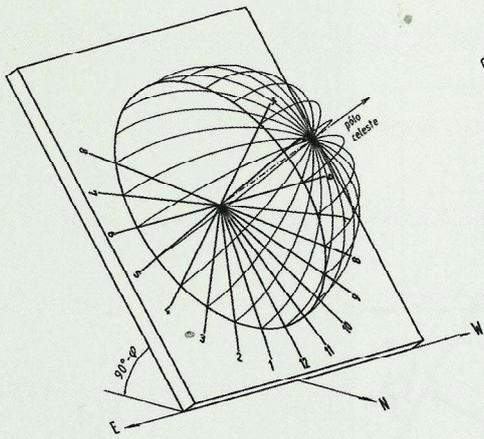


Figura 5. Determinação da direcção dos raios solares no (plano do) equador, a partir dos meridianos horários.

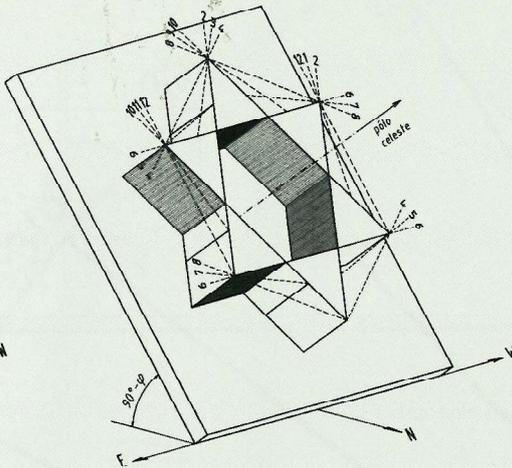


Figura 6. Determinação das linhas de hora, através de tangentes com direcção dos raios luminosos.

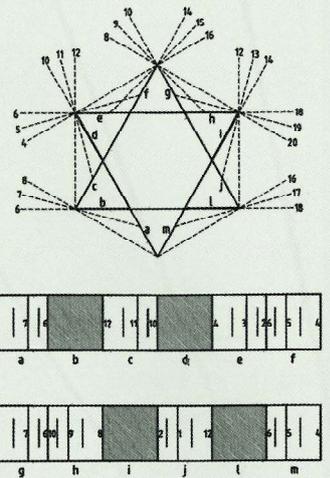


Figura 7. Determinação das linhas de hora e planificação das faces laterais do relógio.

Na figura 5, vê-se como podemos determinar, no plano do *equador*, a direcção dos raios solares às horas inteiras, a partir da intersecção dos *meridianos horários* com esse plano.

Neste tipo de relógio, não existe um único *gnómon*, como sucede na generalidade dos relógios de sol, verificando-se, durante o funcionamento, uma alternância de *gnómons*, que são as próprias arestas exteriores do sólido.

À medida que o Sol percorre a *esfera celeste*, a sombra auto-projectada do prisma incide, alternadamente, sobre as suas faces laterais (figura 6). Devido ao formato e proporções do *hexagrama*, cada face lateral do poliedro recebe a sombra de uma aresta vizinha durante, rigorosamente, duas horas. Quando a sombra projectada tiver varrido completa-

mente uma face, outra mancha de sombra começará a formar-se em outra face, de forma que, enquanto o Sol estiver a brilhar no firmamento, haverá sempre uma face parcialmente ensombrada, cujo contorno assinalará a *hora solar*.

Estudemos a *escala de horas* a inscrever nas faces laterais do prisma, a partir do *plano equatorial* (bases do prisma) (figura 7).

Traçando as tangentes de 15° em 15° ao polígono estrelado, sabendo-se que a direcção das tangentes corresponde à dos raios solares de 60 em 60 minutos, determinamos as *linhas de hora* nas faces laterais do sólido. Para melhor compreensão, na zona inferior da figura 7, incluímos a planificação das faces laterais do prisma, com a respectiva *escala de horas*.

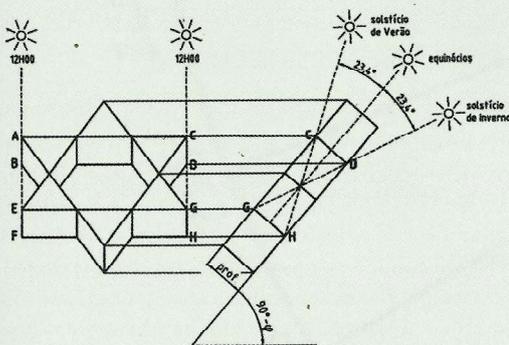


Figura 8. Determinação da profundidade mínima do prisma, a partir da vista lateral (poente).

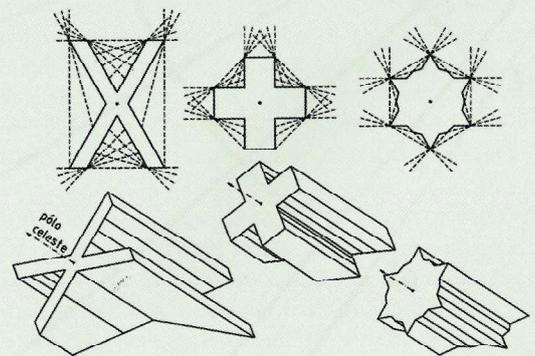


Figura 9.

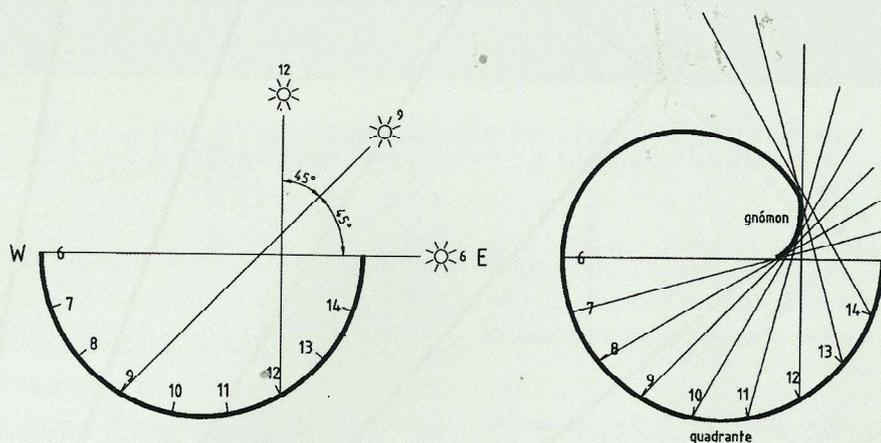


Figura 10. As tangentes ao gnômon são as rectas de intersecção dos meridianos horários e o equador. As linhas de hora são as rectas de intersecção dos meridianos horários e o quadrante.

Nas regiões polares, no período de Verão, os raios solares incidiriam, alternadamente, nas 12 faces laterais do prisma, durante um ciclo de 24 horas. No entanto, nas regiões temperadas, isso não sucede e, nas latitudes do território português, no dia mais longo do ano (solstício de Verão) dispomos de cerca de 15 horas de luz solar. Por essa razão, talvez se deva omitir as *linhas de hora* nocturnas, que seriam inscritas nas faces *b, d, i e l* (figura 7).

Se analisarmos a figura 7, perceberemos que a sombra auto-projectada do sólido percorrerá, sequencialmente, as seguintes faces, desde o nascer ao pôr-do-sol: *f* (das 4h00 às 6h00), *a* (6h00-8h00), *h* (8h00-10h00), *c* (10h00-12h00), *j* (12h00-14h00), *e* (14h00-16h00), *m* (16h00-18h00) e *g* (18h00-20h00).

Este tipo de relógio pode ser utilizado em qualquer *latitude*, desde que seja assente numa base com inclinação adequada e desde que seja orientado em função dos *pontos cardiais* (figura 6).

Ao meio-dia, a sombra projectada das arestas $[AB]$ e $[CD]$ incidirá nas arestas $[EF]$ e $[GH]$ (figura 8).

Atendendo à variação anual da *declinação solar* (de $-23^{\circ}26'$ no solstício de Inverno a $+23^{\circ}26'$ no solstício de Verão), a profundidade mínima do prisma deverá ser determinada em conformidade com o desenho da figura 8. Se a profundidade do sólido for inferior, o relógio deixará de funcionar à medida que a *declinação solar* se aproximar dos limites máximo e mínimo.

Um número indeterminado de prismas pode estar na origem de outros tantos modelos de relógios de sol, cujos princípios de funcionamento são, essencialmente, os que acabam de ser explicados (figura 9).

Relógios cilíndricos

Os relógios cilíndricos têm o mesmo princípio de funcionamento dos prismáticos, (não fosse o cilindro um prisma com um número infinito de faces laterais...). A *directriz* da superfície cilíndrica poderá ser uma linha curva qualquer, aberta ou fechada.

Nos relógios verticais orientados a nascente ou a poente, assim como nos relógios polares, as *linhas de hora* são paralelas entre si, embora se encontrem a distâncias variáveis.

Podemos autopropormo-nos o desafio de conceber um modelo cilíndrico em que, fazendo variar a curvatura das superfícies emissora (*gnômon*) e receptora (*quadrante*) da sombra, se logre obter um relógio em que as *linhas de hora* sejam equidistantes. Neste caso, a *directriz* terá de ser determinada matematicamente ou geometricamente.

Bernard Rouxel classifica de *epicicloidalis* ou *hipocicloidalis* estes relógios solares, devido à semelhança das equações das respectivas curvas³.

Analisemos o traçado do relógio, geometricamente, a partir do *plano do equador* que, se o cilindro for recto, coincidirá com a base.

Se admitirmos uma superfície semicilíndrica como *quadrante* (figura 10), poderemos dividi-la em nove segmentos iguais, cada um correspondente a uma hora, para um trajeto do Sol de 135° ($15^{\circ} \times 9h$) na *esfera celeste*. Como a intersecção do plano equatorial com o meridiano das 6/18 horas é uma recta horizontal, começaremos por graduar as *linhas de hora* precisamente a partir das 6 horas (figura 10).

Em seguida, traçamos rectas com a inclinação correspondente à dos raios luminosos, a partir de cada *linha de hora*, e obtemos as tangentes a uma superfície cilíndrica de

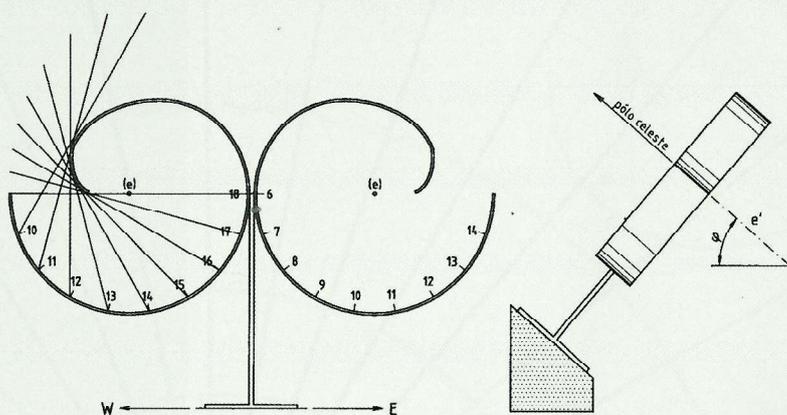


Figura 11. As duas abas do relógio. Uma virada a nascente e a outra a poente. Vista poente do relógio. O eixo da superfície deverá ser alinhado pelo eixo polar.

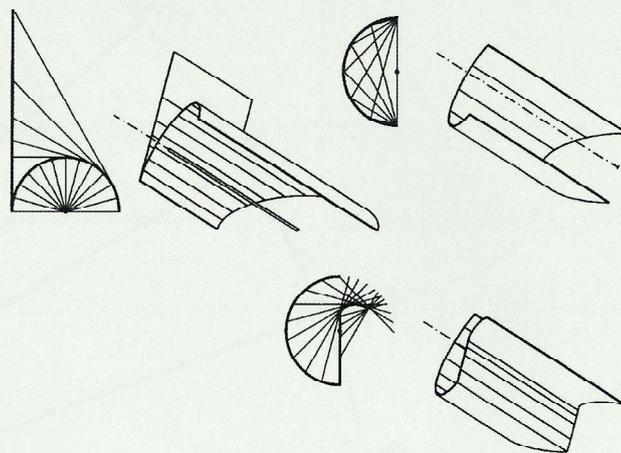


Figura 12. Os relógios cilíndricos podem assumir formas extraordinariamente variadas.

curvatura variável que funcionará como *gnómon* do relógio (figura 10).

Já desenhámos a aba do relógio exposta a nascente. Se pretendemos que o relógio registre igualmente as horas vespertinas, teremos de desenhar a aba virada a poente (figura 11).

Tal como sucede com os relógios prismáticos, as possibilidades de invenção de formas cilíndricas mais ou menos belas e ousadas são imensas, aparentemente inesgotáveis ... (figura 12).

Termino, propondo a seguinte reflexão: A *gnomónica* estará em regressão, como seria de esperar, ou, pelo contrário, estará em expansão?

Os relógios de sol deixaram, há muito tempo, de ser úteis, enquanto tal, ao homem contemporâneo, que dispõe de tecnologia cada vez mais sofisticada para medir o tempo que ele mesmo convencionou, divorciando-se dos ritmos da natureza. No entanto, assiste-se à disseminação, pelo mundo, de associações de estudo e divulgação do relógio de sol. Já não é tanto (ou apenas) o objecto, enquanto instrumento de medição do tempo, que nos interessa, mas sobretudo o objecto, enquanto ponto de confluência de saberes e de contemplação. Astronomia, trigonometria, geometria e design são algumas áreas de conhecimento que confluem para dar expressão à *gnomónica*.

Neste texto, centrei-me em três tipologias — *equatorial*, *prismáticos* e *cilíndricos*. A propósito dos relógios prismáticos e cilíndricos, procurei demonstrar que existe um leque in-

findável de formas possíveis por explorar. No entanto, estas duas tipologias nem sequer são referidas na maioria dos livros que abordam o tema, o que me leva a supor que o percurso que nos falta desvendar na *gnomónica* é, pelo menos, tão longo e deslumbrante quanto o trajecto que já foi percorrido pelo génio humano ao longo dos séculos...

Notas

- 1 No entanto, este pressuposto é falso, devido ao facto de o movimento aparente do Sol não ser uniforme. A irregularidade do movimento deve-se à conjugação de dois factos:
 - a obliquidade da *eclíptica*: os paralelos celestes percorridos pelo Sol apresentam a inclinação de $23^{\circ}26'$ relativamente ao equador, círculo onde o tempo, através dos meridianos, é medido uniformemente.
 - a excentricidade da órbita terrestre: a terra desloca-se ao longo de uma elipse, varrendo áreas iguais em intervalos de tempo iguais e, tendo esses arcos diferentes comprimentos, não correspondem, naturalmente, a sectores iguais no equador.
- 2 A designação mais comum para o *hexagrama* é *Estrela de David* ou *estrela de seis pontas*.
- 3 Bernard Rouxel, *Cadran Solaires Epicycloïdaux ou hypocycloïdaux*, fascículo 5 do CADRAN-INFO, editado pela Commission des Cadran Solaires de la SAF, Maio de 2002.

Luís Filipe Marques Pinto
Universidade Lusitana