

Relações Astronômicas Terra-Sol

Objetivos:

1. Determinar a distância da Terra em relação ao Sol;
2. Distinguir entre coordenadas geográficas e coordenadas celestes;
3. Analisar o triângulo astronômico;
4. Conceituar e determinar o fotoperíodo;
5. Estudar a formação das estações do ano.

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Distância Terra-Sol
 3. Sistema de Coordenadas Geográficas
 4. Sistema de Coordenadas Celestes
 - 4.1. Sistema Equatorial
 - 4.2. Sistema Horizontal Local
 5. O Triângulo Astronômico
 6. As Estações do Ano
 7. Conclusões
 8. Exercícios Propostos
 9. Bibliografia Consultada e Recomendada
-

1. Generalidades

- O Sol é uma estrela de quinta grandeza.
- Movimentos importantes: translação e rotação.

2. Distância Terra-Sol

- A órbita da Terra em torno do Sol não é uma circunferência perfeita (órbita elíptica).
- Conceitos fundamentais: afélio, periélio e distância relativa Terra-Sol (D_r).

$$D_r = \left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot DDA}{365}\right) \quad (1)$$

onde D_r (adimensional); DDA = número de ordem do dia do ano (1 a 366) e D = distância absoluta Terra-Sol num dado DDA. A [Figura 1](#) mostra D_r em função de DDA.

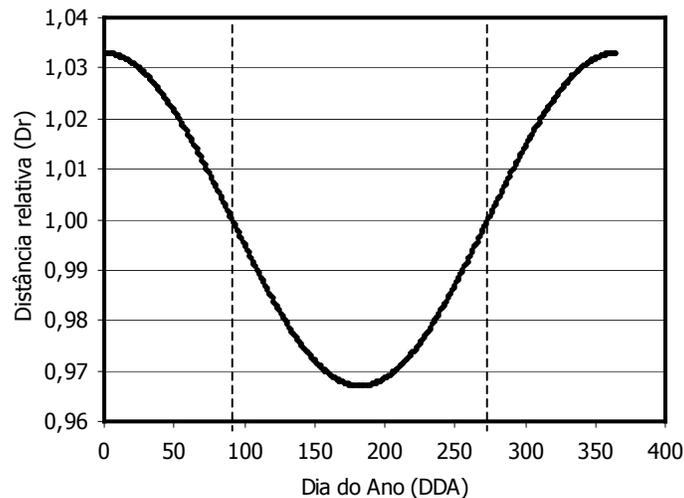


Figura 1. Distância relativa Terra-Sol em função da época do ano (DDA)

$$DDA = \text{Inteiro}\left(\frac{275 \cdot MDA}{9} - 30 + DDM\right) - 2 \quad (2)$$

onde MDA = número de ordem do mês no ano (varia de 1 a 12) e DDM = número de ordem do dia num mês (varia de 1 a 31). Com a [equação 2](#), obteve-se a [Tabela 1](#).

A equação 2 está restrita às seguintes condições:

se	(MDA < 3)	então	DDA = DDA + 2
se	(bissexto e MDA > 2)	então	DDA = DDA + 1

FUNDAMENTOS DE METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA
Prof. Aureo S. de Oliveira – NEAS/UFRB

Tabela 1. Número de ordem do dia do ano (DDA) em função do dia do mês (DDM) e mês do ano (MDA).
 Obs.: * adicione 1, a partir de 1º de março se o ano é bissexto.

MDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DDM	Jan	Fev	Mar*	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Exemplo Prático 1) Analise as equações 1 e 2, e verifique as condições necessárias para $D_r = 1$.

Exemplo Prático 2) Determine DDA, D_r e D correspondentes à data 13 de junho. Considere ano normal e ano bissexto. Interprete os resultados ($D_r < 1$ é coerente com o dia 13.06?).

3. Sistema de Coordenadas Geográficas

Por meio do sistema de coordenadas geográficas localiza-se qualquer ponto na superfície da Terra (FELLOWS, 1975).

- Conceitos básicos: paralelo e meridiano
- Coordenadas: latitude (ϕ), longitude (ω) e altitude (A).

4. Sistema de Coordenadas Celestes

Esfera Celeste (EC) → esfera de diâmetro tão grande quanto se possa imaginar, na superfície da qual todos os astros (Sol, Lua, estrelas, planetas,...) estariam localizados, e cujo centro coincide com o centro da Terra (Figura 2).

O Sistema de Coordenadas Celestes: Sistema Equatorial de Coordenadas e o Sistema Horizontal Local de Coordenadas.

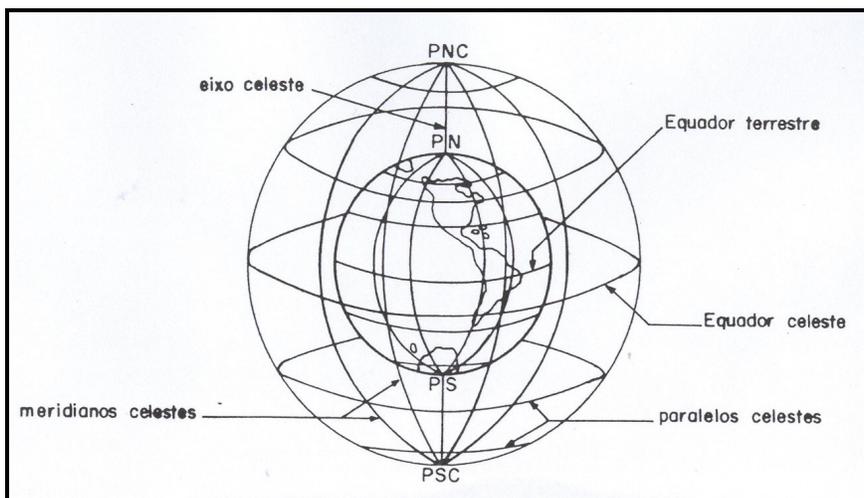


Figura 2. A esfera celeste. (Em relação à EC, a Terra é um simples ponto, no centro da esfera. Esta figura, porém, mostra a Terra bastante ampliada, para efeito didático) (Fonte TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

4.1. Sistema Equatorial de Coordenadas Celestes

- Coordenadas: ascensão reta e declinação do astro.

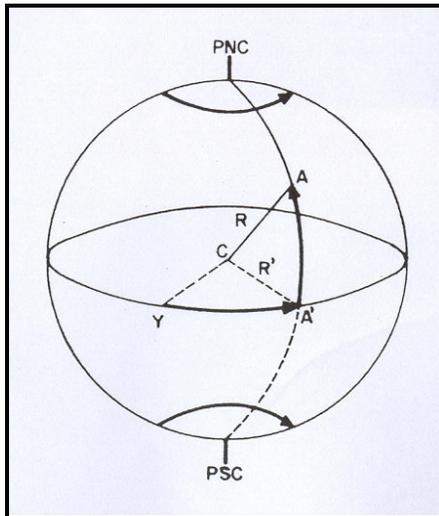


Figura 3. Coordenadas celestes no sistema equatorial. (γ = ponto vernal; $AA' = \delta$ = declinação solar; $A'\gamma$ = ascensão reta; R = raio vetor do astro; R' = projeção do raio vetor; $\gamma A'\gamma$ = Equador celeste). (Fonte TUBELIS e NASCIMENTO, 1984)

A declinação do astro é o ângulo entre o raio vetor Terra-Astro e o PEC.

Para o caso do Sol, a declinação (δ) varia de 0 a $+23^{\circ}27'$ (Sol no HNC) e de 0 a $-23^{\circ}27'$ (Sol no HSC). Quando $\delta = 0$ implica dizer que o Sol encontra-se no PEC.

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot DDA}{365} - 1,39\right) \quad (3)$$

onde δ é expresso em radianos. Conversão: $180^{\circ} \cdot [\text{radianos}] = \pi \cdot [\text{graus}]$

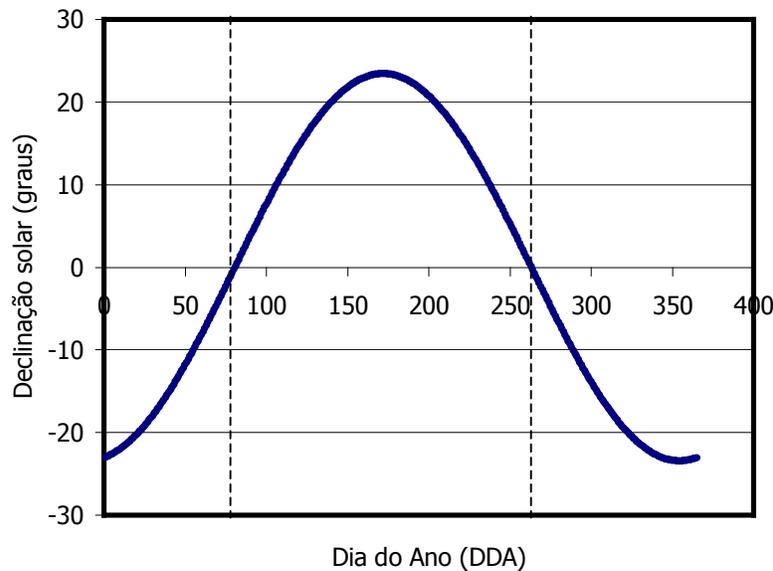


Figura 4. Variação anual da declinação solar.

Exemplo Prático 3) *Determine o valor de δ no dia 13 de junho, considerando ano normal. Expresse o resultado em graus e radianos.*

Exemplo Prático 4) *Quais os dias em que $\delta = 0$? Interprete os resultados.*

4.2. Sistema Horizontal Local de Coordenadas Celestes

Conceitos básicos: vertical local, zênite local e plano horizontal local

Coordenadas: elevação (ângulo zenital) e azimute do astro.

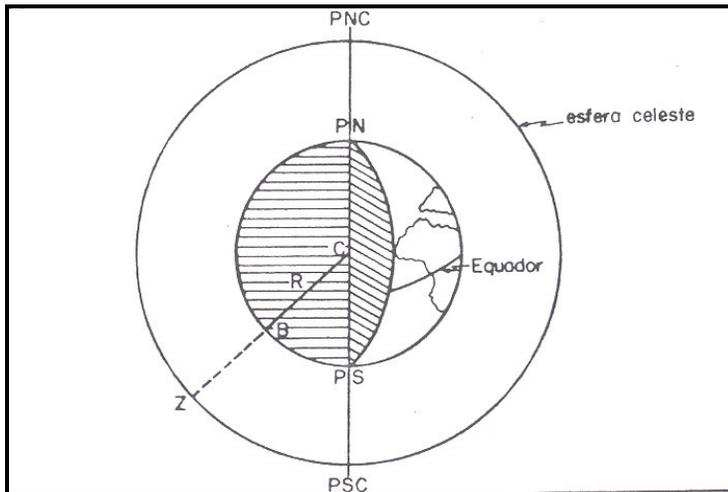


Figura 5. Determinação do zênite de um local (CB = raio da Terra; BZ = vertical local; Z = zênite; PN e PS = pólos terrestres; PNC e PSC = pólos celestes). (Fonte TUBELIS e NASCIMENTO, 1984)

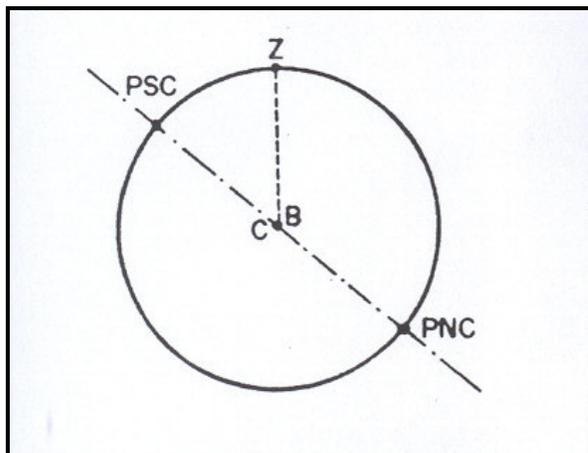


Figura 6. Vertical e zênite de um local, admitindo-se o raio terrestre nulo. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984)

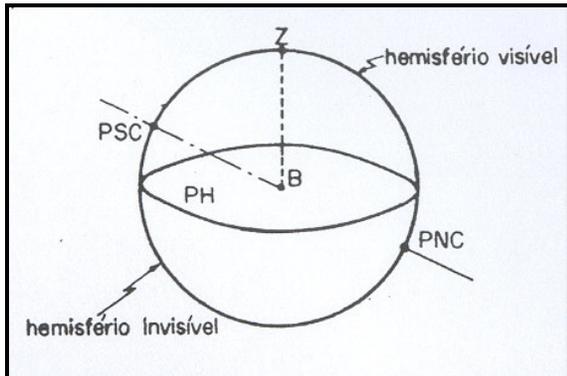


Figura 7A. Plano horizontal local (PH) e hemisfério local ou hemisfério visível. (Fonte TUBELIS e NASCIMENTO, 1983)

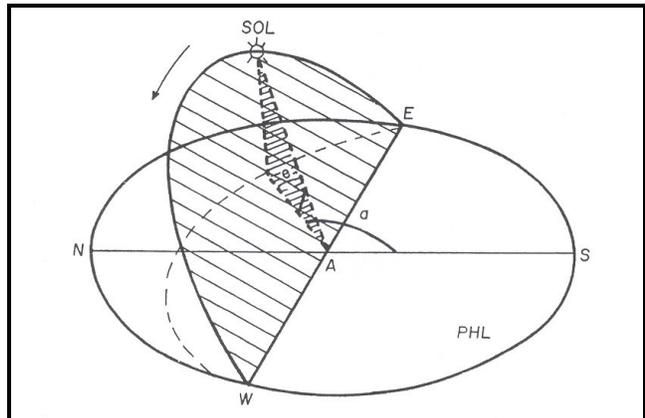


Figura 7B. Coordenadas celestes do sistema horizontal: \hat{e} = elevação do astro; \hat{a} = azimute do astro e A = observador. PHL é o Plano Horizontal Local (Fonte VIANELLO e ALVES, 1991)

Exemplo Prático 5) Da observação das figuras, conceitue elevação e ângulo zenital.

5. O Triângulo Astronômico

É um triângulo situado na EC e que tem como vértices o Pólo Celeste, o Astro (Sol) e o Zênite correspondente ao local do observador (Figura 8).

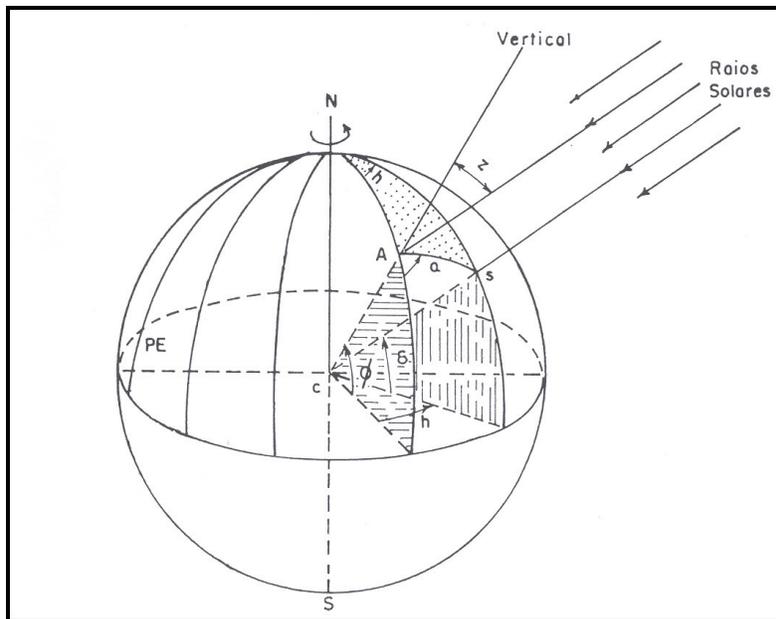


Figura 8. Projeção do triângulo astronômico sobre a superfície da Terra, mostrando os seguintes elementos: latitude (ϕ), declinação do Sol (δ), ângulo horário (\hat{h}), azimute (\hat{a}) e o ângulo zenital do Sol (\hat{z}), sendo A o ponto onde se encontra o observador e PE o Plano Equatorial Terrestre (Fonte VIANELLO e ALVES, 1991).

- Ângulo horário (\hat{h}) $\rightarrow \hat{h} < 0$ (manhã), $\hat{h} = 0$ (meio-dia) e $\hat{h} > 0$ (tarde).

$$\hat{h} = (H - 12) \cdot 15 \quad (4)$$

onde H = tempo cronológico, cujo valor varia de 0 a 24.

- Cálculo do ângulo zenital (OMETTO, 1981):

$$\cos \hat{z} = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \hat{h} \quad (5)$$

com todos os componentes já definidos anteriormente.

- Ângulo zenital quando $\hat{h} = 0^\circ$?

Exemplo Prático 6) Qual o valor do ângulo zenital no dia 13 de junho às 10 horas e ao meio-dia, na localidade de Cruz das Almas, Bahia (225 m; 12°40'39" S; 39°06'23" W). Observe que: 12°40'39" = 12,6775° = 0,2213 rad

Exemplo Prático 7) Qual o valor da elevação do astro nos instantes do Exemplo Prático 5?

Do triângulo astronômico define-se, igualmente, o azimute do Sol, segundo a equação 7:

$$\sin \hat{a} = \frac{\cos \delta \cdot \sin \hat{h}}{\sin \hat{z}} \quad (7)$$

com todos os componentes já definidos anteriormente.

- Ângulo horário no nascer ou pôr-do-Sol (\hat{H}) $\rightarrow \hat{z} = 90^\circ$.

$$\hat{H} = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (8)$$

com todos os componentes já definidos anteriormente e \hat{H} é um ângulo em radianos.

Exemplo Prático 8) Qual o valor do ângulo horário no nascer do Sol no dia 13 de junho em Cruz das Almas? Expresse o resultado em radianos e graus.

- Fotoperíodo – período de luz

$$N = \frac{24 \cdot \hat{H}}{\pi} \quad (9)$$

O fotoperíodo em função da época do ano, para três latitudes distintas, incluindo a de Cruz das Almas (12,6°) é mostrado na Figura 9.

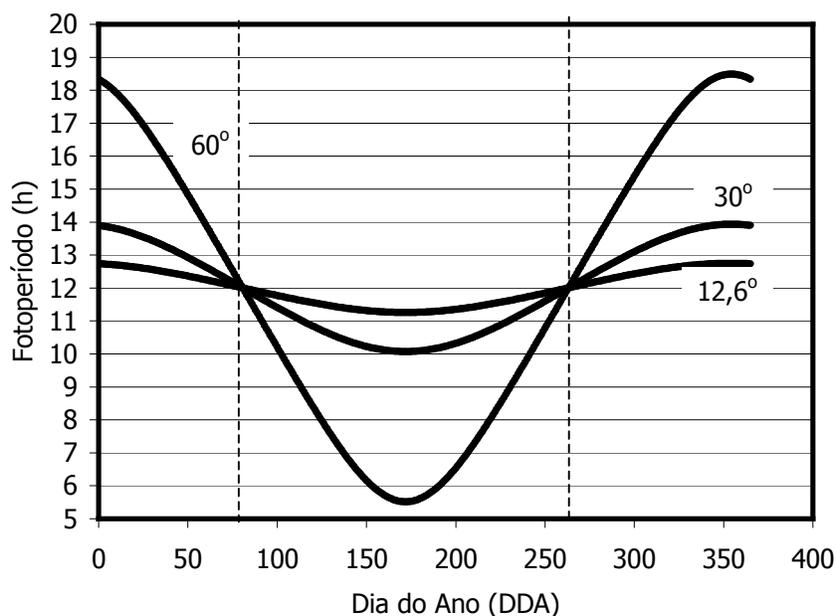


Figura 9. Variação do fotoperíodo com a época do ano para três diferentes latitudes.

Exemplo Prático 9) *Quais os valores de \hat{H} e N do dia 13 de junho em Cruz das Almas, Bahia?*

Exemplo Prático 10) *Demonstre que para localidades na linha do equador, N é constante e igual a 12.*

6. As Estações do Ano

- A formação das estações do ano (primavera, outono, inverno e verão) é resultado do efeito combinado da translação com a inclinação do eixo da Terra.

- 21.12 Solstício de verão no HS e de inverno no HN
- 21.03 Equinócio de outono no HS e de primavera no HN
- 22.06 Solstício de inverno no HS e de verão no HN
- 23.09 Equinócio de primavera no HS e de outono no HN

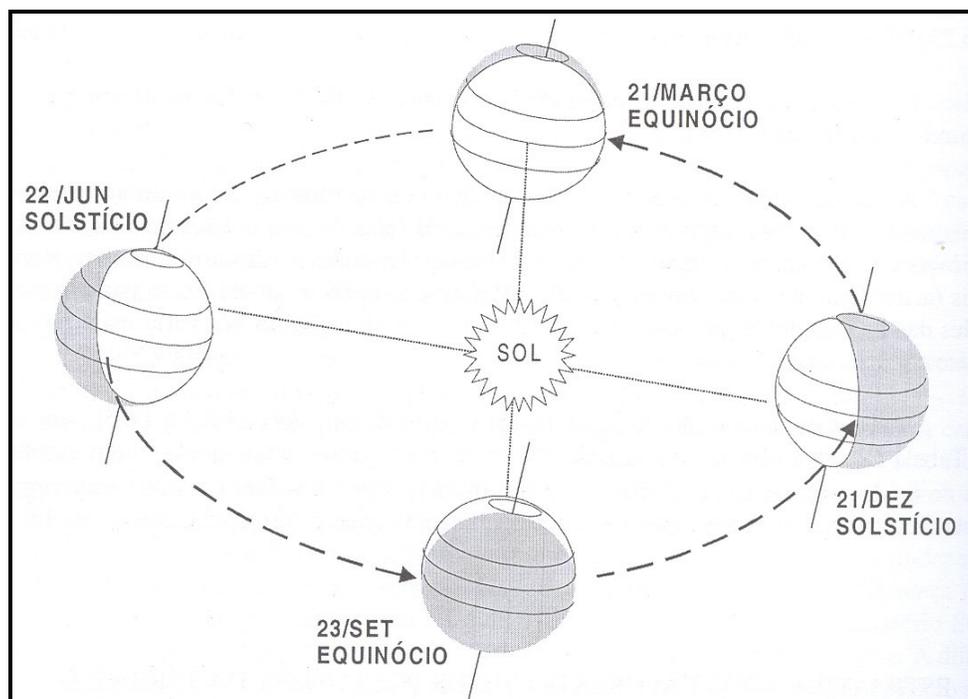


Figura 10. As estações do ano. As áreas sombreadas representam porções da superfície terrestre não atingidas pela luz solar. (Fonte VIANELLO e ALVES, 1991).

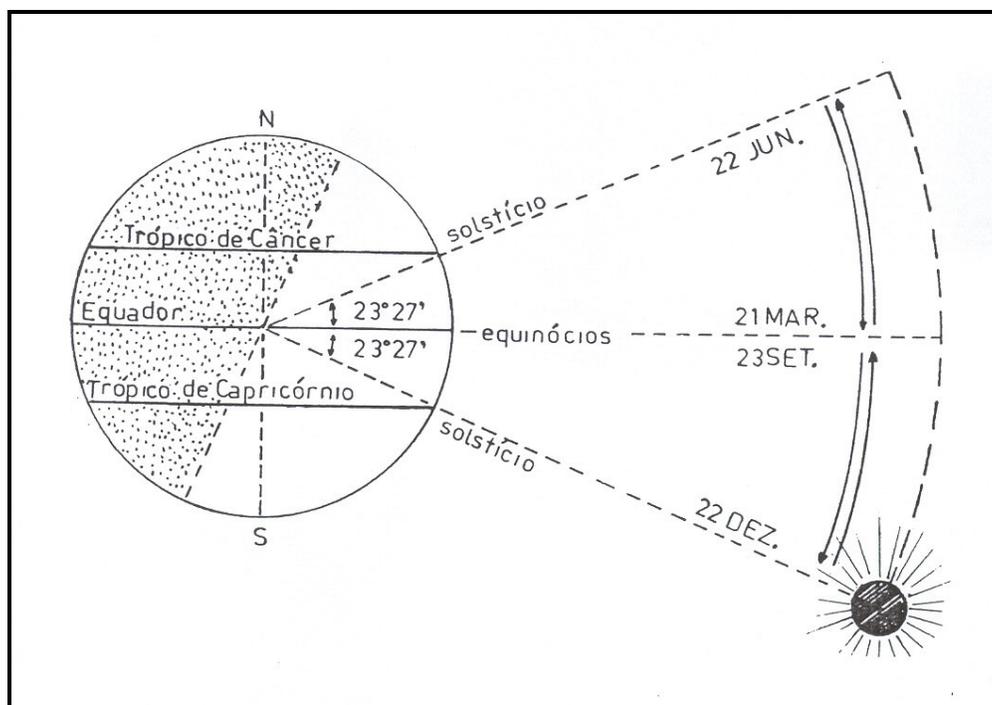


Figura 11. Movimento anual aparente do Sol na direção norte-sul, associado à variação de sua declinação, devido à obliquidade do eixo terrestre em relação ao Plano da Eclíptica. (Fonte VIANELLO e ALVES, 1991).

7. Conclusões

As informações preliminares aqui apresentadas constituem ferramentas básicas para que se entenda o processo de distribuição da energia solar na superfície da Terra, permitindo, inclusive a sua quantificação para qualquer localidade. É informação básica também para se compreender outros processos relacionados à dinâmica da atmosfera.

8. Exercícios Propostos

EP.01. Determine o valor de DDA correspondente às seguintes datas: 08 de abril, 14 de agosto e 26 de novembro, considerando: a) ano normal e b) ano bissexto.

EP.02. Qual a distância relativa D_r e a distância absoluta D entre a Terra e o Sol nas datas do exercício anterior?

EP.03. Você seria capaz de montar uma tabela com valores de DDA em função de MDA e DDM, para anos normais e bissextos, a partir da equação 2? Obs. Utilize planilha eletrônica ou um programa de computador em linguagem simples também pode ser escrito para gerar tal tabela.

EP.04. Represente esquematicamente a latitude de um ponto qualquer localizado acima e abaixo da linha do Equador. Faça o mesmo para um ponto a leste e oeste de Greenwich.

EP.05. Determine os valores de D_r , D e δ (radianos e graus) na data do seu aniversário.

EP.06. Você seria capaz de montar uma tabela com valores de δ para todos os meses do ano, com incrementos de 5 em 5 dias? Use uma planilha de cálculo. Represente graficamente seus resultados e o que V. pode concluir sobre o padrão de variação de δ ?

EP.07. Determine o valor de N para as datas do EP.01.

EP.08. Utilizando-se da equação 7, determine e expresse graficamente o valores de \hat{z} ao meio-dia ($H = 12$ h) do dia 08 de abril, nas latitudes de 0 a 90° norte e sul. Interprete os resultados. O que V. conclui? Use incrementos de 5 em 5 graus de latitude tanto para o norte quanto para o sul.

EP.09. Escolha uma das localidades a seguir e verifique o(s) dia(s) do ano (DDA) em que o Sol incide perpendicularmente sobre a mesma. a) Port Darwin, Austrália $12^\circ 26' S$; b) Rio de Janeiro, Brasil $22^\circ 54' S$; c) Changuinola, Panamá; d) $09^\circ 29' N$; e) Tauá, Brasil $05^\circ 32' S$

EP.10. Represente graficamente a variação do fotoperíodo em função da latitude e época do ano. Considere o intervalo entre as latitudes de 90° norte e sul, em incrementos de 10° . Considere também o dia 15 como referência para todos os meses. Interprete seus resultados.

EP.11. Desenhar as curvas que representam a variação anual do fotoperíodo no Recife ($8^\circ 11' S$, $34^\circ 55' W$) e em Porto Alegre ($30^\circ 02' S$, $51^\circ 13' W$).

9. Bibliografia Citada e Recomendada

VIANELLO, R. L. e ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

FELLOWS, D. K. **The environment of mankind: an introduction to physical geography**. New York: John Wiley & Sons. 1975. 484 p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres. 1981. 425 p.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel. 1984. 374 p.