

Teste de Radiação 2025/2026 – parte 2 - Resolvido

Resolução a azul.

1. Indique se as afirmações são verdadeiras ou falsas. Uma resposta certa vale 1 mas uma resposta errada desconta 0.5. A classificação mínima é zero. [6]

a) O azimute solar ao meio-dia solar é sempre igual a zero para qualquer latitude.

Falso. No hemisfério sul, o azimute solar ao meio-dia solar é 180.

b) A declinação solar é nula nos equinócios.

Verdadeiro.

c) No hemisfério sul, a duração do dia é maior no solstício de inverno do que no solstício de verão.

Falso. No solstício de inverno, o dia é sempre o mais curto do ano. Notar que o “nosso” solstício de inverno é o de verão no hemisfério sul.

d) A irradiância global horizontal é sempre menor do que a irradiância extraterrestre.

Falso. Nem sempre. Pode acontecer termos reflexões nas nuvens que concentram a irradiância.

e) O ângulo horário é zero à meia-noite e varia 15° por cada hora

Falso. É zero ao meio-dia.

f) Um piranómetro mede a irradiância global na horizontal.

Verdadeiro.

2. Por que é que o céu é azul? [2]

Explicar a dispersão de Rayleigh: moléculas do ar dispersam mais luz azul (λ curto) do que vermelha. Não é violeta (que tem menor λ do que o azul) porque no espectro solar há menos violeta do que azul.

3. Para o dia 17 de março, em Lisboa (38°N, 9°W):

a) Determine a declinação solar e a excentricidade da órbita terrestre. [2]

$d = 76$ (17 março)

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin \left(\frac{360^\circ}{365} (d + 284) \right)$$

$$\delta \approx -2.0^\circ$$

Teste de Radiação 2025/2026 – parte 2 - Resolvido

$$E_0 = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi d}{365} \right)$$

$E_0 \approx 1,01.$

b) Calcule a hora solar do nascer e do pôr do sol e a duração do dia. [2]

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan 38 \tan(-2)) = 89^\circ$$

$$\text{Ora } \omega_s = 15 (12 - h), \text{ logo } h = 12 \pm \frac{\omega_s}{15}$$

e portanto

- **nascer do sol: h = 6 h**
- **por do sol: h = 18 h**
- **duração do dia: 12 h**

c) Determine a altura solar e o azimute às 15h30 (hora solar). [2]

$$\omega = 15^\circ \times (12 - 15,5) = -52,5^\circ.$$

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

$$\sin \alpha = \sin(-2) \sin 38 + \cos(-2) \cos 38 \cos(-52.5)$$

Altura solar: $\alpha \approx 27^\circ$

$$\sin \psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}$$

$$\sin \psi = \frac{\cos(-2) \sin(-52.5)}{\cos(27)}$$

Azimute solar: $\psi = -63.1^\circ$

d) Calcule o ângulo de incidência da radiação numa parede vertical orientada a sul às 15h30. [2]

$$\cos \theta = \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \cos \omega$$

$$\cos \theta = \sin(-2) \sin(38 - 90) + \cos(-2) \cos(38 - 90) \cos(-52.5)$$

Ângulo de incidência na parede vertical: $\theta = 66.3^\circ$

Teste de Radiação 2025/2026 – parte 2 - Resolvido

- e) A essa hora, um pireliometro mede 650 W/m^2 . A fração de radiação difusa é de 23%. Determine a irradiância global na parede vertical considerando albedo = 0,30 e componentes difusas e refletidas isotrópicas. [2]

Um pireliometro mede a radiação direta na direção do sol, $DNI = 650 \text{ W/m}^2$.

Falta determinar GHI e DHI.

Mas sabemos que, na horizontal,

$$GHI(\beta = 0) = DNI \cos \theta_z + DHI$$

$$GHI(\beta = 0) = DNI \sin \alpha + 0.23 \text{ GHI}$$

$$GHI = \frac{DNI \sin \alpha}{1 - 0.23} = 386 \text{ W/m}^2$$

E, portanto, a radiação difusa é

$$DHI = 0.23 \text{ GHI} = 89 \text{ W/m}^2$$

Podemos então calcular a irradiância na parede

$$GI(\beta) = DNI \cos \theta + \rho \text{ GHI} \frac{1 - \cos \beta}{2} + DHI \frac{1 + \cos \beta}{2}$$

$$GI(\beta) = 650 \cos 66.3 + 0.3 \times 386 \frac{1 - \cos 90}{2} + 89 \frac{1 + \cos 90}{2} = \mathbf{363 \text{ W/m}^2}$$

- f) E se a reflexão fosse especular? [2]

Se a reflexão fosse especular, as componentes direta e difusa seriam iguais, mas a refletida deixaria de ser proporcional apenas à irradiância difusa e passa a ter duas componentes:

- A reflexão da irradiância difusa, que continuamos a assumir ser isotrópica¹
- A reflexão da irradiância direta, em que o ângulo de incidência $\theta^* = \theta$

$$RI(\beta) = \rho DNI \cos \theta^* + \rho \left(DHI \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

$$RI(\beta) = 0.3 \times 650 \cos 66.3 + 0.3 \times 89 \frac{1 + \cos 90}{2}$$

$$RI(\beta) = 0.3 \times 650 \cos 66.3 + 0.3 \times 89 \times 0.5 = 78 + 13 = \mathbf{91 \text{ W/m}^2}$$

¹ Notar que só metade da irradiância difusa é refletida para a parede porque a outra metade vem “de trás” da parede. Por isso é que temos de considerar o fator $(1 + \cos \beta)/2$

Teste de Radiação 2025/2026 – parte 2 - Resolvido

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi}$$

$$\sin \psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}$$

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(d + 284)\right)$$

$$E_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi d}{365}\right)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\omega = 15 (12 - h)$$

$$\text{Hora local} = \text{Hora solar} - EOT + \frac{LSM - LONG}{15}$$

$$EOT(\text{mins}) = -7.655 \sin\left(\frac{360}{365}d\right) + 9.873 \sin\left(2\frac{360}{365}d + 205.7\right)$$

$$GI(\beta) = DNI \cos \theta + \rho GHI \frac{1 - \cos \beta}{2} + DHI \frac{1 + \cos \beta}{2}$$

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} E_0 \left(\frac{\pi}{180} \omega'_s \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \sin \omega'_s \right)$$

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

$$\cos \theta = \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \cos \omega$$

$$\omega'_s = \min\{\arccos(-\tan \phi \tan \delta), \arccos(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta)\}$$

$$I_0|_{t_1}^{t_2} = I_{sc} E_0 \left((t_2 - t_1) \sin \delta \sin \phi + \frac{12}{\pi} (\sin(15 t_1) - \sin(15 t_2)) \cos \delta \cos \phi \right)$$

$$k_d \equiv \frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.012 - 0.248 k_t & k_t \leq 0.3 \\ 1.45 - 1.67 k_t & 0.3 < k_t \leq 0.78 \\ 0.147 & k_t > 0.78 \end{cases}$$

$$r_t(\omega) \equiv \frac{\bar{I}_t}{\bar{H}_t} \approx \frac{\bar{I}_t}{H_t} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{\pi}{180} \omega_s \cos \omega_s\right)}$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60^\circ)$$

$$b = 0.6609 - 0.4676 \sin(\omega_s - 60^\circ)$$