

**Alguns conceitos de radiometria**

Sabemos que o comprimento de onda  $\lambda$  ( $\mu\text{m}$ ), a frequência  $\nu$  ( $\text{seg}^{-1}$ ) e a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , estão relacionados segundo:

$$c = \lambda \nu$$

Lembre-mos que:  $1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ , que  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$  e que  $1\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}$ . A frequência pode ser vista como o número de ondas que passam em dado ponto fixo, em 1 segundo e sua unidade é o Hz (hertz).  $c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ . Em alguns casos, particularmente ao lidar com a banda termal de alguns sensores, precisamos considerar a radiação eletromagnética em termos do *número de ondas*  $\nu'$  ( $\text{cm}^{-1}$ ), que corresponde ao número de ondas que estaria contido em 1 cm. Assim sendo, tem-se:

$$\nu' = \lambda^{-1} (\text{cm}^{-1}) = \nu c^{-1}$$

**Regiões espectrais de interesse em SR**

	0.4	0.7	1.1	3.0	5	10	$10^3$	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
VV	VIS	NIR	SWIR	MWIR	LWIR			microondas

Em estudos radiométricos é mais fácil considerar a energia em movimento em termos de “pequenos pacotes” de energia, ou *quanta* (plural de *quantum*). Nesse sentido, um quantum de energia depende do comprimento de onda  $c$ , e é dado por:

$$q = h \cdot \nu = h \cdot c \cdot \lambda^{-1}$$

onde  $h = 6,6256 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{seg}$  é a constante de Planck,  $c$  a velocidade da luz no vácuo e  $\lambda$  o comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ). Assim, quanto menor o  $\lambda$ , maior será  $q$ .

A energia total (Q) contida num feixe radiativo é a função do número e tipo de fótons, qual seja:

$$Q = \sum q_i = \sum n_i h \nu_i$$

No entanto, é mais conveniente pensar num pacote de fótons não em termos da energia total contida no mesmo, mas em termos da taxa na qual essa energia é propagada, ou atravessa, ou ainda, atinge uma dada superfície. Essa taxa ou fluxo de energia é denominada de **FLUXO RADIANTE**, ou **POTÊNCIA RADIANTE** –  $\Phi$ , e pode ser definida como:

$$\Phi = dQ/dt \text{ (W)}$$

Muitas vezes podemos estar interessados na taxa na qual  $\Phi$  atinge uma superfície, ou que deixa uma outra superfície. Nesses casos, estamos tratando do conceito da **IRRADIÂNCIA** –  $E$ , que é definida por:

$$E = d\Phi/dA \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$$

onde  $dA$  é um elemento de área da superfície de interesse que recebe essa grandeza. Por sua vez, a energia que está sendo emitida ou refletida por uma superfície é denominada de **EXCITÂNCIA** –  $M$ , dada por:

$$M = d\Phi/dA \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$$

Tanto a irradiância quanto a excitância proporcionam informação espacial acerca do fluxo radiante, mas não oferecem qualquer consideração acerca da direção do mesmo. O mais simples termo radiométrico que oferece essa informação direcional sobre o fluxo radiativo, é a **INTENSIDADE RADIANTE** –  $I$ , dada por:

$$I = I(\theta, \Phi) = d\Phi/d\Omega \text{ (Wsr}^{-1}\text{)}$$

onde  $d\Omega = \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\Phi$  (esterorradiano) é o elemento de ângulo sólido,  $\theta$  e  $\Phi$  são orientações genéricas, mas podemos visualizá-las em termos dos ângulos zenital e azimutal.

A intensidade radiante –  $I$  descreve o fluxo por unidade de ângulo sólido, a partir de uma fonte pontual, em dada direção. Ocorre que a mesma não oferece qualquer informação espacial. É aí que entra o conceito de **RADIÂNCIA** –  $L$  ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ ), que é o termo radiométrico mais importante e complexo que existe em SR, sendo dado por:

$$L = dM/d\Omega \cos\theta = d^2\Phi/dA.\cos\theta.d\Omega = dE/d\Omega \cos\theta = dI/dA.\cos\theta$$

A radiância representa o fluxo de fótons emitidos pelo elemento de área da superfície emissora, projetado na direção na qual está sendo calculado  $L$ , por unidade de ângulo sólido e por unidade de tempo.

Para OKE (1998), a *radiância* é uma medida da *intensidade radiante emitida* por uma dada fonte, em dada direção, por unidade de “área aparente”, como vista pelo receptor, ou seja, na direção do fluxo  $F$ .

### $\pi$ mágico

Inicialmente, consideremos que  $d\Omega = d\theta.\sin\theta.d\Phi$ , em que  $\theta$  e  $\Phi$  são os ângulos zenitais e azimutais da direção do fluxo radiante. Em seguida, utilizando os conceitos de  $M$  e  $L$ , tem-se que:

$$M = \int L(\theta, \Phi) \cos\theta d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi$$

Considerando ser a radiância  $L$  isotrópica, pode-se mostrar facilmente que  $M = L.\pi$ .

### **Exercícios de fixação (Em elaboração)**

1. Diga o que entende por: a) ângulos zenital, azimutal e de elevação de um satélite; b) ângulo horário e declinação do Sol; c) ascensão reta de um satélite; d) culminação e culminação zenital de um astro (ou satélite); e) ponto vernal (qual a sua posição atual em relação às estrelas?).
2. Determinar o exato momento (hora legal) do nascer do Sol em João Pessoa ( $7^{\circ}10'S$ ;  $35^{\circ}W$ ), Rio de Janeiro ( $23^{\circ}S$ ;  $42^{\circ}12'W$ ) e Tucson ( $32^{\circ}14'N$ ;  $110^{\circ}59'W$ ), no primeiro dia do ano.
3. Obtenha a velocidade e altura da órbita de um satélite geoestacionário (GOES), admitindo que sua órbita seja circular.
4. Defina: foco, excentricidade, semi-eixo maior e semi-eixo menor de uma elipse.
5. A equação de uma elipse é do tipo:

$$r = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cos \theta}$$

onde  $a$  é o seu semieixo maior,  $\varepsilon$  a sua excentricidade, e  $\theta$  a anomalia verdadeira.

Com base na equação acima, obter a posição do satélite NOAA-11, 10 min após sua passagem no perigeu. Para o referido satélite, tem-se:  $a = 7229,606$  km;  $\varepsilon = 0,00119958$ ;  $T = 102$  min.

6. Definir corretamente: declinação e ascensão reta de um satélite; ascensão reta do nodo ascendente; argumento do perigeu; e inclinação da órbita.
7. Quais as principais forças a produzir perturbações nas órbitas dos satélites artificiais terrestres?
8. Obtenha a radiação solar diária no topo da atmosfera de um observador em João Pessoa ( $7^{\circ}10'S$ ;  $35^{\circ}W$ ), Rio de Janeiro ( $23^{\circ}S$ ;  $42^{\circ}12'W$ ) e Tucson ( $32^{\circ}14'N$ ;  $110^{\circ}59'W$ ), no dia que termina o verão no HN.
9. Considere o Sol como um corpo negro, a 5880 K. Com base nessa informação, determine: a) a energia emitida por cada  $\text{cm}^2$  do Sol, em 60 min; b) a energia emitida pelo Sol como um todo: a) a cada segundo e b) durante todo um dia.
10. Admitindo, ainda, o Sol como um corpo negro, use a Lei de Planck e obtenha: a) a radiância monocromática emitida pelo Sol, para  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ ; b) para  $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ ; c) para  $\lambda = 11,5 \mu\text{m}$ ; d) a radiância emitida pelo Sol entre 0,5 e 0,6  $\mu\text{m}$ ; e) os itens a, b, c e d, ao nível da atmosfera terrestre. Considere o raio do Sol = 700.000 km e a distância Terra-Sol = 149.500.000 km.
11. O que você entende por ângulo sólido? Determine o ângulo sólido subtendido pelo estado da Paraíba, no centro da Terra. Considere, ainda, um balão meteorológico com 0,5 m de raio. Qual o ângulo sólido subtendido pelo mesmo, em um ponto a 10 m desse balão? Idem para a Terra, num ponto a uma distância astronômica.
12. Qual a irradiância solar que recebe um coletor horizontal de 2 m x 1 m, disposto em uma residência em Campina Grande, nos dias 21/dez e 21/jun? Considere que a transmitância atmosférica é de 0,8.
13. O que você entende por: a) albedo? b) onda curta e onda longa? Temperatura de brilho? Emissividade de um corpo? Leis de Wien e de Planck?
14. Mostre que um elemento de ângulo sólido é dado por:  $d\Omega = d\theta \cdot d\phi \cdot \sin \theta$ , em que  $\Omega$  é o ângulo sólido,  $\theta$  é o ângulo zenital  $\phi$  é o ângulo azimutal.
15. Mostre que para uma superfície Lambertiana, a excitância radiativa  $M$  é dada pelo produto  $\pi \cdot L$ , em que  $L$  é a radiância.
16. Qual a energia associada a um quantum da radiação eletromagnética com  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ ? Qual a energia correspondente a um mol de quanta com  $\lambda = 0,51 \mu\text{m}$ ?
17. Considere que a radiação fotossinteticamente ativa – RFA (definida pela radiação solar visível) pode ser representada pelos fótons com  $\lambda = 0,51 \mu\text{m}$ . Desta forma, responda: qual a densidade do fluxo de fótons que estaria correspondendo a densidade de fluxo da RFA (em  $\text{mmoles} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) de  $500 \text{ w m}^{-2}$ ? Quantos litros de água seriam evaporados por uma densidade de fluxo radiativo de  $500 \text{ w m}^{-2}$ , admitindo o mesmo constante, ao longo de uma hora?