



ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA NO TOPO DA ATMOSFERA PARA O MUNICÍPIO DE ARARUNA/PB NOS SOLSTÍCIOS E EQUINÓCIOS

JOÉDSON ANDERSON DA SILVA; FABÍOLA GONZAGA DO NASCIMENTO;
ERIVÂNIA DA SILVA BEZERRA; ALDAISA DA CONCEIÇÃO GALDINO

RESUMO

A radiação solar se refere a energia emitida pelo sol que se propaga pelo vácuo e alcança o planeta Terra, propiciando a manutenção da vida e sendo responsável por grande parte dos fenômenos naturais ocorrentes na superfície terrestre. Contudo, parte da radiação que chega ao planeta é refletida de volta ao espaço devido a nebulosidade e gases presentes na atmosfera e, conseqüentemente, a outra parcela de radiação atinge a superfície, desencadeando processos como a evapotranspiração de superfícies vegetadas e a formação de nuvens ocasionada pela elevação do vapor de água à atmosfera. Logo, todos os processos naturais só ocorrem por conta da radiação que é disponibilizada pelo sol. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo determinar a quantidade de radiação solar global que é incidida no topo da atmosfera para o município de Araruna, no interior da Paraíba. Para tal, limitamos a nossa abordagem para os períodos de solstícios de inverno e verão e para os equinócios de outono e primavera. Nossa metodologia se resume ao método analítico, isto é, utilizando equações para se obter os resultados que desejamos. Na análise dos dados, percebemos que os equinócios indicam uma maior quantidade de radiação incidente, e devido a pouca inclinação do sol, ambos os hemisférios recebem a mesma intensidade de energia radiante. No tocante ao cálculo do ângulo horário (necessário para se obter a radiação global), foi possível analisar que apenas o solstício de inverno possui uma duração menor que 12h, diferente do solstício de verão e dos equinócios que indicam uma duração superior, assim como uma maior radiação global incidente no topo da atmosfera para a latitude local em questão.

Palavras-chave: Radiação Solar Global; Solstícios de inverno e verão; Equinócios de Outono e Primavera; Declinação Solar; Ângulo Horário.

1 INTRODUÇÃO

Radiação é o termo empregado ao processo pelo qual a energia se propaga sem a necessidade de um meio (VAREJÃO, 2006). A radiação solar é constituída por ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço e incide sob a superfície terrestre (QUERINO et al, 2006; QUERINO et al, 2011).

Após alcançar a atmosfera terrestre, essa radiação é administrada, sendo uma parte absorvida e outra parte refletida. Tal radiação oriunda do sol é a principal fonte de energia, sendo responsável pela derivação dos diversos fenômenos meteorológicos como a evaporação de água e a formação de nuvens, como também exerce papel fundamental no processo de fotossíntese e na manutenção de CO₂ (Martins et al., 2014).

Sob o ponto de vista da Física Moderna, a radiação pode assumir um comportamento ondulatório ou corpuscular (partícula). As discussões acerca do comportamento da radiação se iniciam por volta do ano de 1660 com o físico Isaac Newton, após analisar a decomposição da luz solar em um prisma. Newton percebeu que a luz difratava em sete comprimentos de onda

distintos, concluindo então, que a radiação seria constituída de diversos corpúsculos que eram separados de acordo seu comprimento de onda, onde poderiam sofrer fenômenos de refração e reflexão (TIPLER, 2012). Por outro lado, contrapondo-se a teoria corpuscular, Christiaan Huygens em 1678 defende a hipótese de que a radiação não seria corpuscular, mas sim ondulatória (HALLIDAY, 2009).

Sendo assim, pelo viés da ótica ondulatória, a radiação é descrita em função de um comprimento de onda variante entre 150 e 4.000 nm, e uma frequência de oscilação específica (VAREJÃO, 2006). O produto entre o comprimento de onda e a frequência de oscilação resulta na velocidade de propagação da luz no vácuo (Yavorsky e Detlaf, 1979).

As ondas são classificadas de acordo seu comprimento de onda e frequência como sendo ondas curtas e longas. As ondas curtas possuem comprimento de onda aproximado de 10^{-10} (raios gama). Enquanto as ondas longas possuem comprimento de 10^7 (ondas de rádio). A variação dessa classificação de ondas denomina-se espectro eletromagnético (VAREJÃO, 2006). Contudo, a grande parte das ondas não podem ser detectadas pelo olho humano, como o infravermelho e o ultravioleta. Apenas radiações que estejam entre os comprimentos de onda de $0,36 \mu\text{m}$ a $0,74 \mu\text{m}$ podem ser visíveis, é o chamado espectro eletromagnético visível.

Figura 1: Espectro Eletromagnético Visível



Fonte: Varejão, 2006

Portanto, quanto menor for o comprimento de onda, maior será sua frequência de oscilação e, conseqüentemente, maior será a emissividade de radiação. Logo, as radiações superiores ao comprimento de onda do espectro visível, isto é, comprimentos maiores que **0,74 μm** , se classificam como ondas longas e, dessa forma, possuem uma baixa frequência, como é o exemplo do infravermelho.

Por outro lado, se o comprimento de onda for inferior ao espectro visível, ou seja, menores que **0,36 μm** , as ondas se classificam como curtas possuindo uma alta frequência, como é o exemplo do ultravioleta (VAREJÃO, 2006).

No entanto, apenas uma parte considerável e fundamental da radiação solar consegue atingir a superfície terrestre devido a grande absorção dos gases presentes na atmosfera, das nuvens e outros constituintes. Desta maneira, torna-se de grande relevância as medidas e estimativas dessa variável.

1.1 Parâmetros de Estimativa

1.1.1 Estimativa da quantidade de Radiação solar no topo da atmosfera (Q_0)

Para a estimativa da radiação solar no topo da atmosfera (Q_0), utilizou-se a expressão definida por Varejão Silva (2006), caracterizada em função da constante solar ($S_0 = 1,98 \text{ cal/cm}^2\text{dia}$), latitude local (φ), declinação solar (δ) e ângulo horário (H).

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} S_0 \left(\frac{\pi}{180} H \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin H \right) \quad (1)$$

Onde, δ é a declinação solar considerando a latitude local, variando de 0° a $\pm 23^\circ$. A declinação é expressa pela seguinte equação:

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + dn) \right] \quad (2)$$

Sendo dn o dia do ano correspondente ao calendário Juliano.

O ângulo horário (H) é a medida que indica o quanto a Terra precisaria girar para que o sol pudesse culminar no meridiano local da determinada latitude. A expressão para calcular o ângulo horário é dada por:

$$H = \arccos[-\tan(\phi)\tan(\delta)] + 0,83^\circ \quad (3)$$

Onde, $0,83^\circ$ é o tempo de brilho solar.

Portanto, o objetivo do trabalho é estimar a quantidade de radiação solar global diária no topo da atmosfera para o município de Araruna/PB, em específico para o período dos solstícios de inverno e verão, tal como para os equinócios de outono e primavera.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de análise

Araruna está localizada na mesorregião do Agreste no estado da Paraíba e microrregião do Curimataú Oriental, há cerca de 165 km de sua capital João Pessoa, cujas coordenadas geográficas são $6^\circ 31' 55''$ S de latitude, $35^\circ 44' 25''$ W de longitude e, aproximadamente, 590 m de altitude acima do mar. De acordo a pesquisa do IBGE, a cidade possui por volta de 18.879 mil habitantes. Certamente, é um município que se destaca mediante seu clima ameno e frio em uma região semi-árida e seu pontos turísticos, como o Parque Estadual Pedra da Boca.

Figura 2: Mosaico do município de Araruna/PB



Fonte: Google Earth

2.2 Metodologia

Portanto, como metodologia utilizaremos uma abordagem quantitativa exploratória por

meio do método analítico, isto é, serão usadas as equações apresentadas na sessão anterior para calcular a quantidade diária de radiação solar incidida sob o topo da atmosfera para o município de Araruna/PB nos períodos dos solstícios de inverno e verão (20 de Junho e 22 de dezembro, respectivamente) e dos equinócios outono e primavera (20 de março e 23 de setembro, respectivamente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, calculamos a declinação, o ângulo horário e a radiação solar global no topo da atmosfera para os solstícios e em seguida para os equinócios.

Para o Solstício de Inverno (20/Junho)

Declinação Solar

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + dn) \right]$$

$$\delta = 23,45 \left[\frac{360}{365} (284 + 171) \right]$$

$$\delta = 23,44^\circ$$

Ângulo Horário

$$H = \arccos \left[-\operatorname{tg}(\phi) \operatorname{tg}(\delta) \right] + 0,83^\circ$$

$$H = \arccos \left[-\operatorname{tg}(-6,55^\circ) \operatorname{tg}(23,44^\circ) \right] + 0,83^\circ$$

$$H = 87,98^\circ$$

Radiação Solar no topo da atmosfera

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} S_0 \left(\frac{\pi}{180} H \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \operatorname{sen} H \right)$$

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} 1,98 \left(\frac{\pi}{180} (87,98) \operatorname{sen}(-6,55) \operatorname{sen}(23,44) + \cos(-6,55) \cos(23,44) \operatorname{sen}(87,98) \right)$$

$$Q_0 = 763,48 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}$$

Para o Solstício de Verão (22/Dezembro)

Declinação Solar

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + 356) \right]$$

$$\delta = -23,44^\circ$$

Ângulo Horário

$$H = \arccos[\operatorname{tg}(6,55^\circ)\operatorname{tg}(23,44^\circ)] + 0,83^\circ$$

$$H = 93,67^\circ$$

Radiação Solar no topo da atmosfera

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} 1,98 \left(\frac{\pi}{180} (93,67) \operatorname{sen}(-6,55) \operatorname{sen}(-23,44) + \cos(-6,55) \cos(-23,44) \operatorname{sen}(93,67) \right)$$

$$Q_0 = 892,86 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}$$

Para o Equinócio de Outono (20/Março)

Declinação Solar

$$\delta = 23,45 \left[\frac{360}{365} (204 + 79) \right]$$

$$\delta = -0,852^\circ$$

Ângulo Horário

$$H = \arccos[\operatorname{tg}(6,55^\circ)\operatorname{tg}(0,852^\circ)] + 0,83^\circ$$

$$H = 90,92^\circ$$

Radiação Solar no topo da atmosfera

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} 1,98 \left(\frac{\pi}{180} (90,92) \operatorname{sen}(-6,55) \operatorname{sen}(-0,852) + \cos(-6,55) \cos(-0,852) \operatorname{sen}(90,92) \right)$$

$$Q_0 = 903,86 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}$$

Para o Equinócio de Primavera (23/Setembro)

Declinação Solar

$$\delta = 23,45 \left[\frac{360}{365} (284 + 266) \right]$$

$$\delta = -0,94^\circ$$

Ângulo Horário

$$H = \arccos[-\operatorname{tg}(-6,55^\circ)\operatorname{tg}(-0,94^\circ)] + 0,83^\circ$$

$$H = 90,93^\circ$$

Radiação Solar no topo da atmosfera

$$Q_0 = \frac{1440}{\pi} 1,98 \left(\frac{\pi}{180} (90,93) \sin(-6,55) \sin(-0,94) + \cos(-6,55) \cos(-0,94) \sin(90,93) \right)$$

$$Q_0 = 904,09 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}$$

4 CONCLUSÃO

A partir dos cálculos é possível fazer algumas conclusões. A respeito do ângulo horário, sabe-se que, quando $H > 90^\circ$ o dia terá uma duração menor que 12h. Porém, se $H < 90^\circ$ o dia terá uma duração maior que 12h. E ainda temos o caso em que $H = 90^\circ$, onde o dia terá duração de exatamente 12h. Percebemos que apenas o solstício de inverno resultou em um ângulo horário de $87,98^\circ$, indicando-nos que no inverno o sol demora nascer e se põe mais cedo no horizonte. Enquanto isso, os equinócios e o solstício de verão possuem uma duração de superior a 12h, onde o sol nasce mais cedo (tempo de brilho) e se põe mais tarde.

Para a declinação solar temos que, $\delta > 0$ o sol passa um período de 6 meses acima do plano de horizonte do Hemisfério Norte. Caso contrário, se $\delta < 0$ o sol passa 6 meses acima do plano de horizonte do Hemisfério Sul. E caso $\delta = \phi$ o sol culminará no zênite local, isto é, no topo de determinada latitude. Pela nossa análise, os equinócios e o solstício de verão possuem uma declinação negativa indicando que o sol está no plano de horizonte do hemisfério sul.

Acerca da quantidade de radiação incidida no topo da atmosfera, é possível notar que, há uma incidência maior de radiação nos equinócios, onde não há uma declinação do sol muito acentuada, tanto que o cálculo de declinação se aproximou de 0° pelo fato de que nos equinócios o sol culmina perpendicularmente a linha do equador, distribuindo radiação de igual intensidade para ambos os hemisférios. Já entre os equinócios, o sol possui uma declinação positiva para determinado hemisfério e negativo para o hemisfério oposto, distribuindo radiação distinta para ambos os hemisférios. Pelos nossos cálculos, maior distribuição para o solstício de verão que possui maior duração.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, David, 1916 – Fundamentos de Física, volume 4: óptica e física moderna / Halliday, Resnick, Jearl Walker; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi – Rio de Janeiro: LTC, 2009. MARTINS, PAULO A. DA SILVA. VERIFICAÇÃO DA TURBIDEZ ATMOSFÉRICA EM HUMAITÁ-AM. Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, Humaitá - Ano 7, Vol XII, Número 1, Jan-Jun, 2014, Pág. 86-98.

VAREJÃO, MÁRIO. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA – Recife, 2005

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, J.K.A.S.; von Radow, C.; Marques Filho, A.O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.2, p. 204 – 294, 2011.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; MARIANO, G.L.; Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n.3a, p. 42 – 49, 2006.

TIPLER, P.A; MOSCA, G.. Física para cientistas e engenheiros Vol. 2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica. Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC, (2009), 6ª edição.

YAVORDKY, B.; DETLAF, A. **Handbook of physics**. Mir, Moscow, 1979.