

# DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE ANGSTRON PARA ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM DOIS MUNICÍPIOS DA PARAIBA.

Renilson Targino DANTAS<sup>1</sup>; Gláucia Meira CARNEIRO<sup>2</sup>; Ewerton Cleudson de Sousa MELO<sup>3</sup>; Daisy Beserra SOARES<sup>3</sup>.

## RESUMO

Foram utilizados dados de irradiação solar à superfície e no topo da atmosfera e insolação real e máxima teórica referentes ao período de 1976 a 1995 das estações de Cabaceiras(07°27'S; 36°17'W; 390m) e Belem do Brejo do Cruz(06°11'S; 37°32'W; 200m) com o objetivo de determinar os coeficientes **a** e **b** da equação de Angstron e possibilitar a estimativa da irradiação solar global. Em Cabaceiras e Belem do Brejo do Cruz os valores de **a** foram 0,28 e 0,22 e **b** foram encontrados como 0,38 e 0,46 respectivamente. A variação da razão entre a irradiação solar à superfície e a irradiação solar no topo da atmosfera foi maior em Cabaceiras.

Palavras-chave: Irradiação solar, insolação, coeficiente de correlação.

## INTRODUÇÃO

A irradiação solar é fundamental tanto à vida animal como a vegetal, influenciando em todos os aspectos físicos, químicos e biológicos destes seres, e possibilitando maiores relações dos mesmos, quando ocorre aproveitamento dessa irradiação solar de forma racional. A distribuição da irradiação solar é que determina a maioria dos fenômenos no sistema terra-atmosfera, e sua atuação em larga e meso escalas está ligada principalmente à circulação geral da atmosfera, ventos locais e chuvas convectivas.

Embora a irradiação solar global possa ser medida por radiômetros, existem diversos métodos para sua estimativa, sendo o modelo empírico proposto por Angstron(1924) e modificado por Prescott(1940) o mais utilizado. Martinez-Lozano et al.(1984) citam vários trabalhos mostrando valores para os coeficientes **a** e **b** da regressão linear, evidenciando a grande variabilidade dos mesmos, influenciados principalmente pela latitude e altitude da estação meteorológica, coeficiente de reflexão da superfície, ângulo de declinação solar, concentração de vapor d'água e poluição natural e/ou artificial.

A determinação dos componentes do balanço de radiação necessita de uma rede de instrumentos apropriados para suplementar os cálculos teóricos da irradiação solar que vêm em direção à superfície, e estas observações à nível do solo são necessárias para validação de medidas por técnicas de satélites, usadas na estimativa desses componentes(Frohlich e London, 1986). Ao considerar que os dados de irradiação solar são muito importantes à diversas aplicações, e o alto custo na aquisição e manutenção dos instrumentos que medem os componentes da irradiação solar,

<sup>1</sup> Dr., Professor Adjunto. Departamento de Ciências Atmosféricas, CCT/UFPB. 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: renilson@dca.ufpb.br.

<sup>2</sup> Aluna de Graduação em Meteorologia. Departamento de Ciências Atmosféricas, CCT/UFPB. 58109-970, Campina Grande, PB.

<sup>3</sup> Aluno de mestrado em Meteorologia. Departamento de Ciências Atmosféricas, CCT/UFPB. 58109-970, Campina Grande, PB.

faz com que os mesmos não sejam observados de forma contínua nas estações meteorológicas, muitos pesquisadores, na tentativa de obterem informações sobre a irradiação solar incidente na superfície terrestre, nas formas direta e difusa, têm desenvolvido relações estatísticas para estimar tais componentes (Jeter e Balaros, 1990). Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu em determinar os coeficientes da equação de Angstrom, para estimativa da irradiação solar diária nas estações solarimétricas de Cabaceiras e Belem do Brejo do Cruz no Estado da Paraíba.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados referentes ao período de 1976 a 1975 das estações de Cabaceiras (07°29'S; 36°17'W; 390m) e Belem do Brejo do Cruz (06°11'S; 37°32'W; 200m), as quais fazem parte da rede de estações solarimétricas do Estado da Paraíba, pertencente ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus de Campina Grande.

Os dados de irradiação solar global na superfície ( $R_g$ ) e insolação real ( $n$ ) foram medidos através de Actinógrafos e Heliógrafos respectivamente, no período compreendido entre janeiro de 1976 e dezembro de 1995. A irradiação solar no tópo da atmosfera ( $I_0$ ) foi determinada por (Ometto, 1981):

$$I_0 = 916,7E_0(h_p \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin h_p) \quad (1)$$

Onde, de acordo com Spencer (1971), a excentricidade ( $E_0$ ) e a declinação do Sol ( $\delta$ ) são expressas por:

$$E_0 = 1,000110 + 0,034221 \cos \theta + 0,001280 \sin \theta + 0,000719 \cos 2\theta + 0,000077 \sin 2\theta \quad (2)$$

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos \theta + 0,070257 \sin \theta - 0,006758 \cos 2\theta + 0,000907 \sin 2\theta - 0,002697 \cos 3\theta + 0,001480 \sin 3\theta \quad (3)$$

$$\text{Sendo, } \theta = 2\pi d/365, \text{ em que } d = \text{dia juliano}(0-364) \quad (4)$$

$$e, h_p = \arccos(-\text{tg} \phi \text{tg} \delta) \quad (5)$$

A insolação máxima teórica ( $N$ ), foi determinada por:

$$N = 0,133 \arccos(-\text{tg} \phi \text{tg} \delta) \quad (6)$$

A partir dessas informações estimou-se a irradiação solar global à superfície ( $R_g$ ) através da equação de Angstrom (1924), dada por:

$$R_g = I_0(a + bn/N) \quad (7)$$

Os coeficientes **a** e **b** foram determinados para cada mês do ano mediante as curvas que relacionam a razão das irradiações solar na superfície da Terra e no tópo da atmosfera com a razão de insolação. Estatisticamente, essas correlações foram avaliadas por meio do coeficiente de correlação ( $R^2$ ), mostrando até que nível poderemos expressar a confiança na estimativa realizada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 01 estão evidenciados os coeficientes **a** e **b** da equação de Angstron assim como os coeficientes de correlação( $R^2$ ) para a estação de Cabaceiras. Na mesma Tabela verifica-se que para dias nublados, a razão entre a irradiação solar à superfície e no tampo da atmosfera será mínima(0,13) no mês de novembro e máxima(0,40) no mês de abril. Para dias claros, esta razão será mínima(0,61) no mês de fevereiro e máxima(0,73) no mês de novembro. Em média, pode-se considerar para Cabaceiras a equação geral para estimativa da irradiação solar global como  $I_g = I_o(0,28 + 0,38n/N)$ , sendo esta equação mais representativa para os meses de janeiro, junho, julho e dezembro.

Estes resultados concordam em parte com Laperuta Filho et al.(1997) que determinaram em Botucatu-SP,  $I_g = I_o(0,23 + 0,42n/N)$  para o verão,  $I_g = I_o(0,23 + 0,47n/N)$  para o outono,  $I_g = I_o(0,21 + 0,51n/N)$  para o inverno e  $I_g = I_o(0,21 + 0,45n/N)$  para a primavera. Lacerda et al.(1996) determinaram em Nossa Senhora das Dores-SE,  $I_g = I_o(0,29 + 0,45n/N)$  para todo o período do ano.

TABELA 01- Coeficientes da equação de Angstron e correlação para Cabaceiras.

MESES	a	b	Coef. Corr.( $R^2$ )	Tam. da Amostra
Jan	0,28	0,35	0,734	6570
Fev	0,35	0,26	0,628	6570
Mar	0,34	0,30	0,727	6570
Abr	0,40	0,20	0,302	6935
Mai	0,25	0,46	0,738	6570
Jun	0,29	0,40	0,596	6205
Jul	0,30	0,38	0,706	6570
Ago	0,33	0,32	0,468	7300
Set	0,22	0,49	0,698	7300
Out	0,23	0,45	0,439	7300
Nov	0,13	0,60	0,625	6570
Dez	0,29	0,35	0,717	6570
<b>ANO</b>	<b>0,28</b>	<b>0,38</b>		

Os dados apresentados na Tabela 02 para a estação de Belem do Brejo do Cruz revelam que para dias nublados a razão entre a irradiação solar à superfície e a irradiação solar no tampo da atmosfera será mínima(0,11) no mês de setembro e máxima(0,36) em dezembro. Em dias claros, esta razão será mínima(0,55) no mês de dezembro e máxima(0,76) em julho. Em média, em Belem do Brejo do Cruz, a irradiação solar global pode ser estimada pela equação geral  $I_g = I_o(0,22 + 0,46n/N)$ , sendo mais representativa para os meses de janeiro, maio e agosto.

Estes dados, em parte estão de acordo com Ometto(1981) que determinou para Piracicaba-SP  $I_g = I_o(0,26 + 0,51n/N)$  levando em consideração o período estudado, sem distinção de meses ou estação do ano. Os mesmos também concordam com Tubelis e Nascimento(1980) que encontraram com os dados de Botucatu-SP, a equação  $I_g = I_o(0,24 + 0,47n/N)$ , considerando todo o período estudado, podendo a mesma ser utilizada com probabilidade de cometer menores erros nos meses de março, maio, junho, agosto e setembro.

TABELA 02- Coeficientes da equação de Angstrom e correlação para Belem do B.do Cruz.

MESES	a	b	Coef. Corr(R <sup>2</sup> )	Tam. da Amostra
JAN	0,22	0,43	0,841	5110
FEV	0,29	0,36	0,620	5110
MAR	0,28	0,38	0,534	5110
ABR	0,27	0,41	0,590	5475
MAI	0,22	0,48	0,427	5475
JUN	0,16	0,56	0,712	5475
JUL	0,14	0,62	0,553	5475
AGO	0,22	0,48	0,521	5475
SET	0,11	0,61	0,698	5110
OUT	0,15	0,52	0,460	5110
NOV	0,15	0,52	0,568	4745
DEZ	0,36	0,19	0,398	5110
<b>ANO</b>	<b>0,22</b>	<b>0,46</b>		

### CONCLUSÕES

1 - Em Cabaceiras e Belem do Brejo do Cruz, a razão entre as irradiações solar global à superfície e no tópo da atmosfera é mínima ( $\approx 0,12$ ) em dias nublados e no segundo semestre do ano.

2 - Em dias claros, a variação da razão  $I_g/I_o$  ao longo do ano é menor em Cabaceiras, evidenciando menor variação da quantidade de vapor d'água e outros elementos que contribuem na absorção e dispersão da irradiação solar.

3 - As estimativas revelaram que de um modo geral, em dias claros, a irradiação solar global à superfície em Belem do Brejo do Cruz supera a irradiação solar global à superfície em Cabaceiras em apenas  $\approx 3\%$ , enquanto que, para dias nublados, a irradiação solar global à superfície em Cabaceiras supera a irradiação solar global à superfície em Belem do Brejo do Cruz em  $\approx 27\%$ .

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGSTRON, A. Solar and terrestrial radiation. **Quartely Journal Research Society**, v.50, p.121-5, 1924.
- FROHLICH, C.; LONDON, J. Revised instruction manual and radiation instruments and measurements of radiation and sunshine. **WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME**, publications series, n.7, 134p. 1986.
- JETER, S.M.; BALARAS, C.A. Development of improved solar radiation models for predicting beam transmittance. **Solar Energy**, v.44, n.3, p. 149-56, 1990.
- LACERDA, L.M.de.; SOUSA, I.F.de.; NASCIMENTO, I.A.do. Determinação dos parâmetros a e b da equação de Angstrom para a estimativa da irradiação solar global em Nossa Senhora das Dores-SE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, IX, Campos do Jordão: 1996. **Anais...SBMET**, 1996, p.608-9.
- LAPERUTA FILHO, J.; LUNARDI, D.M.C.; JESUS, W.R.de. Modelos para estimativa da radiação solar global diária e horária por estação do ano em Botucatu-SP-Brasil. In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba, 1997.  
**Anais...**Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p 194-5.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A.et al. The historical evolution of the Angstrom formula and its modifications: review and bibliography. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.33, p.109-28,1984.
- OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres**, 1981. 440p.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Trans. R. Soc. S. Aust.**, v.1, p.114-8,1940.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L.do. *Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras*. São Paulo: **Nobel**,1980. 374p.