

# MODELOS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA E HORÁRIA POR ESTAÇÃO DO ANO EM BOTUCATU-SP-BRASIL.

Jayme LAPERUTA FILHO<sup>1</sup>, Dalva Martinelli CURY LUNARDI<sup>2</sup>, Wilson Roberto de JESUS<sup>3</sup>

## RESUMO

Objetivou-se estabelecer modelos horários e diários de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) para as quatro estações do ano, para a região de Botucatu-SP ( $22^{\circ}51'S$ ,  $48^{\circ}26'W$ ). A comparação dos modelos diários indicou semelhança apenas entre o outono e a primavera. Na comparação dos modelos horários, independente da estação do ano, foram observadas semelhanças apenas para os horários próximos às 12 horas indicando a especificidade horária dos mesmos. Os coeficientes **a** e **b** apresentaram variações sazonais e horárias, sendo que **b** apresentou maior variabilidade relativa que **a**.

## INTRODUÇÃO

Embora a radiação solar global ( $R_g$ ) possa ser medida por radiômetros, diversos são os métodos existentes para sua estimativa, sendo o modelo empírico proposto por ANGSTRON (1924) e modificado por PRESCOTT (1940) o mais utilizado. Sendo a expressão:  $R_g/Q_o = a + b.n/N$ , onde  $Q_o$  é a radiação solar na ausência da atmosfera ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), **a** e **b** os coeficientes obtidos através de regressão linear adequada a cada série de dados.

MARTINEZ-LOZANO et al. (1984) citam cerca de 120 trabalhos mostrando valores para os coeficientes **a** e **b**, evidenciando a grande variabilidade dos mesmos, influenciados que são pela latitude e altitude da estação meteorológica, coeficiente de reflexão da superfície, altura média solar, concentração de vapor d'água e de poluição natural ou artificial.

Comentando sobre a equação de ANGSTRON, REVFEIN (1981), salientou como deficiência a atribuição do mesmo "peso" à radiação em todas as horas do dia. Considerou que os dados de insolação podem ser melhor explorados se os estudos forem conduzidos à nível horário.

Como os trabalhos existentes no Brasil, utilizaram em sua totalidade valores diários, objetivou-se neste trabalho determinar os coeficientes à nível horário para as quatro estações do ano.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para os estudos foram utilizadas séries de dados de radiação solar global horária ( $R_{gh}$ ), em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtidas em um piranógrafo marca OTA, modelo 44 e de insolação horária (**nh**), obtidas em um heliógrafo Wilh Lambrecht KG Gottingem tipo 1603, no período de janeiro de 1983 à dezembro de 1993. Os equipamentos encontravam-se instalados na FCA/UNESP, Campus de Botucatu/Lageado, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude  $22^{\circ}51'S$ , longitude  $48^{\circ}26'W$  e altitude de 786 metros.

A insolação máxima diária ou fotoperíodo (**N**) e a radiação solar recebida em uma superfície horizontal na ausência da atmosfera ( $Q_o$ ) foram calculadas conforme OMETTO (1981).

De posse dos dados horários e também diários de  $R_g$ ,  $Q_o$ , **n** e **N** aplicou-se análise de regressão linear, visando a obtenção de modelos horários médios e diários médios por estação do ano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros de 1 a 4 encontram-se os resultados obtidos para o modelos horários e diários, onde observa-se o baixo valor no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para os períodos anteriores às 7 e posteriores às 17 horas indicando não ser o ajuste linear adequado.

<sup>1</sup> Doutor em Agronomia, Analista de Sistema do CINAG - F.C.A. - UNESP - Botucatu.

<sup>2</sup> Professor Assistente Doutor, Depto de Ciências Ambientais - F.C.A. - UNESP - Botucatu.

<sup>3</sup> Doutorando em Agronomia, Analista de Sistema do CINAG - F.C.A. - UNESP - Botucatu.

**QUADRO 1 - Valores determinados para o outono**

Período	r <sup>2</sup>	a	Inter alo de conf ança	b	Inter alo de conf ança	F			
05-06	----	----	----	----	----	----			
06-07	0,02	0,12	0,115	0,136	0,08	0,047	0,107	25,0	*
07-08	0,58	0,18	0,174	0,194	0,28	0,262	0,290	1428,1	*
08-09	0,76	0,22	0,204	0,226	0,39	0,372	0,399	3212,1	*
09-10	0,79	0,24	0,231	0,252	0,40	0,385	0,410	3798,5	*
10-11	0,78	0,23	0,223	0,246	0,42	0,402	0,429	3563,3	*
11-12	0,75	0,25	0,236	0,260	0,40	0,388	0,416	3118,3	*
12-13	0,72	0,25	0,235	0,261	0,40	0,387	0,418	2625,8	*
13-14	0,72	0,25	0,239	0,266	0,40	0,390	0,421	2577,4	*
14-15	0,73	0,25	0,240	0,266	0,42	0,404	0,436	2741,2	*
15-16	0,73	0,24	0,229	0,255	0,45	0,430	0,463	2806,9	*
16-17	0,61	0,27	0,252	0,281	0,42	0,401	0,443	1568,1	*
17-18	0,09	0,38	0,361	0,399	0,42	0,329	0,510	81,8	*
18-19	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Diário	0,83	0,23	0,217	0,236	0,47	0,459	0,485	5087,7	*

(\*) Teste F significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

**QUADRO 3 - Valores determinados para a primavera**

Período	r <sup>2</sup>	a	Inter alo de conf ança	b	Inter alo de conf ança	F			
05-06	0,01	0,22	0,204	0,238	0,16	0,049	0,261	8,1	*
06-07	0,58	0,22	0,205	0,226	0,34	0,325	0,361	1366,6	*
07-08	0,79	0,23	0,215	0,234	0,40	0,391	0,417	3665,0	*
08-09	0,81	0,23	0,224	0,243	0,41	0,393	0,417	4228,3	*
09-10	0,80	0,23	0,222	0,242	0,40	0,390	0,414	4026,5	*
10-11	0,78	0,23	0,217	0,238	0,39	0,373	0,399	3568,0	*
11-12	0,76	0,23	0,221	0,242	0,36	0,351	0,376	3078,5	*
12-13	0,75	0,22	0,208	0,230	0,37	0,353	0,380	2944,7	*
13-14	0,76	0,21	0,196	0,218	0,39	0,375	0,402	3190,6	*
14-15	0,76	0,21	0,195	0,217	0,40	0,385	0,413	3134,6	*
15-16	0,76	0,20	0,190	0,212	0,40	0,394	0,422	3117,0	*
16-17	0,74	0,20	0,192	0,212	0,40	0,388	0,417	2855,1	*
17-18	0,47	0,21	0,198	0,222	0,34	0,314	0,358	890,5	*
18-19	0,01	0,22	0,203	0,239	0,58	0,198	0,966	8,8	*
Diário	0,85	0,21	0,204	0,220	0,45	0,441	0,465	5430,9	*

(\*) Teste F significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

**QUADRO 2 - Valores determinados para o inverno**

Período	r <sup>2</sup>	a	Inter alo de conf ança	b	Inter alo de conf ança	F			
05-06	----	----	----	----	----	----			
06-07	0,03	0,09	0,084	0,100	0,08	0,049	0,104	29,9	*
07-08	0,51	0,16	0,150	0,172	0,25	0,232	0,262	1048,3	*
08-09	0,76	0,21	0,195	0,216	0,37	0,356	0,382	3175,5	*
09-10	0,79	0,22	0,206	0,228	0,41	0,396	0,422	3848,3	*
10-11	0,77	0,23	0,217	0,241	0,41	0,400	0,428	3414,7	*
11-12	0,78	0,23	0,213	0,238	0,43	0,415	0,443	3541,5	*
12-13	0,77	0,22	0,207	0,233	0,44	0,426	0,456	3343,1	*
13-14	0,77	0,22	0,212	0,239	0,45	0,436	0,466	3418,3	*
14-15	0,77	0,22	0,211	0,238	0,47	0,450	0,482	3353,7	*
15-16	0,72	0,24	0,229	0,258	0,46	0,447	0,483	2630,0	*
16-17	0,59	0,30	0,284	0,317	0,43	0,412	0,457	1412,9	*
17-18	0,04	0,45	0,433	0,475	0,41	0,269	0,546	33,2	*
18-19	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Diário	0,86	0,21	0,197	0,215	0,51	0,494	0,519	6381,3	*

(\*) Teste F significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

**QUADRO 4 - Valores determinados para o verão**

Período	r <sup>2</sup>	a	Inter alo de conf ança	b	Inter alo de conf ança	F			
05-06	0,12	0,02	0,021	0,029	0,17	0,140	0,197	136,7	*
06-07	0,42	0,10	0,092	0,107	0,19	0,179	0,208	697,7	*
07-08	0,68	0,17	0,164	0,182	0,31	0,299	0,326	2116,1	*
08-09	0,76	0,20	0,188	0,206	0,35	0,336	0,360	3141,9	*
09-10	0,76	0,22	0,209	0,228	0,35	0,339	0,364	3045,3	*
10-11	0,74	0,23	0,220	0,240	0,34	0,327	0,352	2724,3	*
11-12	0,68	0,25	0,241	0,263	0,32	0,302	0,329	2056,7	*
12-13	0,62	0,26	0,245	0,269	0,31	0,294	0,324	1615,6	*
13-14	0,64	0,25	0,242	0,267	0,34	0,322	0,353	1717,9	*
14-15	0,66	0,25	0,236	0,261	0,37	0,357	0,390	1899,8	*
15-16	0,67	0,26	0,245	0,268	0,40	0,385	0,420	2018,3	*
16-17	0,66	0,26	0,247	0,272	0,45	0,430	0,471	1881,2	*
17-18	0,44	0,31	0,299	0,330	0,51	0,473	0,545	754,5	*
18-19	0,02	0,41	0,385	0,434	0,61	0,214	1,010	9,0	*
Diário	0,81	0,23	0,220	0,235	0,42	0,407	0,432	4153,2	*

(\*) Teste F significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

## CONCLUSÕES

A comparação simultânea dos coeficientes a e b diários, indicou semelhança apenas entre o outono e a primavera, períodos sem características climáticas extremas.

Na comparação dos modelos horários, independentemente da estação do ano, foram observadas semelhanças apenas para os horários próximos as 12 horas indicando a especificidade horária dos mesmos.

Os coeficientes a e b apresentaram variações sazonais e horárias, sendo que b apresentou maior variabilidade relativa que a, tendo na primavera valor praticamente constante durante todas as horas do dia.

## BIBLIOGRAFIA

- ANGSTRON, A. Solar and terrestrial radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.50, p.121-5, 1924.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A. et al. The historical evolution of the Angstrom formula and its modifications: review and bibliography. *Agric. For. Meteorol.*, v.33 p.109-28, 1984.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres, 1981. 425p.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. S. Aust.*, v.1, p.114-8, 1940.
- REVFEIM, K.J.A. Estimating solar radiation income from "bright" sunshine records. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.107, p.427-35, 1981.