

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR
GLOBAL DIÁRIA E HORÁRIA EM
BOTUCATU - SP**

JAYME LAPERUTA FILHO
engenheiro agrônomo

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas do Campus
de Botucatu - UNESP, para a
obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração
em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
AGOSTO - 1996

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR
GLOBAL DIÁRIA E HORÁRIA EM
BOTUCATU - SP**

JAYME LAPERUTA FILHO
engenheiro agrônomo

Orientadora: **PROF^a DR^a DALVA MARTINELLI CURY LUNARDI**

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas do Campus
de Botucatu - UNESP, para a
obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração
em Energia na Agricultura.**

**BOTUCATU - SP
AGOSTO - 1996**

**Aos
que me são caros dedico...**

**É justamente a possibilidade de
realizar um sonho que torna a
vida interessante.**

Paulo Coelho.

AGRADECIMENTOS

À orientadora, Prof^a Dr^a Dalva Martinelli Cury Lunardi, pelo empenho, carinho e estímulo.

Ao amigo e companheiro Wilson Roberto de Jesus pelo apoio para execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Lúcio Benedicto Kroll, amigo e professor, pelas sugestões, estímulo e orientação nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias, professor e amigo, pelas sugestões nas análises estatísticas.

Ao amigo Ruberval Cesar Campagna pelo apoio e colaboração na elaboração de programas computacionais.

Ao amigo Amauri Matheus Vieira pelo apoio e digitações dos dados.

Ao amigo Valdemir Ramos Domingues pela digitação dos dados.

À Ana Cristina Pardini de Melo, pela versão para inglês do resumo.

À Enilze de Souza Nogueira Volpato, Diretora do Serviço de referência, atendimento ao usuário e documentação da Biblioteca do Campus de Botucatu - Rubião Junior, pela colaboração nas citações bibliográficas, adequando-as às normas.

Aos amigos do CINAG - Centro de Informática na Agricultura - FCA : Fernando José Zanetto Tamburo, Eduardo Benedito Russo, Hosana Maria Soares Candeias Bis, Eleni Cabral Rocha, Ozana Maria Herrera, Ciro Marcos Silva, Lilian Barbosa da Costa Fonseca, Rosilene Domingues Laurente, Rita de Cássia Carlini Regginato pela colaboração constante no desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais amigos, que direta e indiretamente colaboraram para que esse objetivo se concretizasse.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1. LOCALIZAÇÃO.....	19
3.2. CLIMA.....	19
3.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	20
3.3.1. HELIÓGRAFO.....	20
3.3.2. PIRANÓGRAFO.....	20
3.4. VALORES OBSERVADOS.....	20
3.4.1. PERÍODO.....	20
3.4.2. INSOLAÇÃO (n).....	21
3.4.3. RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL (R_g).....	21
3.4.4. INSOLAÇÃO MÁXIMA (N).....	22
3.4.5. RAZÃO DE INSOLAÇÃO (r).....	23
3.4.6. RADIAÇÃO SOLAR RECEBIDA EM UMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL NA AUSÊNCIA DA ATMOSFERA (Q_0).....	24
3.4.7. RAZÃO DE RADIAÇÃO (R).....	25
V	
3.5. AGRUPAMENTOS DOS DADOS.....	25
3.6. CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL.....	26

3.7. MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL.....	26
3.8. TESTES ESTATÍSTICOS.....	27
3.9. RECURSOS UTILIZADOS.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ANUAL DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM BOTUCATU.....	28
4.1.1. VALOR TOTAL E MÉDIO DIÁRIO PARA O PERÍODO 1983 A 1993.....	28
4.1.2. VALORES TOTAIS E MÉDIOS DIÁRIOS POR ESTAÇÃO DO ANO.....	29
4.1.3. VALORES MÉDIOS HORÁRIOS POR ESTAÇÃO DO ANO.....	32
4.1.4. VALORES MÉDIOS DIÁRIOS POR MÊS.....	37
4.1.5. VALORES MÉDIOS HORÁRIOS POR MÊS.....	40
4.2. MODELOS AJUSTADOS AOS DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO PERÍODO 1983 A 1993.....	58
4.2.1. MODELO ANUAL.....	58
4.2.2. MODELOS HORÁRIOS.....	60
4.3. MODELOS AJUSTADOS PARA AS ESTAÇÕES DO ANO.....	63
4.3.1. MODELOS DIÁRIOS.....	63
4.3.2. MODELOS HORÁRIOS.....	66
4.4. MODELOS AJUSTADOS PARA OS MESES DO ANO.....	76
4.4.1. MODELOS DIÁRIOS.....	76
4.4.2. MODELOS HORÁRIOS.....	82
5. CONCLUSÕES.....	109
6. ABSTRACT.....	112
7. BIBLIOGRAFIA.....	114

RESUMO

A fim de se caracterizar a radiação solar global (**R_g**), bem como estabelecer equações horárias para sua estimativa, na região de Botucatu-SP (lat. 22°52'S, long. 48°26'W Grw), foram analisados os dados em diferentes níveis de agrupamento, referentes ao período de 1983 a 1993.

Em termos percentuais, a radiação solar global (**R_g**) na região apresentou três períodos ou estações: primavera (29%), verão (27%) e outono-inverno (22%, cada uma).

Os maiores valores de **R_g** ocorreram nos meses de novembro, outubro e dezembro (acima de 440,00 cal.cm⁻².dia⁻¹) e os menores em julho, maio e junho (abaixo de 335,00 cal.cm⁻².dia⁻¹).

O período das 12 às 13 horas foi o que mais contribuiu com o total diário de **R_g** (13,49%).

VII

O modelo que estabelece relação entre a razão de radiação (**R**) e razão de insolação (**r**) da forma: **R=a+b.r**, mostrou-se apropriado para estimativa de **R_g** exceto nos horários próximos ao nascer e ao por do sol.

As equações obtidas para estimativa de **Rg** mostraram-se apropriadas apenas para os horários e nível do agrupamento que as originou.

Os coeficientes **a** e **b** das equações mostraram variações sazonais e horárias, sendo a variabilidade relativa de **b** maior que a de **a**.

1. INTRODUÇÃO

É fundamental a busca por novas fontes energéticas uma vez que grande parte da energia consumida é proveniente de combustíveis fósseis, cujas reservas tendem a esgotar-se em poucos anos.

Sendo a energia proveniente do sol praticamente inesgotável e com efeito direto ou indireto sobre todos os fenômenos físicos e biológicos que ocorrem na superfície da Terra, para seu aproveitamento, torna-se importante o conhecimento de sua disponibilidade temporal na região.

Embora possa ser medida diretamente por intermédio de instrumentos denominados radiômetros, o elevado custo destes tem levado os pesquisadores a desenvolverem modelos para sua estimativa levando em conta parâmetros mais fáceis de serem obtidos.

A relação empírica entre razão de radiação e razão de insolação, tem sido o método mais empregado com esse

fim, tendo em vista que o número de horas de insolação pode ser obtido com equipamento de menor custo e por isso disponível em maior número.

Como os trabalhos existentes no Brasil, empregando esse princípio, utilizaram em sua totalidade valores médios diários, dando o mesmo peso para a radiação solar em todas as horas do dia, os resultados obtidos até então para a estimativa da radiação solar global não são muito precisos.

Objetivando-se aumentar essa precisão, procurou-se através do processo de ajuste linear determinar os coeficientes angulares e lineares a nível horário, já que nos trabalhos anteriores os mesmos apresentaram variações sazonais e mensais.

A fim de auxiliar os pesquisadores no desenvolvimento de futuros trabalhos, além dos modelos estabelecidos, foi estudado o comportamento da radiação solar global na região de Botucatu.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O princípio de medição de um heliógrafo, tem por base uma esfera de vidro ou quartzo que concentra os raios solares sobre uma faixa de papel, produzindo a queima pontual quando esses não são interceptados por nuvens. O registro obtido (heliograma) é uma medida do tempo em que houve incidência de raios solares diretos, não devendo a radiação difusa produzir queima do papel.

O piranógrafo tem como elemento sensível um par bimetálico que se dilata ou se contrai, quando submetido a diferentes temperaturas provocadas pela incidência de radiação solar. Essa deformação é ampliada por meio de um sistema de alavancas, sendo registrada em uma faixa de papel montada em um tambor giratório com mecanismo de relógio fornecendo informações diárias ou semanais. A área da curva entre dois horários supõe-se proporcional a radiação solar global (**R_g**), recebida a nível do solo no período respectivo.

ÅNGSTRÖN (1924) propôs que poder-se-ia determinar a radiação solar global utilizando-se dados de insolação de acordo com seguinte equação:

$$R_g = Q_a (a' + (1,00 - a') n/N), \text{ onde:}$$

R_g = radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo (cal.cm⁻².dia⁻¹);

Q_a = radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo, em um dia completamente limpo (sem nuvens) (cal.cm⁻².dia⁻¹);

n = total de horas de insolação obtido pelos registros do heliógrafo (horas/dia);

N = duração máxima possível da insolação ou fotoperíodo (horas/dia);

a' = proporção média de radiação solar recebida em um dia completamente coberto por nuvens.

A principal objeção ao método é a utilização de **Q_a**, devido a baixa ocorrência de dias completamente sem nuvens. **PRESCOTT (1940)** utilizando o mesmo princípio, modificou a equação original, substituindo **Q_a** pela radiação solar extraterrestre (**Q_o**), ou radiação solar que atingiria a superfície da Terra se a atmosfera fosse totalmente transparente (100% de transmissividade). A equação modificada segundo o autor é dada por:

$$R_g/Q_o = a + b n/N, \text{ onde:}$$

Q_o = radiação solar no solar no topo da atmosfera, ou radiação solar ao nível do solo na ausência da atmosfera ou com 100% de transmissividade (cal.cm⁻².dia⁻¹) e **a** e **b** = coeficientes obtidos através da regressão linear, adequada a cada série de dados.

A transmissividade da atmosfera é dada pela soma dos coeficientes **a** e **b** dessa regressão, sendo dependentes da latitude, densidade e tipo de nuvem, com variação sazonal, sendo ao redor de 75% para Jaboticabal (SP), **SANTOS et al. (1983)**, e de 67% e 71% para primavera-verão e outono-inverno respectivamente, segundo **CURY-LUNARDI & CATANEO (1993)** para Botucatu (SP).

Estudando regiões compreendidas entre o Equador e os Trópicos, **BLACK et al. (1954)** observaram uma maior variação do coeficiente **a** com a latitude, sendo que seu valor diminui com o aumento dessa. O mesmo fenômeno foi observado para o Estado de São Paulo por **CERVELLINI & SALATI (1966)** para latitudes entre 20° a 25°S. Procurando verificar se as equações poderiam ser reunidas numa só, os autores compararam os coeficientes **a** e **b** através do teste Tukey, corrigindo os graus de liberdade segundo **SATTERTHWAITE (1946)**, obtendo a seguinte equação média para o estado de São Paulo, utilizando-se de valores médios mensais:

$$\frac{Rg}{Qo} = 0,24 + 0,58 \cdot \frac{n}{N}$$

GLOVER & McCULLOCH (1958a) observaram que os coeficientes **a** e **b** obtidos de registros diários apresentam uma maior variação em relação aos obtidos de registros mensais, mas com distribuição normal. Concluíram ainda que, o coeficiente **a** é dependente da massa ótica atravessada pela radiação solar, sendo portanto muito influenciado pela latitude e altitude do local e pouco pelo tipo de nuvem, o mesmo não ocorrendo com **b**.

A influência da latitude foi estudada por **GLOVER & McCULLOCH (1958b)** na Nova Zelândia, utilizando 34 valores de ambos coeficientes calculados através de dados diários de sete estações meteorológicas, concluíram que o coeficiente **b** é praticamente constante com somente 2% de variabilidade, e valor médio de 0,52. O coeficiente **a** foi considerado variável com a latitude (Φ) de acordo com a expressão $a = 0,01 + 0,27.\cos(\Phi)$, tendo a equação $Q/Q_0 = 0,29.\cos(\Phi) + 0,52.(n/N)$, validade entre de 0° e 60° de latitude.

Devido aos valores dos coeficientes **a** e **b** encontrados por diversos pesquisadores serem função da nebulosidade do local ou de se utilizar valores diários ou mensais, vê-se a importância dada ao conhecimento do comportamento do número de horas de insolação para um determinado local. **DAVIES (1965)** atribuiu a nebulosidade e grau de turbidez da atmosfera a maior variação encontrada para o coeficiente **b**.

Utilizando dados de 5 estações meteorológicas da Nova Zelândia, **De LISLE (1966)** a partir de valores diários e médios mensais determinou os coeficientes **a** e **b** e σ (erro padrão) para todo ano e para as quatro estações. Observou que os coeficientes sofrem influência da latitude e da época do ano, e que aqueles obtidos de valores diários tem uma variação menor que os de média mensal que por sua vez tem menores valores de erro padrão. A sazonalidade da transmissividade da atmosfera (**a+b**) foi outra característica destacada, sendo que os maiores valores foram

encontrados na primavera e verão. Ressaltaram ainda que a utilização dos coeficientes deve ficar restrita as condições em que os mesmos foram determinados.

OMETTO (1981) observou que o tipo de nuvem tem uma influência muito grande no coeficiente **b**, tanto que para primavera-verão quando predominam nuvens do gênero cumulus, encontrou $b=0,22$, enquanto que no outono-inverno, quando predominam nuvens do gênero cirrus o valor foi $0,12$.

Utilizando os dados de brilho solar de seis estações do oeste da África, **DAVIES (1965)** determinou os coeficientes de regressão. A análise, com agrupamento de dados por estação meteorológica, por mês e total, indicou alta correlação ($r = 0,86$ a $0,99$) para os meses. Um ciclo anual pronunciado com variação dos coeficientes **a** de $0,12$ a $0,26$, **b** de $0,50$ a $0,99$, foram explicados em termos de variação de cobertura de nuvens e turbidez atmosférica. Destacou também que o aumento na latitude provoca diminuição no valor de **a** e aumento no de **b**.

REIS et al. (1973), utilizando dados de uma região litorânea próxima a Recife-PE estabeleceram um único modelo anual com $a=0,26$ e $b=0,31$, destacando que o mesmo pode ser usado para a zona da mata úmida em Pernambuco, devido às semelhanças climáticas.

Variações sazonais dos coeficientes **a** e **b**, bem como a recomendação de uma única equação, foram observadas em diversos trabalhos. **OCCHIPITINI (1959)**, estabeleceu uma equação de estimativa da radiação solar global para o mês de

dezembro, outra para junho e uma para o ano todo em Cananéia-SP. Para a região de Presidente Prudente-SP, **TARIFA (1972)** determinou duas equações, sendo uma para primavera-verão e outra para outono-inverno, que por não apresentarem diferenças estatísticas significativas, permitiram estabelecer uma única equação válida para o ano todo.

Os resultados demonstraram para **OMETTO (1968)** a necessidade de se obter equações em função da época do ano. A divisão em dois períodos, segundo a posição do sol em relação ao equador, possibilitou a obtenção das equações $R_g = Q_o(0,140 + 0,673.n/N)$ e $R_g = Q_o(0,328 + 0,396.n/N)$ para outono-inverno e primavera-verão respectivamente.

À partir de uma série de treze anos de dados, **CARDON & AMORIN NETO (1983)** determinaram equações para estações seca e chuvosa para Petrolina-PE, as quais demonstraram a necessidade da divisão do período em função da época do ano. **SÁ (1973)** já havia utilizado o mesmo critério na região de Mandacaru-PE.

Para diversas localidades do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, **MOTA & BEIRSDORF (1971)** utilizando equações previamente determinadas, estimaram valores médios diários mensais e médios diários anuais da radiação solar global. Através de figura contendo a distribuição geográfica dos valores médios diários anuais, observaram regiões com maiores e menores valores de radiação solar global média.

TUBELIS et al. (1976) utilizando dados médios mensais determinaram equações para a região de Botucatu-SP. Os coeficientes **a** e **b** mostraram-se específicos para cada mês do ano quando comparados pelo teste "t", o que não permitiu a determinação de uma única equação anual.

Para mesma região, **CURY-LUNARDI & CATANEO (1994a)** dividiram o período em duas épocas, obtendo os seguintes resultados:

- equação para primavera-verão : $R_g = Q_o.(0,25 + 0,42.\frac{n}{N})$ e
- equação para outono-inverno : $R_g = Q_o.(0,25 + 0,46.\frac{n}{N})$.

Destacaram que, como o coeficiente **a** que indica o deslocamento da reta do ponto de origem do sistema de coordenadas ortogonais foi igual para as duas estações, a predominância de nuvens do gênero cumulus na primavera-verão e cirrus no outono-inverno, não atuaram diferentemente na atenuação dos raios solares. Observaram ainda que, embora na primavera-verão o fotoperíodo seja superior a 12 horas, tendo os raios solares menor inclinação em relação ao zênite, no período outono-inverno o solo recebeu maior quantidade de energia, em função do menor conteúdo de vapor d'água na atmosfera.

Em outro trabalho para a região, os mesmos autores procederam estimativas sazonais, encontrando diferenças significativas nos agrupamentos bimestrais e semestrais, nos períodos de maio a outubro e de novembro a abril (**CURY-LUNARDI & CATANEO, 1993**).

RIBEIRO (1980), calculou os coeficientes **a** e **b** mensais e anuais para 83 Estações Meteorológicas do Brasil. Devido ao pequeno número de dados na determinação dos coeficientes mensais, o autor considerou confiáveis apenas os resultados anuais.

AZEVEDO et al. (1981) estudaram a insolação e a radiação solar, à partir de dados diários de estações meteorológicas do Nordeste brasileiro. Calcularam os coeficientes **a** e **b** mensais e anuais, coeficientes de correlação correspondentes e os desvios padrão em relação a reta de regressão. Utilizando a mesma metodologia de **RIETVELD (1978)**, tentaram relacionar para cada estação os coeficientes **a** e **b** com a insolação relativa média. Como certas estações estudadas eram comuns ao trabalho de **RIBEIRO (1980)**, foi possível comparar os resultados obtidos, verificando então discordância atribuída à diferença entre os períodos de medida (década ou dia), e ao número de anos tratados.

Avaliando o potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro, **DINIZ et al. (1983)**, observaram semelhança nos valores mensal e anual de **a** e **b** obtidos com os sugeridos por **MOTA et al. (1977)** e **NIRENBERG (s.d.)**. Ressaltaram ainda que a radiação solar difusa constituiu considerável percentual da global diária.

PEREIRA et al. (1971) utilizando metodologia empregada por **ROBERTSON & RUSSELO (1968)**, calcularam para diversos horários os valores instantâneos da radiação solar que atinge uma superfície horizontal unitária na ausência da

atmosfera, ao longo de um ano com intervalo de dez dias para latitudes variando desde 10° N a 40° S, observando que no equinócio, embora a duração do dia seja a mesma para todas as latitudes consideradas, o total diário de energia é diferente devido a variação do raio vetor Terra-Sol. Esse fato se repete para a mesma latitude, nos equinócios de outono e primavera.

A época da troca da fita no heliógrafo definiu os períodos de cálculos das equações no trabalho que **SANTOS et al. (1983)**. Utilizando dados diários, para a região de Jaboticabal-SP, concluíram que os coeficientes são sazonais uma vez que as diferenças encontradas foram estatisticamente significativas. A variação do coeficiente **a** foi entre 0,22 e 0,29, e de **b** entre 0,45 e 0,51 com valores de correlação maiores que 0,90, sendo de aproximadamente 75% o valor da transmissividade da atmosfera.

Para a mesma região, avaliando diferentes formas de utilização da equação de Ångström para estimar a radiação solar global diária, à partir de registro de insolação, **BENINCASA et al. (1993)** ajustaram equações de regressão considerando variação anual, sazonal, mensal e por classes de valores de razão de insolação. As equações foram todas significativas ao nível 0,01 de probabilidade, entretanto o estudo demonstrou não ser recomendável a utilização de uma única equação anual, sazonal ou por classe de valores, sendo mais interessante obter estimativas à partir das mensais.

SCHULZE (1976) encontrou um modelo em que a radiação direta foi calculada como função da transmissão baseada nos processos de absorção e espalhamento da atmosfera.

Utilizando uma série de 25 anos de dados de **n** e **R_g** da região de Badjgah-Irã (29°32' N, 1810 m de altitude), **MALEK (1979)** obteve média anual de $n/N = 0,66$, $a=0,31$, $b=0,55$ com coeficiente de correlação de 0,91 trabalhando com valores médios de 10 dias.

BENNETT (1975), citado por **NUNES et al. (1979)**, propôs para estudo da distribuição da radiação solar, em escala global, a seguinte equação:

$$\frac{R_g}{Q_o} = a + b \cdot \left(\frac{n}{N}\right) + c \cdot h$$

onde:

R_g = radiação solar incidente na superfície;

Q_o = radiação solar no topo da atmosfera;

n = número de horas de brilho solar;

N = número máximo de horas de brilho solar;

h = altitude do local e

a, **b** e **c** coeficientes determinados à partir dos dados observados.

Os resultados obtidos através dessa equação, quando comparados com outros obtidos de equações locais, apresentaram boa concordância, pois o erro relativo anual médio foi inferior a 3,3%.

ANDRETTA et al.(1982) examinaram medidas existentes de radiação solar e duração do brilho solar na Itália, avaliando os erros nas estimativas da radiação solar global através de medidas de horas de brilho solar, concluindo que a relação linear de Ångström-Black na forma $R_g/Q_o = 0,23 + 0,37 \cdot n/N$ pode ser utilizada para prever a radiação solar global sobre a Itália com um erro relativo de aproximadamente 10%.

Objetivando determinar as constantes **a** e **b** da equação modificada de Ångström, **BUTLER & MIRANDA (1983)** analisaram os valores diários de radiação solar e número de horas de insolação nos anos de 1973 a 1975, registrados no Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia. Os valores estimados mensais se mostraram variáveis sem no entanto apresentar nenhuma tendência nítida. Já os anuais foram mais consistentes, proporcionando valor médio de $a = 0,27$ e $b = 0,37$. O coeficiente de transmissividade da atmosfera, normalmente estabelecido como igual a 0,82, apresentou no Sudeste da Bahia valor 24% inferior, sendo semelhante aos encontrados para as regiões produtoras de cacau da África.

MARTÍNEZ-LOZANO et al. (1984) fizeram uma revisão bibliográfica com intuito de estudar as expressões propostas por diferentes pesquisadores que correlacionaram a radiação solar relativa (R_g/Q_o) com brilho solar relativo (n/N), encontrando que a forma mais freqüente de correlação foi aquela proposta por Ångström em 1924, modificada por Prescott em 1940. Cerca de 120 trabalhos diferentes mostrando valores para os coeficiente **a** e **b** foram estudados, ficando

evidenciado a grande variabilidade dos mesmos, influenciados pela latitude e altitude da estação, coeficiente de reflexão da superfície, altura média solar, concentração de vapor d'água e concentração de poluição natural ou artificial.

Os mesmos autores citam ainda que muitos pesquisadores propuseram modificações para a equação citada acima com intenção de obter resultados mais reais, concluindo que devido a sua simplicidade as estimativas de radiação são aproximadas, sendo a confiabilidade dependente da precisão dos dados disponíveis. Destacaram ainda a importância de evidência adicional para comprovar a acuracidade da equação de estimativa.

BRAGA et al. (1987) com dados medidos de radiação solar e de insolação obtidos em Caçador, Lages, Chapecó, São Joaquim, Itajaí e Itá, no Estado de Santa Catarina, procuraram determinar os coeficientes **a** e **b** da equação de Ångström. Apesar da pequena repetibilidade dos dados, quase todos os coeficientes foram significativos a 0,01 de probabilidade. Devido às diferenças climáticas apresentadas em cada estação do ano, os autores consideraram que a estimativa dos coeficientes deve ser no máximo obtida de dados trimestrais (por estações do ano).

Para obter os valores de radiação necessários para utilização da energia solar em vários locais na Áustria, **NEUWIRTH (1980)** utilizou o total mensal de radiação global em uma superfície horizontal obtido pela equação de Ångström, utilizando os valores máximos da radiação no topo da atmosfera. As constantes foram avaliadas para 19 estações meteorológicas sincronizando as medidas da radiação global e

duração do brilho do sol, como função da altitude em relação ao nível do mar. A radiação difusa foi estimada através da relação de LIU-YORDAN, sendo avaliada com medidas médias dos totais mensais e horários em três estações.

Valores de radiação solar global estimados em função da média de horas de brilho solar através da equação de Ångström, foram apresentados por **PEDRO JÚNIOR et al. (1989)** na forma de tabelas e mapas, com índices médios diários e distribuição espacial para o Estado de São Paulo, para as estações do ano. Tais valores variaram de 420 a 520 cal.cm⁻².dia⁻¹, no verão, e de 260 a 300 cal.cm⁻².dia⁻¹ no inverno, para as regiões Norte e Litorânea paulista.

CARAMORI et al. (1985) também propuseram um modelo de estimativa de radiação solar global diária, para o município de Ponta Grossa (25° 13' S), Estado do Paraná, à partir da radiação solar, na ausência de atmosfera (**Q_o**), insolação diária (**n**) e duração máxima de insolação (**N**). A equação obtida foi: **R_g = Q_o.(0,20+0,46.n/N)**, com coeficiente de determinação (**r²**) de 0,88.

Estudando a variabilidade de brilho solar no período de 1983 a 1991 na cidade de Belém-PA, **COSTA et al. (1992)** concluíram que o brilho solar não é inferior a 50% do total máximo possível, sendo o mês de agosto o de maior valor, com 80% das horas possíveis, o valor mínimo no mês de março com aproximadamente 52% do total. A distribuição média trimestral mostrou que os valores máximos ocorrem em julho-agosto-setembro, sendo aproximadamente 80% do total

máximo possível. O trimestre janeiro-fevereiro-março foi o de menor brilho solar totalizando apenas 56% do máximo possível.

FROTA et al. (1993) testaram 25 funções e concluíram ser o modelo linear mais adequado para explicar a variação da razão de radiação (R_g/Q_0) em função da razão de insolação (n/N). Detectaram uma tendência de aumento do coeficiente **a** e decréscimo de **b** no período compreendido entre agosto e dezembro, em Ipanguaçu-RN. Observaram também, que o modelo linear, é menos preciso para condições extremas (céu claro ou totalmente nublado).

Com a finalidade de fornecer subsídios para o cálculo da estimativa da radiação solar global e consequentemente da evapotranspiração através de métodos indiretos, **ESPINOLA SOBRINHO & IZÍDIO (1993)** utilizando dados diários de insolação e radiação solar da região de Mossoró-RN, determinaram valores de **a** e **b** mensais da equação de Ångström para modelo linear, exponencial e logarítmico. Uma vez que foram pequenas as diferenças entre os coeficientes de correlação do modelo linear e os demais, além do fato do mesmo ser o mais usado no mundo todo, levou os autores a optar pelo mesmo.

Estudando o potencial de energia solar no sudeste da Bahia, **ALMEIDA & LIMA (1993)** constataram que a radiação solar global superior a 400 langley por dia, ocorreu em aproximadamente 60% dos dias dos meses de novembro a março e apenas 5% dos meses de maio a julho. Já o número de horas de sol superior a 8, ocorreu entre 34 e 51% dos dias nos meses de novembro a março e entre 24 a 28% de maio a julho.

Para as regressões ajustadas de R_g/Q_0 em função de n/N , os coeficientes de determinação, variaram entre 0,51 e 0,87.

CARVALHO & MACIEL (1983) analisando a previsão e comportamento de sistemas e componentes que dependam da distribuição temporal da energia solar consideraram, por exemplo, que o dimensionamento da área de coletores solares ou fotocélulas pode utilizar média anual de insolação local, médias sazonais ou com maior precisão, as médias mensais. Em outros casos, concluíram ser evidente que a unidade de tempo máximo aceitável é um dia, sendo conveniente ter em conta as flutuações dia a dia do nível de energia como no dimensionamento de armazenador térmico ou baterias para os coletores ou fotocélulas, considerando uma demanda diária de energia. No estudo de simulação de crescimento de plantas em particular quando a energia solar incidente é um parâmetro importante, consideraram necessário o conhecimento da disponibilidade diária de energia.

Os mesmos autores, ainda, propuseram um modelo de simulação que considera a dependência diária entre sequência de dias bons e ruins utilizando número de horas de insolação e valores de energia solar global atribuída a cada dia.

Visando analisar a confiabilidade dos valores da radiação solar global diária para Jaboticabal-SP, estimados à partir de séries de dados de n/N (razão de insolação) e de dados obtidos em actinógrafo e piranômetro tipo Eppley, **MALHEIRO et al. (1993)** estabeleceram equações de regressão para condição anual, sazonal e mensal. Como principais conclusões observaram que a estimativa, à partir

de dados de heliógrafo (n/N), proporcionou melhores resultados que a obtida à partir do actinógrafo, e que tanto a estimativa quanto a correção dos dados de actinógrafo podem proporcionar diferenças consideráveis em relação aos valores apresentados pelo piranômetro.

Comentando sobre equação de Ångström, **REVFEIM (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 feitos a nível horário, apresentando ainda metodologia para utilização dos mesmos.

Alguns modelos utilizam parâmetros meteorológicos tais como: horas de insolação, cobertura de nuvens, conteúdo de umidade atmosférica, visibilidade, e outros para estimar a radiação solar global e suas componentes, direta e difusa. **TURNER & MUJAHID (1984)** desenvolveram um modelo para estimativa da radiação solar global horária utilizando dados de nebulosidade em Blytheville, Arkansas, E.U.A., que por utilizar a radiação solar no topo da atmosfera como preditor, pode ser mais amplamente aplicado.

SOUZA & ALVES (1993) apresentaram trabalho em que foi proposta uma metodologia para se estimar, com base horária, a radiação solar direta à partir de dados de registro de radiação solar global e insolação.

JESUS (1995), estudando o comportamento do brilho solar na região de Botucatu-SP no período 1983 a 1993, observou que o total de insolação (n) anual foi maior que

2500 horas com média diária superior a 7 horas, tendo os meses de fevereiro, setembro e março os menores valores de insolação, enquanto que julho, novembro e agosto os maiores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO

Este estudo foi conduzido utilizando-se dados obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP Botucatu-SP, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22°51' S , longitude 48°26' W Grw, altitude: 786 metros.

3.2. CLIMA

O clima do município de Botucatu é classificado segundo o Sistema Koeppen, como Cfa ou temperado chuvoso, constantemente úmido e com verões quentes. A precipitação pluviométrica e temperatura média anual são 1290 mm e 19,9 °C respectivamente.

3.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.3.1. HELIÓGRAFO

Os valores do número de horas de insolação (**n**) foram obtidos de um heliógrafo de fabricação Wilh Lambrecht KG Göttingen tipo 1603.

3.3.2. PIRANÓGRAFO

Os valores de radiação solar global (**R_g**) foram obtidos através dos registros de um piranógrafo marca OTA modelo 44, funcionando em regime de registro diário.

3.4. VALORES OBSERVADOS

3.4.1. PERÍODO

Foram analisados os dados referentes ao período de janeiro de 1983 a dezembro de 1993.

Os cálculos foram efetuados entre os horários do nascer ao por do sol, intervalo esse variável com a época do ano. Procurou-se verificar a contribuição energética dos períodos entre 7 e 17 horas e entre 8 e 16, uma vez que os horários anteriores às 8 e posteriores às 16 horas estão sujeitos a erros de leitura, sendo discutível a inclusão dos mesmos no cálculo do total diário.

3.4.2. INSOLAÇÃO (n)

O número de horas de insolação (n), foi obtido medindo-se o comprimento da fita de papel queimada pelos raios solares, concentrados pela esfera de cristal do heliógrafo.

Não foram considerados os trechos chamuscados por serem provenientes de insolação difusa.

As leituras das fitas determinaram frações horárias de insolação, sendo os valores diários obtidos pela soma das mesmas.

3.4.3. RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL (Rg)

Interpretou-se os diagramas do piranógrafo, medindo-se de 15 em 15 minutos, do nascer ao por do sol, a ordenada marcada pela pena no deslocamento sobre a fita de registro. Esse valor multiplicado pela constante de calibração ($0,04 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) e pelo intervalo considerado, representou a radiação solar global horária, dada pela equação:

$$R_g = \left(\frac{l_0}{2} + l_1 + l_2 + l_3 + \frac{l_4}{2} \right) * 0,6$$

onde: R_g = radiação solar global para o período de 1 hora ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{hora}^{-1}$);

l_0 = leitura de uma determinada hora;

l_1 = leitura 15 minutos após l_0 ;

l_2 = leitura 30 minutos após l_0 ;

l_3 = leitura 45 minutos após l_0 ;

l_4 = leitura 1 hora após l_0 .

3.4.4. INSOLAÇÃO MÁXIMA (N)

A insolação máxima diária ou fotoperíodo (N) é dada pela equação:

$$N = 2 \times \frac{WS}{\omega}$$

sendo ω a velocidade angular da Terra (15°) e **WS** o ângulo horário obtido pela equação:

$$WS = \arctg \sqrt{\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \delta \times \operatorname{tg} \psi} \right)^2 - 1}$$

onde:

ψ = latitude do local em graus

δ = declinação solar diária em graus dada pela equação:

$$\delta = \frac{180}{\pi} \times \left[\begin{aligned} &0,006918 - 0,399912 \times \cos(AD) + 0,70257 \times \sin(AD) - 0,006758 \times \\ &\times \cos(2AD) + 0,000907 \times \cos(3AD) + 0,00148 \times \sin(3AD) \end{aligned} \right]$$

onde:

AD = $0.9863 \times (\text{dia} - 1)$

dia = dia no calendário Juliano.

A insolação máxima horária foi igual a 1 (uma) hora exceto para os intervalos que continham o nascer ou o pôr do sol, quando então foi utilizada a fração correspondente.

3.4.5. RAZÃO DE INSOLAÇÃO (r)

A razão de insolação (r) é dada pela relação:

$$r = \frac{n}{N}$$

onde:

n = valor lido da insolação e

N = insolação máxima.

Foram calculadas razões de insolação horárias, onde considerou-se n o valor obtido para o intervalo horário considerado e N igual a 1, exceto para aqueles que continham o nascer e o por do sol. As razões de insolação diárias foram calculadas pela relação entre os totais do número de horas de insolação e fotoperíodo.

3.4.6. RADIAÇÃO SOLAR RECEBIDA EM UMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL NA AUSÊNCIA DA ATMOSFERA (Q_0)

A radiação solar recebida em uma superfície horizontal na ausência da atmosfera (Q_0) foi calculada pela expressão:

$$Q_0 = I_0 \cdot 720 \cdot E_0 \cdot [\sin \psi \cdot \sin \delta \cdot (h_f - h_i) + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot (\sin h_f - \sin h_i)]$$

onde:

Q_0 = Radiação solar recebida em uma superfície horizontal na ausência atmosfera ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$);

I_0 = Constante solar ($1,9596 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$);

ψ = latitude do local em graus;

δ = declinação solar em graus;

h_f = ângulo horário no final do período considerado;

h_i = ângulo horário no início do período considerado e

E_0 = fator de correção da excentricidade da órbita terrestre dado pela fórmula:

$$E_0 = 1,00011 + 0,034221 \cdot \cos(AD) + 0,00128 \cdot \sin(AD) + 0,000719 \cdot \cos(2 \cdot AD) + 0,000077 \cdot \sin(2 \cdot AD)$$

com $AD = 0,9863 \times (\text{dia} - 1)$

dia = dia no calendário Juliano.

3.4.7. RAZÃO DE RADIAÇÃO (R)

A razão de radiação (**R**) foi calculada através da relação:

$$R = \frac{R_g}{Q_0}$$

onde:

R_g = valor lido da radiação solar (cal.cm⁻².dia⁻¹)

Q₀ = radiação solar na ausência da atmosfera
(cal.cm⁻².dia⁻¹).

Foram calculadas razões de radiação horárias, onde considerou-se **R_g** e **Q₀** os valores obtidos para o intervalo horário considerado, e também razões de radiação diárias com os valores totais diários.

Não foram considerados os valores cuja razão de radiação foi maior ou igual a 1 (**R_h ≥ 1,0**), pois indica claramente a ocorrência de problema de leitura.

3.5. AGRUPAMENTOS DOS DADOS

De posse das razões de insolação (**r**) e de radiação (**R**) horárias do nascer ao pôr do sol e também diárias, procedeu-se o agrupamento das mesmas visando a obtenção de modelos horários médios e diários médios, por mês, estação do ano e anual.

3.6. CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

Foram calculadas médias e desvios padrão para os valores de radiação solar global (**R_g**) e da razão de radiação (**R**) para os intervalos horários e total diário nos agrupamentos citados.

3.7. MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

Utilizando-se da relação empírica entre razão de radiação (**R**) e razão de insolação (**r**), procurou-se determinar modelos de estimativa da radiação solar global aplicando-se análise de regressão nos intervalos horários dos agrupamentos citados.

Considerando-se a existência de dependência linear entre os fatores, utilizou-se o seguinte modelo:

$$\mathbf{R=a+b*r+e}$$

onde:

a coeficiente linear;

b coeficiente angular e

e contribuição do acaso.

3.8. TESTES ESTATÍSTICOS

A fim de verificar se a correlação foi significativa, foi aplicado aos modelos o teste F ao nível de 0,05 de probabilidade testando-se uma das seguintes hipóteses:

H_a ou (*) = existe regressão, portanto $b \neq 0,0$ e

H_0 ou (ns) = os termos r e R são linearmente independentes, portanto não há regressão.

A qualidade do ajuste foi determinada através do valor de r^2 , isto é, o quanto da variação da razão de radiação (R) foi devida a variação da razão de insolação (r).

Para a verificação da semelhança dos modelos ajustados comparou-se simultaneamente os intervalos de confiança para as estimativas dos coeficientes a e b , sendo considerados semelhantes apenas quando essa hipótese foi verdadeira.

3.9. RECURSOS UTILIZADOS

Foram utilizados para os cálculos as linguagens de programação de computadores FORTRAN 5.0 da Microsoft e Clipper versão Summer'87, e o sistema estatístico S.A.S. Statistical Analysis System, da S.A.S. Institute Inc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ANUAL DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM BOTUCATU

4.1.1. VALOR TOTAL E MÉDIO DIÁRIO PARA O PERÍODO 1983 A 1993

O total de radiação solar global (**R_g**) observada das 5 às 19 horas no período de 1983 a 1993 correspondeu a 50% da radiação solar incidente na ausência da atmosfera (**Q₀**) no mesmo período. O valor médio diário foi 393,41 cal.cm⁻².dia⁻¹ tendo 84% dos dias, totais acima de 261,47 cal.cm⁻².dia⁻¹.

Em função dos períodos horários próximos ao nascer e pôr do sol estarem sujeitos a erros de leitura, sendo discutível a inclusão dos mesmos no cálculo do total

diário, procurou-se verificar sua contribuição energética, conforme Quadro 1, sendo de 2,83% quando considerou-se os horários anteriores às 7 e posteriores às 17 horas e de 11,39% nos horários anteriores às 8 e posteriores às 16 horas.

QUADRO 1 - Valores médios diários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s) no período 1983 a 1993.

Horário	n ^o dados	R_g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-19	4012	393,41	131,94	100,00
07-17	4012	382,27	125,06	97,17
08-16	4012	348,61	110,59	88,61

4.1.2. VALORES TOTAIS E MÉDIOS DIÁRIOS POR ESTAÇÃO DO ANO

Como pode-se observar através do Quadro 2, os valores médios diários da radiação solar global (**R_g**) para as quatro estações do ano, percentualmente em relação ao total médio diário do período foram, em ordem decrescente, primavera com 29,0%, verão com 27,0%, inverno e outono com 22,0% cada.

A diferença dos valores totais de **Rg** entre o outono e inverno foi de 4565,05 cal.cm⁻², que corresponde a 4,47 cal.cm⁻².dia⁻¹, e entre a primavera e verão de 32481,84 cal.cm⁻².dia⁻¹ que corresponde a 32,84 cal.cm⁻².dia⁻¹.

QUADRO 2 - Valores médios diários da radiação solar global (**Rg**) e desvio padrão por estação do ano.

Estação	Horário	n ^o dados	Rg (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
			média	s	
Outono	05-19	1021	344,19	106,25	22,00
Inverno	05-19	1022	348,32	106,50	22,00
Primavera	05-19	989	456,76	143,46	29,00
a					
Verão	05-19	980	427,81	130,69	27,00

No Quadro 3 encontram-se os valores de razão de insolação (**r**), razão de radiação (**R**), radiação solar global (**Rg**) e radiação solar incidente na ausência da atmosfera (**Q₀**).

QUADRO 3 - Valores médios diários razão de insolação (**r**), razão de radiação (**R**), radiação solar global (**Rg**) e radiação solar incidente na ausência da atmosfera (**Q₀**) para as quatro estações.

Estações do ano	r	R	Rg	Q₀
			(cal.cm ⁻² .dia ⁻¹) (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	
Outono	0,64	0,53	344,19	649,41
Inverno	0,68	0,54	348,32	645,04
Primavera	0,59	0,47	456,75	971,81
a				
Verão	0,52	0,44	427,81	972,29

Observa-se que os baixos valores de **Rg** no inverno e no outono não são devidos a maior nebulosidade, já que os valores de **r** são altos, assim como da razão de radiação (**R**), sendo portanto função da menor quantidade de energia disponível na ausência da atmosfera (**Q₀**).

Quando se compara primavera e verão observa-se que embora os valores de **Q₀** sejam maiores no verão, em função da razão de insolação (**r**) e razão de radiação (**R**) serem menores, os mais altos valores de radiação solar global ocorreram na primavera. No outono e inverno os valores pouco diferiram entre si.

4.1.3. VALORES MÉDIOS HORÁRIOS POR ESTAÇÃO DO ANO

Os valores médios de **R_g** em todas as estações do ano foram superiores no período das 12 às 19 horas, exceto na primavera, quando os maiores ocorreram no período das 5 às 12 horas conforme pode ser visto nos Quadros de 4 a 7. Percentualmente ao total diário, o menor valor no período das 5 às 12 horas foi observado no verão 46,62% e o maior na primavera 51,52%, estando ambos relacionados com a nebulosidade, conforme Quadro 8 onde se verifica os valores do número de horas de insolação para cada estação do ano.

Os horários entre 9 e 15 horas foram os que mais contribuíram no total diário de **R_g**, sendo a primavera a estação do ano de menor contribuição percentual 69,7%, e a maior o inverno com 77,2%.

Ficou evidente a pequena contribuição dos horários anteriores às 8 e posteriores às 16 horas, na composição do total diário de **R_g** em todas as estações do ano. Observa-se, também, que ocorreu uma grande dispersão desses valores nesses horários.

No outono e inverno quando o nascer e o pôr do sol ocorrem posterior às 6 horas e anterior às 18 horas respectivamente, representaram apenas 7,8% do total médio diário contra 14,4% da primavera e 15,2% do verão.

QUADRO 4 - Valores médios horários da radiação solar global (**Rg**) e desvio padrão (s), no outono.

Horário	n ^o dados	Rg (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	1021	0,70	0,89	0,20
07-08	1021	9,52	5,18	2,77
08-09	1021	24,23	9,78	7,04
09-10	1021	36,49	12,84	10,60
10-11	1021	44,97	14,99	13,07
11-12	1021	49,56	15,66	14,40
12-13	1021	49,83	15,57	14,48
13-14	1021	46,20	14,88	13,42
14-15	1021	38,36	13,57	11,14
15-16	1021	27,61	11,33	8,02
16-17	1021	14,05	7,31	4,08
17-18	1021	2,61	2,56	0,76
18-19	----	----	----	----
05-12		165,47		48,09
12-19		178,66		51,91

QUADRO 5 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), no inverno.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	1022	0,68	1,12	0,20
07-08	1022	8,58	5,47	2,46
08-09	1022	23,40	9,53	6,72
09-10	1022	36,06	12,63	10,35
10-11	1022	45,22	14,58	13,00
11-12	1022	50,26	15,27	14,43
12-13	1022	50,74	15,48	14,56
13-14	1022	47,16	15,084	13,54
14-15	1022	39,57	13,53	11,36
15-16	1022	28,70	10,69	8,24
16-17	1022	15,08	6,66	4,33
17-18	1022	2,83	2,10	0,81
18-19	----	----	----	----
05-12		164,20		47,15
12-19		184,08		52,85

QUADRO 6 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), na primavera.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	989	0,73	0,77	0,16
06-07	989	9,19	5,34	2,01
07-08	989	24,37	10,80	5,34
08-09	989	37,98	14,73	8,31
09-10	989	49,05	17,60	10,74
10-11	989	55,72	18,77	12,20
11-12	989	58,26	18,61	12,76
12-13	989	57,10	18,68	12,50
13-14	989	52,73	18,80	11,54
14-15	989	45,45	17,59	9,95
15-16	989	34,75	15,02	7,61
16-17	989	21,95	10,79	4,80
17-18	989	8,58	5,42	1,88
18-19	989	0,88	1,14	0,19
05-12		235,30		51,52
12-19		221,44		48,48

QUADRO 7 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), no verão.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	969	0,17	0,40	0,04
06-07	980	4,55	3,82	1,06
07-08	980	17,50	9,37	4,09
08-09	980	30,55	13,70	7,14
09-10	980	42,12	16,88	9,84
10-11	980	50,22	18,34	11,74
11-12	980	54,34	18,29	12,70
12-13	980	54,81	17,95	12,81
13-14	980	53,09	17,92	12,41
14-15	980	46,12	17,94	10,78
15-16	980	35,88	15,91	8,39
16-17	980	24,31	12,29	5,66
17-18	980	11,89	7,25	2,78
18-19	969	2,27	2,08	0,53
05-12		199,45		46,62
12-19		228,37		53,38

QUADRO 8 - Número médio de horas de insolação (n) diário e para os períodos das 5 às 12 e das 12 às 19 horas, nas diferentes estações do ano em Botucatu-SP (1983-1993).

Estações do ano	Número de dias	05-12		12-19		diário
		horas	%	horas	%	horas
Outono	1021	3,6	50,0	3,6	50,0	7,2
Inverno	1022	3,7	49,3	3,8	50,7	7,5
Primavera	989	3,9	51,3	3,7	48,7	7,6
Verão	980	3,4	51,5	3,2	48,5	6,6

4.1.4. VALORES MÉDIOS DIÁRIOS POR MÊS

Os valores médios diários de **R_g** para os meses foram em ordem decrescente: novembro, outubro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, setembro, agosto, julho, maio e junho como pode ser observado no Quadro 9 e Figura 1.

O menor valor de **R_g** representou 63,5% do maior, enquanto a mesma relação para **Q₀** foi de 53,2%.

A influência da atmosfera pode ser observada através dos valores de **R** que em julho foi 0,59 e em janeiro 0,43, e pela razão de insolação (**r**) que em julho teve o maior valor 0,75, sendo o menor 0,49 presente no mês de fevereiro.

Os três menores valores ocorridos em maio, junho e julho foram devidos aos baixos valores de **Q₀**, conforme se esperava, tendo em vista os altos valores da razão de insolação (**r**).

QUADRO 9 - Valores médios diários da radiação solar global (**R_g**), radiação solar na ausência da atmosfera (**Q₀**), razão de radiação (**R**) e razão de insolação (**r**) para os meses do ano.

Mês	Horário	nº dados	R _g (cal.cm ⁻² . dia ⁻¹)	R	r	Q ₀ (cal.cm ⁻² . dia ⁻¹)
Janeiro	05-19	340	438,19 ⁽⁴⁾	0,43	0,52 ⁽⁷⁾	1011,94 ⁽²⁾
	07-17	340	415,67	0,44	0,61	940,37
	08-16	340	370,76	0,45	0,65	826,78
Fevereiro	05-19	311	427,08 ⁽⁵⁾	0,45	0,49 ⁽⁹⁾	956,58 ⁽⁴⁾
	07-17	311	409,05	0,45	0,57	903,13
	08-16	311	368,96	0,46	0,60	799,51
Março	05-19	339	404,43 ⁽⁶⁾	0,47	0,55 ⁽⁶⁾	854,07 ⁽⁶⁾
	07-17	339	394,08	0,48	0,63	822,02
	08-16	339	358,43	0,48	0,66	735,43
Abril	05-19	329	372,99 ⁽⁷⁾	0,52	0,64 ⁽⁴⁾	719,55 ⁽⁸⁾
	07-17	329	368,27	0,52	0,70	704,94
	08-16	329	340,15	0,53	0,73	639,40
Maio	05-19	341	322,36 ⁽¹¹⁾	0,54	0,64 ⁽⁴⁾	602,23 ⁽¹⁰⁾
	07-17	341	320,42	0,54	0,69	596,82
	08-16	341	300,13	0,55	0,72	548,91
Junho	05-19	330	311,02 ⁽¹²⁾	0,57	0,69 ⁽³⁾	542,35 ⁽¹²⁾
	07-17	330	309,72	0,57	0,73	539,92
	08-16	330	292,60	0,58	0,76	500,77
Julho	05-19	341	334,47 ⁽¹⁰⁾	0,59	0,75 ⁽¹⁾	563,13 ⁽¹¹⁾
	07-17	341	332,26	0,59	0,79	559,67
	08-16	341	312,28	0,60	0,83	517,29
Agosto	05-19	341	363,84 ⁽⁹⁾	0,55	0,70 ⁽²⁾	659,09 ⁽⁹⁾
	07-17	341	360,08	0,55	0,76	649,30
	08-16	341	334,90	0,57	0,80	592,42
Setembro	05-19	329	368,14 ⁽⁸⁾	0,46	0,55 ⁽⁶⁾	788,68 ⁽⁷⁾
	07-17	329	361,43	0,47	0,63	765,05
	08-16	329	330,45	0,48	0,66	688,16
Outubro	05-19	340	446,24 ⁽²⁾	0,49	0,61 ⁽⁶⁾	906,53 ⁽⁵⁾
	07-17	340	431,81	0,50	0,70	862,87
	08-16	340	388,50	0,51	0,72	766,99
Novembro	05-19	330	489,73 ⁽¹⁾	0,50	0,63 ⁽⁵⁾	985,41 ⁽³⁾
	07-17	330	465,93	0,50	0,72	921,37
	08-16	330	414,50	0,51	0,74	812,11
Dezembro	05-19	341	444,62 ⁽³⁾	0,44	0,51 ⁽⁸⁾	1019,86 ⁽¹⁾
	07-17	341	420,33	0,44	0,59	943,98
	08-16	341	373,10	0,45	0,61	828,28

() número de sequência - ordem decrescente

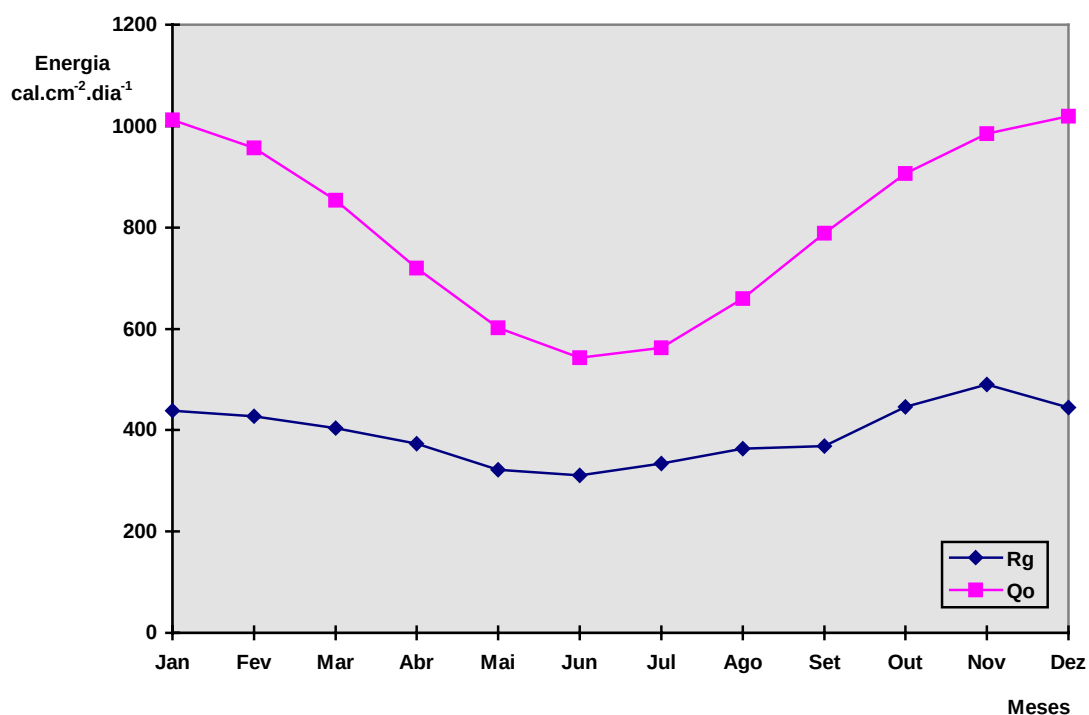


FIGURA 1 - Variação anual da radiação solar global (**R_g**) e da radiação solar na ausência da atmosfera (**Q₀**).

Fica evidente portanto o menor conteúdo de energia no mês anterior e posterior ao início do inverno, e no próprio mês em que se inicia essa estação, sendo o valor médio de **R_g** menor em maio do que em julho em Botucatu.

Os três meses com maiores valores de **R_g**: novembro, outubro e dezembro, não podem ser relacionados apenas com os maiores valores de **Q₀** (radiação solar na ausência da atmosfera) como foi feito anteriormente. Isto é, embora o sol culmine no meridiano local entre os dias 12 e 13 de dezembro e 3 e 4 de janeiro de cada ano, quando os valores

de Q_0 são máximos, o mês de janeiro não recebe tanta energia ao nível do solo quanto dezembro, em função do maior conteúdo de vapor d'água na atmosfera, como pode ser visto através do valor mais baixo da razão de radiação (R) (Quadro 9).

Observa-se também que o mês de novembro por receber mais energia na ausência da atmosfera (Q_0), apresenta uma maior quantidade ao nível do solo (R_g) quando comparado com outubro (segundo maior valor), diferença essa também relacionada com r .

De janeiro até maio, os valores de R_g vão decrescendo lentamente, devido a uma diminuição gradativa nos valores de Q_0 . O inverso ocorre de julho a setembro pela mesma razão.

4.1.5. VALORES MÉDIOS HORÁRIOS POR MÊS

Excluindo os meses de outubro e novembro, a radiação solar global sempre foi maior percentualmente no período das 12 às 19 horas, sendo em ordem decrescente os meses de fevereiro, julho e junho. Os menores valores nesse período ocorreram em novembro, outubro e dezembro, conforme Quadro 10 e Figura 2.

Os três meses de maiores valores percentuais de R_g no período das 5 às 12 horas foram em ordem decrescente

novembro, outubro e dezembro e os menores março, julho e fevereiro.

Sendo simétrico o comportamento da energia solar incidente na ausência da atmosfera nos períodos das 5 às 12 e das 12 às 19 horas, as diferenças encontradas entre eles, no decorrer do ano, foram devidas a variação da nebulosidade e transmissividade atmosférica.

QUADRO 10 - Valores médios mensais da radiação solar global (**R_g**) para os períodos das 5 às 12 horas e das 12 às 19 horas.

Mês	Período	R_g	
		(cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	%
Janeiro	05-12	207,84	47,43
	12-19	230,33	52,51
Fevereiro	05-12	193,78	45,37
	12-19	233,32	54,63
Março	05-12	188,44	46,60
	12-19	216,24	53,27
Abril	05-12	178,39	47,82
	12-19	194,58	52,16
Maio	05-12	158,04	49,03
	12-19	164,32	50,97
Junho	05-12	146,80	47,19
	12-19	164,20	53,43
Julho	05-12	152,93	45,72
	12-19	181,52	53,69
Agosto	05-12	171,65	47,17
	12-19	192,13	52,79
Setembro	05-12	182,29	49,51
	12-19	185,90	50,50
Outubro	05-12	231,57	51,88
	12-19	214,67	48,10
Novembro	05-12	255,91	52,24
	12-19	233,82	47,56
Dezembro	05-12	220,76	49,63
	12-19	223,86	50,33

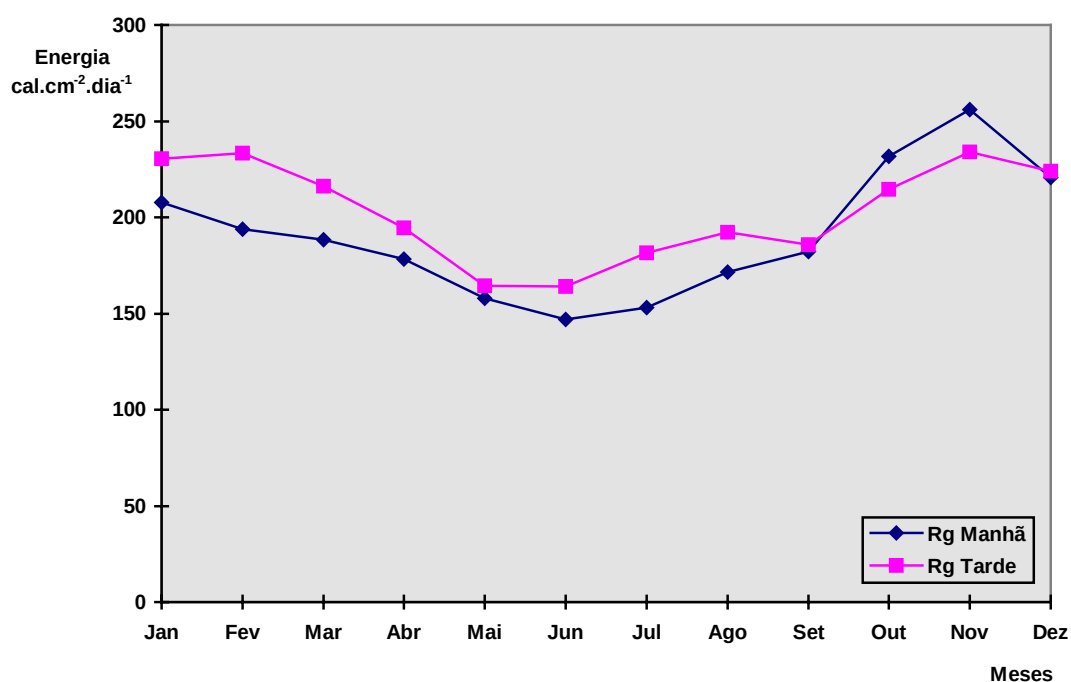


FIGURA 2 - Variação anual da radiação solar global (**Rg**) para os períodos das 5 às 12 e das 12 às 19 horas.

A diferença percentual entre os períodos das 5 às 12 horas (48,4%) e das 12 às 19 horas (51,6%) foi de 3,2%, conforme Quadro 11, sendo os horários entre 12 e 15 horas responsáveis por 36,8% e das 9 às 12 horas por 36,2%.

Os valores médios por horário encontrados, permitem observar a pequena contribuição dos intervalos das 5 às 8 e das 16 às 19 horas, além de apresentarem desvio padrão bastante elevado.

QUADRO 11 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s) para o período de 1983 a 1993.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	1958	0,46	0,67	0,12
06-07	4012	3,73	4,83	0,95
07-08	4012	14,89	10,29	3,78
08-09	4012	28,95	13,45	7,34
09-10	4012	40,85	16,00	10,36
10-11	4012	48,97	17,30	12,43
11-12	4012	53,05	17,35	13,45
12-13	4012	53,07	17,20	13,45
13-14	4012	49,74	17,01	12,61
14-15	4012	42,31	16,12	10,72
15-16	4012	31,67	13,86	8,02
16-17	4012	18,76	10,47	4,75
17-18	4012	6,40	6,19	1,62
18-19	1958	1,57	1,81	0,40

Conforme Quadros de 12 a 23, o horário das 7 às 17 horas apresentou um percentual de 94,6% em relação ao das 5 às 19 horas no mês de dezembro, considerado o menor dentre todos. Para os meses de maio a agosto esse valor foi maior que 99,0%. Já para o horário das 8 às 16 horas, o menor percentual, ao redor de 84,0%, foi obtido para os meses de dezembro e janeiro e o maior, 94,1%, no mês de junho.

Os horários centrais, ou seja, das 11 às 12 e das 12 às 13 horas, juntos representam no mínimo 25,0% da **R_g** diária nos meses de janeiro e dezembro, e no máximo 30,0%, valor obtido em julho. O mês de maio obteve o menor valor nominal de **R_g** para esses horários, 94,26 cal.cm⁻².dia⁻¹ que representa 78,0% do maior valor que foi 121,27 cal.cm⁻².dia⁻¹ obtido em novembro, indicando uma menor variação da radiação solar global nos horários próximos a passagem meridiana quando comparados com o total diário (64,0%).

QUADRO 12 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para janeiro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	340	0,28	0,42	0,06
06-07	340	6,22	4,16	1,42
07-08	340	19,75	10,34	4,51
08-09	340	32,33	14,41	7,38
09-10	340	43,39	17,17	9,90
10-11	340	51,39	18,35	11,73
11-12	340	54,48	18,23	12,43
12-13	340	54,38	17,72	12,41
13-14	340	52,00	18,45	11,81
14-15	340	46,09	18,23	10,52
15-16	340	36,69	15,84	8,37
16-17	340	25,15	12,83	5,74
17-18	340	13,00	7,97	2,97
18-19	340	3,02	2,49	0,69

QUADRO 13 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para fevereiro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	311	0,02	0,06	0,01
06-07	311	3,34	2,17	0,78
07-08	311	15,78	7,99	3,69
08-09	311	29,14	13,00	6,82
09-10	311	41,25	16,63	9,66
10-11	311	49,72	18,49	11,64
11-12	311	54,53	18,11	12,77
12-13	311	56,51	17,69	13,23
13-14	311	55,12	17,56	12,91
14-15	311	46,74	18,69	10,94
15-16	311	35,97	16,91	8,42
16-17	311	24,30	12,84	5,69
17-18	311	12,43	7,39	2,91
18-19	311	2,25	1,73	0,53

QUADRO 14 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para março.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	208	0,01	0,01	0,01
06-07	339	1,84	1,36	0,45
07-08	339	14,08	6,97	3,48
08-09	339	28,30	12,10	7,00
09-10	339	40,61	15,85	10,04
10-11	339	49,22	17,56	12,17
11-12	339	54,38	17,60	13,45
12-13	339	54,24	17,66	13,41
13-14	339	52,25	16,886	12,92
14-15	339	45,39	16,07	11,22
15-16	339	34,04	14,27	8,42
16-17	339	21,58	10,67	5,33
17-18	339	7,88	4,87	1,95
18-19	208	0,86	0,83	0,02

QUADRO 15 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para abril.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	329	1,08	1,05	0,29
07-08	329	11,51	5,48	3,08
08-09	329	26,78	10,12	7,18
09-10	329	39,01	13,13	10,46
10-11	329	47,43	15,22	12,72
11-12	329	52,55	15,60	14,09
12-13	329	53,09	15,19	14,23
13-14	329	49,20	14,52	13,19
14-15	329	41,41	13,08	11,10
15-16	329	30,69	11,20	8,23
16-17	329	16,61	7,35	4,45
17-18	329	3,58	2,42	0,96
18-19	----	----	----	----

QUADRO 16 - Valores médios horários radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para maio.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	341	0,44	0,41	0,14
07-08	341	8,54	3,79	2,65
08-09	341	23,04	8,86	7,15
09-10	341	35,42	12,09	10,99
10-11	341	43,60	14,48	13,52
11-12	341	47,00	15,99	14,58
12-13	341	47,26	15,45	14,66
13-14	341	43,51	14,41	13,50
14-15	341	35,45	13,50	11,00
15-16	341	24,85	10,28	7,71
16-17	341	11,75	5,82	3,64
17-18	341	1,50	1,34	0,46
18-19	----	-----	----	----

QUADRO 17 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para junho.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	330	0,13	0,18	0,04
07-08	330	6,04	2,79	1,94
08-09	330	20,00	7,66	6,43
09-10	330	32,29	10,60	10,38
10-11	330	41,50	12,69	13,34
11-12	330	46,84	13,27	15,06
12-13	330	47,67	13,38	15,33
13-14	330	43,66	12,93	14,68
14-15	330	35,95	10,94	11,56
15-16	330	24,68	8,645	7,93
16-17	330	11,08	4,41	3,56
17-18	330	1,16	1,00	0,37
18-19	----	----	----	----

QUADRO 18 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para julho.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	341	0,11	0,15	0,03
07-08	341	5,81	2,72	1,74
08-09	341	20,56	7,26	6,15
09-10	341	33,62	10,32	10,05
10-11	341	43,50	11,63	13,00
11-12	341	49,33	12,30	14,75
12-13	341	50,52	12,35	15,10
13-14	341	47,22	11,89	14,11
14-15	341	39,40	10,60	11,78
15-16	341	28,13	8,72	8,41
16-17	341	14,16	5,11	4,23
17-18	341	2,09	1,49	0,06
18-19	-----	----	----	----

QUADRO 19 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para agosto.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	----	----	----	----
06-07	341	0,52	0,56	0,14
07-08	341	8,99	4,10	2,47
08-09	341	24,78	8,59	6,81
09-10	341	37,62	11,72	10,34
10-11	341	47,18	13,60	12,97
11-12	341	52,56	14,08	14,44
12-13	341	52,59	14,74	14,45
13-14	341	48,87	14,84	13,43
14-15	341	41,20	13,39	11,32
15-16	341	30,09	10,40	8,27
16-17	341	16,19	6,40	4,45
17-18	341	3,19	1,95	0,87
18-19	----	----	----	----

QUADRO 20 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e de desvio padrão (s), para setembro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	88	0,03	0,06	0,01
06-07	329	2,44	1,97	0,66
07-08	329	14,38	7,89	3,90
08-09	329	28,20	12,52	7,66
09-10	329	39,94	16,55	10,85
10-11	329	46,95	19,22	12,75
11-12	329	50,35	20,31	13,68
12-13	329	50,06	20,56	13,60
13-14	329	46,74	19,80	12,70
14-15	329	39,14	17,77	10,63
15-16	329	29,07	14,02	7,90
16-17	329	16,60	8,80	4,51
17-18	329	4,15	2,70	1,13
18-19	88	0,14	0,25	0,03

QUADRO 21 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para outubro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	340	0,31	0,36	0,07
06-07	340	7,33	3,99	1,64
07-08	340	23,09	9,52	5,17
08-09	340	37,50	13,90	8,40
09-10	340	49,17	17,05	11,01
10-11	340	55,59	18,91	12,46
11-12	340	58,58	18,15	13,13
12-13	340	57,69	18,39	12,93
13-14	340	52,38	18,521	11,74
14-15	340	44,28	17,04	9,92
15-16	340	33,31	14,10	7,46
16-17	340	20,21	9,45	4,53
17-18	340	6,47	3,58	1,45
18-19	340	0,33	0,41	0,07

QUADRO 22 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e desvio padrão (s), para novembro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	330	1,14	0,83	0,23
06-07	330	11,79	5,37	2,41
07-08	330	27,65	11,11	5,64
08-09	330	41,68	14,63	8,51
09-10	330	52,42	17,02	10,70
10-11	330	59,45	17,73	12,14
11-12	330	61,78	17,74	12,61
12-13	330	59,49	18,17	12,15
13-14	330	54,77	18,05	11,18
14-15	330	47,78	17,38	9,76
15-16	330	37,13	14,90	7,58
16-17	330	23,78	11,00	4,85
17-18	330	9,92	5,17	2,02
18-19	330	0,95	0,89	0,02

QUADRO 23 - Valores médios horários da radiação solar global (**R_g**) e de desvio padrão (s), para dezembro.

Horário	n ^o dados	R _g (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)		%
		média	s	
05-06	341	0,91	0,77	0,20
06-07	341	9,46	5,33	2,12
07-08	341	23,17	11,28	5,21
08-09	341	35,17	15,18	7,91
09-10	341	45,58	18,12	10,25
10-11	341	52,15	18,98	11,73
11-12	341	54,32	19,05	12,21
12-13	341	53,63	19,02	12,06
13-14	341	51,49	19,40	11,58
14-15	341	45,15	18,17	10,15
15-16	341	35,59	16,04	8,00
16-17	341	24,06	11,74	5,41
17-18	341	11,79	6,55	2,65
18-19	341	2,14	1,72	0,48

4.2. MODELOS AJUSTADOS AOS DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO PERÍODO 1983 A 1993

4.2.1. MODELO ANUAL

Utilizando-se dados de radiação solar global do período 1983 a 1993, com os totais diários obtidos no período das 5 às 19 horas, e objetivando-se estabelecer um único modelo que possibilitasse a estimativa de **R_g**, obteve-se a seguinte equação:

$$R_g = Q_0 \cdot (0,22 + 0,47 \cdot n/N)$$

onde **R_g** e **Q₀** são respectivamente radiação solar global e radiação solar na ausência da atmosfera ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); **n** e **N** são respectivamente a insolação medida e insolação máxima diária; com **a**=0,22 e **b**=0,47, coeficientes linear e angular respectivamente (Quadro 24).

CURY-LUNARDI & CATANEO (1993), utilizando dados diários de **R_g** e **n** medidos e de **N** e **Q₀** tabelados, encontraram para o período de 1983 a 1990, **a**=0,24 e **b**=0,45, mostrando alterações significativas nos coeficientes que podem ser devidas ao menor período de estudo, bem como as diferenças na metodologia, tendo em vista que no presente trabalho os valores de **Q₀** e **N** foram calculados para a região de Botucatu.

Os coeficientes obtidos para o período das 5 às 19 horas, assim como o das 7 às 17 e das 8 às 16 horas,

encontram-se no Quadro 24 e os coeficientes horários no Quadro 25. A maior diferença ocorreu em **b** que variou de 0,47 para 0,43, função da nebulosidade e grau de turbidez atmosférica. Já o coeficiente **a** teve uma menor variação, de 0,22 a 0,21.

QUADRO 24 - Valores dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F para o período 1983 - 1993.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-19	4018	0,84	0,22	0,210	0,219	0,47	0,466	0,478	21064,20 *
07-17	4018	0,83	0,21	0,208	0,218	0,43	0,427	0,439	19356,45 *
08-16	4018	0,82	0,21	0,205	0,215	0,43	0,424	0,436	18820,88 *

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

O horário das 5 às 19 horas mostrou comportamento significativamente diferente dos demais horários (Quadro 26), indicando a impossibilidade de se utilizar uma única equação para estimativa da radiação solar global na região de Botucatu, embora tenha havido uma boa correlação entre R_g/Q_0 e n/N mostrado através do valor de $r^2=0,84$.

Conforme Quadro 26, as equações que representam os períodos das 7 às 17 horas e das 8 às 16 foram semelhantes entre si e diferentes daquela que representa o período das 5 às 19 horas, indicando que o efeito dos horários entre 5 e 7 horas e entre 17 e 19 horas foi mais acentuado que os dos horários entre 7 e 8 horas e entre 16 e

17 horas, mesmo tendo sido os últimos mais significativos em termos de radiação solar global (R_g).

4.2.2. MODELOS HORÁRIOS

No Quadro 25, encontram-se os valores dos coeficientes obtidos através dos ajustes horários efetuados, considerando-se o período anual. Nota-se que os valores de R_g/Q_0 e n/N se correlacionaram bem em cada horário, comprovados através do coeficiente de determinação r^2 , que no entanto se apresentou baixo nos períodos anteriores às 7 e posteriores às 17 horas, indicando que o modelo linear não foi adequado para esses horários.

Na comparação dos coeficientes a e b simultaneamente entre as equações de cada horário, Quadros 25 e 26, pode-se observar que na maioria houve diferenças significativas, indicando que cada horário tem características próprias, exceto o período entre 9 e 14 horas e também entre 14 e 16 onde ocorreram semelhanças. Por exemplo, o modelo que descreve o comportamento do horário das 9 às 10 pode ser aplicado aos horários das 10 às 11, das 12 às 13 e das 13 às 14 horas ou vice-versa.

QUADRO 25 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F para o período 1983 - 1993.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	1920	0,02	0,12	0,110	0,130	0,19	0,126	0,253	34,18 *
06-07	4016	0,30	0,12	0,112	0,123	0,26	0,251	0,276	1700,89 *
07-08	4018	0,58	0,18	0,178	0,190	0,31	0,305	0,322	5549,16 *
08-09	4018	0,76	0,21	0,206	0,217	0,38	0,373	0,386	12794,55 *
09-10	4018	0,78	0,23	0,221	0,232	0,39	0,387	0,400	14165,11 *
10-11	4018	0,76	0,23	0,224	0,235	0,39	0,385	0,399	12595,37 *
11-12	4018	0,73	0,24	0,233	0,245	0,38	0,374	0,389	10781,61 *
12-13	4018	0,70	0,24	0,229	0,242	0,38	0,377	0,393	9333,73 *
13-14	4018	0,71	0,23	0,226	0,239	0,40	0,394	0,410	9891,05 *
14-15	4018	0,72	0,23	0,225	0,238	0,42	0,412	0,428	10420,49 *
15-16	4017	0,72	0,24	0,229	0,242	0,44	0,426	0,443	10053,13 *
16-17	3986	0,63	0,26	0,249	0,263	0,43	0,419	0,439	6666,85 *
17-18	3529	0,14	0,35	0,344	0,363	0,30	0,271	0,320	560,32 *
18-19	1495	0,01	0,30	0,280	0,311	0,60	0,315	0,891	16,88 *

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

QUADRO 26 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o período 1983 - 1993.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
09-10					ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
11-12							ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12-13								*	*	*	*	*	*	*	*	*
13-14									*	*	*	*	*	*	*	*
14-15										ns	*	*	*	*	*	*
15-16											*	*	*	*	*	*
16-17												*	*	*	*	*
17-18													*	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

4.3. MODELOS AJUSTADOS PARA AS ESTAÇÕES DO ANO

4.3.1. MODELOS DIÁRIOS

As equações de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o horário das 5 às 19 horas foram:

outono	$R_g = Q_0 \cdot (0,23 + 0,47 \cdot n/N);$
inverno	$R_g = Q_0 \cdot (0,21 + 0,51 \cdot n/N);$
primavera	$R_g = Q_0 \cdot (0,21 + 0,45 \cdot n/N);$
verão	$R_g = Q_0 \cdot (0,23 + 0,42 \cdot n/N).$

No Quadro 27 pode-se observar através dos valores dos coeficientes determinação, que houve um melhor ajuste dos valores de **R_g/Q₀** e **n/N** no inverno ($r^2=0,86$), seguido da primavera ($r^2=0,85$), outono ($r^2=0,83$) e verão ($r^2=0,81$).

A comparação simultânea dos coeficientes de ajuste linear, **a** e **b** indicou semelhança apenas entre o outono e a primavera. Verificou-se ainda uma variação sazonal que todavia foi menor em **a** (0,02) que em **b** (0,09), embora o teste F tenha demonstrado que todos foram significativos nos quatro períodos considerados.

Sendo **a** pouco influenciado pelo tipo de nuvem e dependente da massa de ar atravessada pela radiação solar, consequentemente função da latitude e altitude, fatores esses que não variaram durante o período de estudo, os resultados obtidos são concordantes.

A soma dos coeficientes **a** e **b** ou transmissividade atmosférica, também apresentou variações sazonais sendo maior no inverno (0,72) e menor no verão (0,65) conforme Quadro 28.

O teste de similaridade entre as equações para as estações do ano foi significativo apenas entre o outono e primavera, períodos sem características climáticas extremas.

CURY-LUNARDI & CATANEO (1993), estabeleceram para a região de Botucatu duas equações através do agrupamento em primavera-verão: $R_g = Q_0 \cdot (0,25 + 0,42 \cdot n/N)$; e outono-inverno: $R_g = Q_0 \cdot (0,25 + 0,46 \cdot n/N)$. O teste de similaridade através da comparação dos coeficientes **a** e **b** de ambos os trabalhos, mostrou diferenças significativas.

QUADRO 27 - Valores dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F para as estações do ano.

Estação Horário	nº de dados-	r ²	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
Outono									
05-19	1023	0,83	0,23	0,217	0,236	0,47	0,459	0,485	5087,74 *
07-17	1023	0,83	0,23	0,216	0,235	0,44	0,429	0,454	4937,21 *
08-16	1023	0,83	0,22	0,213	0,232	0,44	0,428	0,453	4938,96 *
Inverno									
05-19	1023	0,86	0,21	0,197	0,215	0,51	0,494	0,519	6381,31 *
07-17	1023	0,85	0,21	0,196	0,216	0,47	0,455	0,479	5812,53 *
08-16	1023	0,85	0,20	0,190	0,210	0,47	0,455	0,479	5632,74 *
Primavera									
05-19	990	0,85	0,21	0,204	0,220	0,45	0,441	0,465	5430,98 *
07-17	990	0,85	0,21	0,199	0,215	0,42	0,405	0,426	5649,82 *
08-16	990	0,85	0,20	0,197	0,214	0,41	0,400	0,422	5606,49 *
Verão									
05-19	982	0,81	0,23	0,220	0,235	0,42	0,407	0,432	4153,21 *
07-17	982	0,81	0,22	0,217	0,232	0,38	0,367	0,390	4240,51 *
08-16	982	0,80	0,22	0,217	0,233	0,37	0,360	0,383	4040,30 *

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

QUADRO 28 - Transmissividade atmosférica (**t**) para as estações do ano.

Estações do ano	Transmissividade atmosférica
Outono	0,70
Inverno	0,72
Primavera	0,66
Verão	0,65

4.3.2. MODELOS HORÁRIOS

Os coeficientes obtidos para os modelos de estimativa da radiação solar global a nível horário, por estação do ano, estão representados nos Quadros de 29 a 32.

Observa-se que embora o teste F aplicado em cada horário tivesse sido significativo, independente da estação, as equações para os horários anteriores às 7 e posteriores às 17 horas apresentaram coeficiente de determinação baixo, fato já observado para o período anual, indicando comportamento independente da época do ano.

Os valores dos coeficientes de determinação foram maiores em todas as estações no horário das 9 às 10, excluindo a primavera em que o maior ocorreu das 8 às 9 horas.

Em ordem decrescente, os valores de r^2 nos horários centrais ocorreram no inverno, primavera, outono e verão.

Quanto aos coeficientes **a** e **b** pode-se verificar que ambos apresentaram variações sazonais e horárias, sendo que **b** apresentou maior variabilidade relativa que **a**.

Excluindo a primavera, os maiores valores de **a** ocorreram no último horário do dia.

Observando-se o comportamento desse coeficiente, nota-se que na primavera seu valor foi praticamente constante durante todo o dia.

Tendo em vista a semelhança encontrada entre os coeficientes **a** e **b** dos modelos diários por estação do ano no outono e primavera, procedeu-se a comparação de cada horário nessas estações encontrando similaridade apenas para os intervalos das 8 às 9 e das 9 às 10 horas.

Nos Quadros 33 a 36 encontram-se as comparações simultâneas de **a** e **b**, horário a horário para as estações do ano.

Observa-se que verão e inverno foram estações que apresentaram um menor número de semelhanças entre as equações, sendo praticamente igual a zero para a primeira.

Independente da estação, foram observadas semelhanças entre os seguintes horários: das 9 às 10 e das 10 às 11, das 11 às 12 e das 12 às 13, das 11 às 12 e das 13 às 14, das 12 às 13 e das 13 às 14, das 14 às 15 e das 15 às 16 e também das 7 às 17 e das 8 às 16 horas.

Na primavera, os valores elevados dos intervalos de confiança dos coeficientes **a** e **b**, devem ter sido responsáveis pelas semelhanças entre a equação do horário das 18 às 19 e os demais, embora a repetição desse fato para os horários próximos ao nascer e ao por do sol, não tenha ocasionado semelhanças horárias nas outras estações.

QUADRO 29 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o outono.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----
06-07	1021	0,02	0,12	0,115	0,136	0,08	0,047	0,107	25,07 *
07-08	1023	0,58	0,18	0,174	0,194	0,28	0,262	0,290	1428,11 *
08-09	1023	0,76	0,22	0,204	0,226	0,39	0,372	0,399	3212,12 *
09-10	1023	0,79	0,24	0,231	0,252	0,40	0,385	0,410	3798,54 *
10-11	1023	0,78	0,23	0,223	0,246	0,42	0,402	0,429	3563,30 *
11-12	1023	0,75	0,25	0,236	0,260	0,40	0,388	0,416	3118,39 *
12-13	1023	0,72	0,25	0,235	0,261	0,40	0,387	0,418	2625,81 *
13-14	1023	0,72	0,25	0,239	0,266	0,40	0,390	0,421	2577,40 *
14-15	1023	0,73	0,25	0,240	0,266	0,42	0,404	0,436	2741,23 *
15-16	1022	0,73	0,24	0,229	0,255	0,45	0,430	0,463	2806,95 *
16-17	1015	0,61	0,27	0,252	0,281	0,42	0,401	0,443	1568,16 *
17-18	859	0,09	0,38	0,361	0,399	0,42	0,329	0,510	81,87 *
18-19	----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----

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

(-) Não existem valores de Rg

QUADRO 30 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o inverno.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----
06-07	1023	0,03	0,09	0,084	0,100	0,08	0,049	0,104	29,96 *
07-08	1023	0,51	0,16	0,150	0,172	0,25	0,232	0,262	1048,33 *
08-09	1023	0,76	0,21	0,195	0,216	0,37	0,356	0,382	3175,58 *
09-10	1023	0,79	0,22	0,206	0,228	0,41	0,396	0,422	3848,35 *
10-11	1023	0,77	0,23	0,217	0,241	0,41	0,400	0,428	3414,70 *
11-12	1023	0,78	0,23	0,213	0,238	0,43	0,415	0,443	3541,51 *
12-13	1023	0,77	0,22	0,207	0,233	0,44	0,426	0,456	3343,16 *
13-14	1023	0,77	0,22	0,212	0,239	0,45	0,436	0,466	3418,38 *
14-15	1023	0,77	0,22	0,211	0,238	0,47	0,450	0,482	3353,72 *
15-16	1023	0,72	0,24	0,229	0,258	0,46	0,447	0,483	2630,01 *
16-17	999	0,59	0,30	0,284	0,317	0,43	0,412	0,457	1412,96 *
17-18	730	0,04	0,45	0,433	0,475	0,41	0,269	0,546	33,25 *
18-19	----	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----

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

(-) Não existem valores de Rg

QUADRO 31 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para a primavera.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	949	0,01	0,22	0,204	0,238	0,16	0,049	0,261	8,14 *
06-07	990	0,58	0,22	0,205	0,226	0,34	0,325	0,361	1366,60 *
07-08	990	0,79	0,23	0,215	0,234	0,40	0,391	0,417	3665,08 *
08-09	990	0,81	0,23	0,224	0,243	0,41	0,393	0,417	4228,31 *
09-10	990	0,80	0,23	0,222	0,242	0,40	0,390	0,414	4026,51 *
10-11	990	0,78	0,23	0,217	0,238	0,39	0,373	0,399	3568,09 *
11-12	990	0,76	0,23	0,221	0,242	0,36	0,351	0,376	3078,52 *
12-13	990	0,75	0,22	0,208	0,230	0,37	0,353	0,380	2944,72 *
13-14	990	0,76	0,21	0,196	0,218	0,39	0,375	0,402	3190,69 *
14-15	990	0,76	0,21	0,195	0,217	0,40	0,385	0,413	3134,68 *
15-16	990	0,76	0,20	0,190	0,212	0,40	0,394	0,422	3117,02 *
16-17	990	0,74	0,20	0,192	0,212	0,40	0,388	0,417	2855,11 *
17-18	989	0,47	0,21	0,198	0,222	0,34	0,314	0,358	890,52 *
18-19	903	0,01	0,22	0,203	0,239	0,58	0,198	0,966	8,81 *

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

QUADRO 32 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o verão.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	971	0,12	0,02	0,021	0,029	0,17	0,140	0,197	136,70*
06-07	982	0,42	0,10	0,092	0,107	0,19	0,179	0,208	697,79*
07-08	982	0,68	0,17	0,164	0,182	0,31	0,299	0,326	2116,15*
08-09	982	0,76	0,20	0,188	0,206	0,35	0,336	0,360	3141,97*
09-10	982	0,76	0,22	0,209	0,228	0,35	0,339	0,364	3045,31*
10-11	982	0,74	0,23	0,220	0,240	0,34	0,327	0,352	2724,31*
11-12	982	0,68	0,25	0,241	0,263	0,32	0,302	0,329	2056,70*
12-13	982	0,62	0,26	0,245	0,269	0,31	0,294	0,324	1615,60*
13-14	982	0,64	0,25	0,242	0,267	0,34	0,322	0,353	1717,90*
14-15	982	0,66	0,25	0,236	0,261	0,37	0,357	0,390	1899,80*
15-16	982	0,67	0,26	0,245	0,268	0,40	0,385	0,420	2018,37*
16-17	982	0,66	0,26	0,247	0,272	0,45	0,430	0,471	1881,28*
17-18	951	0,44	0,31	0,299	0,330	0,51	0,473	0,545	754,55*
18-19	592	0,02	0,41	0,385	0,434	0,61	0,214	1,010	9,07*

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

QUADRO 33 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o outono.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	-	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	ns	*	*	*	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	*	ns	*	-	*	*	*
12-13								ns	ns	*	ns	*	-	*	*	*
13-14									ns	*	ns	*	-	*	*	*
14-15										ns	ns	*	-	*	*	*
15-16											ns	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	*	*	*
17-18														*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Não existe equação.

QUADRO 34 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o inverno.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
10-11						ns	ns	*	*	*	*	*	-	*	*	*
11-12							ns	ns	*	*	*	*	-	*	*	*
12-13								ns	ns	ns	*	*	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	*	*	-	*	ns	*
14-15										ns	*	*	-	*	ns	*
15-16											*	*	-	*	*	*
16-17												*	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Não existe equação.

QUADRO 35 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para a primavera.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*
06-07		*	*	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	*	*
07-08			ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns	*
08-09				ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*
09-10					ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	*	*
11-12							ns	*	*	*	*	ns	ns	*	*	*
12-13								ns	*	*	*	ns	ns	*	*	*
13-14									ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns
14-15										ns	ns	*	ns	*	ns	ns
15-16											ns	*	ns	*	ns	ns
16-17												*	ns	*	ns	ns
17-18													ns	*	*	*
18-19														ns	ns	ns
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

QUADRO 36 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o verão.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
09-10					ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
10-11						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11-12							ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
12-13								ns	*	*	*	*	*	*	*	*
13-14									*	*	*	*	*	*	*	*
14-15										ns	*	*	*	*	*	*
15-16											*	*	*	*	*	*
16-17												*	*	*	*	*
17-18													*	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

4.4. MODELOS AJUSTADOS PARA OS MESES DO ANO

4.4.1. MODELOS DIÁRIOS

As equações mensais para o horário das 5 às 19 horas foram as seguintes:

janeiro	$Rg=Q_0 \cdot (0,21+0,43 \cdot n/N);$
fevereiro	$Rg=Q_0 \cdot (0,24+0,42 \cdot n/N);$
março	$Rg=Q_0 \cdot (0,24+0,42 \cdot n/N);$
abril	$Rg=Q_0 \cdot (0,24+0,43 \cdot n/N);$
maio	$Rg=Q_0 \cdot (0,22+0,49 \cdot n/N);$
junho	$Rg=Q_0 \cdot (0,24+0,49 \cdot n/N);$
julho	$Rg=Q_0 \cdot (0,22+0,50 \cdot n/N);$
agosto	$Rg=Q_0 \cdot (0,22+0,48 \cdot n/N);$
setembro	$Rg=Q_0 \cdot (0,18+0,52 \cdot n/N);$
outubro	$Rg=Q_0 \cdot (0,21+0,46 \cdot n/N);$
novembro	$Rg=Q_0 \cdot (0,22+0,45 \cdot n/N);$
dezembro	$Rg=Q_0 \cdot (0,22+0,41 \cdot n/N).$

Os coeficientes de determinação r^2 obtidos em todos os meses, apresentados nos Quadros 37 e 38, mostraram que os valores de Rg/Q_0 e n/N se correlacionaram muito bem como ficou comprovado através do teste F.

O melhor ajuste ocorreu em maio e setembro com $r^2=0,88$ e os piores em março e abril com $r^2=0,79$.

Os coeficientes lineares (**a**) das equações de regressão, para cada mês, variaram de 0,18 em setembro a 0,24 em maio. Os coeficientes angulares (**b**) variaram de 0,52 a

QUADRO 37 - Valores diários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para os meses de janeiro a junho.

Horário	nº dados	r ²	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
Jan.									
05-19	341	0,82	0,21	0,195	0,220	0,43	0,408	0,451	1548,25 *
07-17	341	0,81	0,21	0,194	0,221	0,38	0,361	0,400	1478,29 *
08-16	341	0,80	0,21	0,197	0,225	0,36	0,345	0,385	1322,89 *
Fev.									
05-19	311	0,84	0,24	0,227	0,251	0,42	0,400	0,442	1557,82 *
07-17	311	0,85	0,23	0,222	0,245	0,39	0,368	0,404	1807,78 *
08-16	311	0,86	0,23	0,221	0,244	0,38	0,366	0,400	1884,99 *
Mar.									
05-19	341	0,79	0,24	0,222	0,253	0,42	0,399	0,447	1188,56 *
07-17	341	0,78	0,24	0,219	0,250	0,38	0,362	0,406	1210,16 *
08-16	341	0,78	0,23	0,217	0,249	0,38	0,360	0,403	1192,30 *
Abr.									
05-19	330	0,79	0,24	0,223	0,258	0,43	0,408	0,457	1224,21 *
07-17	330	0,79	0,24	0,222	0,256	0,40	0,380	0,425	1252,21 *
08-16	330	0,80	0,24	0,219	0,254	0,40	0,380	0,424	1299,26 *
Mai.									
05-19	341	0,88	0,22	0,205	0,233	0,49	0,471	0,510	2465,33 *
07-17	341	0,88	0,22	0,203	0,231	0,46	0,445	0,481	2527,77 *
08-16	341	0,88	0,21	0,199	0,229	0,46	0,444	0,480	2480,63 *
Jun.									
05-19	330	0,87	0,24	0,224	0,255	0,49	0,465	0,507	2109,89 *
07-17	330	0,87	0,24	0,223	0,254	0,46	0,442	0,482	2114,35 *
08-16	330	0,86	0,24	0,219	0,253	0,46	0,437	0,478	1964,03 *

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

QUADRO 38 - Valores diários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas **F**, para os meses de julho a dezembro.

Horário	nº dados	r ²	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
Jul.									
05-19	341	0,86	0,22	0,202	0,237	0,50	0,480	0,524	2004,75 *
07-17	341	0,86	0,22	0,200	0,234	0,47	0,453	0,494	2057,83 *
08-16	341	0,87	0,20	0,185	0,220	0,48	0,465	0,505	2236,01 *
Ago.									
05-19	341	0,84	0,22	0,199	0,233	0,48	0,462	0,507	1765,79 *
07-17	341	0,83	0,22	0,197	0,232	0,47	0,425	0,467	1703,84 *
08-16	341	0,83	0,21	0,189	0,227	0,45	0,427	0,471	1614,31 *
Set.									
05-19	330	0,88	0,18	0,169	0,196	0,52	0,494	0,536	2314,52 *
07-17	330	0,87	0,18	0,168	0,196	0,46	0,440	0,479	2180,33 *
08-16	330	0,86	0,18	0,166	0,195	0,45	0,432	0,471	2059,01 *
Out.									
05-19	341	0,82	0,21	0,193	0,225	0,46	0,438	0,484	1490,20 *
07-17	341	0,82	0,20	0,189	0,221	0,42	0,399	0,441	1563,27 *
08-16	341	0,83	0,20	0,185	0,218	0,42	0,397	0,438	1604,92 *
Nov.									
05-19	330	0,86	0,22	0,202	0,228	0,45	0,428	0,467	2070,35 *
07-17	330	0,87	0,21	0,194	0,221	0,42	0,399	0,434	2148,93 *
08-16	330	0,86	0,21	0,195	0,224	0,41	0,390	0,425	1999,87 *
Dez.									
05-19	341	0,83	0,22	0,214	0,237	0,41	0,395	0,434	1681,20 *
07-17	341	0,84	0,22	0,208	0,232	0,38	0,364	0,400	1765,72 *
08-16	341	0,84	0,22	0,205	0,229	0,38	0,362	0,398	1786,53 *

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

0,41, mostrando que ambos os coeficientes tiveram variação sazonal.

A marcha anual do coeficiente angular, conforme Figura 3, teve comportamento semelhante ao da transmissividade atmosférica.

Observa-se nos Quadros 37 e 38, que a equação referente ao intervalo das 5 às 19 horas foi semelhante a dos horários das 7 às 17 e das 8 às 16 em todos os meses, exceto em janeiro e setembro quando a diferença foi em relação aos dois e novembro quando se restringiu ao das 8 às 16 horas.

A avaliação de semelhança entre os modelos mensais, presente no Quadro 39 demonstra que o mês de setembro teve condições singulares uma vez que a sua equação diferiu de todas as demais. Comparando-se os meses de uma mesma estação, verifica-se que ocorreu um equilíbrio entre semelhanças e diferenças, enquanto que na comparação de meses de estações diferentes, o maior número de diferenças foi observado entre verão e inverno. Com relação a semelhanças, essas ocorreram em maior número entre verão e primavera e entre outono e primavera.

A comparação dos coeficientes **a** e **b** das equações mensais do presente trabalho com as obtidas por **CURY-LUNARDI & CATANEO (1994b)**, apresentaram semelhanças nos meses de janeiro, agosto e outubro.

TUBELIS et al. (1976), trabalhando com valores médios mensais no período de junho de 1971 a dezembro de 1974, determinaram as equações mensais de estimativa de **R_g**,

sendo que somente as referentes aos meses de março e junho não apresentaram diferenças significativas com as determinadas no presente trabalho.

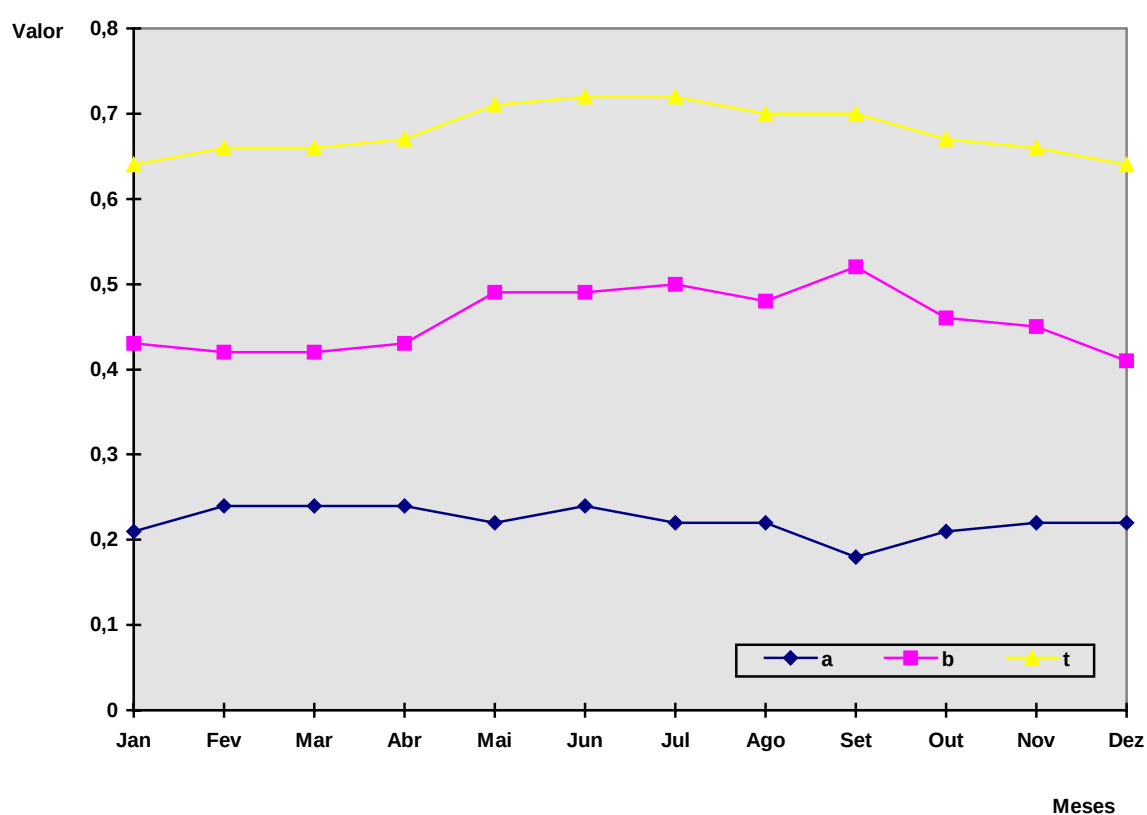


FIGURA 3 - Variação anual dos coeficientes linear (**a**), angular (**b**) e da transmissividade atmosférica (**t**).

QUADRO 39 - Avaliação da semelhança entre os modelos mensais de estimativa da radiação solar global (**R_g**), horário das 5 às 19 horas.

	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
JAN.	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns
FEV.		ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns
MAR.			ns	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
ABR.				*	*	*	*	*	ns	ns	ns
MAI.					ns	ns	ns	*	ns	*	*
JUN.						ns	ns	*	ns	ns	*
JUL.							ns	*	ns	*	*
AGO.								*	ns	ns	*
SET.									*	*	*
OUT.										ns	*
NOV.											ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

4.4.2. MODELOS HORÁRIOS

Os coeficientes mensais das equações de estimativa de **R_g** a nível horário encontram-se nos Quadros 40 a 51, onde observa-se que a estatística F foi significativa para quase todos os horários. As exceções são as seguintes: das 5 às 6 horas em fevereiro, março, setembro e outubro, das 6 às 7 em maio e junho, das 18 às 19 em fevereiro, março e novembro e das 17 às 18 horas em maio e julho.

Os horários das 5 às 6 e das 18 às 19 horas não contem valores de abril a agosto, uma vez que o nascer e o pôr do sol foi posterior e anterior aos mesmos respectivamente.

Observa-se em fevereiro, março, setembro e outubro, valores anômalos nos horários das 5 às 6 e das 18 às 19 horas motivado provavelmente por erros de interpretação dos registros da radiação solar global (**R_g**).

Independentemente do mês considerado, as equações para os horários anteriores as 7 e posteriores as 17 horas apresentaram coeficiente de determinação r^2 baixo, fato já observado para o períodos anual e estações do ano, demonstrando que o ajuste linear não foi muito adequado a esses horários.

Os meses de janeiro, fevereiro, março, junho, julho e agosto apresentaram menor número de semelhanças entre as equações horárias, sendo em maior número nos meses de outubro e dezembro conforme Quadros 52 a 63.

Em todos os meses, os modelos horários próximos a passagem meridiana apresentaram semelhanças entre si.

Comparando-se as equações horários anuais com as equações horários mensais, conforme Quadro 64, observou-se que em poucos horários pode-se estimar a radiação solar global com dados anuais.

O horário com maior número de semelhanças entre os modelos foi o das 8 às 9 horas, sendo que os horários das 6 às 7 e das 14 às 15 horas não apresentaram semelhanças, sendo portanto os que mostraram possuir comportamento mais típico, ou seja, mais influenciado pelas condições atmosféricas do mês.

Os modelos horários de estimativa de **R_g** do mês de abril apresentaram o maior número de semelhanças com os modelos horários anuais, e os meses de julho e fevereiro os menores.

QUADRO 40 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de janeiro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	341	0,16	0,04	0,028	0,044	0,17	0,128	0,211	63,91*
06-07	341	0,50	0,11	0,099	0,127	0,22	0,195	0,240	346,08*
07-08	341	0,70	0,17	0,154	0,186	0,34	0,318	0,365	803,77*
08-09	341	0,75	0,19	0,175	0,207	0,35	0,330	0,374	1005,58*
09-10	341	0,76	0,20	0,181	0,214	0,36	0,339	0,381	1106,40*
10-11	341	0,73	0,22	0,197	0,233	0,34	0,318	0,363	906,34*
11-12	341	0,68	0,24	0,228	0,263	0,31	0,283	0,328	712,84*
12-13	341	0,57	0,25	0,229	0,271	0,29	0,262	0,315	454,68*
13-14	341	0,62	0,23	0,211	0,254	0,33	0,305	0,360	556,21*
14-15	341	0,70	0,22	0,200	0,240	0,38	0,355	0,408	799,51*
15-16	341	0,68	0,24	0,225	0,264	0,39	0,362	0,420	715,97*
16-17	341	0,65	0,25	0,225	0,267	0,44	0,406	0,475	636,18*
17-18	336	0,55	0,27	0,244	0,290	0,48	0,436	0,529	408,88*
18-19	283	0,02	0,42	0,383	0,452	0,46	0,019	0,909	4,17*

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

QUADRO 41 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de fevereiro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	311	0,01	0,01	0,006	0,011	0,02	0,001	0,055	2,61 ^{ns}
06-07	311	0,29	0,10	0,087	0,107	0,12	0,096	0,136	128,43 [*]
07-08	311	0,68	0,17	0,159	0,187	0,28	0,259	0,302	651,77 [*]
08-09	311	0,77	0,20	0,186	0,215	0,34	0,319	0,360	1030,35 [*]
09-10	311	0,75	0,23	0,217	0,249	0,34	0,319	0,363	915,50 [*]
10-11	311	0,76	0,24	0,224	0,256	0,34	0,317	0,360	954,80 [*]
11-12	311	0,69	0,26	0,247	0,282	0,31	0,287	0,333	681,10 [*]
12-13	311	0,69	0,27	0,249	0,286	0,32	0,293	0,340	701,91 [*]
13-14	311	0,69	0,28	0,258	0,297	0,34	0,313	0,363	700,28 [*]
14-15	311	0,72	0,26	0,240	0,279	0,39	0,365	0,420	787,72 [*]
15-16	311	0,70	0,26	0,244	0,284	0,43	0,397	0,459	732,69 [*]
16-17	311	0,68	0,26	0,239	0,284	0,47	0,438	0,509	672,02 [*]
17-18	293	0,54	0,32	0,296	0,349	0,66	0,586	0,726	336,29 [*]
18-19	157	0,01	0,47	0,422	0,525				0,01 ^{ns}

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade.

(.) Valor menor que o número de casas decimais adotado

QUADRO 42 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de março.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	209	0,01	0,01	0,001	0,012				ns
06-07	341	0,15	0,09	0,077	0,099	0,13	0,097	0,163	59,63*
07-08	341	0,72	0,16	0,144	0,173	0,30	0,285	0,326	851,44*
08-09	341	0,78	0,20	0,181	0,212	0,36	0,336	0,376	1236,69*
09-10	341	0,76	0,22	0,208	0,242	0,36	0,340	0,383	1074,94*
10-11	341	0,71	0,24	0,220	0,259	0,35	0,330	0,378	825,01*
11-12	341	0,66	0,26	0,242	0,283	0,33	0,303	0,354	646,59*
12-13	341	0,64	0,25	0,230	0,274	0,34	0,311	0,366	589,20*
13-14	341	0,62	0,26	0,236	0,283	0,35	0,324	0,383	550,57*
14-15	341	0,60	0,28	0,251	0,300	0,36	0,329	0,393	500,29*
15-16	341	0,64	0,27	0,246	0,292	0,40	0,369	0,434	596,16*
16-17	341	0,63	0,28	0,255	0,302	0,46	0,421	0,495	584,27*
17-18	332	0,44	0,34	0,312	0,366	0,86	0,756	0,963	262,98*
18-19	48	0,01	0,30	0,197	0,395				ns

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(.) Valor menor que o número de casas decimais adotado

QUADRO 43 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de abril.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	----	----	-----	-----	----	----	-----	-----
06-07	330	0,13	0,10	0,087	0,123	0,18	0,128	0,225	50,24*
07-08	330	0,62	0,18	0,157	0,194	0,30	0,271	0,322	523,76*
08-09	330	0,74	0,22	0,197	0,236	0,37	0,349	0,397	913,73*
09-10	330	0,79	0,24	0,220	0,255	0,38	0,363	0,407	1222,87*
10-11	330	0,77	0,24	0,222	0,260	0,39	0,363	0,409	1092,87*
11-12	330	0,74	0,24	0,223	0,264	0,38	0,360	0,409	949,41*
12-13	330	0,70	0,26	0,235	0,281	0,37	0,345	0,398	753,65*
13-14	330	0,68	0,26	0,236	0,282	0,37	0,346	0,401	714,54*
14-15	330	0,65	0,28	0,252	0,299	0,37	0,342	0,400	614,04*
15-16	330	0,68	0,26	0,239	0,287	0,41	0,377	0,438	681,07*
16-17	330	0,61	0,27	0,245	0,295	0,40	0,369	0,439	521,78*
17-18	309	0,18	0,35	0,323	0,385	0,52	0,397	0,650	65,68*
18-19	----	----	----	-----	-----	----	----	-----	-----

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

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 44 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de maio.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
06-07	340	0,01	0,16	0,140	0,176	0,01	0,000	0,055	0,01 ^{ns}
07-08	341	0,58	0,20	0,182	0,217	0,27	0,248	0,298	469,95*
08-09	341	0,79	0,21	0,196	0,232	0,40	0,383	0,428	1252,58*
09-10	341	0,80	0,25	0,229	0,265	0,41	0,390	0,433	1376,73*
10-11	341	0,84	0,23	0,211	0,246	0,44	0,421	0,462	1761,32*
11-12	341	0,82	0,23	0,215	0,252	0,43	0,412	0,455	1544,96*
12-13	341	0,77	0,24	0,219	0,260	0,42	0,398	0,447	1137,49*
13-14	341	0,79	0,24	0,221	0,261	0,43	0,402	0,450	1242,74*
14-15	341	0,80	0,22	0,204	0,243	0,46	0,433	0,481	1393,80*
15-16	341	0,78	0,23	0,209	0,249	0,46	0,437	0,489	1240,06*
16-17	337	0,66	0,23	0,205	0,254	0,45	0,413	0,482	645,00*
17-18	283	0,01	0,34	0,345	0,411	0,16	0,000	0,348	2,61 ^{ns}
18-19	----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 45 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de junho.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
06-07	329	0,01	0,10	0,089	0,122	0,01	0,000	0,059	0,01 ^{ns}
07-08	330	0,49	0,18	0,161	0,197	0,23	0,202	0,253	311,22 [*]
08-09	330	0,75	0,21	0,194	0,233	0,38	0,361	0,409	981,43 [*]
09-10	330	0,80	0,25	0,236	0,272	0,40	0,375	0,418	1286,76 [*]
10-11	330	0,79	0,25	0,230	0,271	0,42	0,398	0,445	1224,41 [*]
11-12	330	0,77	0,27	0,251	0,293	0,41	0,385	0,433	1118,30 [*]
12-13	330	0,75	0,28	0,255	0,301	0,41	0,388	0,440	972,15 [*]
13-14	330	0,72	0,28	0,261	0,309	0,42	0,388	0,444	840,19 [*]
14-15	330	0,75	0,28	0,262	0,307	0,42	0,398	0,451	986,96 [*]
15-16	329	0,76	0,26	0,231	0,278	0,46	0,434	0,491	1020,70 [*]
16-17	325	0,54	0,32	0,295	0,352	0,40	0,360	0,442	372,60 [*]
17-18	195	0,03	0,42	0,382	0,462	0,36	0,076	0,653	6,14 [*]
18-19	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 46 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de julho.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
06-07	341	0,03	0,05	0,041	0,062	0,06	0,023	0,090	10,81*
07-08	341	0,51	0,14	0,122	0,156	0,21	0,190	0,234	354,49*
08-09	341	0,78	0,19	0,168	0,205	0,38	0,360	0,404	1164,99*
09-10	341	0,82	0,21	0,192	0,229	0,43	0,405	0,447	1558,18*
10-11	341	0,76	0,25	0,225	0,269	0,41	0,385	0,433	1091,48*
11-12	341	0,76	0,25	0,224	0,270	0,43	0,402	0,453	1100,65*
12-13	341	0,78	0,24	0,220	0,266	0,44	0,417	0,467	1213,41*
13-14	341	0,76	0,24	0,220	0,270	0,46	0,430	0,484	1079,05*
14-15	341	0,74	0,26	0,229	0,282	0,46	0,433	0,491	965,55*
15-16	341	0,71	0,27	0,237	0,294	0,48	0,451	0,516	831,11*
16-17	320	0,50	0,38	0,344	0,411	0,40	0,352	0,438	321,57*
17-18	163	0,02	0,56	0,511	0,600	0,53	0,000	1,091	3,42 ^{ns}
18-19	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 47 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de agosto.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
06-07	341	0,02	0,09	0,080	0,102	0,06	0,019	0,092	8,72*
07-08	341	0,52	0,17	0,152	0,188	0,23	0,206	0,254	359,59*
08-09	341	0,72	0,22	0,200	0,239	0,35	0,328	0,374	891,17*
09-10	341	0,74	0,23	0,206	0,249	0,39	0,365	0,414	975,89*
10-11	341	0,73	0,24	0,217	0,263	0,40	0,370	0,421	934,72*
11-12	341	0,78	0,23	0,211	0,253	0,42	0,395	0,441	1238,10*
12-13	341	0,75	0,21	0,183	0,232	0,44	0,417	0,472	1012,92*
13-14	341	0,78	0,22	0,198	0,243	0,45	0,423	0,473	1200,65*
14-15	341	0,77	0,22	0,200	0,246	0,46	0,434	0,488	1131,41*
15-16	341	0,72	0,26	0,232	0,281	0,44	0,413	0,472	861,21*
16-17	339	0,61	0,30	0,276	0,330	0,43	0,390	0,463	530,06*
17-18	279	0,04	0,50	0,464	0,535	0,45	0,197	0,707	12,08*
18-19	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 48 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de setembro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F	
05-06	65	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-
06-07	330	0,24	0,15	0,136	0,168	0,34	0,279	0,411	105,00	*
07-08	330	0,76	0,18	0,166	0,197	0,38	0,356	0,402	1039,23	*
08-09	330	0,77	0,21	0,195	0,229	0,38	0,361	0,406	1111,89	*
09-10	330	0,81	0,21	0,189	0,223	0,42	0,395	0,438	1403,42	*
10-11	330	0,81	0,20	0,179	0,215	0,42	0,400	0,444	1401,91	*
11-12	330	0,81	0,19	0,169	0,206	0,43	0,404	0,449	1359,64	*
12-13	330	0,81	0,19	0,174	0,210	0,42	0,399	0,443	1371,80	*
13-14	330	0,80	0,20	0,178	0,215	0,43	0,405	0,451	1353,06	*
14-15	330	0,80	0,19	0,173	0,210	0,44	0,420	0,468	1300,86	*
15-16	330	0,76	0,19	0,173	0,214	0,44	0,416	0,470	1026,31	*
16-17	330	0,68	0,22	0,200	0,242	0,42	0,394	0,456	710,01	*
17-18	328	0,21	0,29	0,266	0,318	0,56	0,444	0,679	87,74	*
18-19	54	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-

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

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 49 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de outubro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	325	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----
06-07	341	0,48	0,22	0,204	0,242	0,34	0,305	0,380	319,19*
07-08	341	0,76	0,23	0,216	0,252	0,39	0,367	0,415	1055,66*
08-09	341	0,80	0,22	0,207	0,243	0,42	0,393	0,437	1362,21*
09-10	341	0,78	0,22	0,200	0,239	0,42	0,395	0,442	1213,72*
10-11	341	0,77	0,22	0,195	0,235	0,41	0,383	0,430	1124,73*
11-12	341	0,72	0,24	0,217	0,258	0,36	0,339	0,388	874,89*
12-13	341	0,75	0,23	0,206	0,245	0,37	0,348	0,394	1018,49*
13-14	341	0,74	0,21	0,191	0,232	0,39	0,363	0,412	950,86*
14-15	341	0,74	0,20	0,184	0,224	0,40	0,373	0,423	959,88*
15-16	341	0,72	0,20	0,176	0,217	0,40	0,373	0,426	881,78*
16-17	341	0,71	0,20	0,180	0,217	0,39	0,367	0,419	847,60*
17-18	341	0,32	0,22	0,196	0,237	0,33	0,280	0,382	163,34*
18-19	291	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

(-) Não existem valores de Rg e n

QUADRO 50 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de novembro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	328	0,01	0,28	0,256	0,303	0,14	0,016	0,266	4,92*
06-07	330	0,63	0,23	0,213	0,252	0,35	0,319	0,376	571,83*
07-08	330	0,81	0,22	0,200	0,235	0,43	0,412	0,456	1468,02*
08-09	330	0,82	0,24	0,226	0,259	0,41	0,388	0,428	1593,34*
09-10	330	0,82	0,24	0,224	0,257	0,40	0,381	0,421	1569,39*
10-11	330	0,79	0,24	0,225	0,260	0,37	0,353	0,395	1272,55*
11-12	330	0,76	0,24	0,217	0,255	0,36	0,339	0,382	1050,67*
12-13	330	0,73	0,22	0,198	0,239	0,36	0,340	0,387	894,33*
13-14	330	0,76	0,21	0,187	0,226	0,38	0,359	0,405	1032,76*
14-15	330	0,786	0,20	0,184	0,221	0,40	0,381	0,427	1208,13*
15-16	330	0,80	0,20	0,181	0,216	0,42	0,393	0,438	1285,16*
16-17	330	0,81	0,20	0,182	0,213	0,41	0,386	0,429	1387,28*
17-18	330	0,59	0,19	0,172	0,210	0,33	0,298	0,357	470,81*
18-19	330	0,01	0,24	0,214	0,259	0,54	0,000	1,216	2,43 ^{ns}

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

(ns) Teste F não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade

QUADRO 51 - Valores horários dos coeficientes **a** e **b**, intervalos de confiança, coeficientes de determinação r^2 e estatísticas F, para o mês de dezembro.

Horário	nº dados	r^2	a	Intervalo de confiança		b	Intervalo de confiança		F
05-06	341	0,04	0,14	0,121	0,150	0,13	0,062	0,190	14,83*
06-07	341	0,58	0,18	0,161	0,193	0,30	0,268	0,321	472,80*
07-08	341	0,77	0,22	0,202	0,232	0,37	0,350	0,394	1107,36*
08-09	341	0,78	0,23	0,217	0,246	0,37	0,350	0,392	1208,01*
09-10	341	0,78	0,23	0,218	0,249	0,37	0,347	0,388	1231,11*
10-11	341	0,76	0,23	0,215	0,248	0,35	0,329	0,371	1042,52*
11-12	341	0,73	0,24	0,222	0,255	0,33	0,306	0,348	929,06*
12-13	341	0,69	0,24	0,217	0,253	0,32	0,302	0,349	759,43*
13-14	341	0,75	0,22	0,201	0,235	0,37	0,345	0,390	1008,06*
14-15	341	0,70	0,22	0,204	0,242	0,37	0,347	0,398	805,35*
15-16	341	0,74	0,22	0,203	0,238	0,40	0,375	0,425	979,78*
16-17	341	0,69	0,23	0,209	0,245	0,40	0,369	0,426	747,90*
17-18	340	0,58	0,22	0,204	0,242	0,38	0,341	0,408	470,14*
18-19	332	0,04	0,30	0,274	0,326	0,63	0,301	0,957	14,11*

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

QUADRO 52 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de janeiro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
07-08			ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
08-09				ns	ns	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	ns
09-10					ns	*	*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns
10-11						ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns
11-12							ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
12-13								ns	*	*	*	*	*	*	*	*
13-14									ns	*	*	*	*	*	*	ns
14-15										ns	ns	*	*	ns	ns	ns
15-16											ns	*	*	*	*	ns
16-17												ns	*	*	*	*
17-18													*	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

QUADRO 53 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de fevereiro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	*	*	*	*	*	-	*	*	*
10-11						ns	ns	*	*	*	*	*	-	*	*	*
11-12							ns	ns	*	*	*	*	-	*	*	*
12-13								ns	*	*	*	*	-	*	*	*
13-14									*	*	*	*	-	*	*	*
14-15										ns	*	*	-	ns	ns	ns
15-16											ns	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	ns	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 54 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de março.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				ns	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	-	*	ns	ns
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	*	*	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	*	*	*	-	*	*	*
12-13								ns	ns	*	*	*	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	*	*	-	*	ns	ns
14-15										ns	*	*	-	*	*	*
15-16											ns	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 55 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de abril.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	-	*	ns	ns
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	ns	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	ns	ns	*	-	ns	ns	ns
12-13								ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
14-15										ns	ns	*	-	*	ns	ns
15-16											ns	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	ns	ns	ns
17-18													-	*	*	*
18-19														-	-	-
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 56 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de maio.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*
08-09				ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	-	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	-	-	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	ns	ns	-	-	*	ns	ns
12-13								ns	ns	ns	ns	-	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	ns	-	-	*	ns	ns
14-15										ns	ns	-	-	ns	ns	ns
15-16											ns	-	-	ns	ns	ns
16-17												-	-	ns	ns	ns
17-18													-	*	*	*
18-19														-	-	-
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 57 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de junho.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				*	ns	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	-	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	*	*	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	*	*	*	-	*	*	*
12-13								ns	ns	ns	ns	*	-	*	*	*
13-14									ns	ns	ns	*	-	*	*	*
14-15										ns	ns	*	-	*	*	*
15-16											*	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														-	-	-
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 58 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de julho.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*
08-09				*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	*	*	*	-	-	*	*	*
10-11						ns	ns	ns	ns	*	*	-	-	*	*	*
11-12							ns	ns	ns	ns	*	-	-	*	ns	*
12-13								ns	ns	ns	*	-	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	*	-	-	ns	ns	ns
14-15										ns	*	-	-	ns	ns	*
15-16											*	-	-	ns	*	*
16-17												-	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														-	-	-
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 59 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de agosto.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
09-10					ns	ns	*	*	*	ns	*	*	-	*	*	*
10-11						ns	ns	*	*	ns	*	*	-	*	*	*
11-12							ns	ns	ns	ns	*	*	-	*	ns	ns
12-13								ns	ns	ns	*	*	-	ns	ns	ns
13-14									ns	ns	*	*	-	ns	ns	ns
14-15										ns	*	*	-	ns	ns	ns
15-16											ns	*	-	ns	ns	*
16-17												*	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														-	-	-
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 60 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de setembro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	*	-	*	*	*
08-09				ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	-	*	*	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	*	ns
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
12-13								ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
13-14									ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
14-15										ns	ns	*	-	*	ns	ns
15-16											ns	*	-	*	ns	ns
16-17												*	-	*	*	*
17-18													-	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															*	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 61 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de outubro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-07		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	*	*	*
07-08			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	*	ns	ns
08-09				ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
09-10					ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	-	ns	ns	ns
10-11						ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	*	*	*
12-13								ns	ns	ns	ns	ns	-	*	*	*
13-14									ns	ns	ns	ns	-	*	ns	ns
14-15										ns	ns	ns	-	*	ns	ns
15-16											ns	ns	-	*	ns	ns
16-17												ns	-	*	ns	ns
17-18													-	*	*	*
18-19														*	*	*
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 62 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de novembro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	*	*	*
06-07		*	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	-	*	*	*
07-08			ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	ns	*	-	ns	ns	ns
08-09				ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	-	ns	*	*
09-10					ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	-	*	*	ns
10-11						ns	ns	ns	*	*	*	*	-	*	*	*
11-12							ns	ns	ns	*	*	*	-	*	*	*
12-13								ns	ns	*	ns	ns	-	*	*	*
13-14									ns	ns	ns	*	-	*	ns	ns
14-15										ns	ns	*	-	*	ns	ns
15-16											ns	*	-	ns	ns	ns
16-17												*	-	ns	ns	ns
17-18													-	*	*	*
18-19														ns	ns	ns
05-19															ns	*
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

QUADRO 63 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários de estimativa da radiação solar global (**R_g**) para o mês de dezembro.

	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	05 - 19	07 - 17	08 - 16
05-06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
06-07		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
07-08			ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
08-09				ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
09-10					ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
10-11						ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns
11-12							ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*
12-13								ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*
13-14									ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
14-15										ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
15-16											ns	ns	*	ns	ns	ns
16-17												ns	*	ns	ns	ns
17-18													*	ns	ns	ns
18-19														*	*	*
05-19															ns	ns
07-17																ns

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

QUADRO 64 - Avaliação da semelhança entre os modelos horários do período anual e os modelos horários de cada mês.

Horário	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
05-06	*	*	*	-	-	-	-	-	*	*	*	ns
06-07	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
07-08	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
08-09	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
09-10	*	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
10-11	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
11-12	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	*
12-13	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	*
13-14	*	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*
14-15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15-16	*	*	*	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	*
16-17	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*
17-18	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
18-19	*	*	*	-	-	-	-	-	*	*	*	ns
05-19	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*
07-17	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	*
08-16	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	*

(*) Diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

(ns) Semelhança ao nível de 0,05 de probabilidade.

(-) Equação horária não significativa ou inexistente

5. CONCLUSÕES

A obtenção de modelos horários de estimativa da radiação solar global mostrou-se viável, com alto grau de confiabilidade, sendo os mesmos específicos para os horários que os originaram.

O uso dos modelos de estimativa da radiação solar global horária ou diária, deve ficar restrito aos horários, nível do agrupamento que os originou (anual, por estação do ano e mensal) e ao local do experimento (Botucatu-SP).

A correlação entre os valores de R_g/Q_0 e n/N mostrou-se altamente significativa, exceto nos horários próximos ao nascer e ao pôr do sol.

A semelhança existente entre as equações do outono e primavera, permite a recomendação de uso de qualquer um dos dois modelos.

Os coeficientes **a** e **b** das equações mostraram variações sazonais e horárias, sendo a variabilidade relativa de **b** maior que a de **a**.

O ajuste linear não foi adequado para os horários anteriores às 7 e posteriores às 17 horas, em todos os agrupamentos estudados.

No período de 1983 a 1993, o total de **R_g** correspondeu a 50% da radiação solar na ausência da atmosfera (**Q₀**), sendo o valor médio diário de 393,41 cal.cm⁻².dia⁻¹.

Percentualmente em relação ao total anual, a radiação solar global (**R_g**) na região apresentou três períodos ou estações: primavera (29%), verão (27%) e outono-inverno (22%, cada uma).

O período das 12 às 19 horas se mostrou mais energético que o das 5 às 12 horas, exceto na primavera que apresentou 51,5% para o período das 5 às 12 horas.

Os maiores valores de **R_g** ocorreram nos meses de novembro, outubro e dezembro (acima de 440,00 cal.cm⁻².dia⁻¹) e os menores em julho, maio e junho (abaixo de 335,00 cal.cm⁻².dia⁻¹).

O período das 12 às 13 horas foi o que mais contribuiu com o total diário de **R_g** (13,49%).

Os períodos entre o nascer do sol e às 8 horas e entre às 16 horas e o pôr do sol, representaram cerca de

16% (dezembro e janeiro) e 6% (junho) do total de **Rg**, respectivamente.

6. ABSTRACT

With the objective to characterize the behavior of the global solar radiation (**R_g**) and to establish hourly equations to estimate it in Botucatu-SP (22°52'S, 48°26'W Grw) data between 1983 and 1993, in different levels of grouping were analysed.

Regarding to percentile values, the global solar radiation (**R_g**) showed three periods or seasons: spring (29%), summer (27%) and autumn-winter (22%, each one).

The highest values of **R_g** occurred in November, October and December (above 440,00 cal.cm⁻².day⁻¹) and the smallest ones occurred in July, May and June (below 335,00 cal.cm⁻².day⁻¹).

The twelve and thirteen hour period was the one which more contributed to daily total of **R_g** (13,49%).

The model that establishes the relation between ratio of radiation (**R**) and ratio of insolation (**r**), as follows: $R=a+b*r$, showed to be highly significant, except around sunrise and sunset.

The equations obtained showed to be suitable for estimating global solar radiation considering the hour and grouping level that originated them.

The coefficients **a** and **b** of the equations showed seasonal and hour variations taking into account that the variability of **b** was higher than **a**.

7. BIBLIOGRAFIA^{1, 2}

ALMEIDA, H.A., LIMA, A.A. Potencial de energia solar no sudeste da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 1993, Porto Alegre. *Resumos...* Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1993. p.26.

ANDRETTA, et al. Global solar radiation estimation from relative sunshine hours in Italy. *J. Agric. Meteorol.*, v.21, p.1377-84, 1982.

ANGSTRON, A. Solar and terrestrial radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.50, p.121-5, 1924.

AZEVEDO, P.V., VAREJÃO-SILVA, M.A., VARGAS, G.A.O.
Zoneamento do potencial de energia solar do Nordeste.

¹ BIOSIS. Serial sources for the BIOSIS previews database. Philadelphia, 1990. 413 p.

² UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Coordenadoria Geral de Bibliotecas, Editora UNESP. Normas para publicações da UNESP. São Paulo: Editora UNESP, 1994. 4 v. v.2. Referências bibliográficas.

- Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1981. 51p. (Coleção Politécnica, Série Técnica, 2).
- BENINCASA, M., MALHEIROS, E.B., HIODO, J.Y. Radiação solar global diária: uma análise de estimativas pela equação de Ångström. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilheus. *Anais...* Ilheus: 1993. p.889-902
- BENNETT, I. Monthly maps of mean daily insolation for the United States. *Sol. Energy*, v.9, p.145-58, 1975.
- BLACK, J.N., BONYTHON, C.W., PRESCOTT, J.A. Solar radiation and duration of sunshine. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.80, p.231-5, 1954.
- BRAGA, H.J., LEITE, G.B., SILVA, L.M. Determinação preliminar dos parâmetros a e b da equação de Ångström para seis localidades de Santa Catarina. *Doc. EMPASC*, n.89, p.1-24, 1987._
- BUTLER, D.R., MIRANDA, R.A.C. Estimativa do fluxo de radiação global no Centro de Pesquisas do Cacau e área circunvizinhas. *Rev. Theobroma*, v. 13, p.321-5, 1983.
- CARAMORI, P.H., CORRÊA, A.R., BORROZZINO, E. Estimativa da radiação solar global diária para Ponta Grossa-PR, a partir da insolação diária. *Poliagro*, v.7, p.107-18, 1985.
- CARDON, D.A., AMORIN NETO, M.S. Relação entre radiação solar global e a insolação na região de Petrolina (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 1983, Campinas. *Anais ...* Campinas, 1983. p.123-8.

- CARVALHO, I., MACIEL, T.T. Simulação de sequências diárias de energia solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 1983, Campinas. *Anais...* Campinas: 1983. p.55-67.
- CEBALLOS, J.C. et al. Desempenho de heliógrafos e actinógrafos na estimativa de insolação e fluxo direcional. *Rev. Bras. Meteorol.*, v.7,p.563-81, 1992.
- CERVELLINI, A., SALATI, E. Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. *Bragantia*, v.25, p.31-9, 1966.
- COSTA, A.C.L. et al. Estudo da variabilidade horária do brilho solar na cidade de Belém (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 1992, v.1., p.159-62.
- CURY-LUNARDI, D.M., CATANEO, A. Estimativas sazonais da radiação solar global em função da insolação, para a região de Botucatu-SP. *Cult. Agron.*, São Paulo, v.2, 1993.
- CURY-LUNARDI, D.M., CATANEO, A. Comparação entre aradiação solar global estimada nos períodos primavera-verão e outono-inverno, para Botucatu-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1994, Belo Horizonte: *Resumos...* Belo Horizonte, 1994a.
- CURY-LUNARDI, D.M., CATANEO, A. Estimativa da radiação solar global diária para Botucatu,SP. *Científica*. V.22, p.117-21, 1994b.

- DAVIES, J.A. Estimation of insolation for West Africa. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, v.91, p.359-63, 1965.
- De LISLE, J.F. Mean daily insolation in New Zealand. *N.Z.J. Sci.*, V.9, P.992-1005, 1966.
- DINIZ, T.D.A.S. et al. Avaliação do potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 1983, Campinas. *Anais...* Campinas, 1983. p.123-8.
- ESPINOLA SOBRINHO, J., IZIDIO, L.R. Determinação dos parâmetros "a" e "b" da equação de Angstron, para estimativa da irradiação solar global em Mossoró-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 1993, Porto Alegre. *Resumos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1993. p.147.
- FROTA, R.N. et al. Estimativa da radiação solar global em Ipanguaçu-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 1993, Porto Alegre. *Resumos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1993. p.146.
- GLOVER, J., McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine in the high-altitudes tropics, Kenya. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.84, p.56-60, 1958a.
- GLOVER, J., McCULLOCH, J.S.F. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.84, p.172-5, 1958b.

- HETZ H., E. et al. Disponibilidad de energia solar en Chillan. *Agro. Sur.*, v.15, p.75-82, 1987._
- HOFFMANN, R., VIEIRA, S. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. São Paulo: Hucitec, 1987. 379p.
- JESUS, W.R. *Estudo da variabilidade horária do número de horas de insolação no município de Botucatu - SP*. Botucatu, 1995. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- MALEK, E. Determination of the constants for the global radiation equation at Badjgah, Iran. *Agric. Meteorol.*, n.20, p.233-5, 1979.
- MALHEIRO, E.B., BENINCASA, M., HIODO, J.Y. Radiação solar global diária: uma análise de dados estimados e medidos em actinógrafo e piranômetro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1993, Ilheus. *Anais...* Ilheus: 1993. p.904-13.
- 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.
- MOTA, F.S., BEIRSDORF, M.I.C. Novas estimativas da radiação solar sobre o sul do Brasil. *Ciênc. Cult. (São Paulo)*, v.23, p.573-6, 1971.

- MOTA, F.S., BEIRSDORF, M.I.C., ACOSTA, M.J.C. Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil. *Bol. Tec. Dep. Nac. Meteorol.*, v.14, p.42-58, 1977.
- NEUWIRTH, F. The estimation of global and sky radiation in Austria. *Sol. Energy*, v.24, p.421-6, 1980.
- NIRENBERG, M. Atividades solarimétricas do Instituto Nacional de Meteorologia. s.n.t.
- NUNES, G.S.S. et al. Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. *Rev. Bras. Armaz.* v.4, n.2, p.5-30, 1979.
- OCCHIPITINI, G.A. *Radiação solar global e insolação em Cananéia*. São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1959.
- OMETTO, J.C. *Estudo das relações entre: radiação solar global, radiação líquida e insolação*. Piracicaba, 1968. 64p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres, 1981. 425p.
- PEDRO JÚNIOR, M.J., et al. Disponibilidade de radiação solar global para o Estado de São Paulo. *Bol. Téc. Inst. Agron. (Campinas)*, n.123, p.1-13, 1989.

PEREIRA, A.R. et al. Radiação solar: distribuição diária sem considerar os efeitos da atmosfera. *Cad. Ciênc. Terra*, v.10, p.1-21, 1971.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1987, 467p.

PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. S. Aust.*, v.1, p.114-8, 1940.

REIS, A.C.S., COELHO, T.J.T., ALVES, N.L. Estimativa da energia solar global na área de Recife, baseada em registros de insolação. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.8, p.177-9, 1973.

REVFEIM, K.J.A. Estimating solar radiation income from "bright" sunshine records. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v.107, p.427-35, 1981.

RIBEIRO, A.M.A. *Estudo das relações entre radiação solar global (Q_g) e razão de insolação (n/N), em algumas regiões do Brasil*. Piracicaba, 1980. 88p. Dissertação. (Mestrado em Física e Meteorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo.

RIETVELD, H.R. A new method to estimate the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agric. Meteorol.*, n.19, p.243-52, 1978.

ROBERTSON, G.W., RUSSELLO, D.A. Astronomical estimator for estimating time when % sun is at any elevation elapsed time

between the same elevations in the morning and afternoon, and hourly and daily values of solar energy. Canadá: Department Agriculture, 1968.

SÁ , D.F. Alguns aspectos da energia solar em Mandacarú, Recife-PE. SUDENE: *Bol. Rec. Nat.* , v.11, p.11-26, 1973.

SANTOS, R., ANDRE, R.G.B., VOLPE, C.A. Estimativa da Radiação solar global em Jaboticabal, SP. *Científica (São Paulo)*, v.11, p.31-9, 1983.

SATTERTHWAITE, F.E. An approximate distribution of estimates of variance compoments. *Biometric. Bull.*, v.2, p.110-4, 1946.

SCHULZE, R.E. A physically based method of estimating solar radiation from suncards. *Agric. Meteorol.*, v.16, p.85-101, 1976.

SOUZA, M.J.H., ALVES, A.R. Estimativa da radiação solar direta com base nos registros do actinógrafo e do heliógrafo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 1993, Porto Alegre. *Resumos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1993. p.137.

TARIFA, J.R. Estimativa da radiação solar em função da insolação para Presidente Prudente. *Cad. Ciênc. Terra*, n.22, p.1-15, 1972.

TUBELIS, A. et al. Estimativa da radiação solar global diária em Botucatu - SP, à partir da insolação diária. *Botucatu Cient.*, n.26, p.53-60, 1976.

TURNER, W. D., MUJAHID, A. The estimation of hourly solar radiation using a cloud cover model developed at Blytheville, Arkansas. *J. Climate Appl. Meteorol.*, v.23, p.781-6, 1984.