

MÉTODO PARA ESTIMATIVA DE  
IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL ATRAVÉS DE  
MEDIDAS DE PERÍODOS DE INSOLAÇÃO

**RENATO CRUZ SENNA**  
METEOROLOGISTA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

Dissertação apresentada a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Agrometeorologia.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Setembro - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da  
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

---

S478m Senna, Renato Cruz  
Método para estimativa de irradiância solar global através de medidas de períodos de insolação.  
Piracicaba, 1992.

Diss.(Mestre) - ESALQ  
Bibliografia.

1. Insolação - Período 2. Radiação solar - Estimativa - Método I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

000000

CDD 551.5271

MÉTODO PARA ESTIMATIVA DE  
IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL ATRAVÉS DE  
MEDIDAS DE PERÍODOS DE INSOLAÇÃO

Renato Cruz Senna

Aprovado em 17.09.92

Comissão julgadora

Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci


ESALQ/USP

Prof. Dr. Marcelo Bento Paes de Camargo

IAC

Prof. Dr. Romisio Geraldo Bouhid André

FCAV/UNESP



Dr. Luiz Roberto Angelocci  
Orientador

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Dados coletados.....	12
3.1.1. Irradiância solar global.....	12
3.1.2. Insolação.....	12
3.1.3. Fotoperíodo.....	13
3.1.4. Irradiância solar global na ausência da atmosfera.....	13
3.2. Método.....	13
3.3. Comparação dos métodos.....	21
4. RESULTADOS OBTIDOS.....	24
4.1. Estimativa de $\Sigma A_n$ .....	24
4.2. Estimativa dos coeficientes de transmissividade da atmosfera " $T_A$ " e das nuvens " $T_N$ ".....	24
4.3. Estimativa da relação " $Q/Q_0$ " pelo método tradicional.....	29
4.4. Estimativa da relação " $Q/Q_0$ " pelo método proposto.....	29
4.5. Resultado dos testes.....	29

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	43
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
APÊNDICE.....	52

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribuição teórica e real da radiação solar no limite mais externo da atmosfera e ao nível da superfície.....	05
Figura 2. Representação esquemática dos períodos de insolação.....	15
Figura 3. Posição relativa das nuvens em altitude na atmosfera da Terra.....	15
Figura 4. Variação da irradiância solar ao longo do dia sem presença de nuvens.....	16
Figura 5. Representação esquemática do modelo proposto...	16
Figura 6. Representação esquemática da tira heliográfica.....	19
Figura 7a. Teste MBE para o método tradicional de janeiro a junho.....	37
Figura 7b. Teste MBE para o método proposto de janeiro a junho.....	37
Figura 8a. Teste MBE para o método tradicional de julho a dezembro.....	38
Figura 8b. Teste MBE para o método proposto de julho a dezembro.....	38
Figura 9a. Teste RMSE para o método tradicional de janeiro a junho.....	39
Figura 9b. Teste RMSE para o método proposto de janeiro a junho.....	39

Figura 10a. Teste RMSE para o método tradicional de julho a dezembro.....	40
Figura 10b. Teste RMSE para o método proposto de julho a dezembro.....	40
Figura 11a. Teste MPE para o método tradicional de janeiro a junho.....	41
Figura 11b. Teste MPE para o método proposto de janeiro a junho.....	41
Figura 12a. Teste MPE para o método tradicional de julho a dezembro.....	42
Figura 12b. Teste MPE para o método proposto de julho a dezembro.....	42

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição média da atmosfera limpa.....	04
Tabela 2. Correção dos limites e integração da área para um dia hipotético.....	20
Tabela 3a. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , janeiro e fevereiro.....	25
Tabela 3b. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , março e abril.....	25
Tabela 3c. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , maio e junho.....	25
Tabela 3d. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , julho e agosto.....	25
Tabela 3e. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , setembro e outubro.....	26
Tabela 3f. Valores máximos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , novembro e dezembro.....	26
Tabela 4a. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , janeiro e fevereiro.....	26
Tabela 4b. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , março e abril.....	26
Tabela 4c. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , maio e junho.....	27
Tabela 4d. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , julho e agosto.....	27
Tabela 4e. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , setembro e outubro.....	27



Tabela 4f. Valores mínimos observados de $\Sigma A_n$ e $Q/Q_0$ , novembro e dezembro.....	27
Tabela 5. Valores calculados de " $T_A$ " e " $T_N$ ".....	29
Tabela 6. Médias bimestrais dos testes.....	30
Tabela 7. Coeficientes das retas de regressão entre os valores observados e calculados, índice "d"....	30
Tabela 8. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Janeiro e fevereiro.....	31
Tabela 9. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Março e abril.....	32
Tabela 10. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Maio e junho.....	33
Tabela 11. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Julho e agosto.....	34
Tabela 12. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Setembro e outubro.....	35

Tabela 13. Estimativas diárias da relação $Q/Q_0$ segundo o método tradicional ( $Q_1/Q_0$ ) e o método proposto ( $Q_2/Q_0$ ), com os resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Novembro e dezembro.....	36
---	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

- a - coeficiente da equação de regressão linear
- $A_n$  - área relativa sob a curva senóide quando ocorre queima da tira heliográfica
- b - coeficiente da equação de regressão linear
- $B_n$  - área relativa sob a curva senóide quando não ocorre queima da tira heliográfica
- c - amplitude da onda senóide
- f - comprimento da onda senóide
- h - semi-arco do nascer ao meio dia solar ( $\omega$ )
- H - altura (m)
- $I_0$  - constante solar ( $ly. min^{-1}$ )
- $l_n$  - limite corrigido do período de insolação (horas e décimos)
- $L_n$  - limite original do período de insolação (horas e décimos)
- n - insolação (horas e décimos)
- N - fotoperíodo (horas e décimos)
- n - número de observações
- Q - irradiância solar global ao nível do solo ( $cal.cm^{-2}$ )
- $Q_c$  - irradiância solar global num dia sem presença de nuvens ( $cal.cm^{-2}$ )
- $Q_0$  - irradiância solar global na ausência da atmosfera ( $cal.cm^{-2}$ )
- $T_A$  - coeficiente de transmissividade da atmosfera
- $T_N$  - coeficiente de transmissividade da cobertura de nuvens
- $V_c$  - valor calculado

- $V_o$  - valor observado
- $\delta$  - declinação solar ( $^{\circ}$ )
- $\phi$  - latitude ( $^{\circ}$ )
- $\pi$  - radianos
- $\pi$  - 3,1415
- $\omega$  - defasagem da onda senóide
- $\mu$  - comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )

# MÉTODO PARA ESTIMATIVA DE IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL ATRAVÉS DE MEDIDAS DE PERÍODOS DE INSOLAÇÃO

Autor: Renato Cruz Senna

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

## RESUMO

O presente trabalho trata do desenvolvimento de um método de estimativa da irradiância global diária através dos períodos de insolação registrados pelo heliógrafo tipo Campbell-Stokes. O método de estimativa difere do tradicional uma vez que integra os períodos de insolação através de uma curva senóide empregando os coeficientes de transmissividade atmosférica e da cobertura de nuvens, os quais foram estimados bimestralmente através da média dos valores extremos de irradiância solar global e da área sob a curva senóide.

Para o desenvolvimento do método utilizou-se dados de irradiância global medidos pelo piranômetro Eppley padrão, instalado no campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, na cidade de Piracicaba (latitude 22°42'30" S e longitude 47°38'00" W), Estado de São Paulo, durante o período de um ano.

Como resultado, obteve-se a equação:

$$Q/Q_0 = T_A [\sum A_n + T_N (1 - \sum A_n)]$$

onde:

$Q$  = irradiância estimada ao nível do solo ( $\text{cal.cm}^{-2}$ ),

$Q_0$  = irradiância na ausência da atmosfera ( $\text{cal.cm}^{-2}$ ),

$T_a$  = coeficiente de transmissividade da atmosfera,

$T_n$  = coeficiente de transmissividade da cobertura de nuvens,

$A_n$  = área integrada sob a curva senóide.

Na comparação com o método tradicional, utilizando-se os coeficientes proposto por Ometto (1968), o método proposto revelou-se superior para as estimativas diárias, melhorando os resultados nos meses de inverno local. São feitas sugestões no sentido de testar o método para situações de períodos e locais mais abrangentes que as utilizadas, para uma melhor definição sobre o comportamento do método e sobre a possibilidade de uma aplicação mais generalizada.

# METHOD FOR ESTIMATING GLOBAL SOLAR IRRADIANCE THROUGH SUNSHINE BRIGHT PERIODS

Author: Renato Cruz Senna

Adviser: Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

## SUMMARY

The present work deals with the development of a method for estimating daily global irradiance through sunshine bright periods recorded on a Campbell-Stokes heliograph. The method differs from the traditional for it integrates the sunshine bright periods through a sine curve. By using two monthly periods, the atmospheric transmission coefficient and cloud covering coefficient were estimated from the average of the extreme data of a global irradiance and area under the sine curve.

The global solar irradiance data utilized to develop this method were measured with a standart Eppley pyranometer at "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz", Universidade de Sao Paulo, at Piracicaba (latitude 22°42'30" S and longitude 47°38'00" W), Sao Paulo, during one year.

As a result, a general equation was obtained:

$$Q/Q_0 = T_A [\sum A_n + T_N (1 - \sum A_n)]$$

where:

$Q$  = global irradiance estimated at ground level ( $\text{cal.cm}^{-2}$ ),

$Q_0$  = extraterrestrial global irradiance ( $\text{cal.cm}^{-2}$ ),

$T_a$  = atmospheric transmissivity coefficient,

$T_H$  = cloud cover transmissivity coefficient,

$A_s$  = area under the sine curve.

Testing the method against the traditional approach with the coefficients found by Ometto (1968), the proposed method gave better daily estimations. Additional tests between the methods should be performed, using on independent data set, in order to know its accuracy and general application.



## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da quantidade de radiação solar que atinge a superfície da Terra é de suma importância por ser a fonte da quase totalidade de energia disponível aos processos que ocorrem no sistema terra-atmosfera. Embora exista uma diversidade muito grande de instrumentos capazes de medir a radiação global, difusa, líquida, fotossinteticamente ativa ou ainda o espectro da radiação, o custo do instrumental e de sua manutenção tornam difícil sua utilização fora dos centros de pesquisas mais avançados de nosso País. Por estas razões, o heliógrafo tem sido o equipamento mais frequentemente utilizado, na rede nacional de meteorologia, para estimativa de radiação solar.

Embora em princípio o heliógrafo registre o número de horas de brilho solar ("insolação"), não medindo diretamente a irradiância global, é possível associar essas duas grandezas de maneira a permitir a estimativa da segunda. A maioria dos autores buscou correlacionar linearmente o total de horas de insolação com a irradiância global numa dada localidade, obtendo relações empíricas com bom ajuste para valores médios mensais. Outros partiram para integração horária, obtendo equações com um grau de ajuste melhor que a

primeira, porém de difícil utilização.

Esse método clássico apresenta fontes de erro como, por exemplo, não levar em consideração os horários em que ocorrem os períodos de insolação, ou estimar coeficientes de regressão anuais, quando a concentração de vapor d'água e os sistema de nuvens que os afetam, variam de forma sazonal. Neste trabalho busca-se mostrar a possibilidade da integração de uma curva senóide desde o nascer até o pôr do Sol para os períodos de insolação, obtendo-se uma equação que evite os erros mais frequentes na estimativa pelo método clássico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A energia emitida pelo sol torna possível os processos que mantêm a vida no planeta como, por exemplo, a fotossíntese, o aquecimento do ar e do solo e a evaporação. Na escala de tempo esta energia não é constante pois a radiação solar esta sujeita a vários fatores que a fazem variar de forma quali-quantitativa.

A qualidade da radiação solar depende principalmente da composição atmosférica, pois muito embora grande parte de seus constituintes apresentem concentrações constantes na escala do tempo, alguns elementos extremamente importantes do ponto de vista da absorção da radiação solar são bastante variáveis. A tabela 1 apresenta os principais constituintes da atmosfera. Além destes, elementos como poeira, pólen e emissões industriais tem sua concentração desconhecida.

A atmosfera terrestre apresenta a absorção seletiva da radiação, ou seja, alguns elementos não absorvem a radiação de uma forma continua em todo seu espectro e sim preferencialmente determinados comprimentos de onda. O ozônio, por exemplo, absorve grande parte da radiação ultravioleta, a qual é de extrema importância para o planeta

devido a sua ação germicida. A figura 1 apresenta a distribuição teórica da radiação de um corpo negro a temperatura de 6000 K, o espectro da radiação solar ao nível da superfície e os principais constituintes responsáveis pela absorção.

Tabela 1. Composição média da atmosfera limpa.  
(Smithsonian Meteorological Tables, 1984, p. 389)

Constituintes	Fração molar (%)
Nitrogênio	78.090
Oxigênio	20.950
Argônio	0.930
Dióxido de Carbono*	0.030
Neônio	$1.80 \cdot 10^{-3}$
Hélio	$5.24 \cdot 10^{-4}$
Criptônio	$1.00 \cdot 10^{-4}$
Hidrogênio	$5.00 \cdot 10^{-5}$
Xenônio	$8.00 \cdot 10^{-6}$
Ozônio*	$1.00 \cdot 10^{-6}$
Radônio*	$6.00 \cdot 10^{-10}$
Vapor d'água*	0 a 3

\* variável

Além da absorção seletiva, o espalhamento pela atmosfera contribui significativamente para a qualidade da radiação solar, pois determinados comprimentos de onda são espalhados com maior eficiência do que outros, estando este fenômeno relacionado com a distância percorrida pela radiação na atmosfera, modificando assim a relação entre as porcentagens destes comprimentos de onda.

Do ponto de vista quantitativo, de interesse no presente trabalho, vários fatores contribuem para alterar

a radiação solar. O valor médio aceito para a quantidade de energia que atinge uma superfície normal a radiação solar na ausência da atmosfera ou seja, a constante solar, é  $2 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$

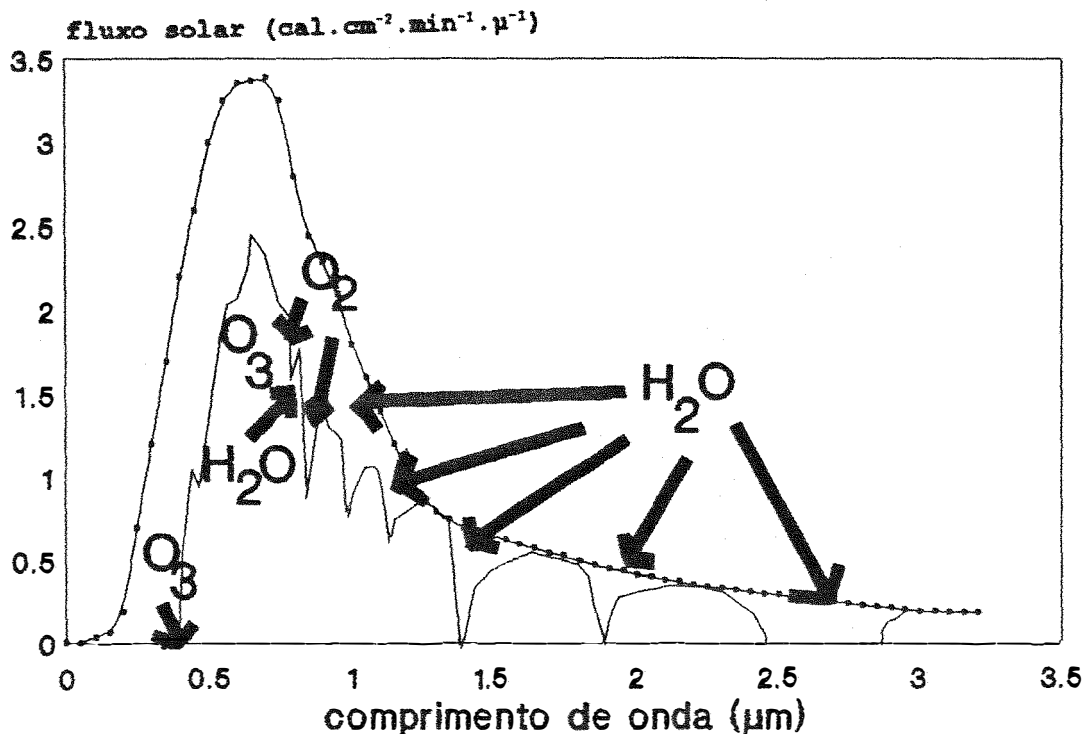


Figura 1. Distribuição teórica e real da radiação solar na camada mais externa da atmosfera e ao nível da superfície. Adaptada de Rosenberg (1974).

Para determinar-se a intensidade da radiação solar que atinge um certo local num dado momento necessita-se conhecer a posição do sol no céu. O sol ocupa um dos focos da elipse descrita pela órbita da Terra. O plano que contém a elipse denomina-se "plano eclíptico". A própria Terra gira sobre si mesma em torno de um eixo imaginário, causando assim a variação diurna da quantidade de radiação que incide sobre dado local, estando o eixo inclinado de aproximadamente

23,45° em relação à normal do plano eclíptico. A excentricidade da elipse, responsável pela variação da distância Terra-Sol, associada a inclinação do eixo terrestre altera a quantidade de energia recebida pelos hemisférios do planeta, durante o ano, determinando assim as estações.

Caso se leve em conta apenas o aspecto quantitativo do espalhamento e da absorção pela atmosfera, o que determinará uma maior ou menor atenuação da radiação solar será a posição relativa do sol no céu, ou seja, a radiação atravessará um maior ou menor número de massas óticas.

As nuvens são o fator de maior importância no aspecto quantitativo da radiação solar, porém sua variabilidade quanto a forma, espessura e conseqüente efeito sobre a radiação são de grande complexidade, tanto que, se por um lado o resultado mais esperado seja a atenuação sobre a radiação, algumas formações podem incrementar a radiação que atinge o solo, através de fenômenos de múltipla reflexão.

Relações empíricas entre a cobertura de nuvens e a radiação que atinge a superfície tem sido objeto de muitas investigações desde o começo do século. O método primeiramente sugerido por Kimball<sup>1</sup> e colocado em bases

---

<sup>1</sup> KIMBALL, H.H. Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States. *Monthly Weather Review*, Boston, 47: 769-93, 1919.

matemáticas por Angström<sup>2</sup>, ambos citados por COULSON (1975), tem sido largamente utilizado desde então. A relação linear entre a irradiância solar global diária (Q) e a porcentagem de insolação possível (n/N) para determinada latitude e data, foi proposta por Angström da seguinte forma:

$$Q = Q_e [a + (1-a)n/N] \quad (1)$$

onde "Q<sub>e</sub>" é a irradiância solar global em um dia sem presença de núvens e "a" uma constante determinada empiricamente. Devido ao fato de "Q<sub>e</sub>" variar com a transmissividade atmosférica, Prescott<sup>3</sup>, citado por BLACK et al (1954), propôs a seguinte modificação:

$$Q = Q_0 (a + bn/N) \quad (2)$$

onde "Q<sub>0</sub>" é a irradiância solar global numa superfície horizontal na ausência da atmosfera, "a" e "b" são constantes a serem determinadas a partir das medidas.

Um grande número de pesquisadores estimou os coeficientes para os mais diversos locais, cobrindo praticamente todo o globo terrestre, como pode ser encontrado em MARTINEZ-LOZANO et al (1984). Cobrindo praticamente todo o Território Nacional, RIBEIRO (1980) estima os coeficiente

---

<sup>2</sup> ANGSTRON, A.K. Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, London, **50**: 121-5, 1924.

<sup>3</sup> PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions Royal Society of Science*, **64**: 114-25, 1940.

"a" e "b", desde Fortaleza no Ceará até Domingos Petrolina no Rio Grande do Sul. Além deste pode-se citar CERVELLINI et al (1966) estimando os coeficientes para o estado de São Paulo, OMETTO (1968) que propôs coeficientes para as condições de Piracicaba (SP), REIS et al (1973) para Recife (PE), SÁ (1973) para Manducarú (BA), TUBELIS et al (1977) para Botucatu (SP), Lopes et alii (1971) e Mota (1976) para Pelotas (RS), RIBEIRO et al (1980) para as condições de Manaus e SANTOS et al (1983) para Jaboticabal (SP).

O estudo da relação entre a insolação ( $n$ ), a irradiância solar global ( $Q$ ) e a irradiância solar global da superfície na ausência da atmosfera ( $Q_0$ ) foi realizada por BLACK et al (1954). Além de estimar os coeficientes "a" e "b" da equação (2), utilizando-se de séries de valores médios, os autores observaram uma relação entre a latitude da estação e os coeficientes estimados. Para tal estudo Black e seus colaboradores se utilizaram das séries de 32 estações cobrindo desde a Austrália até o Alasca.

Com o aumento do número de estudos, algumas deficiências começaram a ficar evidentes, entre elas podendo-se citar a ineficácia do heliógrafo para registrar a insolação para pequenas elevações do sol, conforme observou MATEER (1955); grandes erros nas estimativas ocorriam durante o inverno no Canadá, quando o Sol permanecia muito tempo com uma elevação inferior a  $5^\circ$ . Além desta, outras razões para o coeficiente de correlação não ser muito elevado foram



descritas por Baker & Haines<sup>4</sup> citados por COULSON (1975) e MARTINEZ-LOZANO et al (1984):

- (1) algumas vezes a irradiância é alta com o céu parcialmente encoberto, devido à reflexão das nuvens,
- (2) as condições atmosféricas variam muito,
- (3) alguns erros não detectados na calibração dos instrumentos e na avaliação dos dados podem ocorrer.

Utilizando-se dos dados de seis estações localizadas no oeste da África, entre as latitudes de 6,5°N e 13,5°N, DAVIES (1965) testou diversos períodos para relacionar os dados. Sua conclusão foi que a correlação mensal seria a mais correta. Davies também enumerou razões que impedem a perfeita correlação entre os dados:

- (a) o heliógrafo Campbell subestima a insolação por não registrar a radiação difusa sob condições de nebulosidade ou a radiação direta quando a altura solar é baixa,
- (b) a existência de um erro de grandeza desconhecida nas medidas de insolação, falhas na calibração dos instrumentos e inexatidão dos métodos para redução dos dados.

Outra conclusão importante obtida por Davies foi a existência de uma correlação inversa entre os coeficientes, mostrando que a cada decréscimo no valor de "b", em função do aumento da nebulosidade correspondia um

---

<sup>4</sup> BACKER, D. & HAINES, D. Solar Radiation and sunshine duration relationship in the North-Central region and Alaska. s.l., University of Minnesota / *Agricultural Experiment. Technical Bulletin*, 262, 1969.

incremento no valor mensal de "a" devido ao aumento da reflexão da radiação solar pelas núvens. Resultados semelhantes foram encontrados por SANTOS et al (1983); determinando os coeficientes da equação (2), para as condições de Jaboticabal (SP), os autores mostraram variações sazonais significativas, entretanto a soma dos coeficientes permaneceu constante indicando uma transmissividade atmosférica próxima a 75%.

A revisão bibliográfica sobre a evolução histórica da equação de Ångström e suas modificações, realizada por MARTINEZ-LOZANO et al (1984), coloca de maneira geral os fatores que influenciam os coeficientes "a" e "b":

- (1) latitude,
- (2) altitude da estação,
- (3) albedo da superfície,
- (4) altitude média solar,
- (5) concentração de vapor d'água,
- (6) concentração dos poluentes naturais e artificiais.

Alguns destes fatores já haviam sido estudados individualmente. Para a latitude por exemplo, GLOVER e MCCULLOCH (1958 b) estabeleceram a seguinte equação:

$$a = 0,01 + 0,27 \cdot \cos \phi \quad (3)$$

onde  $\phi$  é a latitude, enquanto o valor de "b" permanece praticamente constante. Anteriormente, GLOVER e MCCULLOCH (1958a) haviam observado uma relação inversa entre estes coeficientes de tal forma que a soma dos dois permanecia

constante e em torno de 0,82.

Recentemente tentou-se relacionar "a" e "b" a um maior número de fatores, buscando uma melhor aproximação, como a sugerida por GOPINATTAN (1988), cujas equações expressam os coeficientes da regressão em termos da latitude ( $\phi$ ), altitude (H) e porcentagem da insolação média mensal (n/N), como segue:

$$a = -0,309 + 0,539 \cos \phi - 0,0693H + 0,290 (n/N) \quad (4)$$

$$b = 1,527 - 1,027 \cos \phi + 0,0926H - 0,0359 (n/N) \quad (5)$$

Anteriormente, RIETVELD (1978) havia sugerido a correlação dos coeficientes com a porcentagem média mensal da razão de insolação e Neuwirth<sup>5</sup>, citado por GOPINATTAN (1988), havia discutido o efeito da altitude.

A literatura mostra que latitude, altitude e albedo são fatores importantes quando se correlaciona irradiância solar global e insolação. Além disso, deve-se considerar o aumento do erro das estimativas à medida que se diminui o número de observações, o que deve servir de alerta aos trabalhos de estimativa de irradiância solar global diária a partir de dados de insolação.

---

<sup>5</sup> NEWRITH, F. The estimation on global and sky radiation in Austria, *Solar Energy*, Oxford, **24**: 421, 1980.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Dados Coletados

Os dados básicos do trabalho foram obtidos das medidas realizadas pelo Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de "Agricultura Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, situada em Piracicaba ( latitude  $22^{\circ}42'30''$  S, longitude  $47^{\circ}38'00''$  W, altitude 576 m), no período de setembro de 1966 a agosto de 1967 (Ometto, 1968).

##### 3.1.1. Irradiância Solar Global

A irradiância solar global (Q) foi medida através de um piranômetro Eppley, construído por "The Eppley Laboratory", número de série 2876, modelo de dez junções, constante de calibração de 2,84 mv/cal.cm<sup>2</sup>.min, instalado a 17,4 metros de altura em horizonte completamente aberto ligado a um sistema de registradores.

##### 3.1.2. Insolação

Os dados de insolação (n) foram obtidos através de um heliógrafo tipo Campbell-Stokes, instalado na estação meteorológica do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de

Queiroz. Estes dados foram cotados neste trabalho da maneira explicada no item denominado "Método".

### 3.1.3. Fotoperíodo

O fotoperíodo (N), função do mês e latitude, foi obtido do Anuário do Observatório de São Paulo (1967).

### 3.1.4 Irradiância Solar Global na Ausência da Atmosfera

A equação (6) foi utilizada para obter-se os valores diários de irradiância solar na ausência da atmosfera ( $Q_0$ ) no período considerado, conforme Ometto (1968).

$$Q_0 = (1440 \cdot I_0 / R^2 \cdot \pi) \cdot (\sin\phi \cdot \sin\delta \cdot h + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sinh) \quad (6)$$

onde:

$I_0$  = constante solar (ly/min),

R = Raio vetor médio Terra-Sol (u.a.),

$\phi$  = latitude local ( $^\circ$ ),

$\delta$  = declinação solar ( $^\circ$ ),

h = semi-arco do nascer ao meio-dia solar ( $^\circ$ ).

## 3.2 Método

Na ausência da atmosfera, a irradiância solar global na superfície do planeta ( $Q_0$ ) é função somente do ângulo de incidência entre o fluxo de radiação e a normal a superfície. O modelo aqui proposto assume a presença de uma atmosfera completamente homogênea, com transmissividade constante ao longo do dia, sem influência da massa ótica

atravessada, de tal forma que a radiação que atinge o solo no período de ausência das nuvens, aqui considerado aquele em que há queima da tira heliográfica, também é função apenas do ângulo de incidência, obedecendo a lei de Lambert. Assim pode-se corrigir algumas falhas apresentadas pelo método proposto por Ångström, quando estima a mesma quantidade de energia para iguais períodos de insolação sem levar em conta se os mesmos ocorreram em horários diferentes.

Para um dia qualquer (figura 2) as áreas  $A_n$  representam os períodos sem nuvens, enquanto que as áreas  $B_n$  os períodos com presença de nuvens e sem queima da tira heliográfica. Somando todas as áreas e multiplicando pelo fator da transmissividade atmosférica e das nuvens, respectivamente, obter-se-á a porcentagem da irradiância solar global que atinge a superfície ( $Q$ ), da seguinte forma:

$$Q = Q_0 \cdot T_A \cdot [\sum A_n + (T_N \cdot \sum B_n)] \quad (7)$$

O fator  $T_N$  aparece aqui multiplicado por  $T_A$  devido ao fato da radiação já ter atravessado grande parte da atmosfera terrestre, quando ela começa a sofrer a atenuação pelas nuvens, pois estas se encontram na camada da atmosfera mais próxima ao solo (figura 3).

Para o caso de um dia com ausência absoluta de nuvens a variação temporal da irradiância solar global ao nível do solo pode ser representada pela figura 4.

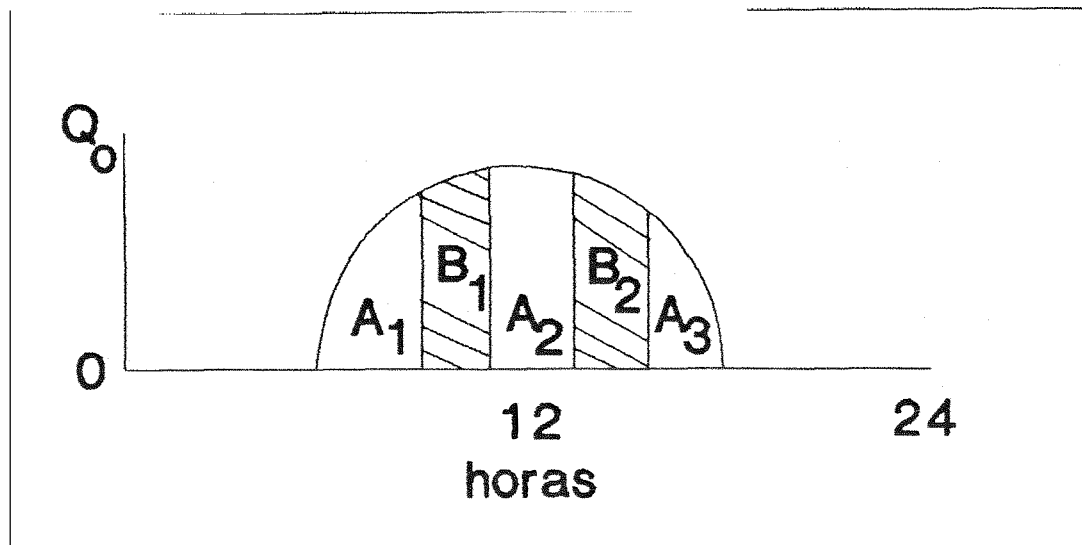


Figura 2. Representação esquemática dos períodos de insolação.

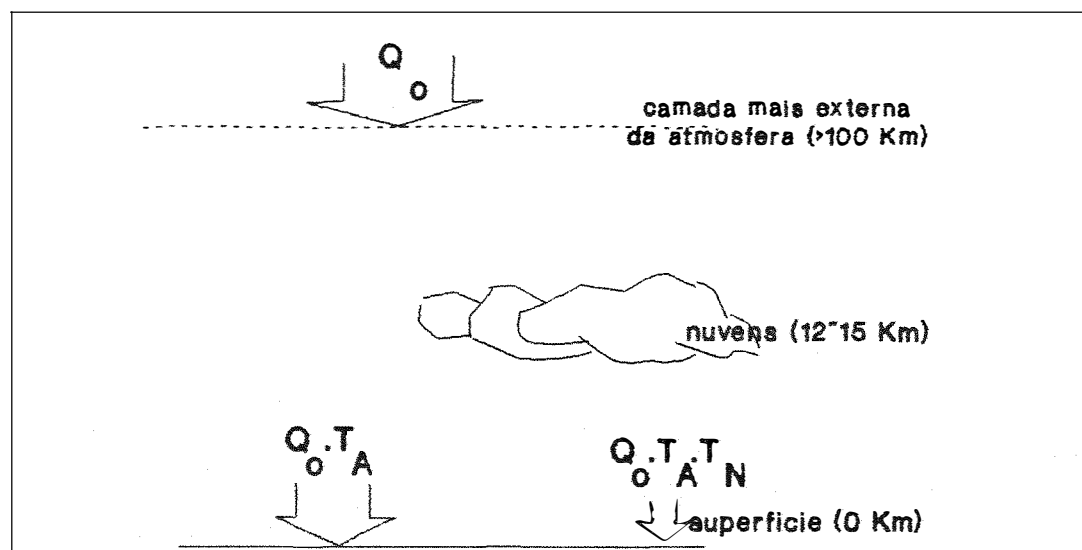


Figura 3. Posição relativa das nuvens em altitude na atmosfera da Terra.

Sob tais circunstâncias pode-se representar uma curva genérica, descrita pela equação (8) (figura 5).

$$y = c \cdot \text{sen}(ex - \omega) \quad (8)$$

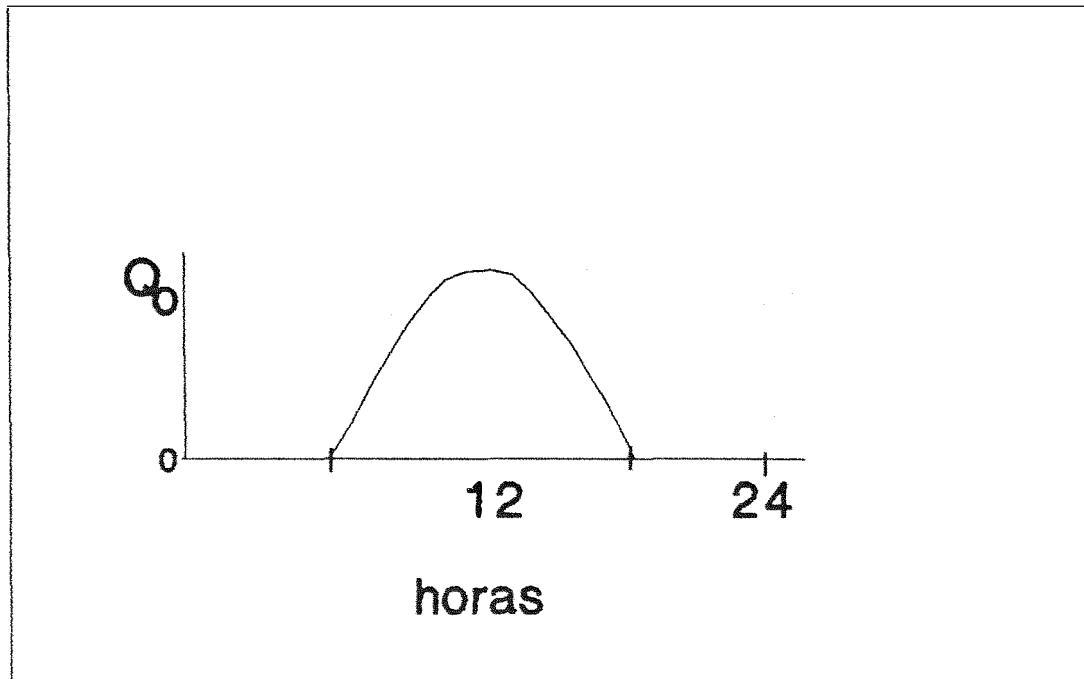


Figura 4. Distribuição da radiação solar ao longo do dia sem presença de nuvens.

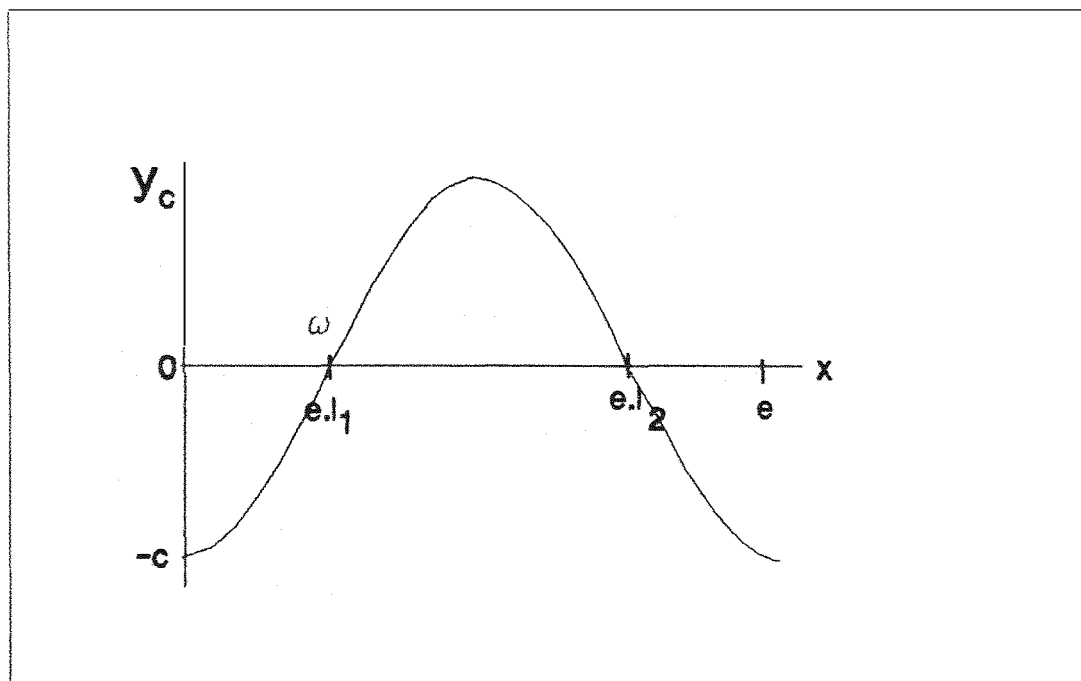


Figura 5. Representação esquemática do modelo proposto.



Desta maneira, conhecendo-se a função, basta integrar a área abaixo da curva entre os limites de interesse. Sob condições de ausência de nuvens,  $\Sigma B_n = 0$  e  $\Sigma A_n = 1$ , de modo que a equação (7) resume-se a:

$$Q = Q_0 \cdot T_A \cdot \Sigma A_n \quad (9)$$

Ou seja, a energia que chega ao solo num dia que não ocorre a presença de nuvens é influenciada apenas pela transmissividade atmosférica.

É necessário conhecer-se os coeficientes "c", "e" e "φ". Para tanto, afim de simplificar a integração, utilizar-se-á os seguintes artifícios:

(a) Para que a onda complete uma revolução (e ou  $2\pi$ ) serão necessários dois fotoperíodos ( $2N$ ). Na realidade tal situação só ocorre quando  $N = 12$  horas e  $2N = 24$  horas, entretanto esta aproximação é possível, uma vez que utilizar-se-á somente a parte positiva da curva. Desta forma  $e = \pi/N$

(b) A curva manterá uma defasagem (φ) constante de  $\pi/2$  durante todo o ano, ou seja, o nascer e o pôr do sol,  $L_1$  e  $L_2$  respectivamente, ocorrem quando a curva corta o eixo "X", desta forma, " $eL_1$ " e " $eL_2$ " representam os valores  $\pi/2$  e  $3\pi/2$  respectivamente. Para que estas condições sejam satisfeitas os limites " $L_1$ " e " $L_2$ ", ou de modo geral  $L_n$ , precisam ser corrigidos pela equação (11), onde " $ln$ " é o novo limite:

$$l_n = L_n \cdot [(24 - 2N)/2] \quad (10)$$

Por exemplo, num dia qualquer onde  $N = 10,6$  tem-se  $e = \pi/10,6$ . Assumindo 12 horas locais como sendo o meio dia solar, o nascer do sol ocorrerá às 6,7 horas, o pôr do sol às 17,3 horas. Realizando as correções, os novos limites  $l_1$  e  $l_2$  correspondem a 5,3 horas e 15,9 horas e  $e l_1$  e  $e l_2$  são  $\pi/2$  e  $3\pi/2$  respectivamente. Da mesma forma são corrigidos valores iguais ou maiores que 12 horas e assim, ajusta-se a curva para qualquer valor de "N".

Observando as propriedades da função seno, pode-se escrever:

$$y - c \cdot (\text{sen} \omega \cdot \cos \omega - \text{cosec} \cdot \text{sen} \omega) \quad (11)$$

Resta agora descobrir o valor de "c". Isto será possível através da integração desde o nascer até o pôr do sol da equação (11), como segue:

$$\int_{l_1}^{l_2} y dx - c \cdot \left( \int_{l_1}^{l_2} \text{sen} \omega \cdot \cos \omega dx - \int_{l_1}^{l_2} \text{cosec} \cdot \text{sen} \omega dx \right) \quad (12)$$

Sabe-se que  $\omega = \pi/2$ , logo  $\text{sen} \omega = 1$ ,  $\cos \delta = 0$  e a equação anterior resulta em:

$$\sum A_n - \int_{l_1}^{l_2} y dx - c \int_{l_1}^{l_2} \text{cosec} dx \quad (13)$$

$$\sum A_n - (c/e) \cdot [\text{sen} \omega]_{l_1}^{l_2} \quad (14)$$

$$\sum A_n - (c/e) \cdot (\text{sen} e l_1 - \text{sen} e l_2) \quad (15)$$

Para  $\Sigma A_n = 1$ ,  $e_{l1} = \pi/2$  e  $e_{l2} = 3\pi/2$ . Desta forma a razão  $(c/e)$  é igual a 0,5. De uma forma genérica, para limites  $l_1$ , podemos escrever:

$$\Sigma A_n = 0,5 \cdot \Sigma_i^n [\text{sen}(eli) - \text{sen}(eli+1)] \quad (16)$$

Durante um dia qualquer podem ocorrer períodos de insolação alternados com períodos de nebulosidade, identificados pelos registros do heliógrafo e calculados pela equação anteriormente descrita, ou seja, em vez de tratá-los como uma relação entre insolação e fotoperíodo  $(n/N)$ , considera-se os dados da tira heliográfica em limites de brilho solar, em horas e décimos. Observe-se como exemplo a figura (6), para um dia qualquer onde  $N = 13,2$  horas e  $n = 6,5$  horas. Para utilizar-se o método agora proposto é necessário determinar-se os limites, que no caso são os apresentados na tabela 2.

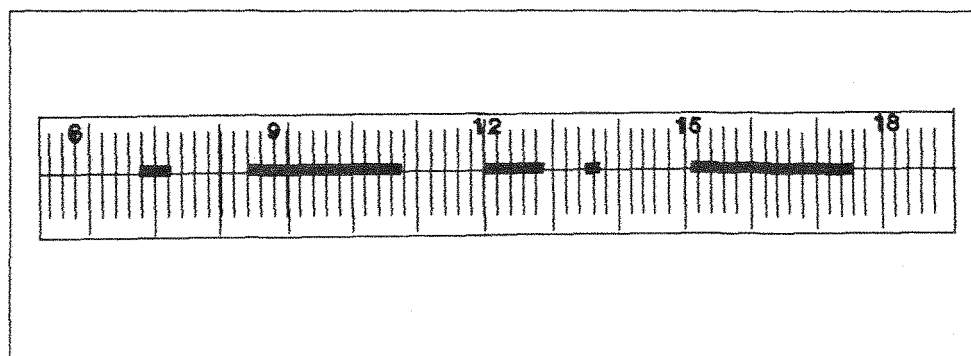


Figura 6. Representação esquemática de uma tira heliográfica.

A diferença " $1 - \Sigma A_n$ " representa o intervalo onde a radiação está sendo atenuada pelas núvens ( $\Sigma B_n$ ).

Tabela 2. Correção dos limites e integração da área, para um dia hipotético.

L1	L2	l1	l2	An
6,8	7,2	8,0	8,4	0,0177
8,4	10,8	9,6	12,0	0,2370
12,0	12,9	13,2	14,1	0,1063
13,5	13,7	14,7	14,9	0,0221
15,1	17,7	16,3	18,9	0,1522

Para calcular-se a quantidade de energia que alcança o solo necessita-se conhecer os fatores  $T_A$  e  $T_N$ . Estes valores serão calculados a partir dos dados observados. Foram selecionados, para cada conjunto de dois meses, os dez (10) maiores e os dez (10) menores valores de  $\sum A_n$  e estabeleceu-se duas equações entre as médias destes valores e as médias de  $(Q/Q_0)$  da seguinte forma:

$$Q/Q_{\text{max}} = T_A \cdot [\sum A_{\text{max}} + T_N (1 - \sum A_{\text{max}})] \quad (17)$$

$$Q/Q_{\text{min}} = T_A \cdot [\sum A_{\text{min}} + T_N (1 - \sum A_{\text{min}})] \quad (18)$$

A partir de um valor pré-estipulado de  $T_N$  (0,20) substitui-se na equação (17) onde  $T_N$  apresenta um menor efeito, pois o mesmo estará multiplicado pelo menor coeficiente da equação, desta forma encontra-se o valor de  $T_A$ . Este valor substituído em (18), da mesma maneira que  $T_N$  na equação anterior  $T_A$  é agora multiplicado pelo menor coeficiente, determinando-se o novo  $T_N$ , e assim

sucessivamente, até encontrar-se os valores de  $T_A$  e  $T_N$  com uma precisão de três casas decimais.

### 3.3 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

O método proposto foi comparado ao tradicional através dos testes descritos pelas equações 19, 20 e 21, sugeridas por Gopinattan (1988):

$$MBE = [\sum (V_c - V_o)] / N \quad (19)$$

$$RMSE = \sqrt{[\sum (V_c - V_o)^2 / n]} \quad (20)$$

$$MPE = [\sum (|V_c - V_o| \times 100 / V_o)] / n \quad (21)$$

onde  $V_c$  = valor calculado;

$V_o$  = valor observado, a partir do piranômetro;

$n$  = número de observações.

O teste denominado MBE ("mean bias error"), dá a tendência do erro médio. Quando o resultado é um valor positivo, isto indica uma tendência do modelo de superestimar os cálculos, enquanto a situação inversa (valor negativo) mostra tendência a subestimar estes cálculos. O segundo teste, RMSE ("root mean square error") mostra como os modelos se ajustam: quanto menor o valor encontrado (próximo a zero), melhor o ajuste. O MPE ("mean percentage error") negligencia o sinal do erro para estimar a variação média dos valores calculados em relação aos observados.

Para o método tradicional utilizou-se os coeficientes para Piracicaba, propostos por Ometto (1968), como descritos na equação (21):

$$Q/Q_0 = 0,26 + 0,51n/N \quad (22)$$

Cálculos preliminares indicaram que o uso dos coeficientes sazonais propostos por Ometto (1968) não alteraram significativamente o resultado dos testes. Ometto (1968), utilizando testes estatísticos conclui que as retas representadas pelos coeficientes sazonais não diferem significativamente e podem ser agrupadas numa única reta de coeficientes anuais.

Além dos testes, descritos anteriormente, estabeleceu-se retas de regressão do tipo "y = a + bx" entre as razões Q/Q<sub>0</sub> observadas e estimadas pelos dois métodos onde o valor observado é a variável independente e o valor estimado a variável dependente, obtendo-se assim um coeficiente "R<sup>2</sup>" para cada método. Determinou-se também o "índice d", conforme sugerido por Willmott (1981), que pode ser expresso por:

$$d = 1 - [\sum (V_c - V_o)^2] / [\sum (V_c + V_o)^2] \quad (23)$$

$$V_c - |V_c - \bar{V}_o| \quad (24)$$

$$V_c - |V_o - \bar{V}_o| \quad (25)$$

Assim como " $R^2$ ", o valor de "d" varia entre 0 e 1, quanto maior o valor assumido melhores são os resultados estimados pelos modelos.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1. Estimativa de $\Sigma A_n$

A primeira etapa do trabalho resumiu-se a identificar os "n" períodos de insolação para cada dia, segundo a metodologia descrita anteriormente. Estes dados encontram-se nos apêndices 1 a 12. Com base nestes dados foi possível determinar os valores de  $\Sigma A_n$ , conforme apresentados nas tabelas 8 a 13 sob a denominação de "U". Os demais dados apresentados nessas tabelas foram retirados de Ometto (1968).

### 4.2. Estimativa dos coeficientes de transmissividade da atmosfera ( $T_A$ ) e das nuvens ( $T_N$ ).

Conforme a metodologia proposta, os coeficientes " $T_A$ " e " $T_N$ " foram determinados através da seleção dos dez (10) valores máximos e dos dez (10) valores mínimos de  $\Sigma A_n$  (U) com os respectivos valores da relação " $Q/Q_0$ " (tabelas 3a a 3f e 4a a 4f).



Tabela 3a. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , janeiro e fevereiro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
02/01	0,91	0,65
07/01	0,87	0,62
25/01	0,96	0,66
28/01	0,96	0,59
07/02	0,92	0,68
13/02	0,93	0,50
15/02	0,98	0,68
24/02	0,94	0,71
27/02	0,94	0,68
28/02	0,89	0,63
médias	0,93	0,64

Tabela 3b. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , março e abril.

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
23/03	0,97	0,69
01/04	0,98	0,66
02/04	0,98	0,68
03/04	0,97	0,72
06/04	0,99	0,71
07/04	0,98	0,70
09/04	0,98	0,68
17/04	0,99	0,70
18/04	0,97	0,71
19/04	0,98	0,70
média	0,98	0,69

Tabela 3c. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , maio e junho

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
07/05	0,97	0,67
09/05	0,98	0,71
12/05	0,96	0,70
24/05	0,97	0,68
27/05	0,97	0,73
31/05	0,96	0,65
19/06	0,97	0,74
20/06	0,97	0,73
21/06	0,96	0,73
23/06	0,98	0,74
médias	0,97	0,71

Tabela 3d. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , julho e agosto

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
17/07	0,96	0,73
18/07	0,97	0,73
19/07	0,98	0,74
20/07	0,97	0,75
28/07	0,97	0,72
29/07	0,97	0,65
30/07	0,97	0,72
19/08	0,96	0,69
20/08	0,96	0,69
31/08	0,96	0,64
médias	0,97	0,71

Tabela 3e. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , setembro e outubro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
07/09	0,98	0,66
18/09	0,99	0,77
23/09	0,98	0,74
10/10	0,98	0,70
14/10	0,98	0,70
16/10	0,99	0,69
20/10	1,00	0,71
24/10	0,99	0,72
25/10	0,99	0,74
26/10	1,00	0,73
médias	0,99	0,72

Tabela 3f. Valores máximos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , novembro e dezembro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
07/11	0,99	0,71
19/11	0,99	0,74
21/11	0,98	0,70
24/11	0,98	0,68
26/11	0,99	0,69
29/11	0,97	0,68
09/12	0,97	0,69
29/12	0,98	0,62
30/12	0,99	0,65
31/12	0,99	0,66
médias	0,98	0,68

Tabela 4a. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , janeiro e fevereiro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
05/01	0,09	0,23
11/01	0,09	0,31
12/01	0,12	0,26
31/01	0,02	0,27
01/02	0,07	0,24
04/02	0,04	0,32
05/02	0,00	0,28
06/02	0,11	0,26
19/02	0,05	0,36
20/02	0,02	0,24
médias	0,06	0,28

Tabela 4b. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , março e abril

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
07/03	0,16	0,30
08/03	0,19	0,33
09/03	0,31	0,36
12/03	0,36	0,45
13/03	0,10	0,28
14/03	0,01	0,29
15/03	0,16	0,35
18/03	0,14	0,28
16/04	0,20	0,40
24/04	0,07	0,25
médias	0,17	0,33

Tabela 4c. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , maio e junho

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
03/06	0,13	0,30
05/06	0,00	0,11
06/06	0,00	0,12
07/06	0,00	0,35
11/06	0,10	0,22
12/06	0,02	0,19
13/06	0,08	0,28
14/06	0,00	0,31
25/06	0,09	0,41
27/06	0,10	0,45
médias	0,05	0,27

Tabela 4d. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , julho e agosto

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
11/07	0,00	0,14
12/07	0,16	0,41
14/07	0,30	0,42
15/07	0,25	0,42
22/07	0,00	0,11
24/07	0,29	0,48
12/08	0,39	0,42
13/08	0,31	0,43
16/08	0,60	0,47
18/08	0,55	0,54
médias	0,29	0,38

Tabela 4e. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , setembro e outubro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
01/09	0,05	0,20
02/09	0,00	0,04
03/09	0,00	0,13
16/09	0,07	0,27
20/09	0,00	0,12
28/09	0,00	0,06
23/10	0,15	0,19
28/10	0,02	0,20
30/10	0,00	0,14
31/10	0,00	0,13
medias	0,03	0,15

Tabela 4f. Valores mínimos de  $\Sigma A_n$  e  $Q/Q_0$ , novembro e dezembro

dia	$\Sigma A_n$	$Q/Q_0$
11/11	0,21	0,45
12/11	0,20	0,23
14/11	0,18	0,31
17/11	0,22	0,36
20/12	0,02	0,31
21/12	0,00	0,14
22/12	0,00	0,14
23/12	0,00	0,21
24/12	0,02	0,35
27/12	0,00	0,16
médias	0,09	0,27

A partir dos valores médios montou-se seis sistemas de duas equações e duas incógnitas, descritas de (26a) a (31b). Para a primeira equação de cada sistema adotou-se o valor de  $T_N$  como sendo "0,200" e através de sucessivas substituições encontrou-se os valores verdadeiros de " $T_A$ " e " $T_N$ ":

$$0,64 - T_A [0,93 + T_N(0,07)] \quad (26a)$$

$$0,28 - T_A [0,06 + T_N(0,94)] \quad (26b)$$

$$0,69 - T_A [0,98 + T_N(0,02)] \quad (27a)$$

$$0,33 - T_A [0,17 + T_N(0,83)] \quad (27b)$$

$$0,71 - T_A [0,97 + T_N(0,03)] \quad (28a)$$

$$0,27 - T_A [0,05 + T_N(0,95)] \quad (28b)$$

$$0,71 - T_A [0,97 + T_N(0,03)] \quad (29a)$$

$$0,38 - T_A [0,29 + T_N(0,71)] \quad (29b)$$

$$0,72 - T_A [0,99 + T_N(0,01)] \quad (30a)$$

$$0,15 - T_A [0,03 + T_N(0,97)] \quad (30b)$$

$$0,68 - T_A [0,98 + T_N(0,02)] \quad (31a)$$

$$0,27 - T_A [0,09 + T_N(0,91)] \quad (31b)$$

Os valores calculados de  $T_A$  e  $T_N$  são mostrados na tabela 5.

Tabela 5. Valores calculados de  $T_A$  e  $T_N$ .

periodo	$T_A$	$T_N$
jan/fev	0,669	0,381
mar/abr	0,699	0,364
mai/jun	0,724	0,340
jul/ago	0,725	0,330
set/out	0,726	0,182
nov/dez	0,689	0,332

#### 4.3. Estimativa da relação " $Q/Q_0$ " pelo método tradicional.

Os valores estimados da relação " $Q/Q_0$ " segundo a equação proposta por Ometto (1968) encontram-se nas tabelas de (8) a (13), sob a designação " $Q1/Q_0$ ".

#### 4.4. Estimativa da relação " $Q/Q_0$ " pelo método proposto.

Os valores da relação " $Q/Q_0$ ", pelo método proposto, utilizando-se dos valores de " $T_A$ " e " $T_N$ " mostrados na tabela 5, encontram-se nas tabelas (8) a (13) sob a designação " $Q2/Q_0$ ".

#### 4.5. Resultados dos Testes.

Os resultados dos testes representados pelas equações (19), (20) e (21), encontram-se nas tabelas (8) a (13). Para uma fácil visualização destes resultados, os

mesmos são apresentados nas figuras (8a) a (13b) e resumidos na tabela 6.

Tabela 6. Médias bimestrais dos testes. TRAD = tradicional; PROP = proposto

BIMESTRE	M B E		R M S E		M P E (%)	
	TRAD	PROP	TRAD	PROP	TRAD	PROP
jan/fev	0.028	0.029	0.045	0.043	11.03	10.72
mar/abr	0.005	0.017	0.029	0.029	5.07	5.17
mai/jun	-0.043	-0.009	0.055	0.038	9.97	7.34
jul/ago	-0.022	0.021	0.051	0.039	8.24	6.51
set/out	0.021	0.027	0.043	0.053	8.96	10.40
nov/dez	0.010	0.009	0.044	0.041	8.79	8.25
média	0.002	0.017	0.044	0.040	8.50	8.00

Os coeficientes das retas de regressão e o "índice d" apresentaram os resultados mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Coeficientes das retas de regressão entre os valores observados e valores estimados, índice d de Willmot (1981).

	a	b	R	d
$Q/Q_0 \times Q1/Q_0$	0.11	0.80	0.77	0.934
$Q/Q_0 \times Q2/Q_0$	0.08	0.88	0.81	0.944

Tabela 8. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q0$ ) e método proposto ( $Q2/Q0$ ), resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Janeiro e fevereiro

DIA	n	N	n/N	U	Q	Q0	Q/Q0	Q1/Q0	Q2/Q0	MBE(Q1)	MBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)
01-Jan	8.9	13.6	0.65	0.78	615	1010	0.60	0.594	0.577	-0.015	-0.032	0.015	0.032	2.490	5.233
03-Jan	4.2	13.6	0.31	0.45	310	1010	0.30	0.418	0.441	0.111	0.134	0.111	0.134	36.024	43.542
04-Jan	7.9	13.6	0.58	0.67	453	1009	0.44	0.556	0.532	0.107	0.084	0.107	0.084	23.898	18.604
06-Jan	5	13.5	0.37	0.43	396	1008	0.39	0.449	0.435	0.056	0.042	0.056	0.042	14.263	10.687
09-Jan	5.2	13.5	0.39	0.33	365	1006	0.36	0.456	0.393	0.094	0.030	0.094	0.030	25.804	8.386
10-Jan	2.7	13.5	0.20	0.30	352	1006	0.34	0.362	0.380	0.012	0.030	0.012	0.030	3.458	8.709
13-Jan	9	13.5	0.67	0.79	498	1003	0.49	0.600	0.583	0.103	0.087	0.103	0.087	20.843	17.503
14-Jan	7.1	13.5	0.53	0.71	509	1002	0.50	0.528	0.548	0.020	0.040	0.020	0.040	3.994	7.891
15-Jan	2.3	13.4	0.17	0.30	324	1002	0.32	0.348	0.378	0.024	0.054	0.024	0.054	7.479	16.803
16-Jan	5.5	13.4	0.41	0.54	391	1001	0.39	0.469	0.480	0.079	0.090	0.079	0.090	20.153	22.917
17-Jan	8.5	13.4	0.63	0.75	607	1000	0.60	0.584	0.564	-0.023	-0.043	0.023	0.043	3.870	7.072
18-Jan	6.1	13.4	0.46	0.63	486	999	0.48	0.492	0.516	0.006	0.029	0.006	0.029	1.167	5.973
19-Jan	3.7	13.4	0.28	0.38	424	997	0.42	0.401	0.411	-0.024	-0.014	0.024	0.014	5.750	3.352
21-Jan	6.6	13.4	0.49	0.59	528	995	0.53	0.511	0.498	-0.019	-0.033	0.019	0.033	3.667	6.241
22-Jan	6	13.3	0.45	0.59	466	994	0.46	0.490	0.500	0.021	0.032	0.021	0.032	4.535	6.729
23-Jan	9.2	13.3	0.69	0.84	580	992	0.58	0.613	0.601	0.028	0.016	0.028	0.016	4.807	2.771
26-Jan	4.8	13.3	0.36	0.53	454	988	0.45	0.444	0.473	-0.015	0.013	0.015	0.013	3.363	2.915
27-Jan	9.5	13.3	0.71	0.84	566	986	0.57	0.624	0.602	0.050	0.028	0.050	0.028	6.754	4.873
28-Jan	11.7	13.3	0.88	0.96	579	985	0.58	0.709	0.652	0.121	0.064	0.121	0.064	20.556	10.923
29-Jan	7.8	13.2	0.59	0.73	519	983	0.52	0.561	0.555	0.033	0.027	0.033	0.027	6.324	5.204
30-Jan	4.8	13.2	0.36	0.48	415	981	0.42	0.445	0.452	0.022	0.029	0.022	0.029	5.299	6.793
02-Feb	4	13.1	0.31	0.45	397	976	0.40	0.416	0.440	0.009	0.033	0.009	0.033	2.203	8.058
03-Feb	4.6	13.1	0.35	0.47	411	974	0.42	0.439	0.449	0.017	0.027	0.017	0.027	4.055	6.492
06-Feb	0.3	13.1	0.02	0.10	247	968	0.25	0.272	0.297	0.017	0.042	0.017	0.042	6.472	16.408
08-Feb	5.5	13.0	0.42	0.47	376	963	0.39	0.476	0.446	0.085	0.058	0.085	0.058	21.853	14.762
09-Feb	3.2	13.0	0.25	0.38	452	961	0.47	0.386	0.414	-0.085	-0.056	0.085	0.056	18.030	11.932
10-Feb	3.3	13.0	0.25	0.34	362	959	0.37	0.389	0.394	0.012	0.016	0.012	0.016	3.175	4.326
12-Feb	7.4	13.0	0.57	0.76	553	954	0.57	0.550	0.569	-0.029	-0.011	0.029	0.011	5.064	1.925
14-Feb	7	12.9	0.54	0.62	496	949	0.52	0.537	0.513	0.014	-0.010	0.014	0.010	2.696	1.846
16-Feb	6	12.9	0.47	0.45	323	943	0.34	0.497	0.441	0.155	0.099	0.155	0.099	45.160	28.820
17-Feb	5.3	12.9	0.41	0.58	410	941	0.43	0.470	0.494	0.034	0.058	0.034	0.058	7.764	13.269
21-Feb	3.9	12.7	0.31	0.45	369	929	0.39	0.417	0.440	0.019	0.043	0.019	0.043	4.887	10.753
22-Feb	1.8	12.7	0.14	0.21	224	926	0.24	0.332	0.340	0.090	0.098	0.090	0.098	37.364	40.549
23-Feb	3.1	12.7	0.24	0.36	401	923	0.43	0.384	0.405	-0.050	-0.029	0.050	0.029	11.501	6.758
25-Feb	6.8	12.7	0.54	0.75	539	917	0.58	0.533	0.567	-0.055	-0.021	0.055	0.021	9.309	3.584
26-Feb	7.3	12.6	0.58	0.77	506	914	0.55	0.558	0.573	0.002	0.020	0.002	0.020	0.337	3.530
28-Feb	9.3	12.6	0.74	0.89	567	907	0.62	0.636	0.622	0.011	-0.003	0.011	0.003	1.806	0.437
media										0.028	0.029	0.045	0.043	11.031	10.718

Tabela 9. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q0$ ) e método proposto ( $Q2/Q0$ ), resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método, Março e abril

DIA	n	N	n/N	U	Q	Q0	Q/Q0	Q1/Q0	Q2/Q0	MBE(Q1)	MBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)
01-Mar	7.9	12.6	0.63	0.78	490	903	0.54	0.580	0.603	0.037	0.061	0.037	0.061	6.842	11.155
02-Mar	9.5	12.6	0.75	0.91	576	900	0.64	0.645	0.659	0.005	0.019	0.005	0.019	0.707	2.974
03-Mar	8.5	12.5	0.68	0.87	558	897	0.62	0.607	0.643	-0.015	0.021	0.015	0.021	2.455	3.374
04-Mar	9.2	12.5	0.74	0.91	574	893	0.64	0.635	0.661	-0.007	0.018	0.007	0.018	1.154	2.804
05-Mar	4.1	12.5	0.33	0.49	400	890	0.44	0.427	0.474	-0.022	0.025	0.022	0.025	4.930	5.557
06-Mar	5.3	12.5	0.42	0.58	390	886	0.44	0.476	0.514	0.036	0.074	0.036	0.074	8.192	16.765
08-Mar	1.8	12.4	0.15	0.19	287	879	0.32	0.334	0.339	0.008	0.012	0.008	0.012	2.305	3.718
09-Mar	2.5	12.4	0.20	0.31	318	875	0.36	0.363	0.390	-0.001	0.027	0.001	0.027	0.167	7.356
10-Mar	6.6	12.4	0.53	0.63	469	871	0.53	0.531	0.533	-0.007	-0.006	0.007	0.006	1.302	1.100
11-Mar	6.8	12.4	0.55	0.54	424	867	0.48	0.540	0.495	0.051	0.006	0.051	0.006	10.354	1.183
12-Mar	3.7	12.3	0.30	0.36	388	864	0.44	0.413	0.415	-0.036	-0.034	0.036	0.034	7.941	7.630
16-Mar	6.7	12.2	0.55	0.60	434	848	0.51	0.540	0.520	0.028	0.008	0.028	0.008	5.528	1.632
17-Mar	5.1	12.2	0.42	0.48	377	844	0.44	0.473	0.468	0.027	0.021	0.027	0.021	5.936	4.768
19-Mar	8.4	12.2	0.69	0.80	496	836	0.59	0.611	0.611	0.018	0.018	0.018	0.018	3.008	3.043
24-Mar	7.1	12.0	0.59	0.68	448	815	0.54	0.562	0.559	0.012	0.009	0.012	0.009	2.193	1.651
25-Mar	4.6	12.0	0.38	0.53	391	810	0.48	0.456	0.491	-0.027	0.008	0.027	0.008	5.638	1.727
26-Mar	5	12.0	0.42	0.56	393	806	0.48	0.473	0.502	-0.015	0.014	0.015	0.014	3.095	2.920
28-Mar	8.6	12.0	0.72	0.86	543	797	0.68	0.626	0.647	-0.056	-0.035	0.056	0.035	8.191	5.080
29-Mar	3.9	12.0	0.33	0.52	358	793	0.45	0.426	0.485	-0.026	0.033	0.026	0.033	5.693	7.396
30-Mar	8.5	11.9	0.71	0.87	471	789	0.59	0.624	0.640	0.027	0.043	0.027	0.043	4.578	7.172
31-Mar	7.8	11.9	0.66	0.84	483	784	0.61	0.594	0.629	-0.022	0.013	0.022	0.013	3.536	2.034
01-Apr	10.3	11.9	0.87	0.96	511	780	0.65	0.701	0.690	0.046	0.035	0.046	0.035	7.067	5.348
03-Apr	9.9	11.8	0.84	0.97	553	771	0.71	0.688	0.686	-0.029	-0.031	0.029	0.031	4.095	4.387
05-Apr	9.6	11.8	0.81	0.90	485	762	0.63	0.675	0.658	0.038	0.021	0.038	0.021	6.038	3.371
08-Apr	8.5	11.7	0.73	0.89	503	749	0.67	0.631	0.652	-0.041	-0.019	0.041	0.019	6.113	2.844
09-Apr	10	11.7	0.85	0.98	505	744	0.67	0.696	0.691	-0.017	0.012	0.017	0.012	2.524	1.822
10-Apr	9.5	11.7	0.81	0.96	484	740	0.65	0.674	0.682	0.020	0.027	0.020	0.027	3.065	4.202
11-Apr	9.1	11.6	0.78	0.88	473	736	0.64	0.660	0.648	0.017	0.005	0.017	0.005	2.711	0.838
13-Apr	8	11.6	0.69	0.87	458	727	0.62	0.612	0.644	-0.018	0.014	0.018	0.014	2.899	2.152
14-Apr	9.6	11.6	0.83	0.97	482	722	0.66	0.682	0.687	0.014	0.019	0.014	0.019	2.169	2.871
15-Apr	6.7	11.6	0.58	0.69	358	718	0.49	0.555	0.565	0.056	0.066	0.056	0.066	11.224	13.323
18-Apr	9.8	11.5	0.85	0.97	499	705	0.70	0.695	0.687	-0.013	-0.020	0.013	0.020	1.864	2.880
20-Apr	7.5	11.5	0.65	0.84	428	696	0.61	0.593	0.632	-0.022	0.017	0.022	0.017	3.632	2.752
21-Apr	8.9	11.4	0.78	0.90	362	692	0.55	0.658	0.655	0.106	0.103	0.106	0.103	19.227	18.577
22-Apr	9	11.4	0.79	0.92	475	688	0.69	0.663	0.668	-0.028	-0.023	0.028	0.023	4.023	3.285
23-Apr	7.6	11.4	0.67	0.80	456	683	0.66	0.600	0.611	-0.068	-0.057	0.068	0.057	10.132	8.463
25-Apr	7	11.3	0.62	0.77	357	675	0.52	0.576	0.598	0.047	0.069	0.047	0.069	8.894	13.095
26-Apr	8.7	11.3	0.77	0.90	408	671	0.60	0.653	0.658	0.045	0.050	0.045	0.050	7.336	8.178
27-Apr	8.1	11.3	0.72	0.87	427	667	0.64	0.626	0.646	-0.015	0.005	0.015	0.005	2.281	0.837
30-Apr	8.4	11.2	0.75	0.91	406	655	0.61	0.643	0.661	0.023	0.041	0.023	0.041	3.655	6.620
media										0.005	0.017	0.029	0.029	5.067	5.172



Tabela 10. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q_0$ ) e método proposto ( $Q2/Q_0$ ), resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Maio e junho

dia	n	N	n/N	U	Q	Q0	Q/Q0	Q1/Q0	Q2/Q0	MBE(Q1)	MBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)
01-May	6.7	11.2	0.78	0.90	445	651	0.68	0.656	0.678	-0.027	-0.005	0.027	0.005	4.009	0.751
04-May	6.5	11.2	0.76	0.93	442	639	0.69	0.647	0.693	-0.045	0.002	0.045	0.002	6.455	0.217
05-May	7.6	11.2	0.68	0.84	407	635	0.64	0.606	0.648	-0.035	0.007	0.035	0.007	5.441	1.106
15-May	9.1	11.0	0.83	0.91	374	601	0.62	0.682	0.684	0.060	0.062	0.060	0.062	9.580	9.951
16-May	8.5	11.0	0.77	0.93	432	598	0.72	0.654	0.691	-0.068	-0.032	0.068	0.032	9.457	4.403
20-May	7.3	10.9	0.67	0.84	397	585	0.67	0.602	0.652	-0.077	-0.027	0.077	0.027	11.357	3.974
21-May	7.5	10.9	0.69	0.87	416	583	0.71	0.611	0.664	-0.103	-0.050	0.103	0.050	14.383	6.991
31-May	8.4	10.8	0.78	0.95	360	558	0.64	0.657	0.704	0.012	0.059	0.012	0.059	1.783	9.078
01-Jun	7	10.8	0.65	0.81	339	557	0.60	0.591	0.637	-0.018	0.028	0.018	0.028	2.968	4.646
02-Jun	7	10.8	0.65	0.85	383	555	0.69	0.591	0.657	-0.100	-0.033	0.100	0.033	14.423	4.841
03-Jun	0.7	10.8	0.06	0.12	166	553	0.30	0.293	0.308	-0.007	0.008	0.007	0.008	2.374	2.572
04-Jun	2.1	10.7	0.20	0.30	212	551	0.38	0.360	0.390	-0.025	0.006	0.025	0.006	6.410	1.452
08-Jun	5.6	10.7	0.52	0.75	310	545	0.58	0.527	0.605	-0.042	0.036	0.042	0.036	7.365	6.334
09-Jun	8.4	10.7	0.79	0.91	428	544	0.78	0.660	0.685	-0.126	-0.102	0.126	0.102	16.065	12.980
11-Jun	0.6	10.7	0.06	0.06	120	542	0.22	0.289	0.279	0.067	0.058	0.067	0.058	30.350	26.051
13-Jun	0.5	10.7	0.05	0.07	150	540	0.27	0.284	0.284	0.006	0.006	0.006	0.006	2.179	2.126
15-Jun	8.6	10.7	0.80	0.94	375	538	0.69	0.670	0.698	-0.027	0.001	0.027	0.001	3.891	0.150
16-Jun	7.3	10.7	0.68	0.83	377	537	0.70	0.608	0.647	-0.094	-0.055	0.094	0.055	13.404	7.819
17-Jun	8.8	10.7	0.82	0.95	400	537	0.74	0.679	0.702	-0.065	-0.043	0.065	0.043	8.785	5.707
24-Jun	7.4	10.7	0.69	0.85	343	536	0.63	0.613	0.657	-0.027	0.017	0.027	0.017	4.253	2.637
25-Jun	0.8	10.7	0.07	0.10	220	536	0.41	0.298	0.297	-0.112	-0.114	0.112	0.114	27.364	27.683
26-Jun	7.1	10.7	0.66	0.81	313	536	0.58	0.598	0.635	0.014	0.051	0.014	0.051	2.476	8.761
27-Jun	0.7	10.7	0.07	0.10	241	537	0.44	0.293	0.298	-0.155	-0.150	0.155	0.150	34.632	33.502
28-Jun	4.7	10.7	0.44	0.62	291	537	0.54	0.484	0.547	-0.058	0.005	0.058	0.005	10.681	0.930
29-Jun	5.6	10.7	0.52	0.67	300	538	0.55	0.527	0.569	-0.031	0.011	0.031	0.011	5.506	2.031
30-Jun	7.2	10.7	0.67	0.84	337	538	0.62	0.603	0.652	-0.023	0.025	0.023	0.025	3.706	4.010
media										-0.043	-0.009	0.055	0.038	9.973	7.335

Tabela 11. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q_0$ ) e método proposto ( $Q2/Q_0$ ), resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Julho e agosto

dia	n	N	n/N	U	Q	Q <sub>0</sub>	Q/Q <sub>0</sub>	Q1/Q <sub>0</sub>	Q2/Q <sub>0</sub>	MBE(Q1)	MBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)	
01-Jul	6.3	10.7	0.59	0.75	315	539	0.58	0.560	0.607	-0.024	0.023	0.024	0.023	4.130	3.919	
02-Jul	6.7	10.7	0.63	0.78	340	540	0.62	0.579	0.622	-0.050	-0.008	0.050	0.008	7.986	1.233	
03-Jul	5.3	10.7	0.50	0.73	334	541	0.61	0.513	0.598	-0.105	-0.019	0.105	0.019	16.768	3.158	
04-Jul	5.9	10.7	0.55	0.75	336	542	0.61	0.541	0.605	-0.079	-0.015	0.079	0.015	12.697	2.430	
05-Jul	8	10.7	0.75	0.91	364	543	0.67	0.641	0.686	-0.029	0.015	0.029	0.015	4.332	2.304	
06-Jul	8.3	10.7	0.78	0.93	375	544	0.68	0.656	0.694	-0.034	0.005	0.034	0.005	4.893	0.667	
07-Jul	4.8	10.7	0.43	0.60	299	546	0.54	0.479	0.535	-0.068	-0.013	0.068	0.013	12.484	2.295	
08-Jul	5.8	10.7	0.54	0.72	325	547	0.59	0.536	0.592	-0.058	-0.002	0.058	0.002	9.712	0.387	
09-Jul	7.4	10.7	0.69	0.87	358	549	0.65	0.613	0.662	-0.039	0.010	0.039	0.010	6.040	1.542	
10-Jul	5.8	10.7	0.54	0.71	279	550	0.50	0.536	0.589	0.029	0.082	0.029	0.082	5.752	16.078	
13-Jul	7.6	10.8	0.70	0.85	360	555	0.64	0.619	0.655	-0.030	0.006	0.030	0.006	4.588	0.966	
14-Jul	1.7	10.8	0.16	0.30	232	557	0.41	0.340	0.387	-0.076	-0.030	0.076	0.030	18.304	7.150	
16-Jul	8.3	10.8	0.77	0.93	425	561	0.75	0.652	0.692	-0.106	-0.066	0.106	0.066	13.943	8.652	
17-Jul	8.6	10.8	0.80	0.95	411	563	0.73	0.666	0.704	-0.064	-0.026	0.064	0.026	8.754	3.617	
21-Jul	5.2	10.9	0.48	0.68	347	572	0.60	0.503	0.571	-0.103	-0.035	0.103	0.035	17.035	5.849	
23-Jul	6.2	10.9	0.57	0.74	281	577	0.48	0.550	0.602	0.063	0.115	0.063	0.115	12.955	23.576	
25-Jul	6.9	10.9	0.63	0.82	351	583	0.60	0.583	0.639	-0.019	0.037	0.019	0.037	3.191	6.145	
26-Jul	8.6	10.9	0.79	0.90	363	586	0.61	0.662	0.678	0.043	0.059	0.043	0.059	6.931	9.524	
27-Jul	8.7	10.9	0.80	0.94	471	588	0.80	0.667	0.698	-0.134	-0.103	0.134	0.103	16.723	12.806	
29-Jul	9.4	11.0	0.85	0.96	388	594	0.65	0.696	0.707	0.043	0.054	0.043	0.054	6.525	8.285	
30-Jul	9.5	11.0	0.86	0.97	428	597	0.71	0.700	0.712	-0.016	-0.005	0.016	0.005	2.296	0.752	
01-Aug	9.1	11.0	0.83	0.95	422	603	0.69	0.682	0.702	-0.018	0.002	0.018	0.002	2.561	0.350	
03-Aug	8.3	11.1	0.75	0.91	417	610	0.68	0.641	0.682	-0.042	-0.001	0.042	0.001	6.181	0.195	
05-Aug	7.8	11.1	0.70	0.86	386	617	0.62	0.618	0.657	-0.007	0.032	0.007	0.032	1.156	5.091	
06-Aug	5.7	11.1	0.51	0.73	379	620	0.61	0.522	0.597	-0.089	-0.014	0.089	0.014	14.625	2.282	
07-Aug	9	11.1	0.81	0.94	424	624	0.67	0.674	0.700	-0.006	0.021	0.006	0.021	0.879	3.091	
08-Aug	8.5	11.1	0.77	0.89	368	627	0.58	0.651	0.673	0.064	0.087	0.064	0.087	10.839	14.750	
09-Aug	8.6	11.1	0.77	0.92	401	631	0.63	0.655	0.688	0.020	0.053	0.020	0.053	3.090	8.318	
11-Aug	6.8	11.2	0.61	0.85	415	638	0.65	0.570	0.653	-0.081	0.003	0.081	0.003	12.426	0.396	
14-Aug	7.5	11.2	0.67	0.86	394	649	0.60	0.602	0.659	-0.006	0.052	0.006	0.052	0.917	8.555	
15-Aug	8	11.2	0.71	0.85	372	653	0.56	0.624	0.656	0.055	0.086	0.055	0.086	9.586	15.071	
17-Aug	8.6	11.3	0.76	0.91	385	661	0.58	0.648	0.682	0.066	0.100	0.066	0.100	11.278	17.143	
21-Aug	9.3	11.4	0.82	0.95	430	677	0.63	0.676	0.701	0.041	0.066	0.041	0.066	6.439	10.330	
22-Aug	9	11.4	0.79	0.85	416	681	0.61	0.663	0.654	0.052	0.043	0.052	0.043	8.474	7.095	
23-Aug	9.3	11.4	0.82	0.93	393	685	0.57	0.676	0.694	0.102	0.120	0.102	0.120	17.836	20.886	
24-Aug	7.5	11.5	0.65	0.84	401	689	0.58	0.593	0.649	0.011	0.067	0.011	0.067	1.822	11.426	
25-Aug	8.7	11.5	0.76	0.91	442	693	0.63	0.646	0.686	0.008	0.048	0.008	0.048	1.257	7.538	
26-Aug	7.7	11.5	0.67	0.83	441	697	0.63	0.601	0.647	-0.031	0.014	0.031	0.014	4.936	2.242	
28-Aug	6.8	11.5	0.59	0.74	452	706	0.64	0.562	0.602	-0.079	-0.038	0.079	0.038	12.286	5.896	
29-Aug	6.9	11.6	0.59	0.80	432	710	0.60	0.563	0.629	-0.045	0.021	0.045	0.021	7.410	3.398	
30-Aug	8	11.6	0.69	0.89	473	714	0.66	0.612	0.672	-0.051	0.010	0.051	0.010	7.659	1.444	
										media	-0.022	0.021	0.051	0.039	8.241	6.508

Tabela 12. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q0$ ) e método proposto ( $Q2/Q0$ ), resultados dos testes NBE, RMSE e MPE para cada método. Setembro outubro

dia	n	N	n/N	U	Q	Q0	Q/Q0	Q1/Q0	Q2/Q0	NBE(Q1)	NBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)	
04-Sep	3.8	11.7	0.32	0.46	299	735	0.40	0.426	0.411	0.019	0.004	0.019	0.004	4.631	0.964	
05-Sep	6.4	11.7	0.55	0.76	362	740	0.48	0.539	0.587	0.050	0.098	0.050	0.098	10.177	19.933	
06-Sep	8.3	11.7	0.71	0.87	471	744	0.63	0.622	0.655	-0.011	0.021	0.011	0.021	1.780	3.396	
08-Sep	9.3	11.8	0.79	0.94	421	752	0.55	0.662	0.693	0.102	0.133	0.102	0.133	18.239	23.780	
09-Sep	8.7	11.8	0.74	0.90	386	757	0.50	0.636	0.669	0.126	0.159	0.126	0.159	24.732	31.132	
10-Sep	9	11.8	0.76	0.91	460	761	0.60	0.649	0.674	0.045	0.069	0.045	0.069	7.364	11.468	
11-Sep	10.1	11.9	0.85	0.96	502	765	0.65	0.693	0.708	0.037	0.052	0.037	0.052	5.595	7.901	
12-Sep	10.2	11.9	0.86	0.97	504	769	0.65	0.697	0.710	0.042	0.055	0.042	0.055	6.370	8.378	
13-Sep	7.3	11.9	0.61	0.76	423	774	0.54	0.573	0.585	0.026	0.038	0.026	0.038	4.821	7.032	
14-Sep	8.8	11.9	0.74	0.91	441	778	0.56	0.637	0.677	0.070	0.110	0.070	0.110	12.403	19.396	
15-Sep	7.7	11.9	0.65	0.74	384	782	0.49	0.590	0.574	0.099	0.083	0.099	0.083	20.151	16.825	
16-Sep	0.6	11.9	0.05	0.25	212	786	0.26	0.286	0.283	0.016	0.013	0.016	0.013	5.930	4.963	
17-Sep	6.3	12.0	0.53	0.58	410	790	0.51	0.528	0.477	0.009	-0.042	0.009	0.042	1.688	8.172	
19-Sep	5.9	12.0	0.49	0.66	434	799	0.54	0.511	0.527	-0.032	-0.016	0.032	0.016	5.970	2.887	
21-Sep	9.2	12.1	0.76	0.92	548	807	0.67	0.648	0.681	-0.031	0.002	0.031	0.002	4.608	0.305	
24-Sep	10.3	12.1	0.85	0.96	576	819	0.70	0.694	0.706	-0.009	0.003	0.009	0.003	1.303	0.424	
26-Sep	7.8	12.2	0.64	0.82	448	827	0.54	0.586	0.623	0.044	0.082	0.044	0.082	8.187	15.070	
27-Sep	5.3	12.2	0.43	0.61	408	831	0.49	0.482	0.499	-0.009	0.008	0.009	0.008	1.918	1.653	
29-Sep	3.2	12.3	0.26	0.34	252	839	0.30	0.393	0.335	0.092	0.035	0.092	0.035	30.738	11.494	
30-Sep	9.5	12.3	0.77	0.94	557	843	0.66	0.654	0.691	-0.007	0.031	0.007	0.031	1.034	4.649	
02-Oct	8.8	12.3	0.72	0.87	512	851	0.60	0.625	0.653	0.023	0.052	0.023	0.052	3.852	8.573	
03-Oct	4.8	12.4	0.39	0.51	385	854	0.45	0.457	0.436	0.007	-0.015	0.007	0.015	1.464	3.364	
04-Oct	4.1	12.4	0.33	0.44	520	858	0.60	0.429	0.398	-0.177	-0.208	0.177	0.208	29.276	34.324	
05-Oct	8.2	12.4	0.66	0.82	530	862	0.61	0.597	0.624	-0.018	0.010	0.018	0.010	2.861	1.547	
06-Oct	4.4	12.4	0.35	0.60	395	866	0.45	0.441	0.492	-0.015	0.036	0.015	0.036	3.322	7.788	
07-Oct	2.3	12.4	0.19	0.28	294	869	0.33	0.355	0.301	0.016	-0.037	0.016	0.037	4.811	11.048	
09-Oct	3.8	12.5	0.30	0.41	408	876	0.46	0.415	0.381	-0.051	-0.085	0.051	0.085	10.888	18.222	
10-Oct	11	12.5	0.88	0.97	620	880	0.70	0.709	0.713	0.004	0.008	0.004	0.008	0.604	1.171	
11-Oct	9.8	12.5	0.78	0.92	533	884	0.60	0.660	0.683	0.057	0.080	0.057	0.080	9.437	13.321	
12-Oct	7.5	12.5	0.60	0.77	351	887	0.39	0.566	0.594	0.170	0.199	0.170	0.199	43.032	50.219	
13-Oct	5.3	12.6	0.42	0.49	408	891	0.45	0.475	0.426	0.017	-0.032	0.017	0.032	3.628	6.956	
14-Oct	11	12.6	0.87	0.97	627	894	0.70	0.705	0.713	0.004	0.011	0.004	0.011	0.555	1.605	
15-Oct	10.7	12.6	0.85	0.97	616	897	0.68	0.693	0.710	0.006	0.024	0.006	0.024	0.926	3.446	
17-Oct	3.4	12.7	0.27	0.33	301	904	0.33	0.397	0.330	0.064	-0.003	0.064	0.003	19.092	0.996	
18-Oct	6.7	12.7	0.53	0.65	403	907	0.44	0.529	0.521	0.085	0.077	0.085	0.077	19.070	17.278	
19-Oct	9	12.7	0.71	0.89	580	910	0.63	0.621	0.666	-0.016	0.028	0.016	0.028	2.502	4.424	
21-Oct	7.6	12.8	0.59	0.74	549	916	0.59	0.563	0.573	-0.037	-0.027	0.037	0.027	6.095	4.425	
22-Oct	3	12.8	0.23	0.38	354	919	0.38	0.380	0.360	-0.006	-0.026	0.006	0.026	1.472	6.669	
										media	0.021	0.027	0.043	0.053	8.961	10.400

Tabela 13. Estimativas diárias da relação  $Q/Q_0$  segundo o método tradicional ( $Q1/Q0$ ) e método proposto ( $Q2/Q0$ ), resultados dos testes MBE, RMSE e MPE para cada método. Novembro e dezembro

dia	n	N	n/N	U	Q	Q0	Q/Q0	Q1/Q0	Q2/Q0	MBE(Q1)	MBE(Q2)	RMSE(Q1)	RMSE(Q2)	MPE(Q1)	MPE(Q2)	
01-Nov	2.1	13.0	0.16	0.21	297	947	0.31	0.342	0.330	0.029	0.016	0.029	0.016	9.171	5.207	
02-Nov	5.5	13.0	0.42	0.44	394	949	0.41	0.476	0.434	0.061	0.019	0.061	0.019	14.595	4.476	
03-Nov	5.6	13.0	0.43	0.53	642	952	0.67	0.480	0.474	-0.195	-0.200	0.195	0.200	28.868	29.662	
04-Nov	10.7	13.1	0.82	0.94	634	954	0.66	0.677	0.664	0.012	-0.001	0.012	0.001	1.805	0.122	
05-Nov	7.9	13.1	0.60	0.66	482	956	0.50	0.568	0.533	0.063	0.029	0.063	0.029	12.569	5.792	
06-Nov	5.5	13.1	0.42	0.85	561	959	0.58	0.474	0.621	-0.111	0.036	0.111	0.036	18.951	6.199	
08-Nov	10.8	13.1	0.82	0.95	669	963	0.69	0.680	0.669	-0.014	-0.026	0.014	0.026	2.051	3.689	
09-Nov	8.7	13.2	0.66	0.81	586	965	0.60	0.596	0.606	-0.011	-0.002	0.011	0.002	1.831	0.249	
10-Nov	7.5	13.2	0.57	0.72	512	967	0.52	0.550	0.562	0.020	0.032	0.020	0.032	3.834	6.087	
15-Nov	4.9	13.2	0.37	0.5	349	977	0.35	0.449	0.459	0.092	0.102	0.092	0.102	25.783	28.458	
16-Nov	6.7	13.3	0.50	0.62	509	978	0.52	0.517	0.518	-0.004	-0.003	0.004	0.003	0.679	0.551	
18-Nov	9.5	13.3	0.71	0.79	573	982	0.58	0.624	0.597	0.041	0.013	0.041	0.013	6.989	2.277	
20-Nov	11.3	13.3	0.85	0.94	705	985	0.71	0.693	0.665	-0.022	-0.050	0.022	0.050	3.134	7.040	
22-Nov	8.4	13.3	0.63	0.62	462	988	0.46	0.582	0.519	0.114	0.051	0.114	0.051	24.485	10.906	
23-Nov	11.4	13.4	0.85	0.96	664	989	0.67	0.694	0.674	0.022	0.003	0.022	0.003	3.351	0.435	
25-Nov	8.6	13.4	0.64	0.72	588	992	0.59	0.587	0.563	-0.005	-0.030	0.005	0.030	0.916	5.097	
27-Nov	10.4	13.4	0.78	0.92	706	995	0.70	0.656	0.657	-0.054	-0.053	0.054	0.053	7.572	7.471	
28-Nov	11.4	13.5	0.84	0.96	655	996	0.65	0.691	0.675	0.033	0.017	0.033	0.017	5.024	2.603	
29-Nov	11.4	13.5	0.84	0.96	680	997	0.68	0.691	0.674	0.009	-0.008	0.009	0.008	1.264	1.229	
02-Dec	10.7	13.5	0.79	0.96	634	1000	0.63	0.664	0.671	0.030	0.037	0.030	0.037	4.767	5.895	
03-Dec	5.4	13.5	0.40	0.58	449	1001	0.44	0.464	0.499	0.015	0.051	0.015	0.051	3.444	11.348	
04-Dec	6.1	13.5	0.45	0.61	424	1002	0.42	0.490	0.514	0.067	0.091	0.067	0.091	15.902	21.484	
05-Dec	6.3	13.5	0.47	0.52	482	1003	0.48	0.498	0.471	0.017	-0.009	0.017	0.009	3.629	1.968	
06-Dec	9.5	13.5	0.70	0.82	577	1004	0.57	0.619	0.610	0.044	0.035	0.044	0.035	7.689	6.087	
07-Dec	9.4	13.5	0.70	0.79	569	1005	0.56	0.615	0.594	0.049	0.027	0.049	0.027	8.644	4.837	
08-Dec	8.2	13.5	0.61	0.76	527	1005	0.52	0.570	0.579	0.045	0.055	0.045	0.055	8.658	10.405	
12-Dec	8.2	13.6	0.60	0.83	587	1008	0.58	0.568	0.611	-0.015	0.028	0.015	0.028	2.549	4.880	
13-Dec	7.9	13.6	0.58	0.77	577	1008	0.57	0.556	0.587	-0.016	0.014	0.016	0.014	2.825	2.469	
14-Dec	8.9	13.6	0.65	0.81	578	1009	0.57	0.594	0.605	0.021	0.022	0.021	0.032	3.649	5.591	
15-Dec	5.1	13.6	0.36	0.58	568	1009	0.56	0.451	0.496	-0.112	-0.067	0.112	0.067	19.840	11.932	
16-Dec	4.9	13.6	0.36	0.40	431	1010	0.42	0.444	0.414	0.017	-0.013	0.017	0.013	3.988	3.023	
17-Dec	5	13.6	0.37	0.49	383	1010	0.37	0.448	0.458	0.068	0.079	0.068	0.079	18.009	20.863	
18-Dec	8.2	13.6	0.60	0.72	581	1010	0.57	0.568	0.563	-0.008	-0.012	0.008	0.012	1.347	2.059	
19-Dec	2.5	13.6	0.18	0.29	337	1011	0.33	0.354	0.363	0.020	0.029	0.020	0.029	6.125	8.839	
24-Dec	0.3	13.6	0.02	0.02	358	1011	0.35	0.271	0.242	-0.083	-0.112	0.083	0.112	23.398	31.665	
25-Dec	7.1	13.6	0.52	0.65	489	1012	0.48	0.526	0.532	0.043	0.049	0.043	0.049	8.909	10.193	
26-Dec	10.3	13.6	0.76	0.85	651	1011	0.64	0.646	0.622	0.002	-0.022	0.002	0.022	0.362	3.386	
28-Dec	9.7	13.6	0.71	0.87	537	1011	0.53	0.624	0.632	0.093	0.101	0.093	0.101	17.432	18.926	
										media	0.010	0.009	0.044	0.041	8.790	8.247

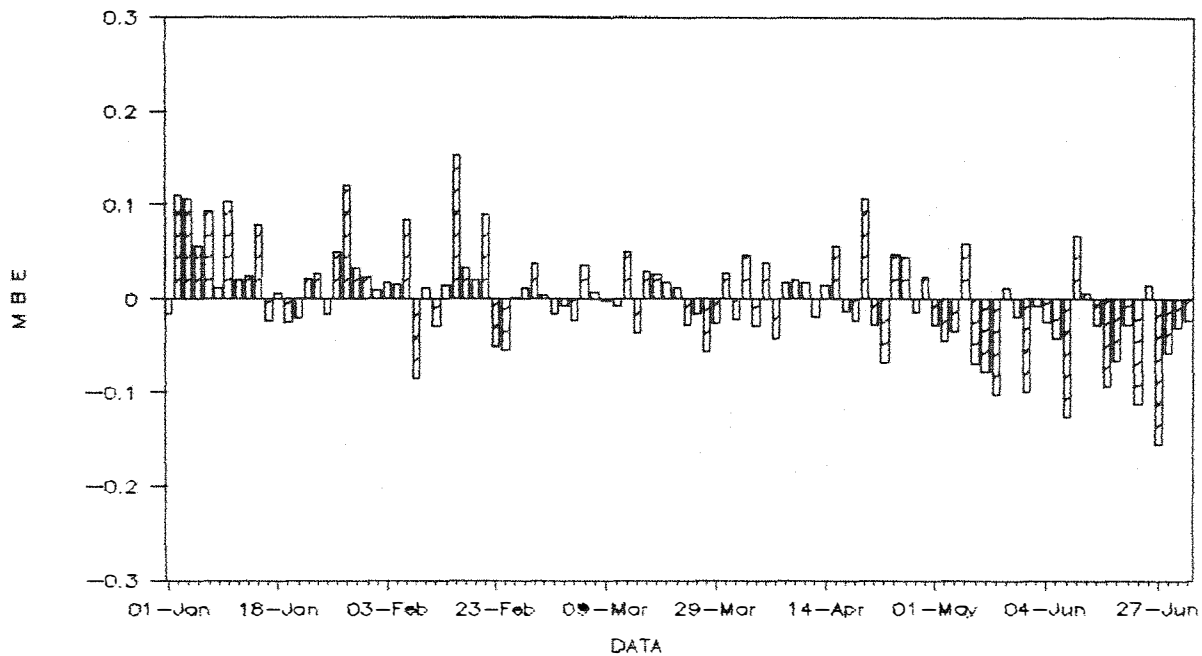


Figura 7a. Teste MBE para o método tradicional de janeiro a junho.

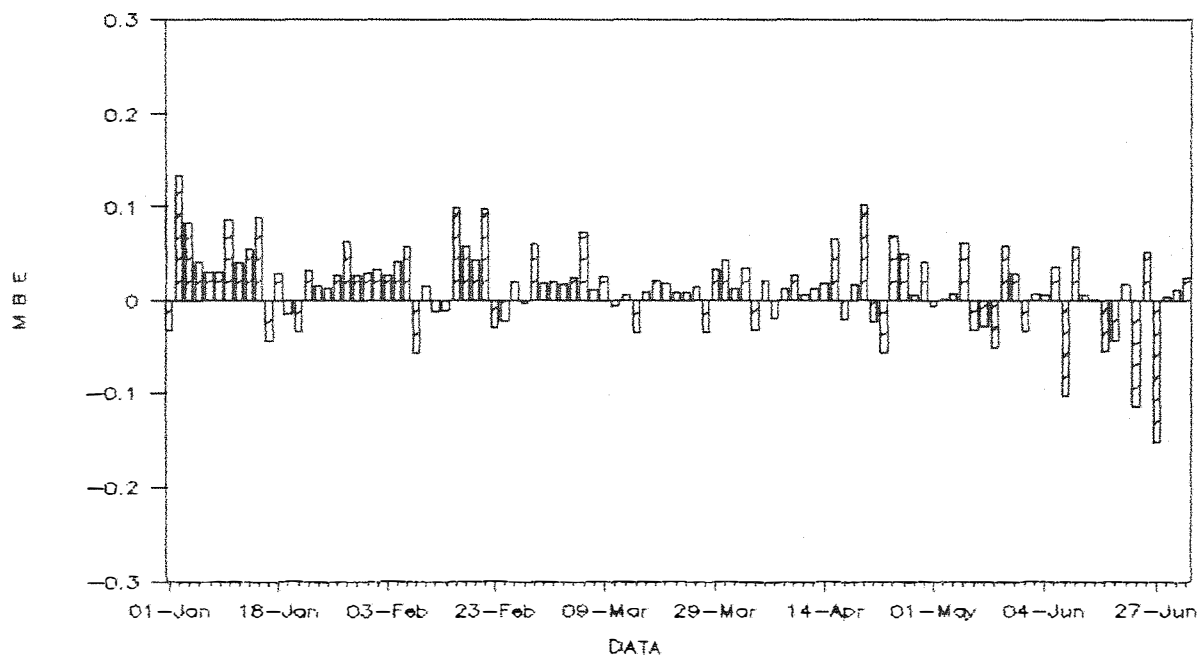


Figura 7b. Teste MBE para o método proposto de janeiro a junho.

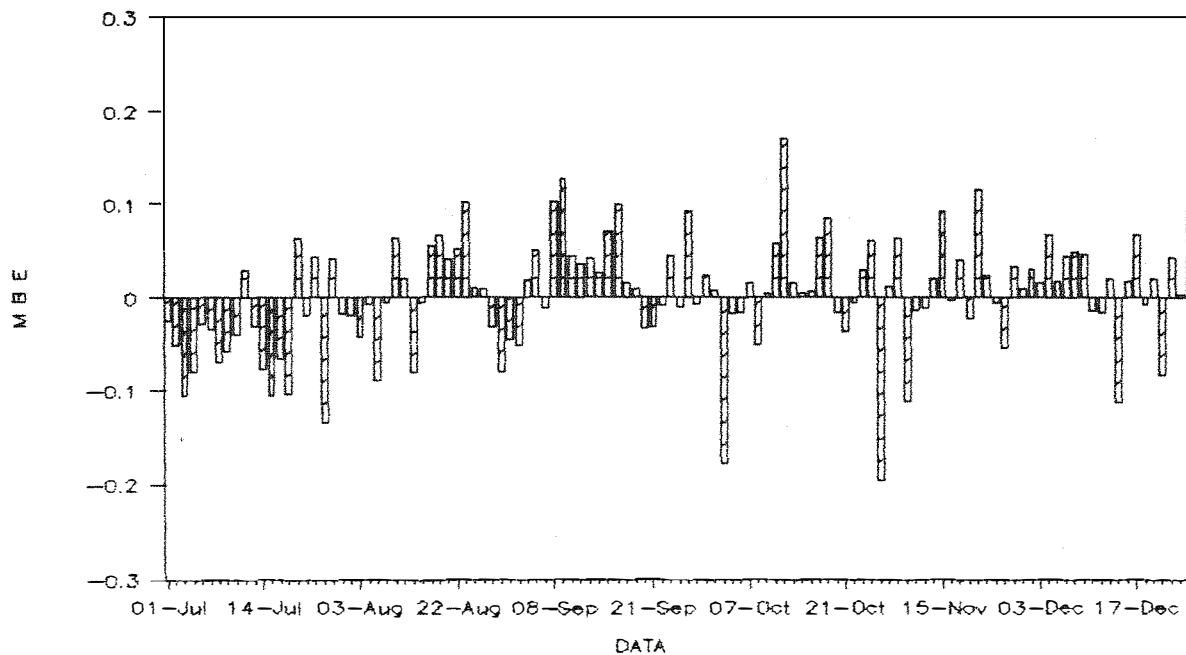


Figura 8a. Teste MBE para o método tradicional de julho a dezembro.

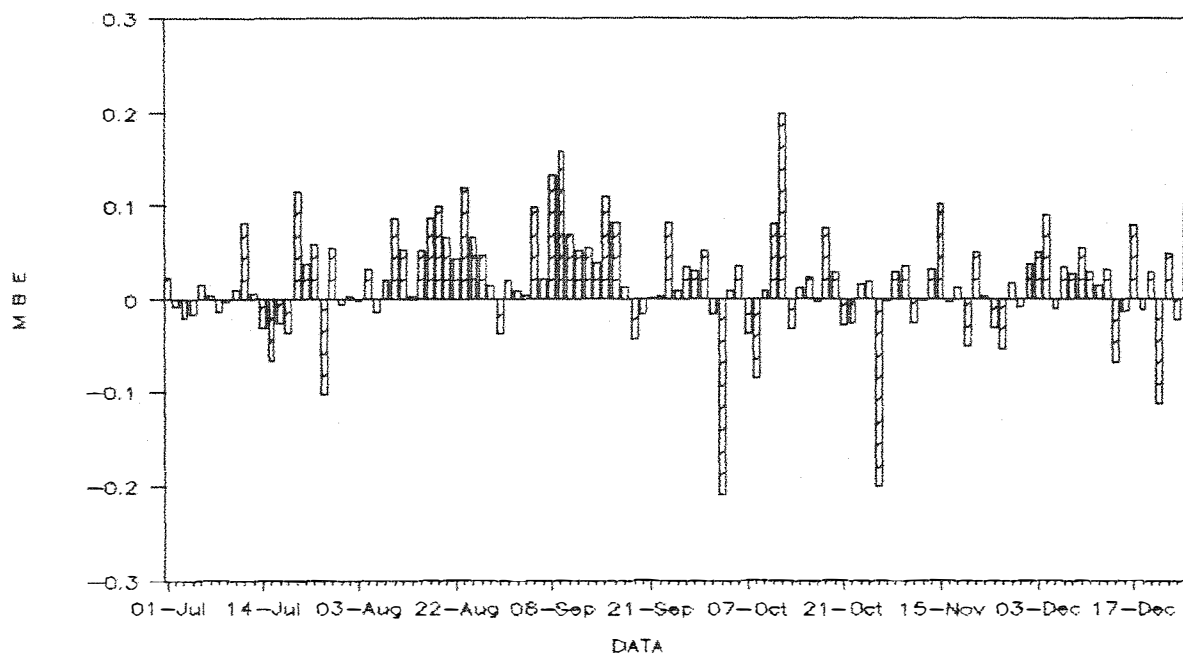


Figura 8b. Teste MBE para o método proposto de julho a dezembro.

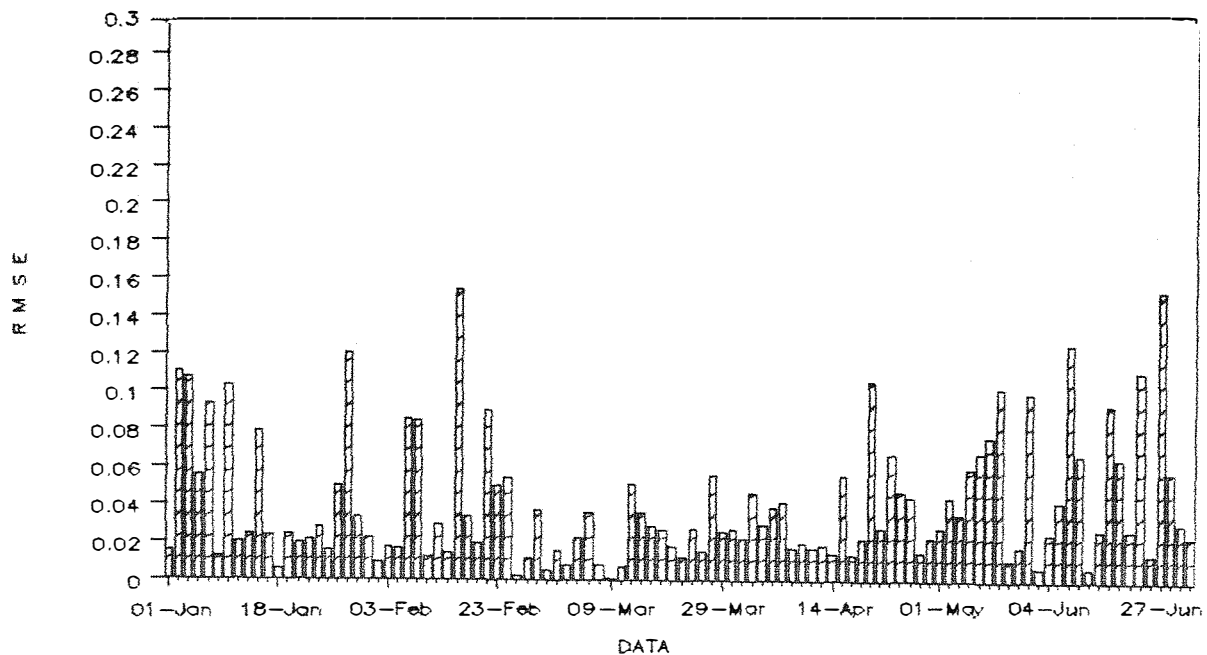


Figura 9a. Teste RMSE para o método tradicional de janeiro a junho.

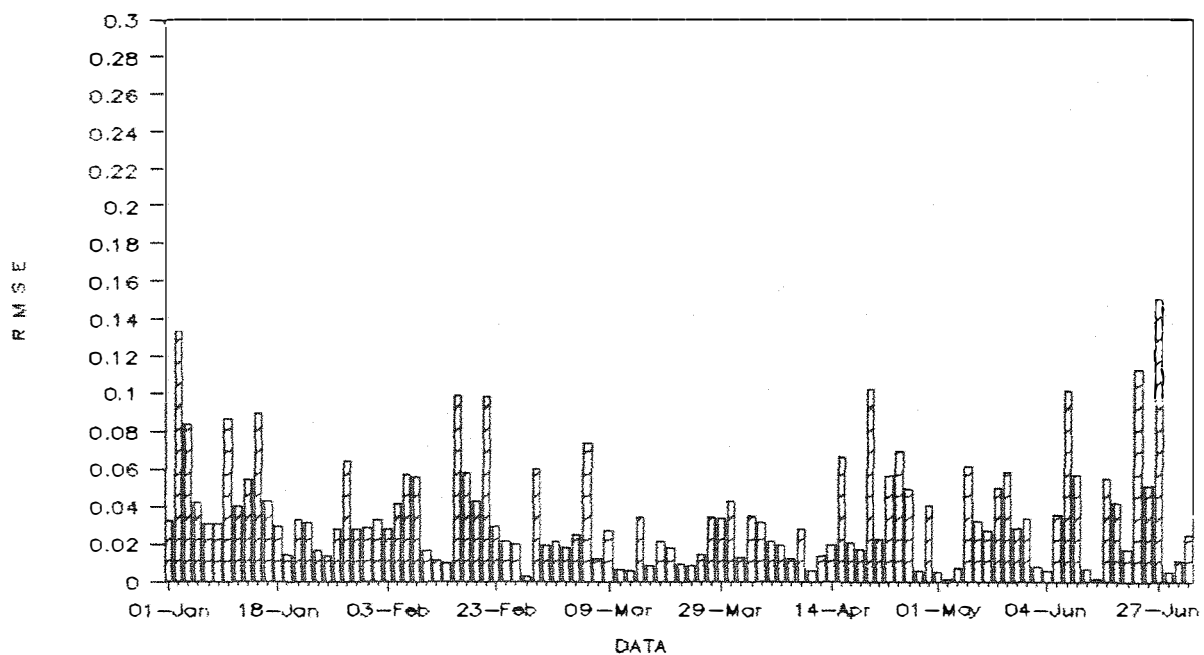


Figura 9b. Teste RMSE para o método proposto de janeiro a junho.

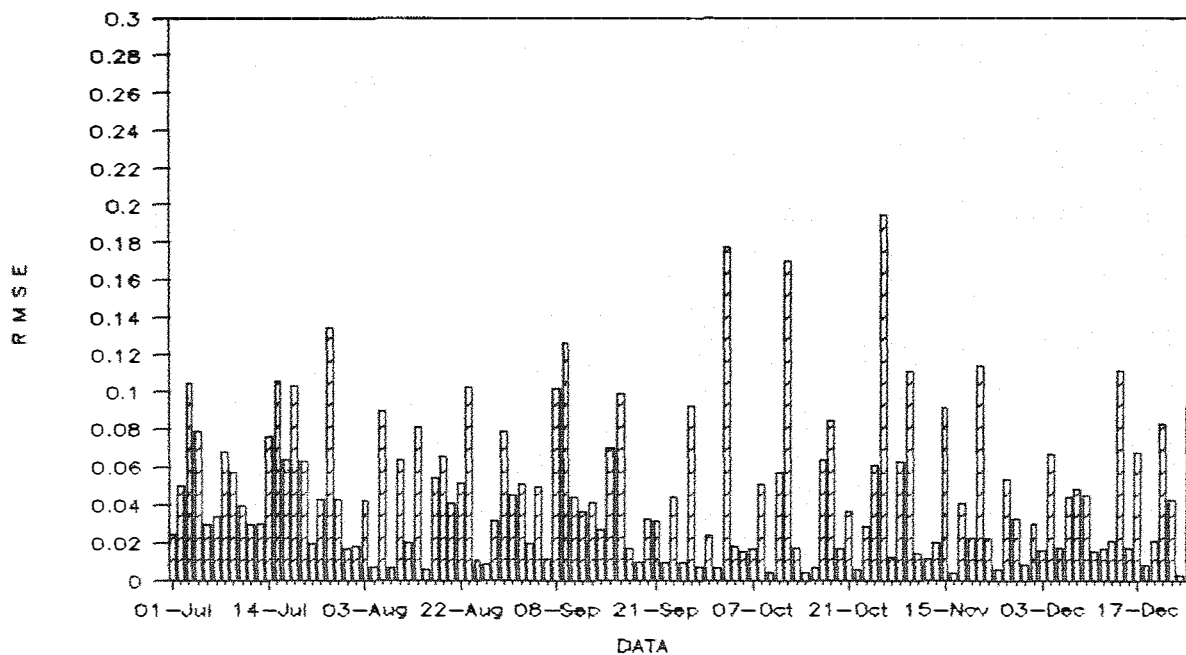


Figura 10a. Teste RMSE para o método tradicional de julho a dezembro.

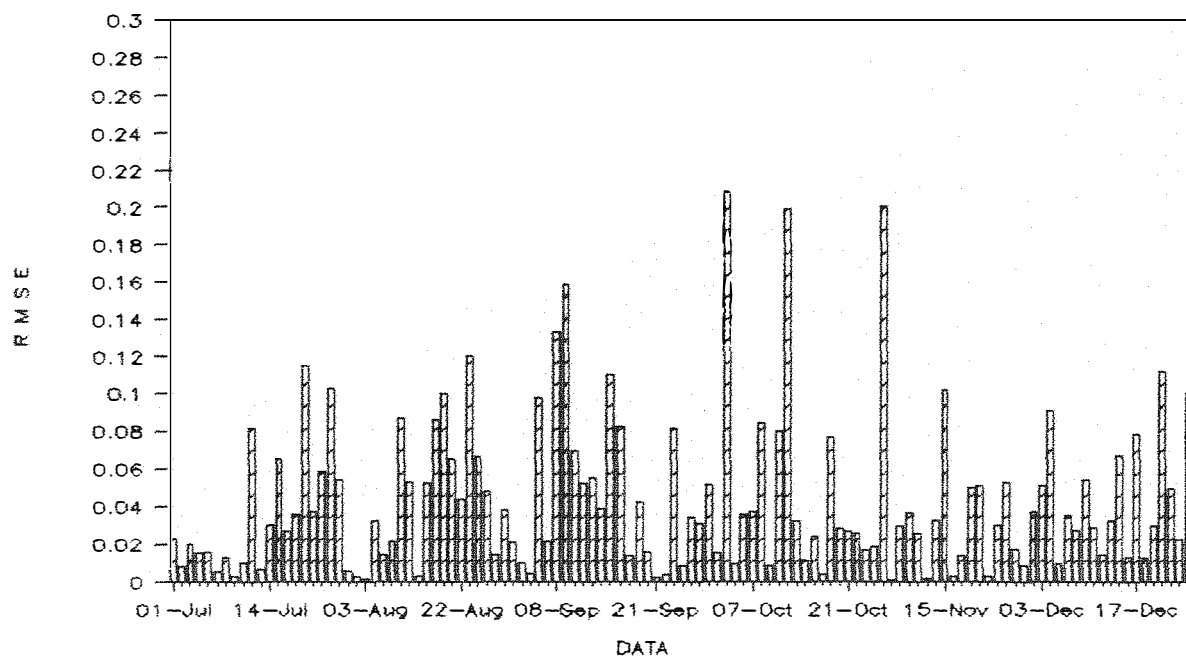


Figura 10b. Teste RMSE para o método proposto de julho a dezembro.



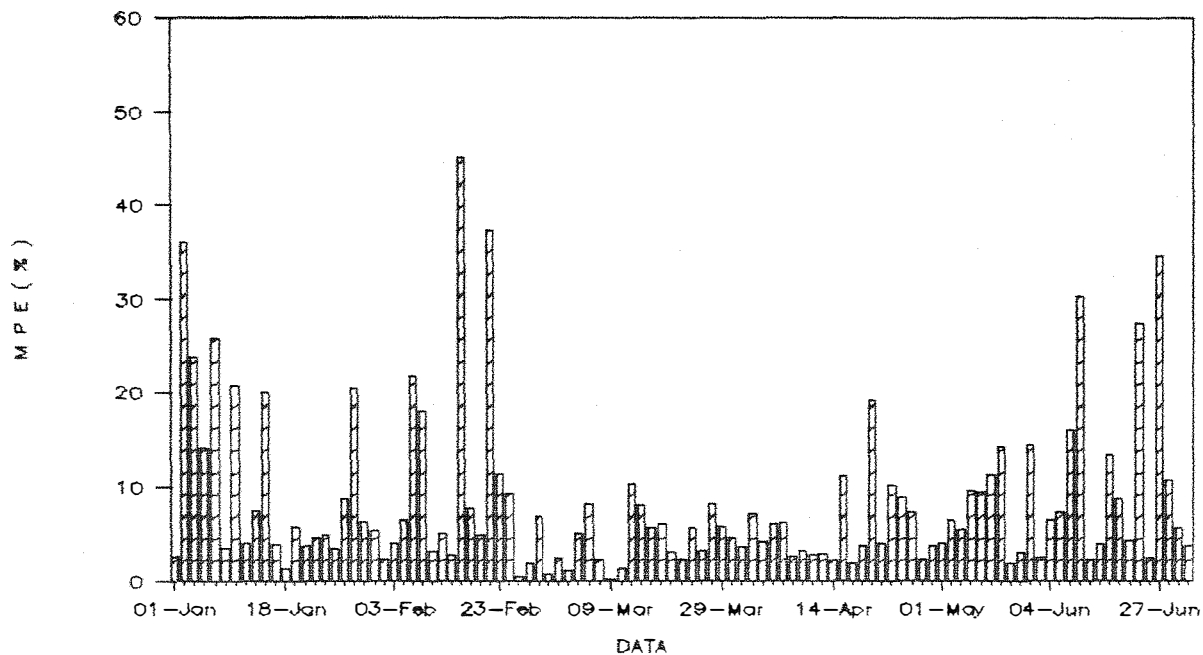


Figura 11a. Teste MPE para o método tradicional de janeiro a junho.

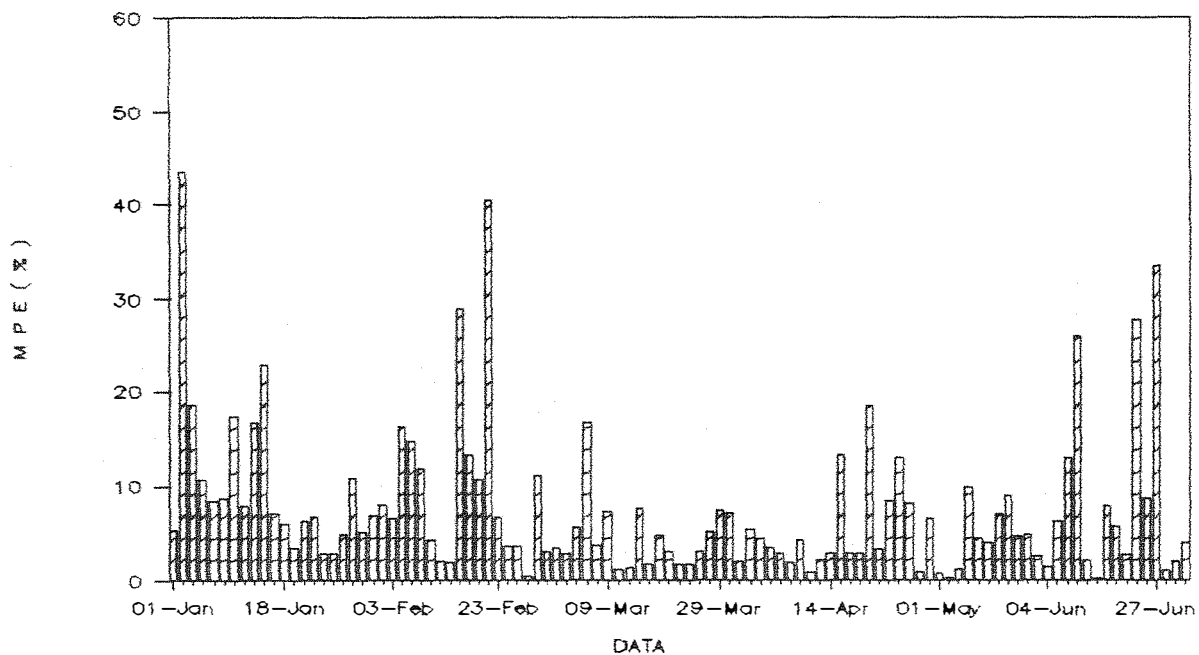


Figura 11b. Teste MPE para o método proposto de janeiro a junho.

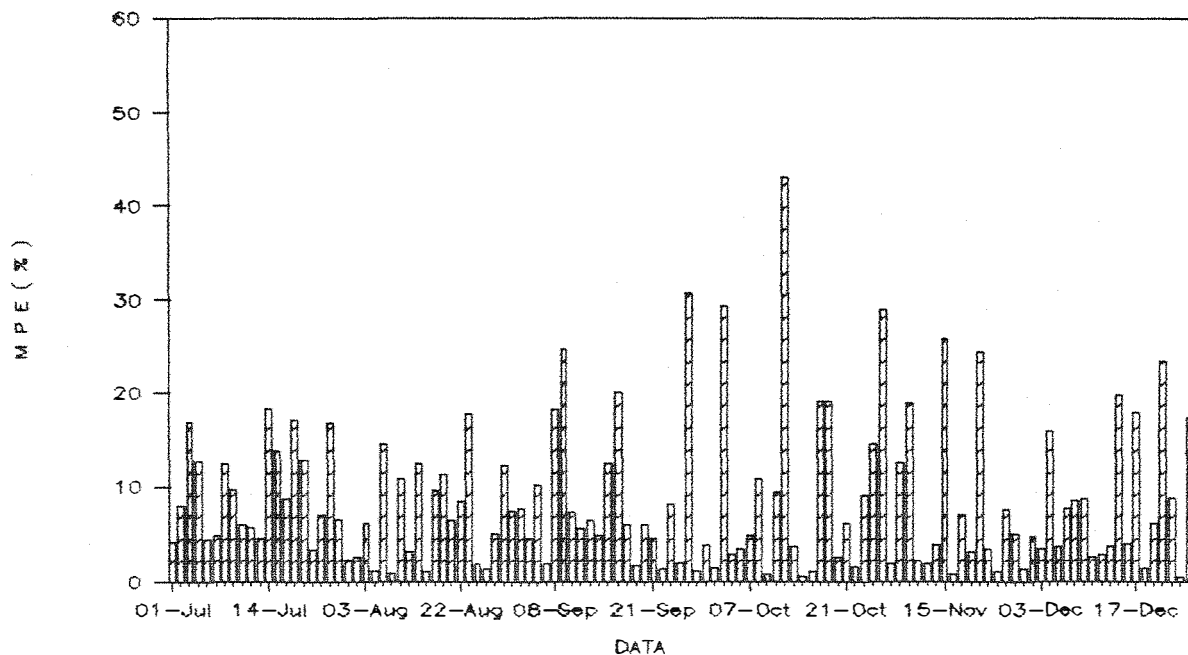


Figura 12a. Teste MPE para o método tradicional de julho a dezembro.

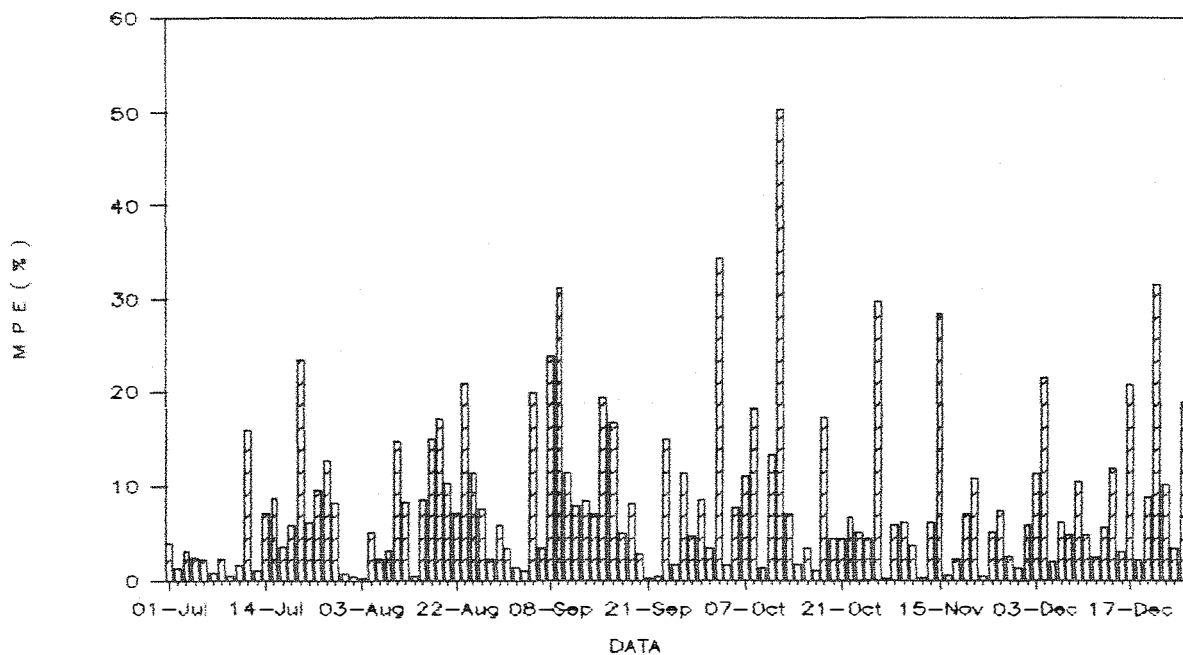


Figura 12b. Teste MPE para o método proposto de julho a dezembro.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O teste MBE mostra a tendência dos métodos a super ou subestimar os valores observados. O método tradicional (figuras 7a e 8a), apresentou uma tendência a subestimar bem evidente entre abril e julho, e de superestimar principalmente nos meses de dezembro e janeiro, mostrando a inadequação de utilizar-se coeficientes válidos para todo o ano. O modelo proposto (figuras 7b e 8b), apresentou uma menor tendência a superestimar durante os meses de janeiro, fevereiro, agosto e setembro e também tendeu a atenuar as subestimativas mostradas pelo método tradicional entre abril e julho. As superestimativas podem estar relacionadas as estimativas de  $T_N$ , diretamente relacionado à cobertura de nuvens. Uma melhor estimativa desse parâmetro, através de um número maior de observações, poderia diminuir a tendência a superestimativa nesse período.

O teste MBE, para o período observado, apresentou os valores médios para o ano de 0,002 e 0,017 para o método tradicional e o proposto, respectivamente, mostrando uma melhor resposta do primeiro. Para três dos bimestres, entretanto, os resultados são muito semelhantes, mostrando bons resultados para ambos os métodos.

O segundo teste, RMSE, representado nas figuras (9a) a (10b), apresentou resultados muito semelhantes para os dois modelos, tanto para os bimestres (tabelas 6 e 8 a 13), como para o período do ano como um todo, 0,044 para o método tradicional e 0,040 para o método proposto, revelando um bom ajuste para ambos. O melhor ajuste ocorreu no mesmo período para os dois modelos (março e abril) mas o modelo tradicional se afasta mais no período de maio a junho, enquanto para o modelo proposto isso ocorre nos meses de setembro e outubro.

O último teste ( figuras 11a a 12b) mostra a variação percentual do valor calculado em relação ao observado, para o ano como um todo. O modelo proposto apresentou uma melhora de 0,5% em relação ao método tradicional, 8,0% e 8,5% respectivamente. A diferença média anual em favor do método proposto ocorre nos períodos de maio a agosto e novembro a fevereiro, atingindo por vezes valores próximos a 2,5%.

No período compreendido entre os meses de maio e agosto o número de dias em que o erro na estimativa diária supera 10% é muito maior para o método tradicional do que para o modelo proposto, pois o método tradicional apresentou um erro superior aos 10% em 23 casos dos 67 calculados, contra apenas 12 do modelo proposto. Para o período de setembro a abril a situação se inverte, ocorrendo 36 casos no método tradicional e 44 no método proposto, totalizando no ano 61

casos no método tradicional e 57 no método proposto.

O erro médio anual para o modelo proposto bem como para o método tradicional são aceitáveis, se comparados, por exemplo, à magnitude do erro de planimetria dos registros de um actinógrafo.

O fato do método proposto suplantar o tradicional nas estimativas diárias no período seco do ano reforça a hipótese de que uma melhor determinação de  $T_A$  e  $T_N$  pode diminuir o erro das estimativas proporcionadas pelo método, principalmente na época úmida, conforme já discutido. A respeito de  $T_A$  e  $T_N$ , observou-se uma correlação inversa entre seus valores (tabela 6), com diminuição de  $T_N$  nos meses mais secos e aumento de  $T_A$ , causado pelo decréscimo de vapor d'água da atmosfera.

O menor erro das estimativas diárias e a menor tendência a apresentar super ou subestimativas ao longo do ano indicam que o método proposto pode ser utilizado em substituição ao tradicional. Uma definição sobre o seu melhor desempenho em relação ao tradicional depende de comparação entre eles em outras situações que as deste estudo, como por exemplo, outros períodos ou outros locais. Uma sugestão para estudos futuros é verificar o comportamento de  $T_A$  e  $T_N$  em função da época do ano em diferentes locais. Nos estudos com o método tradicional, que se baseia em análise de regressão e cujos coeficientes das equações são determinados para cada época do ano e local, tem-se tentado encontrar correlação de

"a" e "b" com a latitude, por exemplo, no sentido de que sua aplicação não fique restrita as localidades para as quais esses coeficientes foram determinados, as quais obviamente já possuem medições de irradiância global, o que não justificaria as estimativas em todas as situações. Uma tentativa de associar  $T_A$  e  $T_N$  com a latitude e época do ano poderia tornar o modelo proposto de aplicação mais universal.

Espera-se que um maior número de observações acentue as diferenças entre os métodos, principalmente devido a possibilidade do método proposto fornecer uma melhor estimativa nos dias em que ocorrem pequenos valores da razão de insolação, o que não foi possível avaliar neste trabalho, devido a necessidade da utilização da maioria destes dados para estimativa dos coeficientes de transmissividade atmosférica e da cobertura de nuvens.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO

(a) O método proposto permitiu boas estimativas de irradiância solar global ao nível do solo.

(b) Para valores diários, nas condições do estudo, o modelo proposto apresentou-se ligeiramente superior ao método tradicional, principalmente porque neste último a utilização de um único valor anual para "a" e para "b" nas equações de regressão provocaram maior tendência de super ou subestimativas nas diferentes épocas do ano.

(c) Sugere-se estudos adicionais aos aqui realizados, incluindo-se outros períodos e locais, no sentido de uma melhor definição sobre o comportamento do método proposto e sobre sua aplicação de forma mais generalizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK, J.N.; BONITHON, C.W.; PRESCOTT, J.A. Solar radiation and the duration of sunshine. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, London, **80**(344): 231-5, 1954.
- CERVELLINI, A.; SALATI, E.; GODOY, H. Estimativa da distribuição de energia solar no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **25**(8): 31-40, 1966.
- COULSON, L.K. *Solar and terrestrial radiation; methods and measurements*. New York, Academic Press, 1975. 322p.
- DAVIES, J.A. Estimation of insolation for West Africa. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, London, **91**(389): 359-63, 1965.
- GLOVER, J. & McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine in the high-altitude tropics. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, London, **84**(359): 56-60, 1958a.
- GLOVER, J. & McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, London, **84**(360): 172-5, 1958b.



- GOPINATTAN, K.K. A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration. *Solar Energy*, Oxford **41(6)**: 499-502, 1988.
- LIST, R.J., ed. *Smithsonian meteorological tables*. 6. ed. Washington, Smithsonian Institution Press, 1984. 527p.
- LOPES, N.F.; GOMES, A.S.; MOTA, F.S.; GARCEZ, J.R.B.; GOEDERT, C.O.; BOING, J. *Estimativa da radiação solar durante o ciclo vegetativo dos cereais no Rio Grande do Sul*. Pelotas, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, 1971. 32p. (Boletim Técnico, 73).
- MARTINEZ-LOZANO, J.A.; TENA, F.; ONRUBIA, J.E.; DE LA RUBIA, J. The historical evolution of the Angström formula and its modification: review and bibliography. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, **33**: 109-28, 1984.
- MATEER, C.L. A preliminary estimate of the average insolation in Canada. *Canadian Journal of Agricultural Science*, Ottawa, **35(6)**: 579-94, 1955.
- MOTA, F.S. Estimativa de radiação líquida em Pelotas, RS. *Ciencia e Cultura*, São Paulo, **28(10)**: 1174-8, 1976.
- OMETTO, J.C. Estudo das relações entre radiação solar global radiação líquida insolação. Piracicaba, 1968. 64p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

- REIS, A.C.S.; COELHO, T.J.F.; ALVES, N.L.L. Estimativa da energia solar global na área do Recife, baseada em registros de insolação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, Brasília, **8**(7): 177-9, 1973.
- 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. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- RIBEIRO, M.N.G.; SALATI, E.; VILLA NOVA, N.A.; DEMETRIO, C.G.B. Radiação solar disponível em Manaus (AM) e suas relações com a duração do brilho solar. *Acta Amazonica*, Manaus, **12**(2): 339-46, 1982.
- RIETVELD, M.R. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **19**(3): 243-52, 1978.
- ROSENBERG, N.J. *Microclimate; the biological environment*. New York, John Wiley & Sons, 1974. 315p.
- SÁ, D.F. Alguns aspectos da energia solar em Mandacaré. *Boletim de Recursos Naturais da SUDENE*, Recife, **11**(1): 11-26, 1973.
- SANTOS, R.; ANDRÉ, R.G.B.; VOLPE, C.A. Estimativa de radiação solar global em Jaboticabal, SP. *Científica*, São Paulo, **11**(1): 31-9, 1983.

- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L.; FOLONI, L.L. Radiação solar global e insolação em Botucatu, SP, médias mensais. *Botucatu Científica*. Série A, Botucatu, 2(1): 25-34, 1977.
- WILLMOTT, C.J. On the validations of models. *Physical Geography, Silver Spring* 2(2): 184-94, 1981.

## APÊNDICE

Tabela 1. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Janeiro de 1967.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L31	L32				
1	6.9	10.2	10.5	10.6	11.2	11.8	11.9	15.8	16.9	18.0	18.1	18.3																								
2	6.3	15.9	16.3	16.9	17.0	17.1																														
3	8.1	8.3	8.4	8.5	9.5	9.9	10.0	10.6	10.8	10.9	11.2	13.5	14.0	14.4	15.0	15.1																				
4	6.1	7.0	7.2	7.7	7.8	8.0	9.3	9.5	9.6	9.8	10.3	10.4	10.7	13.4	13.5	14.2	14.5	14.8	15.0	16.4	16.5	17.0	17.4	18.3												
5	13.7	13.8	14.4	14.9	15.0	15.3	15.5	15.6																												
6	12.1	12.9	13.0	14.4	14.5	14.7	14.8	15.2	15.3	15.8	15.9	18.0																								
7	7.0	8.2	8.4	8.5	8.6	14.2	14.9	18.4																												
8	6.1	6.8	7.1	14.4	14.5	14.9	15.2	15.4	16.1	16.7	16.9	18.1																								
9	9.0	10.5	10.6	10.7	10.8	12.1	12.2	12.4																												
10	11.5	12.0	13.1	15.6																																
11	10.6	11.0	11.1	11.3	11.5	11.6	11.7	11.8																												
12	13.9	14.9	15.1	15.4																																
13	7.6	7.9	8.1	8.3	8.5	8.6	8.8	9.4	9.5	9.9	10.1	11.2	11.3	12.2	13.4	13.6	17.8																			
14	8.1	8.4	9.0	9.3	9.4	12.0	12.3	12.5	12.8	12.9	13.0	16.9																								
15	10.1	10.4	10.5	12.2	12.4	12.6	12.8	13.1	13.4	13.5																										
16	10.3	10.4	10.5	10.9	11.0	11.6	11.7	13.0	13.1	14.4	14.5	14.9	15.4	15.6	15.9	16.3	16.6	17.7	18.2	18.4																
17	6.0	12.9	13.1	13.5	13.7	14.4	16.1	16.2	16.4	16.5	16.6	16.7	17.0	17.1	17.8	18.3																				
18	6.0	6.5	6.6	6.7	6.8	7.0	7.1	7.6	7.7	7.8	8.5	9.1	9.3	9.8	9.9	10.9	11.0	13.7	14.8	15.0	15.9	16.4														
19	6.9	7.1	7.2	7.4	7.7	7.8	7.9	8.0	10.4	11.0	11.1	11.2	13.5	15.0	15.1	15.9	16.6	17.9																		
20	6.7	6.9	11.1	11.6	12.0	12.3	12.5	13.4																												
21	8.2	8.7	10.8	12.1	12.5	12.7	13.0	17.8																												
22	7.4	7.7	7.8	8.0	8.3	8.4	9.1	9.2	9.3	9.9	10.3	10.5	10.7	11.2	11.5	12.5	12.9	14.3	14.4	14.8	15.0	15.2	15.6	15.8	16.1	16.2	16.4	16.5	16.6	17.0	17.1	18.3				
23	5.9	12.1	12.2	12.9	13.0	13.5	14.0	14.6	14.9	15.4	15.5	15.9	16.0	16.8	17.2	17.4																				
24	FALHA																																			
25	7.0	18.0																																		
26	7.2	8.9	9.1	12.7	17.4	17.7																														
27	6.9	7.1	7.4	7.5	7.6	9.2	9.4	9.9	10.0	10.4	10.7	10.9	11.1	17.4																						
28	5.8	13.8	14.1	17.8	17.9	18.1																														
29	6.1	10.6	10.8	12.7	12.8	13.1	13.4	13.9	14.0	14.3	14.9	15.5																								
30	7.3	7.9	8.0	8.1	8.2	10.0	10.2	12.0	12.2	12.4	14.6	15.0																								
31	16.1	16.2	17.0	17.3	17.4	17.5																														

Tabela 2. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Fevereiro de 1967.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30
1	10.5	10.6	11.0	11.1	11.3	11.4	12.1	12.4																						
2	7.7	7.8	9.2	11.0	11.5	12.2	12.5	13.2	13.8	14.4	15.8	16.0	17.0	17.1																
3	8.7	11.3	11.5	13.2	17.5	17.8																								
4	11.8	12.0	12.7	12.8																										
5	0.0	0.0																												
6	12.9	13.0	14.3	14.4	14.5	15.0	15.2	15.5	17.1	17.3																				
7	6.8	15.7	16.0	16.4	16.7	17.6																								
8	6.3	11.8																												
9	6.7	7.9	8.1	9.4	9.5	9.7	9.9	10.7	14.1	14.9	15.3	15.4	15.7	15.8																
10	9.7	9.8	10.2	10.3	11.0	11.2	11.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	13.6	14.3	15.2	16.0	16.7	17.4	17.5	17.6	17.8	17.9	18.1				
11	FALHA																													
12	7.6	8.7	8.8	10.1	10.2	12.2	12.7	15.4	16.2	16.8																				
13	6.2	9.4	9.6	10.9	11.0	12.7	12.8	13.9	14.1	18.0																				
14	6.6	7.3	8.8	13.6	16.5	18.1																								
15	6.5	6.7	6.8	17.9																										
16	6.4	10.8	10.9	11.6	13.1	13.2	13.5	13.8	14.0	14.9																				
17	8.3	12.0	12.1	12.5	12.6	13.1	13.2	13.3	13.4	13.6	13.7	13.8	14.2	14.5																
18	FALHA																													
19	8.9	9.0	9.1	9.3	10.2	10.4																								
20	16.2	16.3	16.7	17.0	17.6	17.8																								
21	7.7	7.8	8.1	10.3	10.4	10.9	11.0	11.1	11.3	11.6	12.7	12.9	13.1	13.9	14.3	14.4														
22	7.8	8.4	8.8	8.9	10.1	10.6	11.0	11.6	11.7	11.9																				
23	8.7	8.9	9.2	11.8	13.6	14.0	16.2	16.3																						
24	7.4	11.8	11.9	17.9																										
25	8.7	15.6																												
26	6.8	6.9	7.0	7.2	7.3	8.1	8.5	8.7	8.8	8.9	9.0	11.5	11.6	12.0	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8	13.3	13.6	15.2	15.5	15.7	15.9	16.0	16.1	17.1	17.2	17.5
27	7.1	7.3	7.8	18.0																										
28	7.3	7.7	7.9	13.3	13.6	14.9	15.0	15.3	15.4	17.5	17.7	17.8																		

Tabela 3. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Marco de 1967.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30		
1	6.8	9.0	9.1	15.0																												
2	6.5	16.0																														
3	7.1	7.5	7.6	15.8																												
4	7.1	14.5	14.7	16.7																												
5	8.4	9.9	10.2	11.7	12.4	12.6	12.9	13.6	13.9	14.5																						
6	8.7	8.9	9.0	9.4	9.8	11.0	11.1	12.0	12.1	12.3	12.5	13.2	13.9	15.5	1.3	16.5																
7	6.8	6.9	7.6	7.9	8.9	9.0	9.4	9.7	11.0	11.2	11.8	12.0	12.6	12.8	15.5	15.6	15.8	16.0	16.7	16.8												
8	7.3	8.1	8.6	9.4	10.6	10.8	10.9	11.0	11.7	11.8	14.4	14.6																				
9	9.0	9.1	9.4	9.5	9.6	9.9	11.1	11.3	12.7	12.9	13.1	13.8	13.9	14.0	14.2	14.6	15.2	15.6	15.7	16.2	17.6	17.7										
10	8.9	9.0	9.8	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	11.5	17.7																						
11	6.6	9.5	9.6	9.7	10.5	11.5	11.8	11.9	13.0	13.4	13.8	14.0	14.8	15.1	15.2	15.6	15.7	16.3	16.6	17.3	17.5	17.6										
12	7.6	9.0	10.0	10.1	10.2	11.2	11.4	11.5	13.8	13.9	14.4	15.2	15.6	15.7	16.6	16.7	16.8	17.1														
13	12.6	12.7	13.1	13.6	13.7	13.8	14.4	14.6																								
14	10.5	10.6																														
15	9.2	9.3	9.4	9.6	9.7	10.6	15.3	15.7																								
16	6.7	7.3	7.6	10.1	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.8	11.9	12.1	12.5	12.9	13.3	13.4	13.6	14.2	14.5	14.7	15.5	15.8	17.5								
17	6.7	10.7	10.9	11.1	11.6	11.8	12.0	12.2	12.7	12.8	13.0	13.1	14.0	14.5																		
18	13.4	13.5	13.7	14.4	15.8	16.6																										
19	6.8	8.6	8.7	10.0	10.1	11.6	11.8	12.2	12.3	12.6	12.7	12.9	13.0	13.8	13.9	14.2	14.3	14.7	15.1	15.3	15.4	16.4	16.9	17.2	17.4	17.5	17.6	17.8				
20	6.8	15.7	16.0	17.6																												
21	7.3	16.2	16.5	17.7																												
22	7.1	12.7	12.8	13.3	13.4	17.5																										
23	6.8	14.7	14.8	17.5																												
24	7.9	8.9	9.2	9.7	9.9	10.0	10.5	10.6	11.7	17.4																						
25	8.0	8.2	8.5	8.9	9.0	9.1	9.3	9.4	9.6	9.8	9.9	10.0	10.2	10.3	10.4	10.7	11.9	13.1	13.4	13.5	13.6	13.8	14.0	15.1	15.2	15.6	15.7	15.8	16.3	17.3		
26	10.0	10.1	10.2	12.3	12.4	12.5	12.9	13.2	13.3	14.2	14.5	15.3	15.8	16.4	16.5	16.7																
27	7.3	13.9	14.0	16.7	16.9	17.0																										
28	7.2	7.3	7.5	7.9	8.0	8.1	8.4	8.6	8.7	9.2	9.5	9.7	9.8	17.4																		
29	7.8	7.9	8.0	8.6	8.7	9.1	9.2	9.4	9.5	10.0	10.2	10.9	11.0	11.3	12.3	12.4	12.7	13.1	13.2	14.7												
30	8.7	16.1	16.2	17.2																												
31	7.2	11.9	12.1	15.4																												







Tabela 6. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Junho de 1967.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18
1	8.1	13.1	13.5	13.6	13.7	14.9	15.1	15.5	15.8	15.9	16.1	16.5						
2	7.8	8.0	8.9	9.0	9.2	9.5	9.6	16.6										
3	10.2	10.3	10.4	10.7	13.4	14.0												
4	10.3	11.1	11.6	11.7	11.8	12.1	12.5	13.2	14.9	15.0	15.1	15.4						
5	0.0	0.0																
6	0.0	0.0																
7	0.0	0.0																
8	9.0	9.3	9.7	14.9	15.0	15.2	15.5	15.7										
9	8.6	17.0																
10	8.9	9.1																
11	14.2	14.4	14.6	14.8	14.9	15.0	15.1	15.2	15.6	15.7								
12	16.1	16.7																
13	10.6	10.7	13.4	13.5	14.2	14.3	14.4	14.7	15.4	15.5								
14	0.0	0.0																
15	8.0	16.5																
16	9.4	16.8																
17	8.0	16.8																
18	7.8	17.0																
19	7.8	17.0																
20	7.7	16.9																
21	7.9	16.9																
22	8.1	17.0																
23	7.6	17.0																
24	8.0	14.3	14.6	14.9	15.1	15.6	16.3	16.7										
25	12.4	12.5	12.9	13.0	13.4	13.5	13.8	13.9	14.1	14.2	14.7	14.8	15.5	15.6	15.9	16.0	16.2	16.6
26	7.8	8.0	8.4	8.5	9.2	14.5	14.9	16.0	16.1	16.3								
27	11.5	11.6	11.8	11.9	12.6	12.7	13.1	13.2	14.9	15.5								
28	8.5	9.0	9.5	13.8														
29	8.0	13.4	16.3	16.7														
30	8.0	13.5	13.6	14.5	14.6	14.8	15.2	15.3	15.4	15.6	15.9	16.3						

Tabela 7. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Julho de 1967

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	
1	8.0	13.2	13.7	14.3	14.4	14.5	15.3	15.6	15.7	15.8	16.1	16.3											
2	9.4	10.6	10.7	11.3	11.4	12.4	12.5	16.5															
3	9.2	14.4	14.0	14.9	15.0	15.1	15.2	15.4	15.6	15.7	16.0	16.1											
4	8.7	8.8	9.2	14.5	14.8	14.9	15.7	16.2	16.4	16.5													
5	8.1	15.7	15.8	15.9	16.0	16.3																	
6	8.1	16.4																					
7	9.1	12.9	13.0	13.6	14.6	14.8																	
8	8.6	9.2	9.4	11.2	11.6	12.0	12.1	14.6	15.4	15.5	15.6	16.4											
9	8.0	13.5	13.6	14.0	14.2	14.7	14.9	15.0	15.2	16.5													
10	8.2	8.7	8.8	9.7	9.9	11.2	11.3	11.7	11.8	12.8	12.9	14.6											
11	0.0	0.0																					
12	10.4	10.5	10.8	11.7	12.0	12.1																	
13	8.0	8.3	8.5	9.1	9.4	10.0	10.3	16.4															
14	9.1	9.2	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	11.4	11.5	11.9	13.2	13.5	14.6	14.7									
15	7.8	8.0	8.4	8.6	8.7	10.0	13.5	13.8	14.1	14.2	14.3	14.7											
16	7.5	11.7	11.8	13.6	13.7	16.1	16.3	16.6															
17	7.5	16.1	16.3	16.5																			
18	7.6	16.6																					
19	7.6	17.0																					
20	7.6	17.0																					
21	9.0	9.1	9.8	11.2	11.3	11.5	11.6	12.1	12.2	14.9	15.1	15.2	15.3	15.6	15.9	16.2							
22	0.0	0.0																					
23	9.1	9.6	9.9	10.1	10.2	10.3	10.5	10.7	10.8	15.3	15.4	15.5	15.8	16.8									
24	8.9	9.5	9.9	10.1	10.3	10.7	10.9	11.0	11.3	11.4	11.7	11.9	12.1	12.5	13.0	13.2	13.3	13.4	14.3	14.8	15.2	15.7	
25	8.0	8.2	8.4	11.9	12.0	12.1	12.2	12.5	12.7	14.5	14.7	15.0	15.1	16.1	16.2	16.3							
26	8.0	16.5																					
27	8.0	16.7																					
28	7.6	17.0																					
29	7.7	16.9																					
30	7.6	17.1																					
31	8.1	16.9																					

Tabela 8. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Agosto de 1967

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	
1	7.9	16.9																					
2	7.9	16.9																					
3	8.0	14.9	15.1	16.5																			
4	FALHA																						
5	8.3	9.0	9.1	9.2	9.4	10.6	10.7	12.7	12.8	16.5	16.6	16.8											
6	8.1	8.3	8.7	11.2	11.3	12.2	12.4	13.1	13.5	15.0	15.1	15.6											
7	7.8	16.7																					
8	8.3	13.5	13.6	14.0	14.1	16.7																	
9	8.3	16.9																					
10	8.0	8.9	9.0	9.1	9.2	9.6	10.2	10.4	10.5	10.9	11.1	11.8	11.9	12.0	12.1	14.9	15.0	15.5					
11	8.2	8.5	8.8	9.1	9.2	10.6	10.7	14.7	14.8	16.4													
12	9.7	9.8	10.0	10.6	12.2	12.7	13.0	15.0															
13	9.1	9.6	10.0	10.7	13.2	14.2	14.4	14.6	15.0	15.3													
14	7.9	15.4																					
15	8.2	8.5	8.9	11.9	12.0	16.3																	
16	8.0	9.0	9.1	9.5	9.6	12.1	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	16.6											
17	8.1	16.4																					
18	8.9	9.1	9.5	9.7	9.8	9.9	10.0	10.1	10.2	10.3	10.7	10.8	10.9	11.3	11.5	11.6	12.3	12.4	12.5	12.9	13.2	16.8	
19	7.6	16.9																					
20	7.5	16.9																					
21	7.4	16.5																					
22	8.9	16.6																					
23	7.7	13.4	13.5	16.8																			
24	8.0	15.3	15.4	15.6	16.1	16.2																	
25	8.0	16.6																					
26	9.1	16.8																					
27	7.1	7.5	7.6	16.2	16.4	16.6																	
28	7.6	7.8	8.1	11.4	11.9	12.0	12.1	12.5	12.8	15.6	16.2	16.3											
29	7.5	7.6	7.7	10.8	10.9	11.0	11.5	14.9	15.3	16.2													
30	7.5	8.5	8.6	8.7	8.8	12.2	12.3	15.9	16.1	16.4													
31	7.3	16.7																					

Tabela 9. Limites (horas e décimos) de ocorrência de insolação. Setembro de 1966.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28		
1	10.7	10.8	11.2	11.5																										
2	0.0	0.0																												
3	0.0	0.0																												
4	8.2	8.3	9.0	9.1	10.1	10.5	10.7	11.1	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12.0	12.1	12.6	14.2	14.3	14.4	14.8	15.1	15.5	16.3	16.5	16.6	16.7	16.8		
5	7.7	7.8	8.0	8.1	8.3	8.7	8.8	13.8	13.9	14.9	15.0	15.1	15.4	15.5																
6	8.7	17.2																												
7	7.0	17.2																												
8	7.2	16.5																												
9	7.7	15.1	15.3	16.5																										
10	7.9	17.0																												
11	7.2	17.3																												
12	7.1	17.3																												
13	8.0	8.2	8.7	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.8	9.9	10.0	10.2	10.4	16.5	16.6	16.8														
14	7.7	16.5																												
15	7.8	11.2	11.3	11.4	11.8	11.9	12.2	12.3	12.4	15.6	15.7	15.8																		
16	7.6	7.9	12.7	13.0	14.0	14.1																								
17	6.6	6.7	7.0	8.0	10.7	10.8	11.5	11.6	11.8	11.9	12.0	17.1																		
18	6.9	18.0																												
19	6.9	7.1	7.2	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.6	13.8																				
20	0.0	0.0																												
21	7.5	16.1	16.2	16.3	16.6	16.7	16.8	17.3																						
22	7.1	17.5																												
23	7.0	17.7																												
24	7.2	17.4																												
25	6.9	17.4																												
26	7.1	12.2	12.4	12.6	12.7	15.0	15.1	15.4	15.7	15.9																				
27	9.2	11.2	12.1	12.2	12.4	16.0																								
28	0.0	0.0																												
29	12.1	12.5	12.7	15.1	15.4	15.7																								
30	7.1	13.3	13.4	16.1	16.2	17.2																								



Tabela 11. Limites (hoars e decimos) de ocorrência de insolação. Novembro de 1966.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	
1	11.9	12.1	12.2	12.5	12.6	12.8	13.1	13.2	13.4	13.8	14.1	14.9															
2	6.6	7.1	7.2	7.4	8.3	9.0	9.1	9.3	9.4	10.1	10.2	10.4	10.7	10.8	12.2	12.3	12.8	13.8	14.7	15.2	15.4	15.7	16.0	16.6	17.2	17.3	
3	9.9	10.5	10.6	11.0	11.1	11.3	11.4	11.5	11.7	11.9	12.1	12.4	12.5	12.6	13.3	14.2	14.3	15.9	16.0	17.5							
4	6.0	6.3	6.5	15.0	15.3	17.4																					
5	6.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.9	10.1	10.2	10.3	11.7	11.9	12.4	13.4	13.5	14.4	16.9											
6	6.2	12.1	12.3	12.6	12.8	12.9	13.1	14.7	14.8	15.5	15.6	16.2	17.1	17.9	18.0	18.2											
7	6.0	18.1																									
8	6.2	15.7	15.8	16.8	17.2	17.7																					
9	6.2	6.8	7.5	14.4	14.7	14.9	15.4	16.0	16.3	16.7	16.9	17.0															
10	7.9	9.0	9.4	9.7	9.9	10.1	10.3	12.0	12.1	14.0	14.1	15.1	15.3	15.8	15.9	16.1	16.4	16.8									
11	8.8	8.9	10.1	10.4	13.1	13.6	13.7	13.8	14.9	15.2	15.3	15.5	15.8	16.2	16.4	17.0	17.7	17.8									
12	9.6	10.2	10.3	11.3	12.5	12.7																					
13	7.0	7.1	7.4	7.9	9.0	9.7	10.8	10.9	11.0	11.3	14.1	15.2	15.3	15.4	15.7	15.8	16.0	16.1	16.2	16.3	16.5	16.6					
14	9.8	10.2	10.3	10.8	11.3	11.7	16.8	17.6																			
15	7.4	9.5	9.7	12.7																							
16	9.5	11.8	12.7	12.9	13.2	16.3	16.4	17.9	18.1	18.4																	
17	6.8	7.7	7.8	7.9	11.2	11.3	12.8	12.9	13.0	14.0	14.6	14.8	15.1	15.3													
18	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	8.6	8.9	9.1	9.7	10.5	10.6	11.2	11.3	12.7	12.9	13.2	13.5	16.2	16.4	18.3							
19	6.0	18.5																									
20	5.9	6.5	6.6	12.1	12.2	12.6	12.7	16.6	16.7	16.8	17.0	17.2	17.3	18.3													
21	6.3	18.1																									
22	6.9	8.5	8.8	8.9	10.6	11.4	11.6	11.7	12.2	12.3	12.5	12.6	12.7	14.4	14.5	15.2	15.3	18.1									
23	5.8	15.7	16.0	18.0																							
24	5.8	14.1	14.3	18.5																							
25	5.9	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.9	13.1	13.2	14.0	14.7	14.8	15.2	15.4	15.6	15.9	16.1	16.2	16.4	16.5	16.7	16.9	17.2	18.1			
26	6.0	18.6																									
27	6.1	14.0	14.1	15.1	15.3	15.6	15.8	15.9	16.0	17.0	17.2	18.2															
28	6.3	6.4	6.7	18.1																							
29	6.3	17.0	17.2	17.9																							
30	5.8	11.8	11.9	12.5	12.6	17.8	18.0	18.1																			

