

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ELEMENTOS DO CLIMA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MARINGÁ, PR E BOTUCATU, SP

Emerson Galvani*
Ivonete de Almeida Souza**

RESUMO:

A representação gráfica de quaisquer variáveis apresenta uma dupla finalidade: a primeira relacionada à sua variação no tempo e no espaço, e a segunda ao seu caráter didático. Os elementos do clima, como temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, radiação solar global (direta e difusa), saldo de radiação (onda curta e onda longa), direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, índice de chuvas e demais componentes derivados destes, evidenciam ao longo dos dias, dos meses e dos anos uma determinada curva característica que representa as condições de tempo e clima de determinada região. O que diferencia essa ou aquela localidade em termos climáticos é a amplitude da variação desses elementos no tempo e no espaço. Por exemplo, a curva diária dos níveis de radiação solar global em superfície em duas distintas localidades, situadas em diferentes latitudes, é idêntica, e o que as diferencia é a amplitude dos valores máximos e a energia total integrada ao longo do dia e do ano. O objetivo do presente trabalho é apresentar curvas instantâneas dos principais elementos do clima mostrando sua variação instantânea, diária e sazonal para as condições climáticas de Botucatu, SP e Maringá, PR, Brasil.

PALAVRAS-CHAVE:

representação gráfica, elementos do clima.

ABSTRACT:

Graph representation of variables have a dual propose: the first is related to time and space variations and the second to its didactic character. Climatic elements (air and soil temperatures, relative humidity, global solar radiation (diffuse and direct), radiation balance (short wave and long wave), wind (direction and velocity), atmospheric pressure, rain indices and others) display a certain characteristic curve that represents place, time weather conditions of a given region throughout the days, months and years. The factors that differentiate one place from another, in climatic terms, is the variation amplitude of the atmospheric elements in time and space. For instance, the daily curve of solar radiation levels on the earth surface is identical for two places on different latitudes. The amplitude of maximum values and total energy integrated throughout the day and the year differentiate them. The aim of current research is the representation of curves of the main climate elements with instantaneous daily and seasonal variations of the climatic conditions in the cities of Botucatu SP and Maringá PR Brazil.

KEY WORDS:

graphic representation, climatic elements.

*Professor Doutor do Departamento de Geografia da FFLCH da USP. E-mail: egalvani@usp.br

**Mestre e Doutoranda em Geografia Física. Professora na Universidade Estadual de Maringá. E-mail: ivonetesouza@uol.com.br

I- Introdução

A representação gráfica de quaisquer variáveis apresenta uma dupla finalidade: a primeira delas do ponto de vista didático e a segunda do ponto de vista sintetizador/quantitativo/informativo que os gráficos apresentam. A teoria Neográfica de Bertin (1977) em muito tem contribuído para o entendimento do uso da metodologia gráfica. O emprego desta metodologia, que pode ser uma linguagem universal, mostra a sua aplicabilidade em diferentes níveis e, inclusive, tem sido utilizada a partir do ensino elementar (PASSINI, 2000). A representação, em textos, de variáveis na forma de extensas tabelas, podem confundir e, principalmente, dificultar a obtenção de conclusões e relações entre as variáveis representadas. Por sua vez, a representação gráfica elucida muitas questões que extensas discussões no texto, além de cansativas, não teriam o mesmo *poder esclarecedor*.

Particularmente em Climatologia, a representação gráfica dos elementos do clima é muito mais esclarecedora do qualquer tabela, por mais bem elaborada e sintetizada que seja. Em estudos comparativos, por exemplo, envolvendo diversas localidades (com coordenadas geográficas diferentes) ou épocas do ano (solstícios de inverno e verão), os resultados apresentados serão muito mais elucidativos se representados na forma gráfica.

Os elementos do clima, como temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, radiação solar global (direta e difusa), saldo de radiação (onda curta e onda longa), direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, índice de chuvas e demais componentes derivados destas, evidenciam, ao longo dos dias, dos meses e dos anos, uma determinada curva característica que representa as condições de tempo e clima de determinada região. O que diferencia essa ou aquela localidade em termos climáticos é a amplitude da variação desses elementos no tempo e no espaço.

O presente trabalho tem como objetivos:

a) Apresentar um estudo gráfico comparativo entre os elementos do clima em datas representativas de duas épocas distintas (solstício de inverno e de verão) na localidade de Botucatu, SP;

b) Efetuar uma comparação gráfica entre os elementos do clima (temperatura do ar e radiação solar) observados em localidades com coordenadas geográficas distintas (Botucatu, SP e Maringá, PR).

I.I- Localização da área estudada

A área estudada abrange duas cidades situadas em localidades distintas, Botucatu no estado de São Paulo (Lat. 22°51' S, Long. 48°26'W e Alt. 786 m) e Maringá no norte do estado do Paraná (Lat. 23°27'S, Long. 51.57'W e Alt. 542 m), (Fig.1).

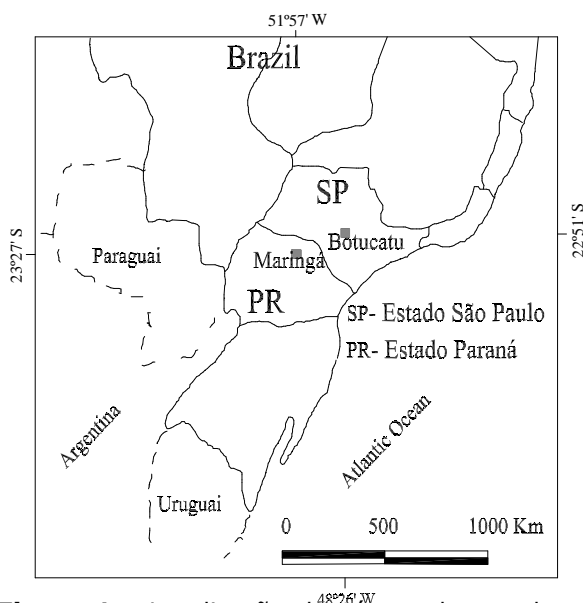


Figura 1 - Localização das áreas de estudo: Botucatu-SP e Maringá-PR.

II- Material e Métodos

II.I- Campo Experimental

Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho foram obtidos nas duas áreas estudadas: Botucatu, SP e Maringá, PR. Para a localidade de Botucatu, SP, os dados foram obtidos junto à estação de Radiometria Solar, pertencente a Universidade Estadual Paulista, UNESP, e para a de Maringá, PR, junto a Estação Climatológica Principal de Maringá, que opera em convênio entre a Universidade Estadual de Maringá, UEM, e o Instituto Nacional de Meteorologia, INMET.

II.II- Instrumental Utilizado

Os instrumentos utilizados para monitoramento dos elementos do clima, em cada localidade, encontram-se representados na Tabela 1.

Elementos do clima	Botucatu, SP	Maringá, PR
Radiação solar global	Piranômetro Eppley	Actnógrafo de Robitzisc
Radiação solar direta	Pireliômetro com rastreador	--
Radiação solar refletida	Piranômetro Eppley invertido	--
Saldo de Radiação	Saldo Radiômetro REBS	--
Temperatura do ar	Sensor eletrônico (P107)	Termógrafo

Tabela 1: Instrumentos utilizados na avaliação dos elementos do clima para as duas localidades estudadas (Botucatu, SP e Maringá, PR)

Obtiveram-se, ainda, outros elementos do clima derivados de medidas diretas, a saber:

* *Radiação solar difusa* (Rdif): calculada pela diferença entre a radiação solar global (Rg) e a radiação solar direta (Rdir) pela expressão:

$$R_g = R_{dir} + R_{dif} \quad \therefore \quad (01)$$

$$R_{dif} = R_g - R_{dir} \quad (02)$$

* *Saldo de radiação de onda curta* (SRoc): calculado pela diferença entre a radiação solar global e a radiação solar refletida (Rr) pela expressão:

$$SRoc = R_{Glo} - R_r \quad (03)$$

Para a localidade de Botucatu, SP, os sensores foram conectados a um sistema de aquisição automática de dados denominado DATALLOGGER e as observações efetuadas na frequência de 0,2Hz e médias armazenadas em intervalos de cinco minutos. Para a localidade de Maringá, PR, os valores de temperatura do ar (Tar) foram obtidos por meio de leitura do gráfico do termógrafo instalado em micro-abrigo meteorológico em intervalos de uma hora. Os dados de radiação solar global foram obtidos a partir da integração dos valores das energias instantâneas ($W m^{-2}$) e totalizados ao final do período ($MJ m^{-2} d^{-1}$).

III- Resultados e Discussão

III.I- Variação diária dos elementos do clima - Variação Sazonal

A Figura 2 a e b mostra as curvas da radiação solar global, refletida e saldo de radiação de onda curta para as datas de 23/06 e 18/12/98 na localidade de Botucatu, SP. As duas referidas datas foram escolhidas por representarem a maior proximidade dos solstícios de inverno (21/06) e de verão (20/12) e se constituírem em dias denominados de *cobertura de céu limpo*. Para estas duas datas os valores integrados da radiação solar global representaram 14,57 e 31,37 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para os períodos denominados de solstício de inverno e verão, respectivamente. Essa variação anual do total de energia solar em

superfície é explicada pela declinação solar (ângulo formado entre a linha que une o centro da Terra ao centro do sol e a linha do equador terrestre) e pode nos auxiliar no entendimento da variação anual da temperatura do ar, diferenciando as estações de inverno e verão do ponto de vista energético. Ainda nessas figuras, observa-se que a energia disponível de onda curta (SRoc), é praticamente o dobro na comparação entre o período do solstício de inverno ($12,24 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e o de verão ($24,95 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$). A intensidade instantânea máxima de energia ao meio dia (I_{max}) foi de $667,44 \text{ W m}^{-2}$ e $1.094,18 \text{ W m}^{-2}$ para a data de 23/06 e 18/12/1998, respectivamente (essas medidas foram obtidas em aparelhos localizados sobre superfície gramada).

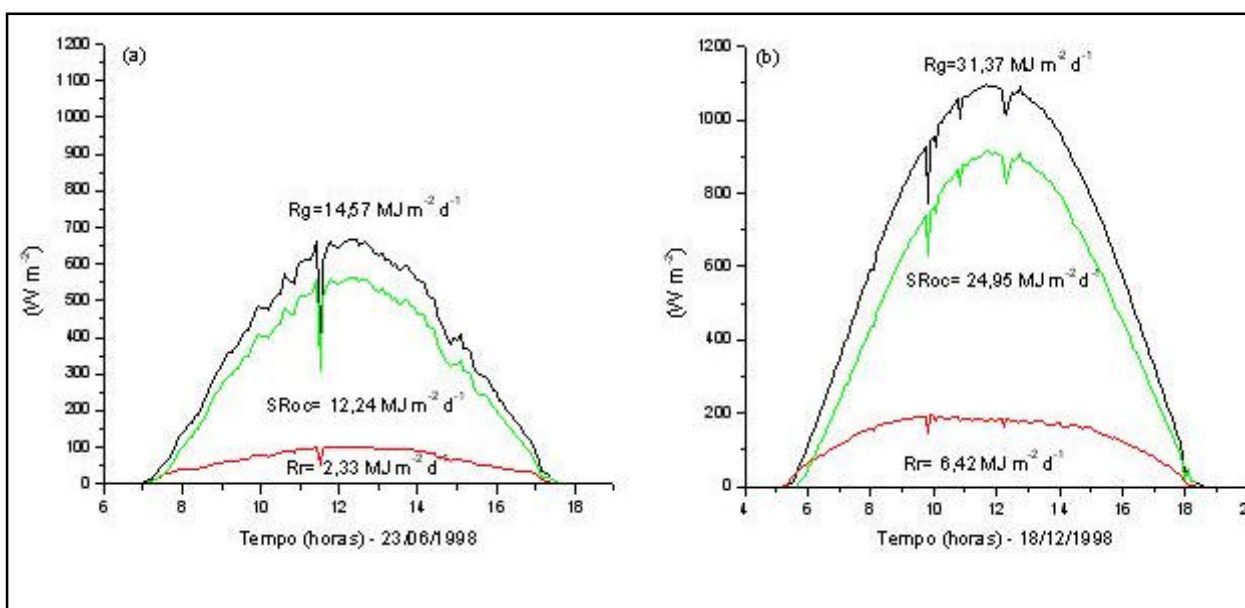


Figura 2: Curvas irradiância solar global (R_g), Refletida (R_r) e Saldo de radiação de onda curta (S_{Roc}) para Botucatu, SP, em 23/06/1998 (a) e em 18/12/1998 (b).

A Figura 3 a e b representa a variação das componentes de radiação solar global, difusa e direta para as datas de 23/06 e 18/12/98. É sabido que a radiação solar direta é aquela que atravessa diretamente a atmosfera sem interagir com esta e a difusa é a que foi difundida pelos constituintes atmosféricos (vapor d'água,

CO_2 , O_3 , poeiras, sais, etc.), atingindo a superfície terrestre (Iqbal, 1983). Assim, para dias com atmosfera límpida a fração da radiação solar tende a ser, em grande parte, de componente direta e em dias nublados a tendência é a fração difusa se aproximar da fração global.

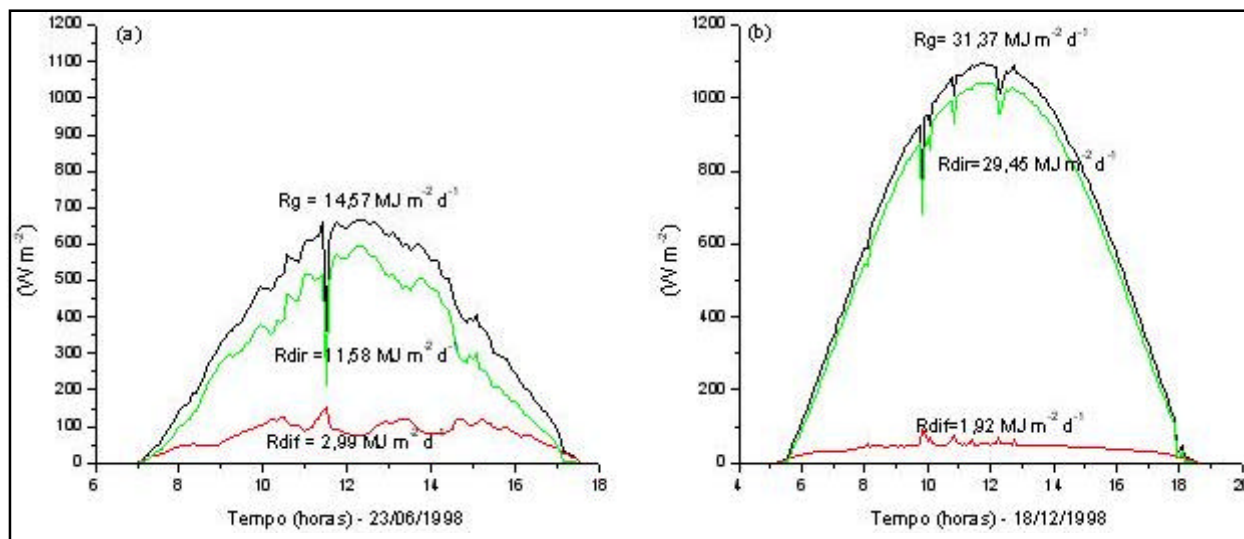


Figura 3: Curvas irradiância solar global (R_g), difusa (R_{dif}) e direta (R_{dir}) para Botucatu, SP, em 23/08/1998 (a) e em 18/12/1998 (b).

Observa-se, no gráfico, pequenas variações ocorridas na curva da componente global na data de 23/06/1998. Em 18/12/98 essas oscilações não ocorreram. Essa rugosidade da curva do dia 18/12 demonstra que a atmosfera não estava completamente límpida, provavelmente devido à ocorrência de nuvens altas (cirrus, por exemplo) ou à presença de fuligem resultante de queimadas de cana-de-açúcar (comuns nessa região e época do ano), e, também, devido ao fato deste ser o período mais seco para a região. Em termos percentuais a radiação solar difusa constitui-se em 20,5% e 6,12% da componente global para as datas de 23/06 e 18/12/98, respectivamente, mostrando que na data de 18/12/98 a atmosfera encontrava-se mais límpida, o que justifica-se pelo fato deste ser o período chuvoso da região.

A Figura 4 a e b mostra a variação do saldo de radiação em superfície (SR). O saldo de radiação, também chamado de *net radiation*, representa a energia disponível depois de

contabilizada a componente de onda longa, expressando, portanto, a energia disponível aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Assim, diferentemente da componente de radiação solar global, que ocorre somente nas horas de brilho solar, a curva do saldo de radiação terá representação gráfica ao longo das 24 horas do dia. Ao longo das horas de brilho solar predomina a componente de onda curta e o saldo fica positivo. Após o *ocaso* do sol (ausência de onda curta) predomina a componente de onda longa da superfície terrestre para a atmosfera e o saldo fica negativo, justificando o resfriamento noturno pelas perdas de energia para a atmosfera. Em noites de probabilidade de ocorrência de geadas o monitoramento da componente de onda longa terrestre constitui-se em um bom indicador da temperatura mínima do ar da manhã seguinte e medidas para evitar essas perdas são adotadas (nebulização, por exemplo). Como mostrado nesta Figura, o saldo de radiação para um dia (24 horas) é a diferença entre a energia disponível no período diurno (SRd) e as perdas no período noturno (SRn).

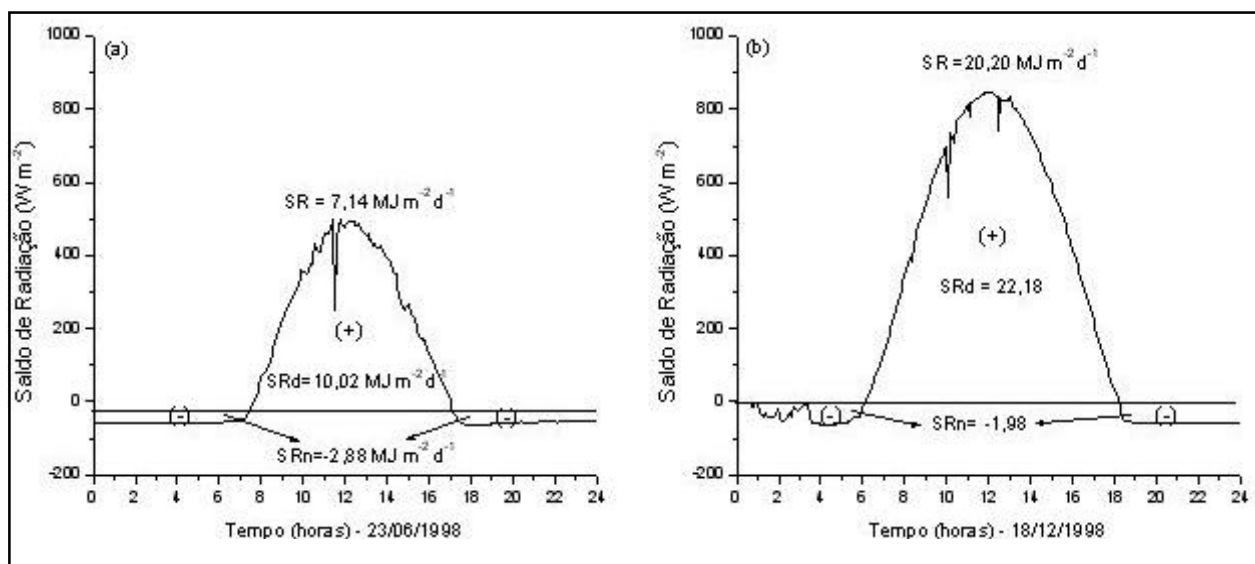


Figura 4: Curvas de saldo de radiação (SR), representando ganho de energia ao longo do dia (SRd) e perdas no período noturno (SRn), para Botucatu, SP, em 23/06/1998 (a) e em 18/12/1998 (b).

A temperatura do ar representa o elemento meteorológico de maior facilidade de monitoramento, que é visto como o *integrador* de todos os processos que ocorrem na atmosfera em dado dia e local. A Figura 5 (a e b) mostra, para a localidade de Botucatu, SP, a variação da temperatura do ar em 23/06 e 18/12/98. Uma síntese desta figura pode ser observada na Tabela 2.

Elemento do clima	23/06/1998 - inverno	18/12/1998 - verão
Temperatura máxima	20,07 (14h10min)	23,00 (15h45min)
Temperatura média	15,35	20,51
Temperatura mínima	10,61 (07h55min)	16,48 (07h25min)
Amplitude térmica*	9,46	6,52

* Amplitude térmica é a diferença a temperatura máxima e a temperatura mínima calculada em um intervalo de tempo.

Tabela 2: Valores de temperatura máxima, média, mínima e amplitude térmica (°C) para Botucatu, SP, nas datas de 23/06 e 18/12/1998.

A Tabela 2 mostra os valores de temperatura máxima e mínima e os horários em que ocorrem nas datas analisadas. Observa-se um atraso aproximado de duas a três horas entre a máxima intensidade de energia (12 horas) e a temperatura máxima do ambiente. Isso é explicado pela forma com que os raios solares atingem a superfície terrestre, onde parte é refletida e parte é absorvida pela superfície, iniciando-se, assim, a transferência de calor por *condução molecular* e, principalmente, por *convecção* para os níveis superiores (VIANELLO; ALVES, 2000). Como os sensores de temperatura do ar encontram-se em abrigos instalados, em média, a 1,5 m de altura, esse atraso é tempo gasto para a *onda de calor* atingir o sensor a essa altura acima do solo. Os dias com alta atividade convectiva tendem a apresentar um distanciamento entre a ocorrência da máxima intensidade de energia e o horário de ocorrência da temperatura máxima do ar.

Onde-se inferir, ainda, da Figura 4, outra observação. A amplitude térmica na data de 23/06 foi consideravelmente maior que aquela analisada em 18/12/98. As razões para uma menor amplitude térmica na data representativa do verão (18/12) podem estar associadas à

maior concentração de vapor d'água na atmosfera e às suas propriedades físicas que a constituem em um bom armazenador de calor, diminuindo, portanto, as perdas de energia noturna (onda longa).

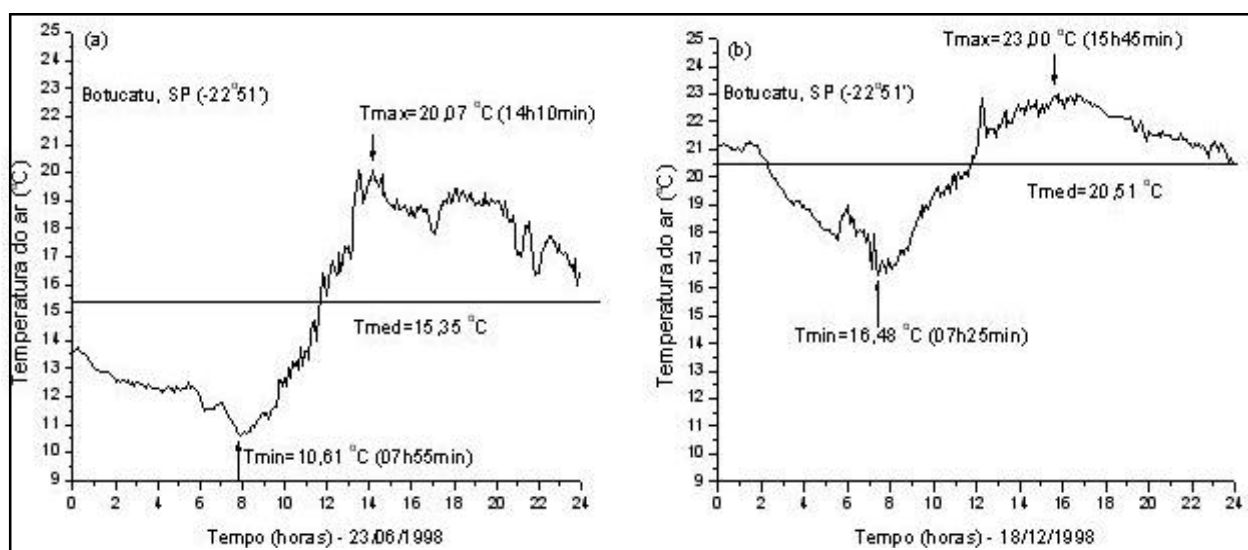


Figura 5: Temperatura do ar obtido em micro-abrigo meteorológico, para Botucatu, SP, em 23/06 (a) e em 18/12/1998 (b).

III.II- Variação diária dos elementos do clima – Variação em função da latitude e da altitude

Na tentativa de representar a variação de alguns elementos do clima (temperatura do ar e radiação solar global) em duas localidades distintas, tanto em termos de latitude, como, e principalmente, de altitude, procedeu-se a representação destes dois elementos nas cidades de Botucatu, SP, e Maringá, PR. As medidas dos elementos utilizados foram referentes a um mesmo período para as duas localidades (23/06 e 18/12/98). Contudo,

somente foi apresentada a análise para a data representativa do período do inverno (23/06).

A Figura 6 apresenta a variação da temperatura do ar nas localidades de Botucatu, SP, e Maringá, PR. Devido ao fato de os dados da localidade de Maringá, PR, terem sido obtidos a partir de leituras horárias em termograma não se obteve um número de observações semelhante ao da localidade de Botucatu, SP (que operou com médias a cada cinco minutos). Os valores representados na Figura 6 estão sintetizados na Tabela 3.

Elemento do clima	Botucatu, SP	Maringá, PR
Temperatura máxima	20,07 (14h10min)	26,9 (16h)
Temperatura média	15,35	20,5
Temperatura mínima	10,61 (07h55min)	14,2 (07h)
Amplitude térmica*	9,46	12,7

* Amplitude térmica é a diferença a temperatura máxima e a temperatura mínima calculada em um intervalo de tempo.

Figura 5: Temperatura do ar obtido em micro-abrigo meteorológico, para Botucatu, SP, em 23/06 (a) e em 18/12/1998 (b).

III.II- Variação diária dos elementos do clima – Variação em função da latitude e da altitude

Na tentativa de representar a variação de alguns elementos do clima (temperatura do ar e radiação solar global) em duas localidades distintas, tanto em termos de latitude, como e principalmente, em altitude, procedeu-se a representação destes dois elementos nas cidades de Botucatu, SP, e Maringá, PR. As medidas dos elementos utilizados foram referentes a mesmo período para as duas localidades. (23/06 e 18/12/98), contudo,

somente foi apresentado a análise para a data representativa do período do inverno (23/06).

A Figura 6 apresenta a variação da temperatura do ar nas localidades de Botucatu, SP, e Maringá, PR. Pelo fato dos dados na localidade de Maringá, PR, terem sido obtidos a partir de leituras horárias em termograma não se obteve um número de observações semelhante à localidade de Botucatu, SP (que operou com médias a cada cinco minutos). Os valores representados na Figura 6 estão sintetizados na Tabela 3.

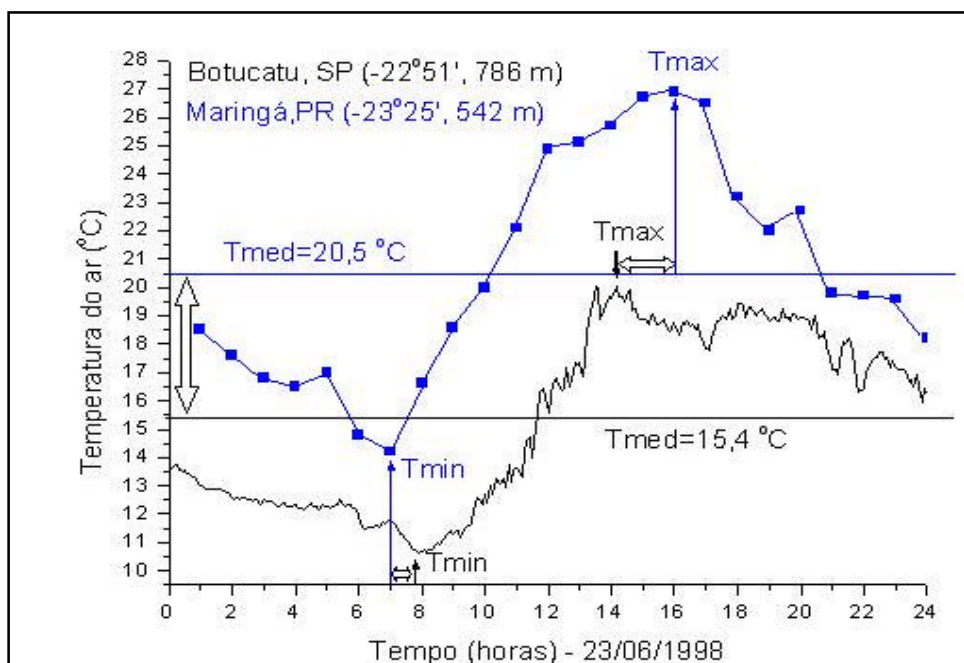


Figura 6: Temperatura do ar obtido em micro-abrigo meteorológico em Botucatu, SP e Maringá, PR na data de 23/06/1998.

Elemento do clima	Botucatu, SP	Maringá, PR
Temperatura máxima	20,07 (14h10min)	26,9 (16h)
Temperatura média	15,35	20,5
Temperatura mínima	10,61 (07h55min)	14,2 (07h)
Amplitude térmica*	9,46	12,7

* Amplitude térmica é a diferença a temperatura máxima e a temperatura mínima calculada em um intervalo de tempo.

Tabela 3: Valores de temperatura máxima, média, mínima e amplitude térmica (°C) para Botucatu, SP, e Maringá, PR, na data de 23/06/98.

Observa-se uma diferença entre a média diária das duas localidades de aproximadamente 5 °C. Considerando-se, entre essas localidades, a diferença de altitude de 244m, a diferença teórica esperada ($6,5 \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$) seria de aproximadamente 3,8 °C. Esse tipo de comparação tem apenas um caráter didático pois as condições de tempo que ocorreram em uma localidade certamente não se repetiram na outra. Outro fator que poderia estar influenciando o valor médio obtido da temperatura do ar para as duas localidades é a amostragem das observações (uma escala horária e outra em escala de cinco minutos). O que interessa, mais do ponto de vista didático do que numérico, é a tendência clara de redução da temperatura do ar com aumento da altitude. Embora as curvas diárias para as duas

localidades apresentem formato semelhante, o que ocorre é um deslocamento sistemático do eixo ao longo do dia.

A Figura 7 apresenta a variação da radiação solar global para as duas localidades em estudo. Para a localidade de Botucatu, SP, o total integrado foi de $14,57 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e para Maringá, PR, foi de $10,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Essa diferença em termos de totais energéticos deve-se, em parte, ao fato de nesta época do ano (solstício de inverno) o sol apresentar um maior ângulo zenital¹ em Maringá, PR, do que em Botucatu, SP. Outra possível explicação é o fato de que sensores mecânicos como o Actnógrafo de Robtisc necessitam, periodicamente, de ajustes em seu sistema de registro, o que não tem sido efetuado.

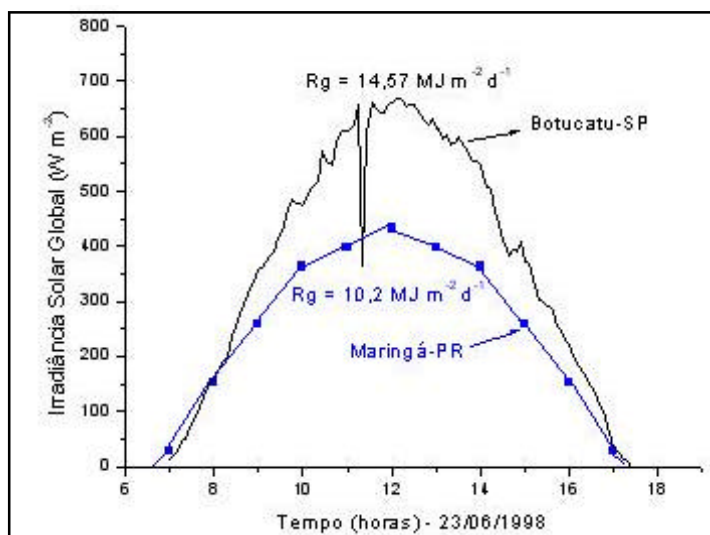


Figura 7: Curva de radiação solar global em Botucatu, SP, e Maringá, PR na data de 23/06/1998.

IV- Conclusões

Para as duas localidades comparadas pode-se inferir algumas conclusões:

* A representação gráfica da variação dos elementos do clima permite a realização de estudos comparativos tanto em termos sazonais como em termos de localidades com coordenadas geográficas distintas;

* O efeito da altitude na diminuição da temperatura do ar ficou evidente quando comparadas as duas distintas localidades

Agradecimentos:

Os autores agradecem aos funcionários da ECPM/UEM Edson Carlos Martins, Isabel Barbosa dos Anjos e Marilene Avancini pela atenção e rapidez no fornecimento de parte dos dados utilizados neste trabalho.

Nota

¹ O ângulo Zenital é formado entre a *normal* do observador e a linha que une o "pé" observador ao centro do sol.

Bibliografia

BERTIN, Jacques. La graphique et le traitement graphique de l'information. Paris, Flammarion. 1977.

IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. London, Academic Press, 390p. 1983.

PASSINI, E. Y. *Graph: Make and understand*. In: Conference on teaching maps for children:

theories, experiences and perspectives. Beginning the 3rd millennium, September 6-8, 2000, Eötvös Loránd University. Budapest, Hungary. p.41-50. 2000.

VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 448p. 2000

Trabalho enviado em fevereiro de 2006

Trabalho aceito em março de 2006

