



UM MÉTODO PARA INTERPOLAÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS

Maurício Roriz

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia Civil

Via Washington Luís, Km 235 - 13.565-905 - São Carlos, SP - Brasil

fax: (016) 260-8259 - e-mail: m.roriz@zaz.com.br

RESUMO - O Brasil não dispõe ainda de uma base de dados climáticos suficientemente ampla e adequada ao estudo do desempenho térmico e da eficiência energética de edificações. Assim, freqüentemente os projetistas necessitam estimar o clima. Este artigo apresenta um método relativamente simples de interpolação que permite estimar, com razoável aproximação, diversos tipos de dados climáticos. Além do modelo teórico, é também incluído um exemplo de aplicação do método em relação ao clima do Estado de São Paulo, onde, de um total de 572 municípios, apenas 9 foram incluídos nas últimas Normais Climatológicas oficialmente divulgadas.

ABSTRACT - Brazil still doesn't have a sufficiently wide and proper base of climatic data to the study of thermal performance and energy efficiency of buildings. Thus, the building designers frequently need to estimate the climate. This article presents a relatively simple method of interpolation that allows estimating several types of climatic data with reasonable approach. Besides the theoretical model, it is also included an example for the climate of São Paulo state, where only 9 out of 572 cities were included in the last officially published Climatological Tables.

1 Introdução

O conhecimento do clima é essencial ao projetista que pretenda conjugar o conforto ambiental com a eficiência energética das edificações. Estes objetivos caracterizam a Arquitetura Bioclimática e representam, no campo do ambiente construído, uma nova consciência profissional, em perfeita sintonia com o atual conceito de Desenvolvimento Sustentável. No Brasil, entretanto, não se tem ainda uma base de dados climáticos suficientemente ampla e adequada a este tipo de aplicação. As poucas informações disponíveis se resumem às Normais Climatológicas de algumas localidades. A última publicação oficial destas Normais se refere ao período entre 1961 e 1990 e inclui apenas 206 cidades, ou seja, menos de 4% dos mais de 5500 municípios brasileiros.

Assim, freqüentemente os profissionais da área se deparam com a dificuldade de ter que projetar edificações para localidades sobre as quais não dispõem de qualquer informação climática. Em tais situações, a única alternativa é estimar o clima através de interpolação.

Há muitos métodos de interpolação aplicáveis à este propósito. Os mais singelos adotam relações lineares e produzem resultados grosseiramente imprecisos. Os mais complexos, por outro lado, se encontram geralmente embutidos em programas computacionais, cujos algoritmos não são fornecidos ou não são compreensíveis para a ampla maioria dos usuários, o que lhes confere a sugestiva classificação de "caixas-pretas". Este artigo apresenta um método relativamente simples de interpolação que, sem enquadrar-se em nenhum destes dois extremos, permite estimar, com razoável aproximação, diversos tipos de dados climáticos. Além do modelo teórico, é também incluído um exemplo de aplicação do método em relação ao clima do Estado de São Paulo, onde, de um total de 572 municípios, apenas 9 foram incluídos nas últimas Normais Climatológicas oficialmente divulgadas.

2 Metodologia

Para a elaboração dos mapas foi definido um sistema de coordenadas, através de uma malha de 117 colunas (longitudes) por 86 linhas (latitudes), estabelecendo um total de 10062 células, 4320 das quais correspondendo ao território paulista. Assim, cada célula representa sobre o mapa um quadrado com lado igual a 7,58 Km. Conforme o tipo de informação disponível, estas células foram classificadas em uma das seguintes categorias:

0 - Nenhuma informação disponível

1 - Apenas Altitude conhecida (532 células)

2 - Dados disponíveis de Altitudes, Médias Mensais de Temperaturas Máximas, Temperaturas Mínimas e Umidades Relativas (52 células)

Primeiramente, através de interpolação, foi estimado o relevo de todo o estado de São Paulo. Em seguida, buscou-se identificar equações de regressão nas quais a Altitude fosse a variável independente e que permitissem estimar os valores mensais de Temperaturas e Umidades para as 532 células de categoria 1. Finalmente, também por meio de interpolação, obteve-se as estimativas climáticas para as células restantes (categoria 0).

3 Estimativa das Altitudes

3.1 Processos de Interpolação

a) Processo da Média Ponderada - Pressupõe que a altitude de cada ponto seja a média ponderada entre as altitudes dos pontos conhecidos. Considera, ainda, que a influência relativa (peso) de cada ponto cuja altitude é conhecida, seja inversamente proporcional à alguma potência da distância entre este e o ponto cuja altitude se pretende determinar. Para cada valor atribuído à essa potência, diferentes resultados são encontrados:

$$A_j = \sum (A_i \cdot D_{i-n}) / (\sum D_{i-n})$$

onde: A_j = Altitude do ponto j (que se pretende estimar)

A_i = Altitude do ponto i (todos os pontos cujas altitudes são conhecidas)

D_i = Distância entre os pontos j e i

n = Potência à qual será elevado o inverso da distância (testados vários valores)

	1	7	14		30	Ponto	Coluna	Linha	Valor
1	24		18		12	P1	1	1	24
7		18				P2	1	14	18
14	18					P3	1	30	12
						P4	7	7	18
						P5	14	1	18
30	12		?		0	P6	30	1	12
						P7	30	30	0

Fig. 1 Malha esquemática para exemplo de interpolação de altitudes

Para comparar os resultados entre as interpolações com diferentes valores de "n", foi estabelecida uma malha quadrada de 900 células (30 colunas e 30 linhas) e fixados os valores (altitudes, no caso) correspondentes aos quatro vértices e a três outros pontos, conforme o esquema indicado na Figura 1. Considere-se, por exemplo, que se pretenda estimar o valor correspondente à célula definida pela coluna 14 e linha 30, ou seja P(14,30) e que se adote $n=2$ (peso = $D^{-2} = 1/D^2$, sendo D = distância). Nesse caso o valor da célula P(14,30) seria: $9,71 = 0,1651 / 0,017$; como indica o cálculo a seguir:

Ponto	Coluna	Linha	Valor (V)	Dist. (D)	Peso ($1/D^2$)	V/D^2
P1	1	1	24	31,8	0,00099	0,02376
P2	1	14	18	20,6	0,00235	0,04250
P3	1	30	6	13,0	0,00592	0,03550
P4	7	7	18	24,0	0,00173	0,03114
P5	14	1	18	29,0	0,00119	0,02140
P6	30	1	12	33,1	0,00091	0,01094
P7	30	30	0	16,0	0,00391	0,00000
				Totais =	0,01700	0,16510

A Figura 2 apresenta perspectivas das superfícies resultantes para diversos valores de "n":

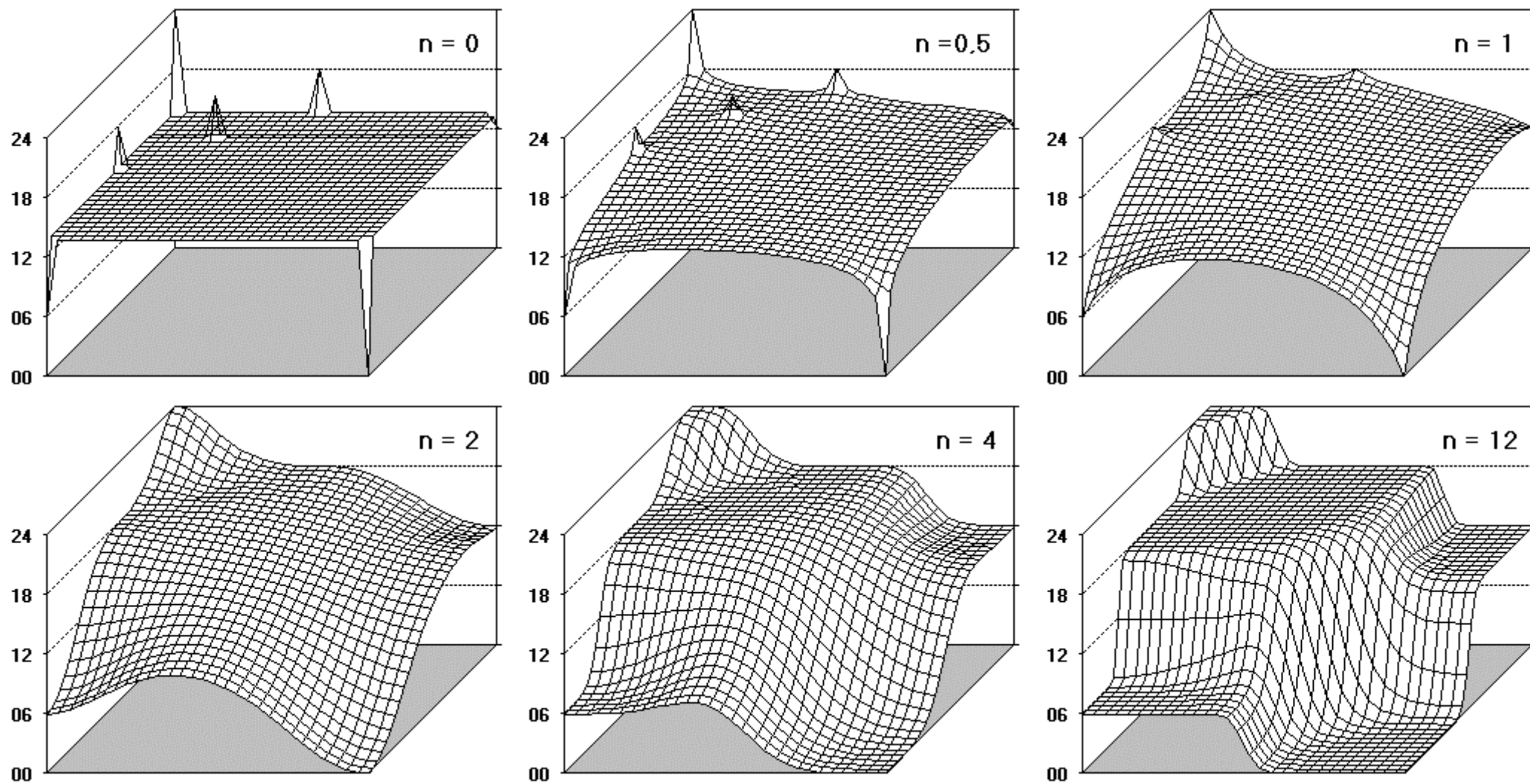


Fig. 2 Superfícies resultantes da interpolação pela média ponderada, para diferentes valores de "n"

A hipótese extrema de $n = 0$ anula a influência da distância sobre os cálculos, igualando todos os resultados à média aritmética entre os valores dos 7 pontos fixos. No caso do exemplo esta média corresponde a 13,71.

Nas interpolações com $n < 2$ é muito acentuada a influência dos pontos distantes, o que provoca uma tendência de aproximar todos os valores calculados para a mesma média mencionada entre os valores fixos conhecidos (13,71). Na medida em que se aumenta o valor de n essa influência dos pontos distantes vai diminuindo enquanto cresce a dos pontos próximos. A partir de $n = 4$ essa maior influência dos pontos próximos começa a estabelecer como que "degraus" na superfície resultante e esse efeito se acentua progressivamente para maiores valores de n .

b) Processo da Média Aritmética entre pontos vizinhos: Neste procedimento, calcula-se o valor de cada ponto como a média aritmética entre os quatro pontos mais próximos, situados imediatamente acima, abaixo, à esquerda e à direita do ponto considerado. É necessário, entretanto, que sejam conhecidos os valores correspondentes às linhas de contorno da superfície. Os cálculos devem ser refeitos sucessivamente até que os valores dos pontos internos se estabilizem. Na Figura 2, a linha do contorno foi calculada pela média ponderada ($n = 2$) e os pontos internos pela média aritmética entre os 4 pontos vizinhos.

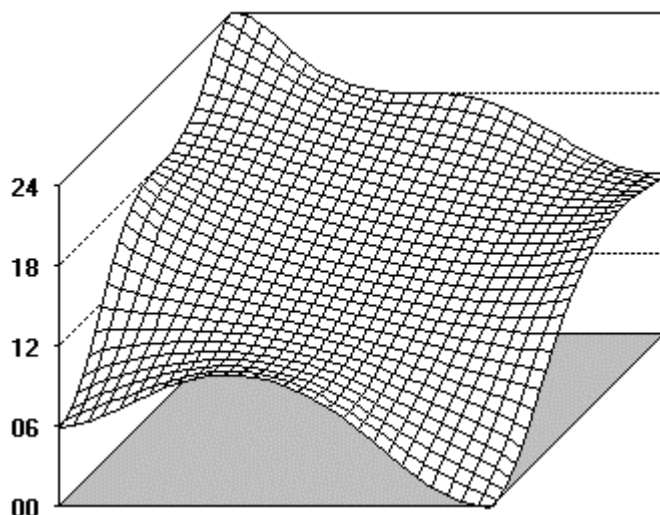


Fig. 3 Interpolação pela média entre os 4 pontos vizinhos

3.2 Relevo estimado

Para estimar o relevo do território paulista procurou-se verificar, dentre os procedimentos de interpolação indicados no item anterior, qual apresentava as menores diferenças entre as altitudes reais e as calculadas. A melhor aproximação, com diferença média de 60 metros entre altitudes reais e calculadas, foi obtida através da média ponderada, com $n = 4$, sendo este, portanto, o procedimento adotado.

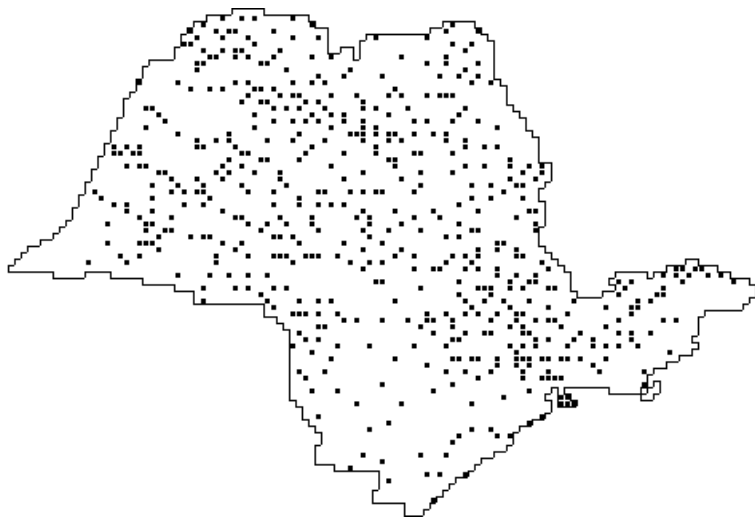


Fig. 4 Sedes dos 572 municípios

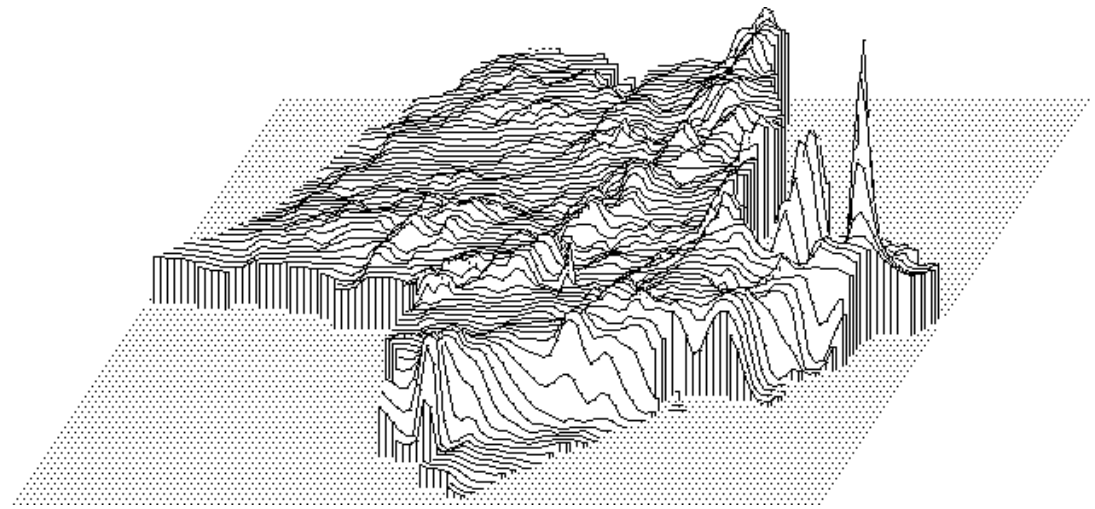


Fig. 5 Relevo estimado (escala vertical ampliada)

Estimativa das Temperaturas

4.1 Relações observadas entre Temperatura e Altitude

Os manuais de climatologia mencionam uma dependência das temperaturas médias em relação às altitudes. No caso das 52 localidades paulistas com clima conhecido, apenas aquelas com altitudes acima de 300 metros apresentam uma relação aproximadamente linear entre as Temperaturas Médias Anuais e as Altitudes. A proximidade do mar deve contribuir para a diferenciação do clima em menores altitudes. Situação semelhante se verifica em relação às Médias Mensais das Temperaturas Máximas e Mínimas, como indicam os exemplos da Figura 6, relativos ao meses de Fevereiro e Setembro.

Através de análise de regressão, determinou-se equações que permitissem, a partir das Altitudes, estimar as Médias Mensais de Temperaturas Máximas e de Temperaturas Mínimas para todo o território paulista. Tais equações apresentam o seguinte formato:

$$\text{Temperatura} = (A1 \cdot \cosh((B1 \cdot \text{Altitude}) - C1)) + A2 + B2 \cdot \text{Altitude}$$

Os parâmetros A2 e B2 correspondem, respectivamente, aos coeficientes lineares e angulares das equações das retas referentes à altitudes acima de 300 metros. As Tabelas 1 e 2 indicam valores encontrados para esses parâmetros, bem como os respectivos Coeficientes de Correlação (r), Desvios Padrões (s) e parâmetros Qui-Quadrado (χ^2).

Tab. 1 Temperatura = A2 + B2 . Altitude (para Altitude > 300)

Temperatura	Mês	A2	B2	r	s
MedMax	Fev	35,49173	-0,00909	-0,92	0,93
MedMax	Set	32,07121	-0,00809	-0,71	1,91
MedMin	Fev	23,42038	-0,00686	-0,86	0,97
MedMin	Set	18,83176	-0,00711	-0,77	1,42

Tab. 2 Temperatura = (A1 . cosh ((B1 . Altitude) - C1)) + A2 + B2 . Altitude

Temp.	Mês	A1	B1	C1	χ^2
MedMax	Fev	-7,459 x 10 ⁻⁸	0,009637	18,81	0,62
MedMax	Set	-2,667 x 10 ⁻¹⁰	0,015016	24,89	2,79
MedMin	Fev	-1,065 x 10 ⁻⁹	0,013383	21,95	1,09
MedMin	Set	-3,765 x 10 ⁻¹⁰	0,014226	23,35	2,23

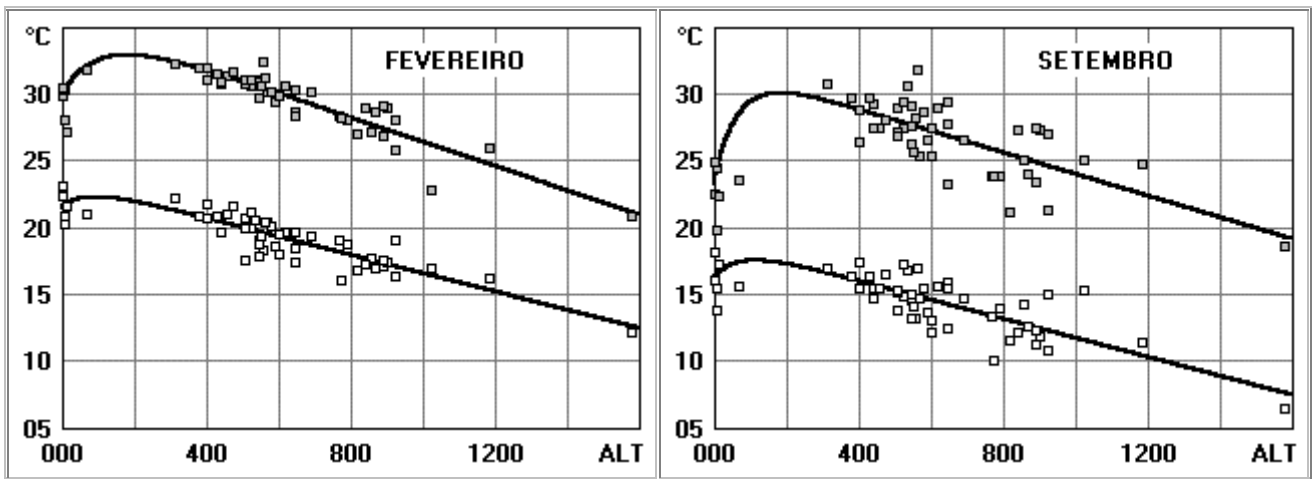


Fig. 6 Exemplos das Equações de Regressão que relacionam Temperaturas à Altitudes

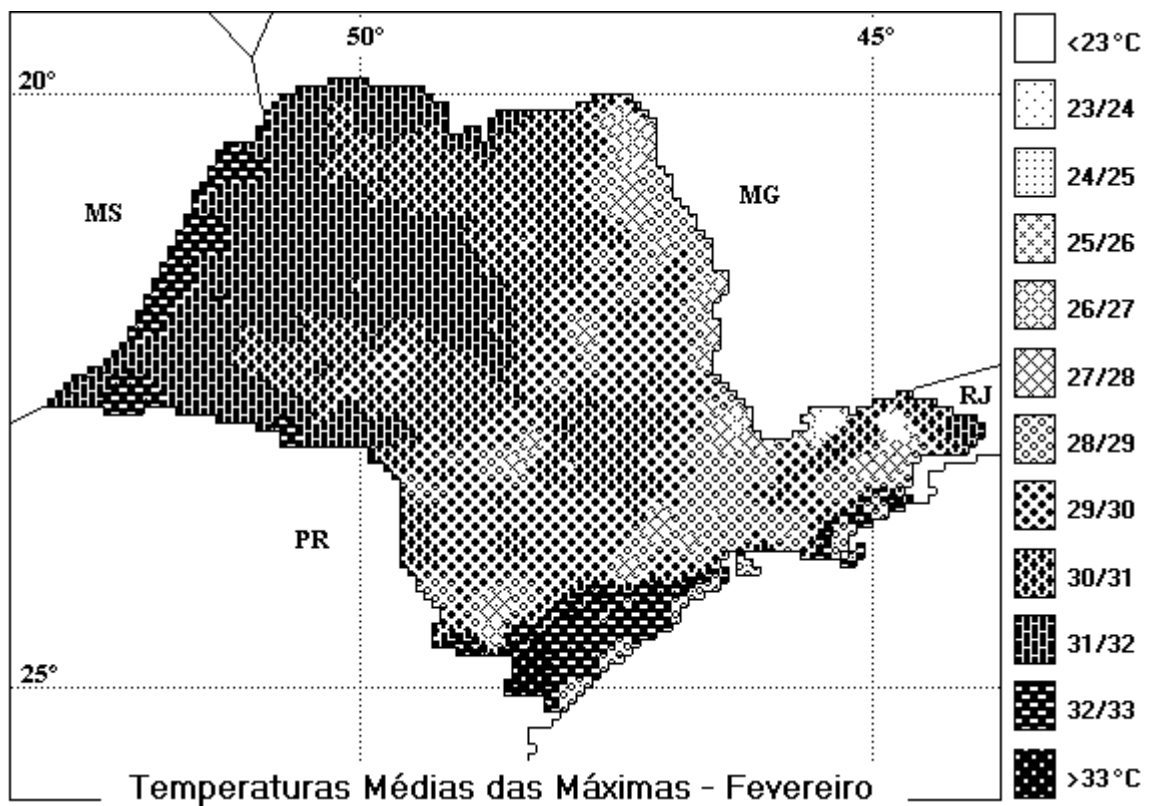


Fig. 7 Exemplo de Temperaturas Estimadas – Mês: Fevereiro - Médias Mensais de Máximas

5 Estimativa das Umidades

As Médias Mensais de Umidades Relativas não podem ser interpoladas diretamente.

Conforme indica a Carta Psicrométrica da Figura 8, a temperatura do ponto C é a média aritmética entre as temperaturas dos pontos A e B. Esta mesma relação se verifica entre as respectivas Umidades Absolutas mas não se mantém quanto às Umidades Relativas (pois 40 não é a média entre 90 e 10). Desse modo, o processo adotado para interpolação das Médias Mensais das Umidades Relativas foi o seguinte:

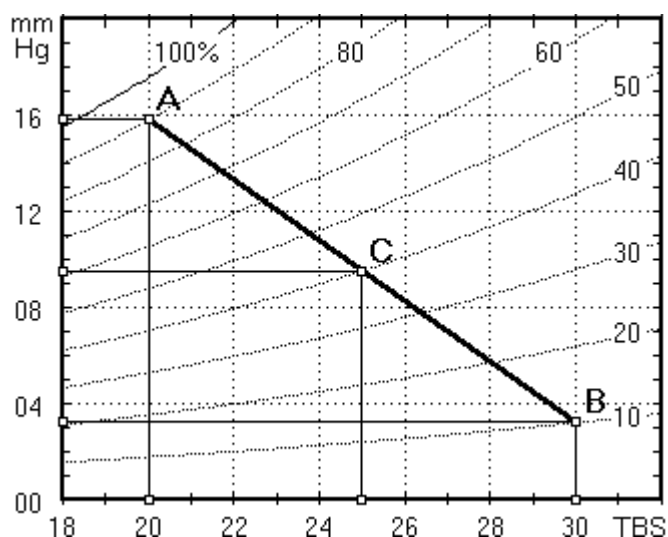


Fig. 8 Carta Psicrométrica

- Calcular as médias mensais da Umidade Absoluta para cada uma das 52 localidades cujos dados climatológicos são conhecidos (categoria 2). Este cálculo tem como pressuposto que a relação entre as médias mensais de Temperatura do Ar (TBSmed) e Umidade Relativa (URmed) definem a média mensal da Umidade Absoluta (UAméd).
- Estimar, através de regressão, as médias mensais de Umidade Absoluta para os 572 pontos cujas altitudes são conhecidas (categoria 1) e, por interpolação (média ponderada, com $n = 4$), encontrar os valores correspondentes aos pontos restantes (categoria 0).
- Calcular as médias mensais de Umidade Relativa, para cada um dos pontos, com base nos valores já estimados para as Temperaturas e para as Umidades Absolutas.

A análise de regressão indicou uma relação entre as médias mensais das Umidades Absolutas e as Altitudes dos pontos cujos climas são conhecidos, segundo uma equação do tipo $y = A + Bx$, onde "y" representa as Umidades Absolutas (mm.Hg), e "x" as Altitudes (m). A média do Desvio Padrão para os 12 meses do ano foi de 0,8 mmHg, sendo maior em Fevereiro (0,9) e menor em Julho (0,6).

Por definição, a Umidade Relativa (UR) é a razão entre a Pressão de Vapor Atual (PVA) e a Pressão de Vapor Saturante (PVS) correspondente à mesma temperatura:

$$UR = 100 \text{ PVA} / \text{PVS} (\%)$$

Como PVA corresponde à Umidade Absoluta (UA), no caso das médias mensais esta mesma relação pode ser escrita:

$$UR_{med} = 100 \text{ UA}_{med} / \text{PVS}_{med} (\%)$$

A Pressão de Vapor Saturante pode ser calculada (ver ASHRAE, 1976). Admitindo-se que PVSmed corresponda à pressão de saturação de TBSmed, torna-se possível

estimar as médias mensais de Umidade Relativa para cada ponto do território estudado.

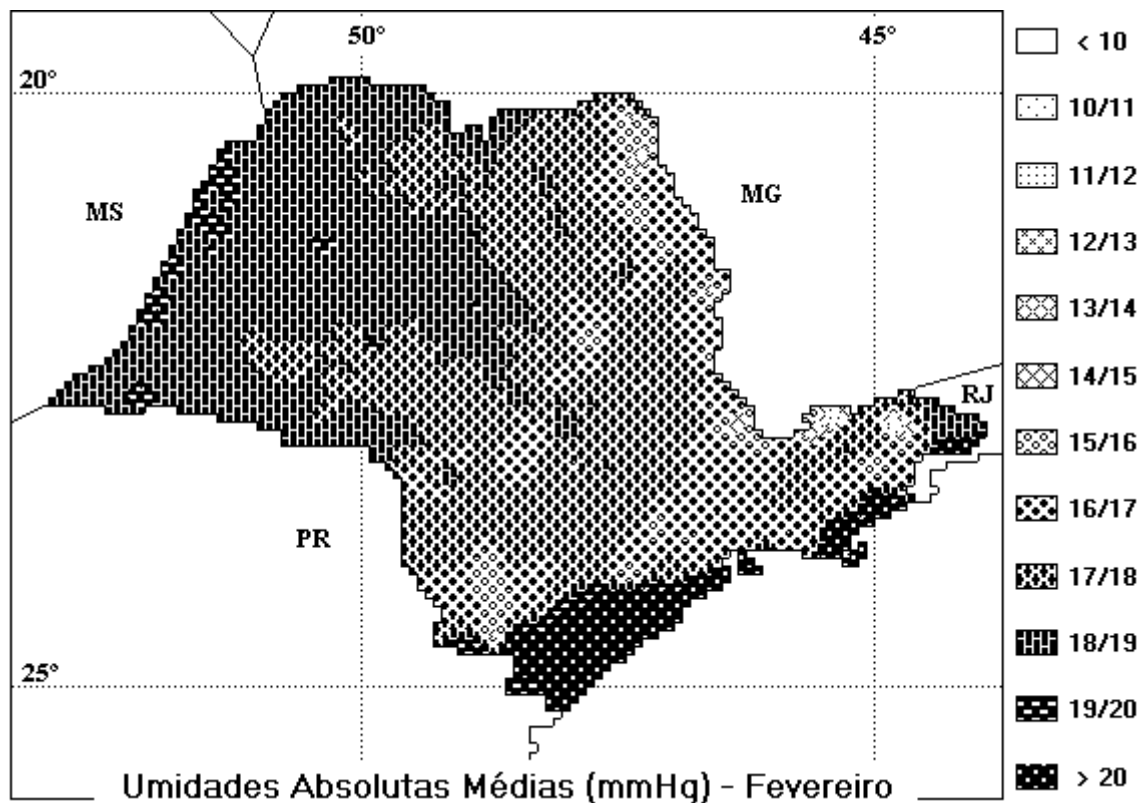


Fig. 9 Exemplo de Umidades Absolutas Estimadas – Medias Mensais de Fevereiro

6 Bibliografia

ASHRAE (1976): *Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations*, Washington, D.C.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1975): *Boletim Meteorológico (1970-1974)*, Secretaria dos Serviços de Obras Públicas. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, São Paulo, SP.

MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA (1966): *Tabelas Climatológicas - Volume 1 (1961-1965)*, Diretoria de Rotas Aéreas. Rio de Janeiro, RJ.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1961): *Normais Climatológicas (1931-1960)*, Escritório de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Rio de Janeiro, RJ.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA (1992): *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília, DF.