

RELATÓRIO ANUAL

(*PIBIC / CNPq*)

Bolsista : **Roberto Rabelo Júnior**

Orientador : *Dr. Clóvis Angeli Sansigolo*

Título do Projeto : *Previsão estatística das precipitações diárias na cidade de São Paulo usando uma única radiossondagem.*

Período : *Agosto de 1995 à Julho de 1996*

Instituição : *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*

Departamento : *Departamento de Ciências Meteorológicas (DCM-INPE)*

I. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

As previsões estatísticas de precipitação têm sido objeto de pesquisas e desenvolvimento em várias partes do mundo, desde o final do século passado. Ultimamente, tiveram maior interesse devido à ampliação das atividades econômicas e sociais envolvendo riscos de chuvas.

Geralmente, essas previsões se baseiam em índices de instabilidade, que são parâmetros numéricos que visam relacionar a ocorrência de chuvas com a circulação atmosférica de grande escala.

Schell (1946) propôs um método para previsão objetiva de precipitações locais, modificado por *Krown* (1953) e aprimorado por *Druyan e Sant* (1978), com bons resultados para Israel.

Solano e Yamazaki (1982) desenvolveram um modelo estatístico de 7 preditores, baseado em *Druyan* (1982), para previsão de um dia das precipitações para Natal, RN e obtiveram bons resultados no trimestre de inverno.

Segura (1987) aplicou o método de *Druyan e Sant* (1978) à estação de Ezeiza em Buenos Aires e, comparando os resultados com os de *Druyan e Sant* para Israel, encontrou diferenças significativas atribuídas à fatores geográficos e climáticos locais.

Beneti e Silva Dias (1986 e 1990) avaliaram o desempenho dos diversos índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo e Centro-Sul do Brasil.

Sandim et alii (1990) aplicaram o índice de *Druyan e Sant* para previsão quantitativa de precipitações no Estado do Rio de Janeiro, mas, só obtiveram bons resultados sobre a ocorrência de precipitações.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e a verificação de um método estatístico de previsão quantitativa das precipitações diárias na cidade de São Paulo, utilizando apenas os dados de uma única radiossondagem.

II. METODOLOGIA

Os dados utilizados neste estudo foram as radiossondagens diárias no *Aeroporto de Congonhas* e as precipitações diárias no *Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP, na cidade de São Paulo)*, no período de 1970-91.

Foi desenvolvido um programa de computador para ler o arquivo das radiossondagens (74887 linhas x 80 colunas), selecionar a das 12 GMT e também os períodos com maior número de observações durante a estação chuvosa (outubro-março) e, finalmente, gerar um arquivo de trabalho com as mesmas. Baseado nesse arquivo de trabalho, foi desenvolvido um novo programa para calcular os índices de instabilidade, como mostrado a seguir:

1) *Índice SHOWALTER (Manual "Skew-T - Log P", 1969)*

Um dos primeiros índices de instabilidades desenvolvidos foi o índice de Showalter (IS), função apenas de dois parâmetros: a temperatura do ar em 500 mb (T_{500}) e a temperatura do ponto de orvalho em 500 mb (Td_{500}):

$$IS = T_{500} - Td_{500}$$

O IS é interpretado da seguinte forma:

- +1 < IS < +5 Algumas tempestades na área.
- 2 < IS < +1 Boa chance de trovoadas.
- 6 < IS < -2 Tempestades severas.
- IS < -6 Possibilidade de tornado.

2) *Índice K (Reap and Foster, 1975)*

Sendo T_p a temperatura do ar no nível de pressão p ; e Td_p a temperatura do ponto de orvalho no nível de pressão p ; K é dado por:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

O índice K atinge valores máximos quando a taxa de variação vertical de temperatura é instável e com umidade em abundância até 700 mb. Para valores maiores que 25, a relação entre o índice e a frequência de tempestades é aproximadamente linear, sendo considerados significativos.

3) *TOTALS (Miller and Maddox, 1975)*

O índice TOTALS (TOT) é também utilizado para o cálculo do índice Sweat. A grande fraqueza deste índice e do índice K é a dependência da umidade em 850 mb (a umidade pode existir, porém pode não atingir 850 mb). Quando a massa de ar é úmida e quente, esses índices dão interpretação semelhantes mas, quando o ar é mais frio e seco, o TOTALS tem melhores resultados por dar um peso maior à presença do ar frio em 500 mb.

$$TOT = T_{850} + Td_{850} - 2 * T_{500}$$

O índice TOTALS indica tempestades quando $TOT \geq 50$.

4) *SWEAT (Miller and Maddox, 1975)*

O índice Sweat (Severe Weather Threat: ameaça de tempestades severas), descrito por Miller e Maddox (1975), combina parâmetros importantes como indicadores de potencial de tempestades severas. Os parâmetros incluídos descrevem: a estabilidade da coluna atmosférica, o jato de níveis baixos, o jato de níveis médios e o cisalhamento direcional entre os ventos de níveis baixos e médios. Para o índice Sweat, apenas os ventos maiores de 250 são considerados significativos.

$$SW = 12 * Td_{850} + 2 * V_{850} + V_{500} + 20 * (TOT - 49) + 125 * f(\alpha)$$

5) *DRUYAN-SANT (Druyan and Sant, 1978)*

Druyan e Sant (1978) desenvolveram previsores de precipitação para um período de 12 horas usando uma única radiossondagem. O índice de Druyan-Sant (IDS) leva em consideração a razão de mistura (w) de cada observação e a distância vertical (Dz) entre o nível da radiossondagem e o nível de condensação por levantamento (ncl). Esse índice é calculado em intervalos de 50 mb na vertical, a partir da superfície até 600 mb. No caso de São Paulo, consideraram-se a Superfície (805 m), 900, 850, 800, 750, 700, 650 e 600 mb e tomou-se um valor médio desses 8 níveis.

$$IDS = \frac{w}{Dz} \text{ (g / (Kg . 100m))}$$

6) *GALWAY (Manual "Skew-T - Log P", 1969)*

Devido a escolha arbitrária do nível de 850 mb no índice de Showalter, Galway propôs o Índice Levantado (IL), uma modificação do IS onde se considera a razão de mistura média da camada entre superfícies e 850 mb de sondagem. Usualmente os valores deste índice são menores que os de Showalter.

$$IL = T_{500} - T''_{500}$$

7) *FAWBUSH-MILLER (Manual "Skew-T - Log P", 1969)*

Em geral, os valores do índice IFM e do IS são semelhantes. Entretanto, pode ocorrer diferenças significativas no IS, quando o valor da umidade a 850 mb não é representativo da camada abaixo desta pressão, ou quando uma inversão de subsidência está localizada logo abaixo de 850 mb. Assim, o IFM considera mais informações acerca dos valores de umidade.

$$IFM = T_{500} - T'_{500}$$

8) *CAPE - Energia Potencial Convectiva (Betts et alii, 1976)*

A energia cinética da parcela se esta saísse do nível de condensação por levantamento(ncl) e alcançasse o topo da nuvem levando em conta apenas o empuxo é indicativa do quão instável esta a atmosfera. Pode-se fazer uma relação quantizável entre energia convectiva e precipitação máxima de uma nuvem de natureza convectiva, permitindo fazer uso desta quantidade como parâmetro para a previsão de tempestades.

O limite inferior da integral é o nível de condensação por convecção (ncc), nível no qual a parcela condensaria caso sofresse convecção forçada; e o limite superior é o nível de equilíbrio (ne) onde a parcela, uma vez atingido o ncc, continuaria em ascensão por um processo pseudo-adiabático até que no ne a temperatura da parcela e do ambiente seriam a mesma e a parcela não mais estaria instável.

$$CAPE = \int_{ncc}^{ne} g \frac{(\theta_{par} - \theta_{amb})}{\theta_{amb}} dz$$

No apêndice 1 encontram-se maiores detalhes sobre os cálculos dos cinco índices já concluídos: (IS, K, TOT, SW, IDS).

III. RESULTADOS OBTIDOS

Feita a análise do arquivo de dados meteorológicos de altitude (radiossondagens nos níveis padronizados) do Aeroporto de Congonhas, na cidade de São Paulo, no período de 1970 até 1991, e, utilizado os dados de precipitação do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP), selecionou-se três períodos com as radiossondagens das 12 GMT:

- Outubro/1984-Março/1985 (com 182 radiossondagens),
- Outubro/1989-Março/1990 (com 177 radiossondagens) e
- Outubro/1990-Março/1991 (com 181 radiossondagens).

Alguns resultados obtidos para os índices *SHOWALTER*, *K*, *TOTALS*, *SWEAT* e *DRUYAN-SANT*, juntamente com as precipitações diárias na cidade de São Paulo no período escolhido são mostrados na Tabela 1 e nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5.

Os objetivos são as estimativas de precipitação com 1 dia de antecedência (período entre as 9h do dia *D* às 9h do dia *D+1*), através dos diferentes índices de instabilidades calculados para o dia *D*. No período analisado, os índices se comportaram da seguinte forma:

- ⇒ O Índice *SHOWALTER* (IS) teve como média 11,4 e desvio-padrão 9,5 para os dias *chuvosos* e média 20,9 e desvio-padrão 8,3 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para IS, maior a possibilidade de precipitações na área mencionada. Esse índice apresentou grandes diferenças entre os dias secos e chuvosos, logo, é um bom indicador de precipitações (Tabela 1 e Figura 1).
- ⇒ O Índice *K*, por sua vez, teve como média 30,7 e desvio-padrão 6,3 para os dias *chuvosos* e média 18,9 e desvio-padrão 13,5 para os dias *secos*. Quanto mais altos esses valores (maiores de 25), maior a possibilidade de tempestades (Tabela 1 e Figura 2). Esse índice é também considerado um bom indicador de precipitações.
- ⇒ O Índice *TOTALS* (TOT) apresentou como média 42,9 e desvio-padrão 3,5 para os dias *chuvosos* e média 39,4 e desvio-padrão 7,4 para os dias *secos*. Esse índice não teve um bom desempenho pois não permitiu uma boa distinção entre os dias secos e chuvosos (Tabela 1 e Figura 3). Quanto mais altos os valores obtidos para esse índice, maior a possibilidade de chuvas, ou seja, valores maiores que 49 indicam tempestades localizadas.

- ⇒ O Índice *SWEAT* (SW) teve como média 77,2 e desvio-padrão 86,8 para os dias *chuvosos* e média -17,5 e desvio-padrão 152,1 para os dias *secos*. Quanto mais altos os valores obtidos, maior a ameaça de tempestades, ou seja, somente os valores maiores que 250 são considerados significativos para a previsão de tempestades severas, que não se observaram no período escolhido (Tabela 1 e Figura 4).
- ⇒ O Índice DRUYAN-SANT (IDS) teve como média 2,9 e desvio-padrão 2,2 para os dias *chuvosos* e média 1,4 e desvio-padrão 1,0 para os dias *secos*. Os valores maiores que 2,0 indicaram precipitações em 75% dos casos. Esse índice provou ser eficaz na maioria dos casos que houve precipitação (Tabela 1 e Figura 5).

Na seqüência deste trabalho, os demais índices (*GALWAY*, *FAWBUSH-MILLER*, *CAPE*) serão incluídos, pois se encontram em fase de planejamento e elaboração.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENETI, C. A. A.; SILVA DIAS, M. A. Análise da performance dos índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo. Anais IV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1986, v. II, p. 65-70.
- BENETI, C. A. A.; SILVA DIAS, M. A. Análise do desempenho de índices de instabilidade como previsores de tempestades na região Centro-Sul do Brasil. Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 1990, v. II, p. 467-471.
- BETTS, A. K.; GROVER, R. W.; MONCRIEFF, M. W. Structure and motion of tropical squall-lines over Venezuela. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 102:395-404, Jan 1976.
- DRUYAN, L. M.; SANT, Y. Objective 12h precipitation forecasts using a single radiosonde. Bulletin of the American Meteorological Society, 59(11):1438-1441, Nov 1978.
- DRUYAN, L. M. Automated precipitation forecasts using a single-station radiosonde profile. Bulletin of the American Meteorological Society, 63(5):499-502, May 1982.
- KROWN, L. Detailed radiosonde analysis in local 12h forecasting of precipitation at Lydda Airport. State of Israel Meteorological Service, Series A Meteorological Notes No. 8, 8p.
- MILLER, R. C.; MADDOX, R. A. Use of the Sweat and Spot indices in operational severe storm forecasting. Pp. 9th Conf. on Severe Local Storm, Am. Met. Society, Boston - U.S.A.
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. Manual de análise do diagrama "Skew-T - Log P". MMA-DR-105-7, 1969, p. 56-61.
- REAP, R. M.; FOSTER, D. S. New operational thunderstorm and severe storm probability forecasts based on Model Output Statistics (MOS). Pp. 9th Conf. on Severe Local Storm, Am. Met. Society, Boston - U.S.A.
- SANDIM, M. D.; MARQUES, J.; CAVALCANTE, D. R.; ALOISE, E. D.; FERREIRA, A. V. Aplicação do índice de Druyan e Sant (1978) para a previsão quantitativa de precipitação para o Estado do Rio de Janeiro. Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 1990, v. II, p. 190-194.
- SCHELL, I. I. Single radiosonde analysis in local 8h forecasting of precipitation. Bulletin of the American Meteorological Society, 27(4):164-168, Apr 1946.
- SEGURA, M. E. Prognóstico estadístico de precipitación. Anales II Congr. Interam. Meteor. e V Congr. Argentino Meteor. Buenos Aires, 1987, p. 3.1.1. - 3.1.5..
- SOLANO, C. P.; YAMAZAKI, Y. Previsão estatística de precipitação a partir de uma única radiossondagem. Publicação interna, INPE, 1982.

TABELA 1. Índices de SHOWALTER (IS), K, TOTALS, SWEAT e DRUYAN-SANT (IDS) para alguns dias com fortes precipitações

<i>Dia/Mês/Ano</i>	<i>IS</i>	<i>K</i>	<i>TOTALS</i>	<i>SWEAT</i>	<i>IDS</i>	<i>PRECIPIT. (*)</i>
18/10/84	2,86	35,78	46,68	179,89	2,92	31,0
25/11/84	4,56	31,66	44,02	126,65	2,20	38,0
17/03/85	2,25	37,68	46,94	192,33	5,22	38,6
11/11/89	2,82	34,11	46,21	114,96	1,77	20,7
22/01/90	2,85	26,24	46,16	193,27	4,28	76,9
22/03/90	0,70	36,28	42,18	164,28	9,88	47,9
15/10/90	1,37	36,12	46,78	147,38	5,03	30,0
07/11/90	2,13	32,77	41,95	141,15	2,24	27,4
12/02/91	1,68	37,08	48,52	221,12	2,41	35,8

(*) Índices do dia *D* e precipitação do dia *D + 1*.

APÊNDICE 1

TABELA RESUMIDA DOS ÍNDICES DE INSTABILIDADE

Índice	Descrição Sumária	Referência
<i>SHOWALTER</i>	$IS = T_{500} - T'_{500}$	<i>Manual Skew-T - Log P</i>
<i>K</i>	$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$	<i>Reap and Foster (1975)</i>
<i>TOTALS</i>	$TOT = T_{850} + Td_{850} - 2*T_{500}$	<i>Miller and Maddox (1975)</i>
<i>SWEAT</i>	$SW = 12*Td_{850} + 2*V_{850} + V_{500} + 20*(TOT - 49) + 125*f(\alpha)$	<i>Miller and Maddox (1975)</i>
<i>DRUYAN-SANT</i>	$IDS = \frac{w}{Dz} \text{ (g / (Kg . 100m))}$	<i>Druyan and Sant (1978)</i>

onde: T_p = Temperatura em °C no nível de pressão p.

Td_p = Temperatura de ponto de orvalho no nível de pressão p, obtida pela seguinte expressão:

$$Td \approx T - \{(14,55 + 0,114.T).X + [(2,5 + 0,007.T).X]^3 + (15,9 + 0,117.T).X^{14}\}$$

onde: $X = 1,00 - f/100$ e

f = umidade relativa em percentagem.

V_p = Velocidade do vento (em nós) no nível de pressão p.

$f(\alpha)$ = Função de cisalhamento do vento.

w = Razão de mistura calculada a partir da pressão de vapor:

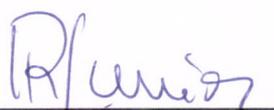
$$w = 0,622 * e / (p - e)$$

onde: $e = 10^{(9,4 - 2353/Td)}$

Dz = Distância vertical entre o nível da radiossondagem e o nível de condensação por levantamento (ncl):

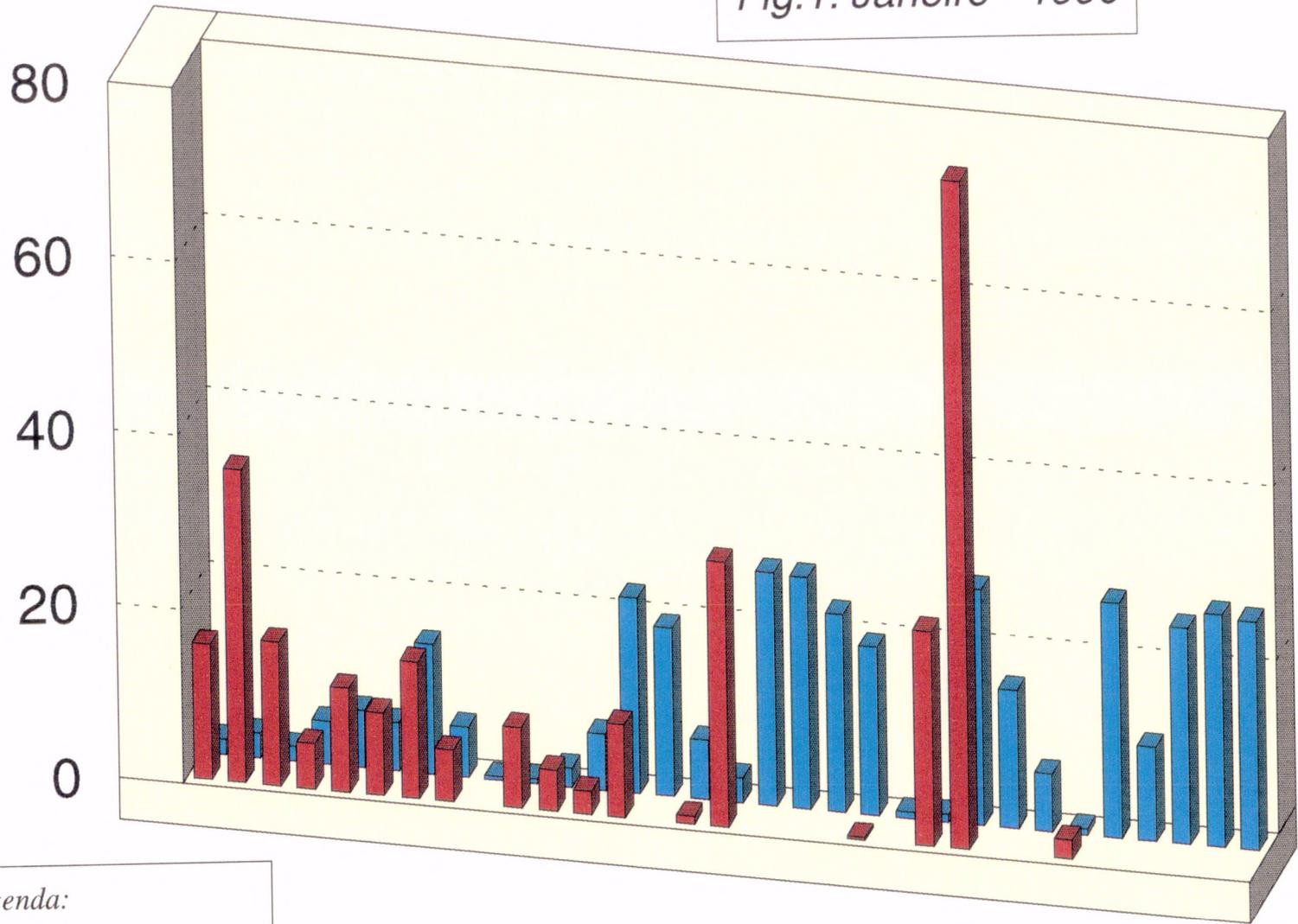
$$Dz = 1,25 * (T_p - Td_p)$$

São José dos Campos, 06 de Julho de 1996.



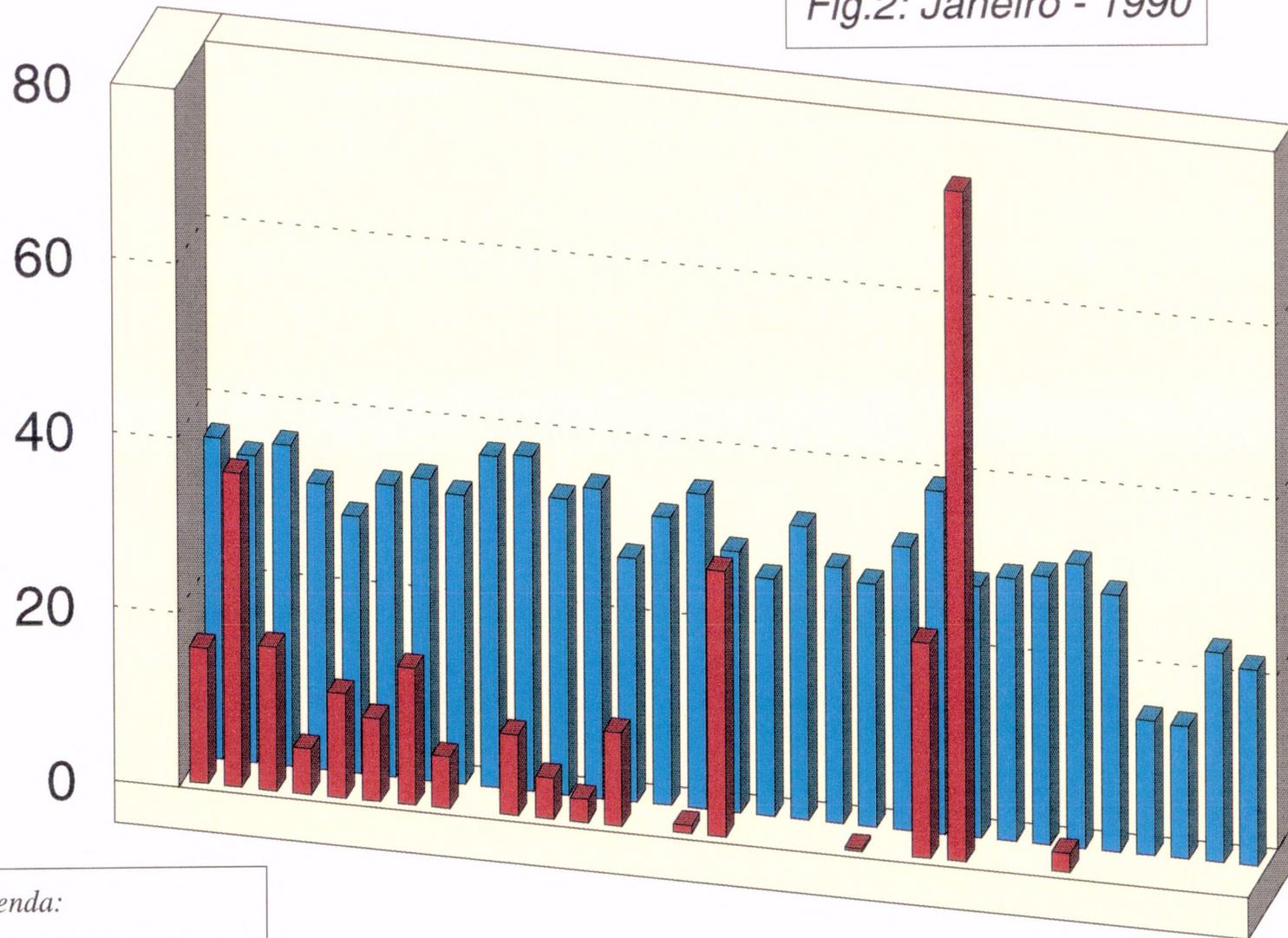
Roberto Rabelo Júnior

Fig.1: Janeiro - 1990



Legenda:
■ Precipitação (mm)
■ Índice Showalter

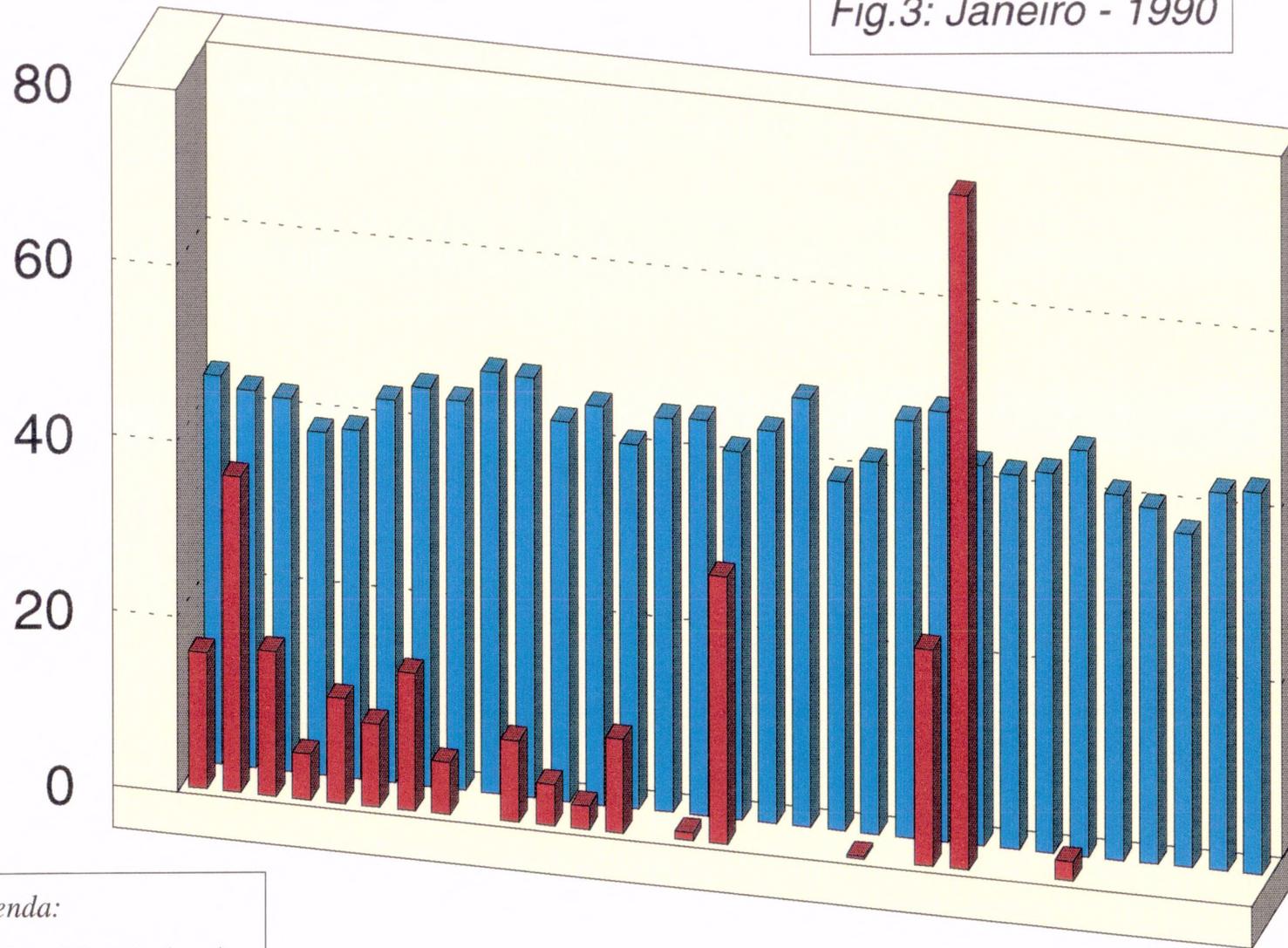
Fig.2: Janeiro - 1990



Legenda:

- Precipitação (mm)
- Índice K

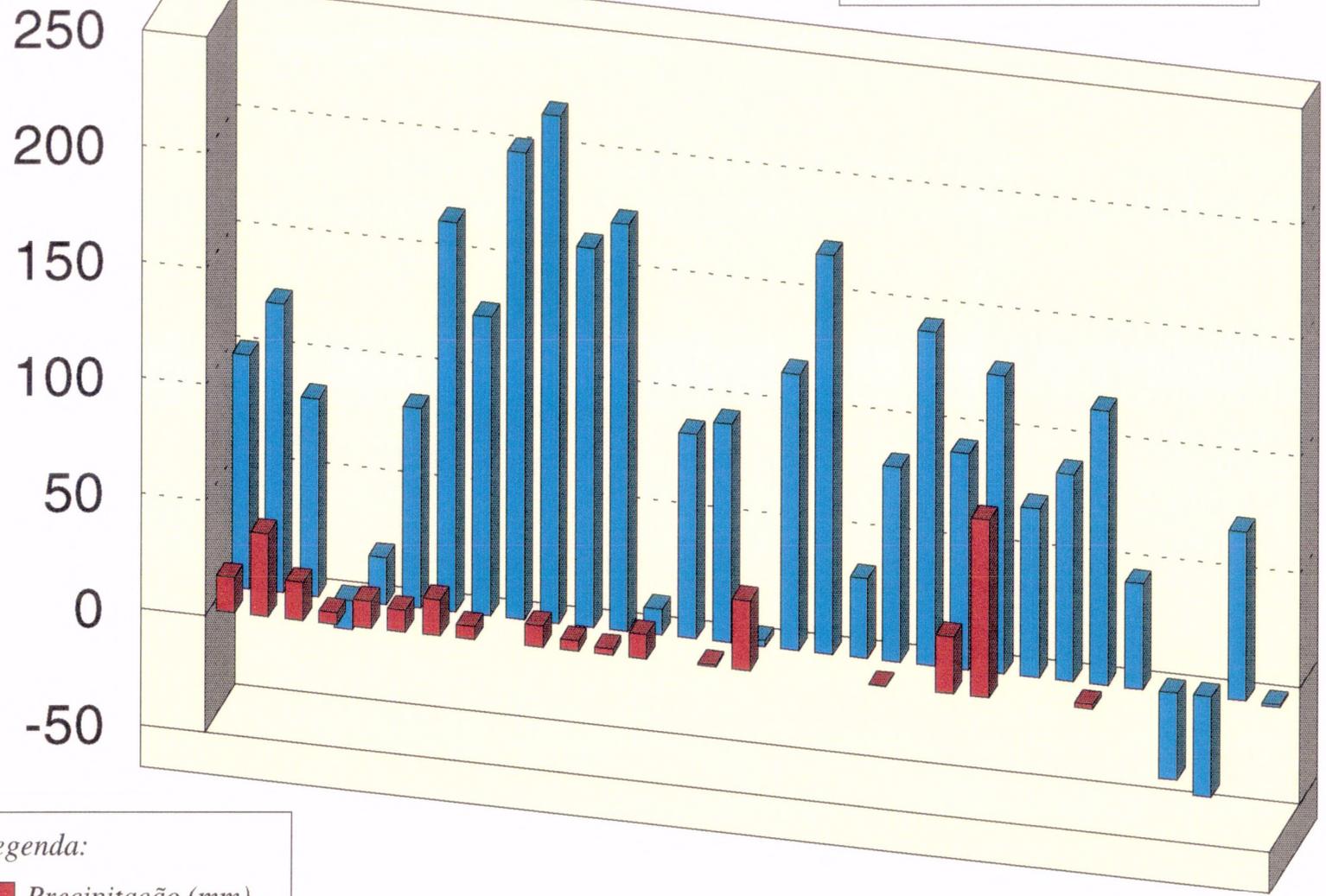
Fig.3: Janeiro - 1990



Legenda:

- Precipitação (mm)
- Índice Totals

Fig.4: Janeiro - 1990



Legenda:
■ Precipitação (mm)
■ Índice Sweat