

Caracterización de la precipitación del estado de San Pablo

JONAS TEIXEIRA NERY

DFI, Área de Meteorología, UEM, Maringá, CEP 87020-900, Brasil

SERGIO LUIZ THOMAZ

DGE, UEM, Maringá, CEP 87020-900, Brasil

VALMIR DE FRANÇA

Depto. de Geociências, UEL, CEP 86051, Brasil

(Manuscrito recibido 21 de enero, 1997; aceptado en forma final 26 de nov. de 1997)

RESUMEN

Fluctuaciones en escala estacional e interanual de la precipitación en el Estado de San Pablo fueron estudiadas, utilizando datos del Departamento de Agua e Energía Eléctrica de São Paulo (DAEE). El período utilizado fue de 1948 a 1988. En la escala estacional se buscó tipificar la precipitación y entender la variabilidad de la misma en el período de verano (6 meses) e invierno (6 meses), utilizando distintos parámetros estadísticos. En la escala interanual, se estudió la relación de la precipitación en San Pablo con la Oscilación Sur (OS). Los resultados mostraron que virtualmente todas las fluctuaciones interanuales más significativas en la precipitación en el área de estudio estuvieron asociadas con las fases extremas de la OS. La característica más importante en la manifestación de la OS fue la persistencia de anomalías débiles y moderadas por varios meses. Aunque la señal de Oscilación Sur resultó estadísticamente significativa, se verificó que una única fase de la OS, sea positiva o negativa, puede resultar tanto en precipitación sobre o abajo de lo normal.

ABSTRACT

The interannual, seasonal fluctuations of precipitation in the S. Paulo State were analyzed. The meteorological data were collected by Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE). These data comprise the years 1948 to 1988. The seasonal scale was studied to classify the precipitation and to understand the winter (six months) and summer (six months) variabilities. We have used different statistical parameters, such as mean, correlation, standard deviation. The interannual fluctuations were studied through the relation of the precipitation in S. Paulo State with South Oscillation (SO). Virtually all significant variations were associated with extreme phases of the SO. It has also been verified that the most important characteristic of the SO effect is the persistence of weak precipitation anomalies for several months. Although statistically significant SO signal can be associated with either above or below normal precipitation.

1. Introducción

La región sudeste, en Brasil, tiene una significativa participación en la matriz generadora de la economía nacional. Es motor de la producción secundaria y en este contexto se inserta el estado de San Pablo, influenciado por los impactos de los fenómenos atmosféricos extremos, su sistema agropecuario y su estructura vial.

El territorio paulista se integra a la sub-cuenca del Paraná, uno de los ríos formadores del complejo continental de la cuenca del Plata, siendo uno de los nexos entre los países que integran el Mercado Común del Sur (MERCOSUR), hecho que determina una especial atención en relación a la planificación de los recursos naturales, más específicamente al gerenciamiento de sus recursos hídricos.

En términos hidrometeorológicos, están los de los fenómenos de las sequías prolongadas, como las que ocurrieron en 1988 y 1994 y los fenómenos atípicos de las precipitaciones, como los ocurridos en 1967, 1982 y 1983; relacionados o no con el evento El Niño/Oscilación Sur (ENOS) (Castañeda y Barros, 1994).

El clima del estado de San Pablo recibe influencias de los siguientes factores estáticos: continentalidad, maritimidad, orografía, ubicación geográfica (es cortado por el Trópico de Capricornio), Monteiro (1969), Nimer (1979). De los factores dinámicos, genéticamente relacionados con los sistemas de circulación atmosférica del sudeste brasileño, recibe influencias de: corrientes perturbadas del sur, corrientes perturbadas del Oeste y de las corrientes perturbadas del Este. Otro factor, este de origen antrópico, se refiere al proceso de urbanización, comprometiendo la calidad ambiental a través de los efectos adversos en el clima.

Otra influencia importante y que tiene relación con los factores dinámicos, principales modeladores de las características de las precipitaciones en San Pablo, es el hecho que, durante el invierno, el anticiclón polar, más energético, tiene una trayectoria al este de la Cordillera de los Andes, transpone esta cordillera en el sentido NNW-SSE, disipándose en seguida. Este proceso causa la inexpresividad de las precipitaciones en invierno (Molion, 1988).

Durante el verano, los frentes polares siguen al este de la cordillera andina, cargados de humedad, siendo los responsables por las abundantes precipitaciones en esta época del año.

Otro factor dinámico que interfiere en los altos índices de precipitaciones, a lo largo de la costa sur-sudeste, en el período de octubre a marzo es explicado por Monteiro (1969), quien demostró la formación de bloqueos de masas polares por los sistemas de baja presión, provocando tempestades, creando serios problemas en los municipios que tienen una planificación urbana inadecuada, tales como derrumbes, destrucción de autopistas, inundaciones, etc.

Un estudio más detallado sobre la caracterización de las precipitaciones en el Estado de San Pablo, podrá diagnosticar los fenómenos extremos, regionalizar estas características para pronosticar tendencias, tornándose una herramienta para el gerenciamiento de los recursos hídricos, una de las condiciones fundamentales para la planificación regional.

El presente estudio contó con 45 series pluviométricas, en el período de 1948 a 1988 (Tabla 1, Fig. 1). La metodología empleada constó de la regionalización realizada a través de un análisis multivariado

TABLA I - ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

CÓDIGO	LOCALIDADE	LATITUD (S) (°) (')	LONGITUD (W) (°) (')	LATITUD (m)	PERÍOD O (año)
SP-01	BURITIZAL	20 11	47 43	840	38/88
SP-02	NUPORANGA	20 39	47 43	610	37/88
SP-03	ESTRADA DA CUNHA	22 59	45 02	757	36/88
SP-04	BARRETOS	20 34	48 34	518	36/88
SP-05	ICÉM	20 20	49 12	430	37/88
SP-06	GUARAREMA	23 19	46 07	600	30/88
SP-07	PEDRO BARROS	24 14	47 23	18	39/88
SP-08	ATIBAIA	23 09	46 33	770	33/88
SP-09	JUQUIÁ	24 19	47 37	15	33/88
SP-10	BAIRRO DO SARAPAU	23 30	47 49	550	45/88
SP-11	PEREIRA BARRETO	20 42	51 07	300	40/88
SP-12	DESCALVADO	21 57	47 42	840	40/88
SP-13	ARARAQUARA	21 51	48 30	440	38/88
SP-14	ARARAQUARA	21 53	48 09	580	38/88
SP-15	IACANGA	21 54	49 02	450	44/88
SP-16	BARBOSA	21 16	49 56	400	37/88
SP-17	GUAIÇARA	21 37	49 48	460	38/88
SP-18	ARAÇATUBA	21 12	50 27	390	44/88
SP-19	PARAPUÁ	21 47	50 47	480	45/88
SP-20	BANANAL	22 41	44 19	460	39/88
SP-21	CRUZEIRO	22 35	44 59	540	41/88
SP-22	MONTEIRO LOBATO	22 52	45 47	780	44/88
SP-23	SANTO ANTONIO DO PINHAL	22 49	45 44	970	44/88
SP-24	CAMPINAS	22 56	46 54	690	37/88
SP-25	ITARAPINA	22 15	47 49	740	36/88
SP-26	TORRINHA	22 23	48 10	720	37/88
SP-27	GÁLIA	22 19	49 32	520	40/88
SP-28	AMERICANA	22 42	47 17	540	37/88
SP-29	CÁNDIDO MOTA	22 53	50 20	360	39/88
SP-30	QUINTANA	22 04	50 18	600	41/88
SP-31	PRESIDENTE PRUDENTE	22 05	51 23	460	43/88
SP-32	MARTINÓPOLIS	22 15	51 10	430	46/88
SP-33	AVARÉ	23 05	48 55	780	40/88
SP-34	SAN JOSÉ DOS CAMPOS	22 03	45 54	570	44/88
SP-35	TIETÉ	23 00	47 43	570	40/88
SP-36	CERQUILHO	23 09	47 48	490	42/88
SP-37	ITAPETININGA	23 35	48 02	650	40/88
SP-38	IPAÚÇU	23 01	49 34	620	42/88
SP-39	SAN JOSÉ DO RIO PARDO	21 36	46 54	660	43/88
SP-40	ILHA BELA	23 47	45 21	10	44/88
SP-41	AMPARO	22 42	46 46	670	40/88
SP-42	AGUAÍ	22 03	46 59	650	40/88
SP-43	CACHOEIRA PAULISTA	22 40	45 01	511	33/88
SP-44	CERRADINHO	23 58	48 17	610	40/88
SP-45	FAZENDA DA GUARDA	22 42	46 46	670	41/88

Fonte: DNAEE

Tabla I. Estaciones pluviométricas de la Provincia de San Pablo, Brasil, utilizadas en este trabajo, con los códigos, latitud, longitud, altitud y período.

(Cluster), estudios de los periodos más lluviosos y de los periodos más secos, a través del desvío en relación al promedio climatológico (1948 a 1988), interferencias con los eventos ENOS y anti El Niño (La Niña); determinación de los trimestres más lluviosos y más secos; estadística descriptiva parcial con la elaboración de las isolíneas, además de la utilización de una estadística específica, como en los casos de las series temporales, correlación linear, tendencia y análisis de la variación.

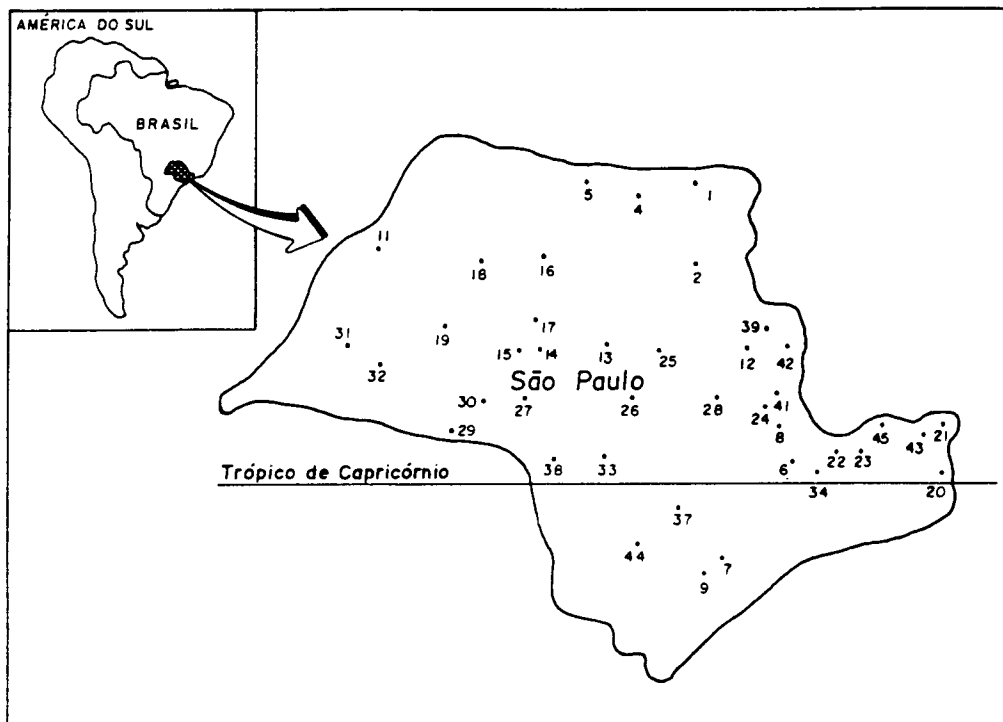


Fig. 1. Ubicación de las estaciones del Estado de San Pablo

2. Metodología

Los datos de las 45 estaciones pluviométricas, fueron oriundos del Departamento Nacional de Aguas y de Energía Eléctrica (DNAEE), debidamente homogeneizados. Estas series abarcan en su totalidad el período de 1948 a 1988, representando los valores totales mensuales.

El área de estudios se inserta en la región sudeste de Brasil, descrita por Nimer (1979), como es siendo “la región de mayor diversidad climática, considerándose el régimen de temperatura”. La Figura 1 muestra la posición geográfica del estado de San Pablo, con la ubicación de las estaciones pluviométricas y la clasificación regional. La Tabla 1 relaciona las estaciones, incluyendo el prefijo identificativo, los nombres de las localidades, las coordenadas geográficas, altitudes y períodos de actividades.

La selección de las series fue realizada considerando dos aspectos: 1) una mejor distribución espacio-temporal de las estaciones representativas de las regiones en el estado y, 2) las series escogidas deberían tener más de 40 años de actividades, con un mínimo de datos ausentes.

2.1 Homogeneización

La homogeneización fue realizada para ejercer un control de las series. En cada análisis de datos meteorológicos, es importante que los registros sean homogéneos, es decir, comparables dentro del período de observaciones. Este análisis, que opera con valores acumulados, posibilita determinar la consistencia de las informaciones recolectadas durante el período de tiempo establecido. Permite también ajustar los valores más antiguos en conformidad con los obtenidos después del cambio de estación del lugar.

Las principales causas de la heterogeneidad son: 1) modificación del medio que circunda el local de la medición (desplazamiento del medio, cambio de la altura del instrumento; 2) errores debidos al instrumento de medida (modificación de la superficie receptora por construcción, cambio o deformación y defectos de calibración); 3) errores de transmisión; 4) errores de medición o grabación; 5) errores en el almacenamiento de las informaciones y publicación de las mismas (Nery y Martins, 1995)

Todas las fallas anteriormente mencionadas alteran la homogeneidad de las series cronológicas de precipitaciones.

2.2 Método de agrupamiento

Para el proceso de agrupamiento es necesario que haya informaciones relativas a cada objeto, pues el número de estimativas de medidas de desimilaridades es relativamente grande, hecho que torna impracticable el reconocimiento de grupos homogéneos a través del simple examen visual de aquellas estimativas. Para realizar esta clasificación se emplearon métodos de agrupamientos (Cluster).

Entre los métodos de agrupamientos comúnmente empleados, se citan los de jerarquización y los de optimización. Los métodos jerárquicos son también separados en aglomerados y divisivos. El método de Ward (Ward's Method) que usa el análisis de la variación para evaluar las distancias entre los objetos, asociado al City-block (Manhattan) distances, fue el que presentó mejor clasificación en este estudio.

2.3 Análisis estadístico

La variación de la precipitación de un año a otro es, indudablemente, un valor importante. Esta variabilidad puede ser medida a través de varios parámetros estadísticos, tales como media, mediana y desvío estándar. El análisis de estos parámetros demuestra la estructura de las series a pesar de que sean necesarios otros parámetros estadísticos.

2.4 Análisis armónicos de las series

Una de las aplicaciones más importantes de las técnicas analíticas ya desarrolladas por Fourier, representa una función por una suma de funciones periódicas.

En el análisis de Fourier, las funciones periódicas usadas son senos y cosenos. Consideraremos una función discreta. Podemos suponer que deriva de una función continua $S(t)$ de duración T , tomando una muestra de valores espaciados en Δ . Si $N = T/\Delta$, $SR = S(t=r\Delta)$ y, por conveniencia se supone que N es par e igual a $2n$, se puede escribir la serie finita de Fourier, de la siguiente forma:

$$S(t) = A_0 \sum_{m=1}^{n-1} (A_m \cos 2\pi mft + B_m \text{sen} 2\pi mft) + A_n \cos 2\pi nft$$

donde $f = 1/N$ frecuencia fundamental de la función $S(t)$ y corresponde a un período igual a la longitud más larga de la función. $S(t)$ tiene N constantes; A_m y B_m pueden ser determinadas por $S(t) = SR$ en los puntos $t=r\Delta$. Para cada $t=r\Delta$ se tiene una ecuación, es decir, tenemos un conjunto de N ecuaciones con N incógnitas. Las expresiones finales (Jenkins and Watts, 1968), para los coeficientes A_m y B_m

considerándose que las funciones seno y coseno son ortogonales:

$$A_m = \frac{1}{N} \sum SR \cos\left(\frac{2\pi mr}{N}\right)$$

$$B_m = \frac{1}{N} \sum SR \text{sen}\left(\frac{2\pi mr}{N}\right)$$

$m = 0, 1, \dots, n$ y A_0 es el promedio de los SR. Si N es impar el término A_n desaparece.

2.5 Función de correlación

Una observación meteorológica no es comúnmente independiente de las condiciones precedentes, aunque la dependencia decrece en la medida que el intervalo de tiempo entre eventos sucesivos aumenta (Brooks and Carruthers, 1953). Esta tendencia de los valores sucesivos de la serie, a repetir sus valores precedentes, y a ser influenciados por ellos, se denomina persistencia.

Una de las formas de obtenerse la evidencia de persistencia de una variable es obtener la estimación inicial del proceso mediante la función de autocorrelación (Panofsky and Brier, 1965).

$$r(l) = \left(\frac{1}{N-1}\right) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x(i) - \bar{x})(x(i+1) - \bar{x})}{S_x^2} \right)$$

donde: l es el desplazamiento temporal retrasos; N es el número total de los datos de la serie; \bar{x} es el valor medio de la variable y S es la variación.

Se examinan los coeficientes de autocorrelación para los primeros retrasos de la serie y se determina si estos decrecen exponencialmente en forma consistente con la hipótesis de un modelo Markoviano o de ruido rojo (proceso autorregresivo de primer orden).

En el caso de existir una persistencia de este tipo, el coeficiente de correlación $r(n)$ para un retraso arbitrario n , se acercará al coeficiente $r(1)$ elevado a la k -ésima potencia: $r_k = (r_1)^k$ significativamente, entonces se puede asumir una persistencia Markoviana en la serie. Si estas relaciones se satisfacen aproximadamente y $r(1)$ difiere de cero, forma autocorrelograma para estos procesos autoprogresivos exponenciales.

2.6 Meses más lluviosos y meses más secos

En la determinación de meses más lluviosos y más secos, se usó como referencia el volumen medio de lluvias de un mes, en relación al volumen medio anual de precipitaciones. Fueron considerados tres meses

del período seco (mayo a julio) y tres del período húmedo (diciembre a febrero). Se usó también la combinación de seis meses del período seco (abril a septiembre) y seis del período húmedo (octubre a marzo). Otro cálculo también realizado fue el porcentaje de lluvias caídas en períodos de tres meses consecutivos.

2.7 Índices de anomalías de la precipitación

El cálculo del índice de anomalías de la precipitación fue realizado con el objetivo de enfatizar los puntos positivos y negativos, significativamente importantes. Para esto se utilizó la media de cada mes del período citado en este trabajo. Usando esta media fue calculada la diferencia de las precipitaciones totales mensuales para cada mes de cada período ($X - \bar{X}$).

2.8 Análisis de varianza

El análisis de la variación es una prueba estadística de hipótesis nula, que consiste en la comparación de los datos obtenidos en la observación de diferentes grupos. El objetivo es determinar si existen o no diferencias significativas, estadísticamente, en valores medios de datos de cada grupo. En la actualidad los procedimientos de estos análisis tienen aplicación en casi todo tipo de proyectos experimentales y sirven para evaluar, adecuadamente, los datos obtenidos en un conjunto de experimentos, investigaciones o mediciones. En este análisis, el cociente de las variaciones entre y dentro de los distintos grupos que intervienen en él, contrasta con la distribución teórica de Fisher-Student.

3. Resultados y discusiones

Las 45 series del período comprendido entre 1948 y 1988, fueron trabajadas inicialmente para la clasificación regional a partir de las estaciones pluviométricas, empleándose el análisis multivariado. El dendograma resultante del uso del Ward's Method - City block (Manhattan) distances (Fig. 2), fue el más adecuado, siendo posible asociar las regiones discriminadas con elementos de paisajes geográficos. Se

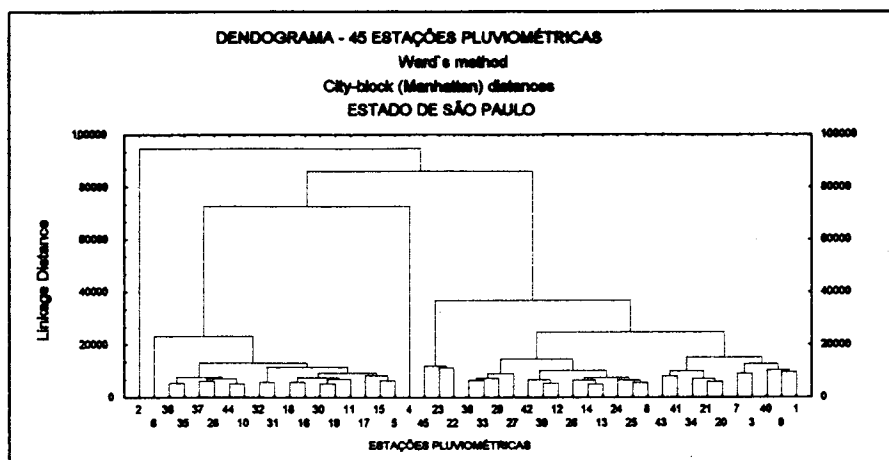


Fig. 2. Dendrograma de las series de precipitación del Estado de San Pablo. En el eje X se encuentran las series de precipitación y en el eje Y la distancia

realizó un corte subjetivo en 10.000 (Linkage distance), distinguiéndose siete regiones distintas, quedando aisladas apenas las SP2; SP4 y SP6. Estas regiones (Fig. 3) poseen las siguientes características: Región I - Localizada en los cuadrantes Sur/sureste, alcanzando los compartimientos orográficos de la "Serra do Mar" y del "Planalto Cristalino". Alcanza altitudes sobre 1000 m, que descienden en dirección al Oeste. Comparándose el mapa de las isolinéas, los promedios climatológicos, ocurre una superposición entre el área de dominio de las isolinéas de 1100 mm a 1300 mm. Esta región es representada por la estación SP37, ubicada en Itapetininga, en la altitud de 650 m. Región II - Abarca casi la totalidad del "Planalto Occidental". Esta región puede ser asociada al dominio de las isolinéas de los promedios de 1200 a 1300 mm en el sector oeste del Estado de San Pablo. Tiene como representante la estación SP19, situada en Parapuá, a una altitud de 480 m. Región III - Ocupando el sector Norte/noreste, región de sierras, está asociada a la "Serra do Mar", entre la Planicie Litoránea y el "Planalto Cristalino". Está representada en este trabajo por la estación SP23, localizada en Santo Antonio do Pinhal, a una altitud de 970 m. Puede ser asociada a la isolinéa de 1700 mm, recibiendo fuerte influencia del efecto de maritimidad, deduciéndose de este hecho el alto valor medio anual de las precipitaciones. Región IV - Localizada en el cuadrante sur del Estado, alcanzando partes de la Depresión Periférica y del "Planalto Occidental": tiene como su representante la estación SP29, en Cândido Mota, a una altitud de 360 m. El dominio en esta región es de la isolinéa de 1400 mm, que puede estar, al mismo tiempo asociada con el compartimiento geomorfológico denominado "Depressão Periférica". Región V - Ocupa el sector norte, como una extensión de la región IV, ya que también se encuentra en los dominios de la "Depressão Periférica" y de la isolinéa de 1400 mm.

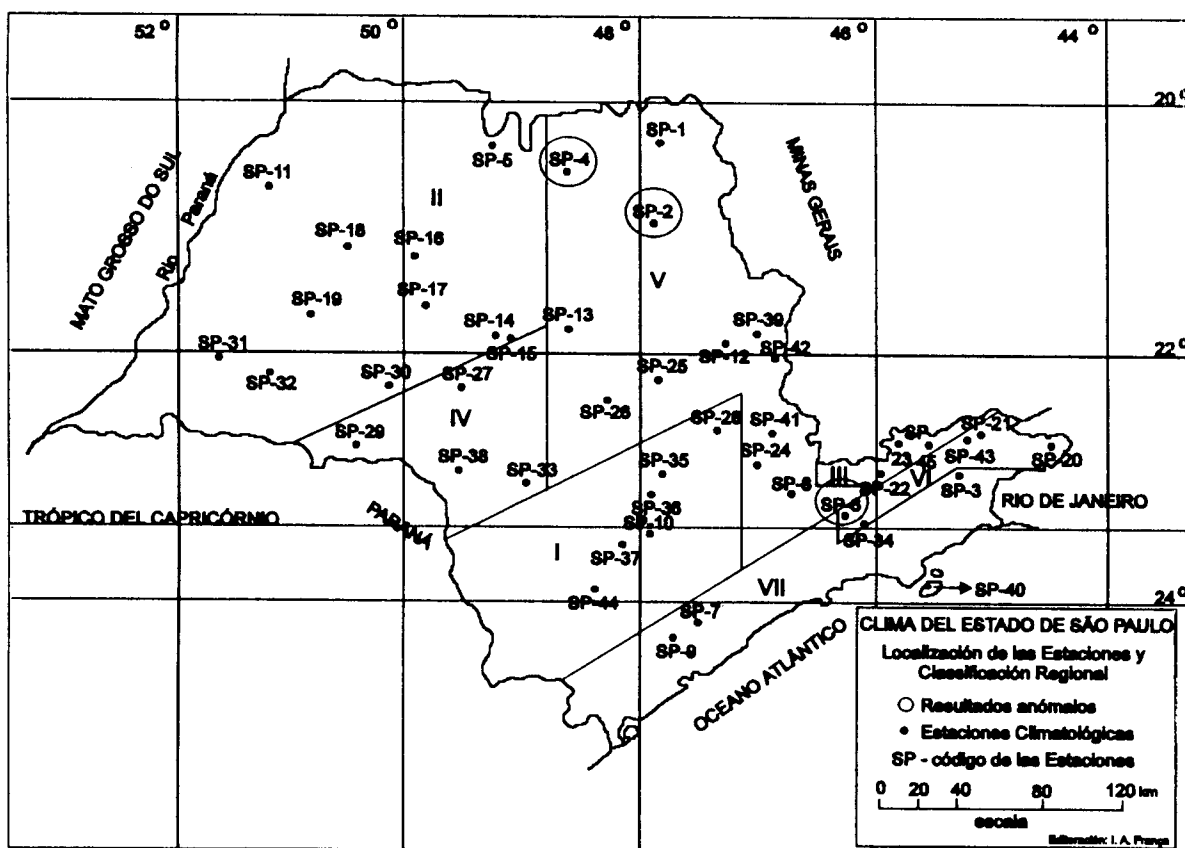


Fig. 3. En el mapa se encuentran los grupos homogéneos de acuerdo con el dendograma de la figura 2, cuyo corte está hecho en la distancia 13000.

Tiene como representante la estación SP14, situada en Araraquara, a una altitud de 580 m. Región VI - Abarca el cuadrante nordeste, en los límites orientales del "Planalto Cristalino" y es representada por la estación SP34, en San José dos Campos, a 570 m de altitud, con el dominio de las isolíneas de 1300 mm. Región VII - Está localizada en la planicie litoral contenida entre el Océano Atlántico y la "Serra do Mar"; estrecha en el litoral norte y, después de la "Baixada Santista", yendo en dirección sur, alcanza su mayor amplitud (ancho) en la "Ribeira do Iguape". Puede afirmarse que el dominio en esta estrecha faja es la isolínea de media de 1200 mm. Tiene como representante la estación SP40, en Ilhabela y apenas 10 m de altitud.

A partir de la regionalización de las series, caracterizando siete regiones climáticas en la provincia de San Pablo, se eligió una estación representativa de cada una de estas regiones para evaluar sus características a través del conjunto de estadísticas básicas y específicas. El estudio contó con la utilización de la estadística descriptiva, apenas con los parámetros: media, mediana y desvío padrón; siendo posteriormente elaborados los respectivos gráficos, demostrando la estructura de las precipitaciones en la provincia. Todas las estaciones representan, nitidamente, una estructura muy característica de la región tropical, con intensas precipitaciones durante los meses de verano y poca lluvia en los meses de invierno.

Se realizó otro análisis para la comparación de las series temporales a través del análisis armónico de Fourier, evidenciando en la provincia de San Pablo una onda anual nítida, como característica climática, presentándose en las siete regiones, con la variación explicada, oscilando entre los valores de 35 a 65%, siendo que la región VII presenta los menores valores en amplitud y, la región serrana, incluyendo las regiones III y VI, presenta las mayores amplitudes (55 a 60% respectivamente).

A través de la función de autocorrelación se analizó la persistencia de las series de precipitaciones. Se nota que todas las series estudiadas muestran, en cierta medida, características climatológicas de la onda anual. Las series presentan una onda sinusoidal con ruido blanco. No aparecen correlaciones perfectas, Nery *et al.* (1994). Las series de precipitaciones no son autorregresivas de primer orden, en vista de que los correlogramas no decaen exponencialmente y no se cumple que $r_k = (r_1)^k$. Las series son aleatorias puras, pues $r(1)$ es menor que $r(1)$, para todas las series analizadas, en el referido nivel de significación.

Con los parámetros de la estadística básica, media, mediana y desvío patrón, se confeccionarán mapas temáticos de isolíneas. La Figura 4 presenta isolíneas promedios de la precipitación en esta región. Interpretándose estas isolíneas correspondientes a las medias climatológicas, se pueden asociar las regiones clasificadas a través de Cluster (Ward's Method). Las áreas de dominios de las isolíneas identifican las regiones climatológicas, por ejemplo: la Región I coincide con el conjunto de isoietas de 1100 a 1300 mm, en el cuadrante Sur/sureste; las de 1200 a 1500 mm coinciden con la Región VII. En el Oeste hay dominio de las isoietas de 1200 a 1300 mm, caracterizando la Región II (Nery and Martins, 1995).

Fueron correlacionadas las 45 series para el período de 1948 a 1988. La Figura 5 (Correlación Lineal), muestra los gráficos para el total anual, total de invierno (de 6 y de 3 meses) y para veranos de 6 a 3 meses, años de ENOS (82-83) y de Anti-ENOS (88). Los análisis de los gráficos (Figs. 5 y 6), demuestran que durante los meses de verano ocurre mayor dispersión entre los puntos, teniendo en cuenta todos los criterios. Este hecho se debe a la existencia de períodos de génesis convectiva, sucediendo en regiones en momentos diferentes. El invierno en todos los gráficos presentó una mayor concentración de los puntos, demostrando mayor concentración (entre 0.5 y 1.0), menos el de 82/83, el cual presentó algunos puntos

dispersos. Se puede afirmar que esta concentración es debida a la existencia de los episodios asociados con los sistemas frontales, comunes a la época.

El estudio de la variación interanual se realizó tomando todos los años de ENOS y de Anti-El Niño, dentro del período 1948 a 1988. Fueron clasificados con el ENOS los años 1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1982, 1983, 1986 y 1987. Los años de Anti-El Niño fueron : 1950, 1955, 1956, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975 y 1978. (Tabla II (a) y (b)).

Los años con interferencias del ENOS, con excepción de los años 1951 y 1953, fueron significativamente lluviosos (+) en casi la totalidad de las series y en todos los años en los que ocurrió el evento atípico. Los años 1951 y 1953 fueron secos. De esta misma forma, los años de anti- El Niño, fueron marcadamente secos (-) en la mayoría de las estaciones.

Un hecho que llama la atención es que hubiera años muy húmedos, como los de 1961 y 1980, sin que se presentara el ENOS, y que hubiera años secos, como los de 1950 y 1978 sin que se presentara el anti-El Niño. Estos hechos justifican la necesidad de realizar estudios más detallados sobre estos comportamientos, para saber las posibles causas de dichos fenómenos atípicos.

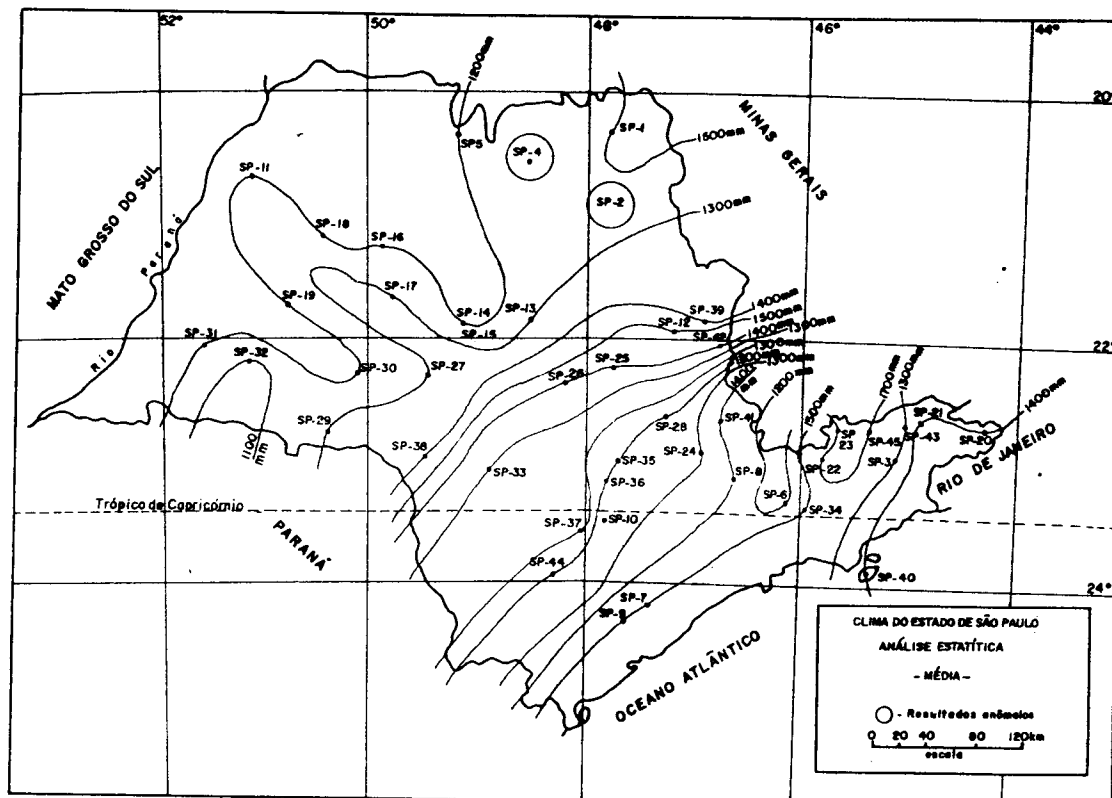


Fig. 4. Isolíneas de la precipitación del Estado San Pablo.

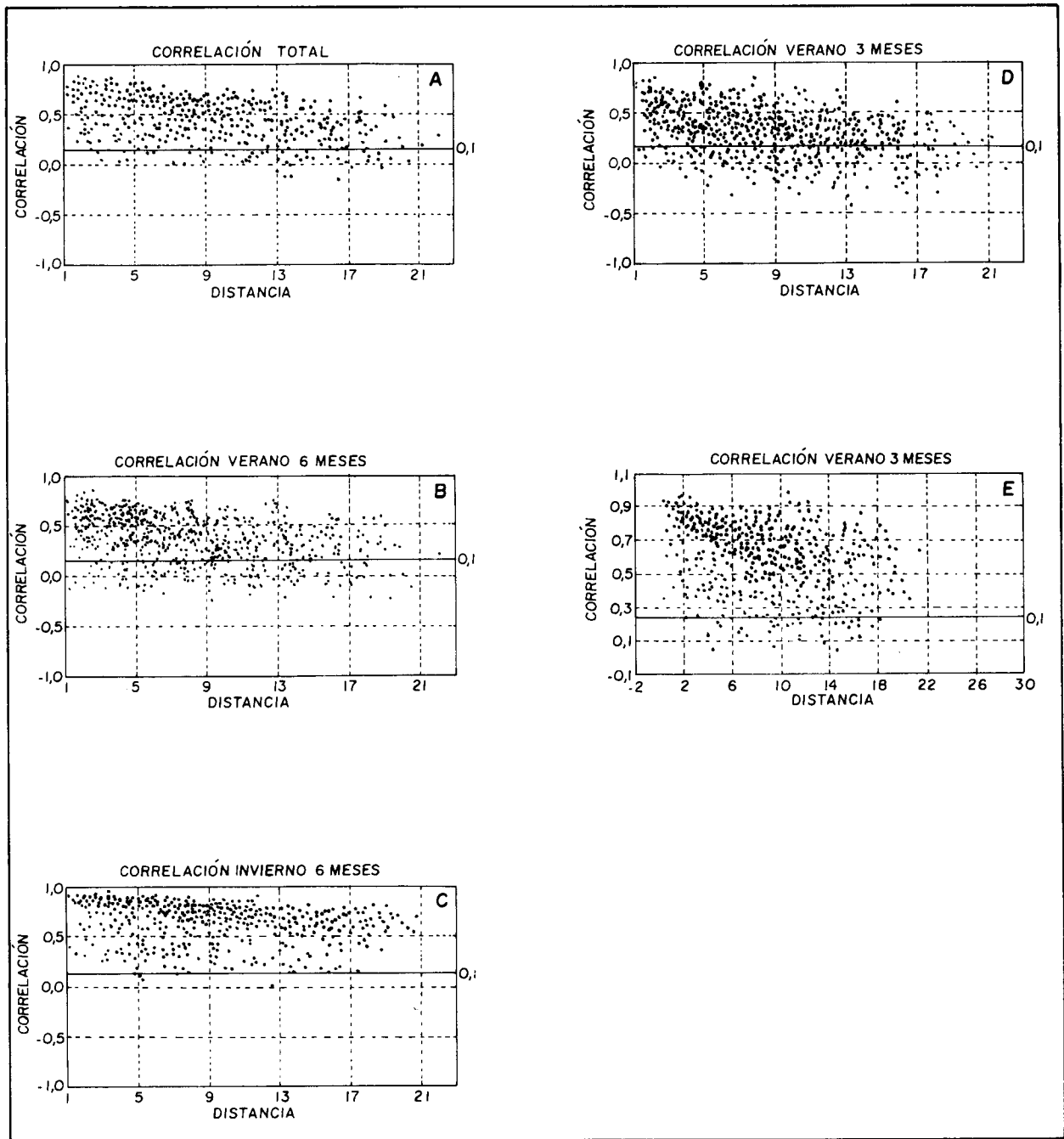


Fig. 5. Correlación lineal en función de la distancia, para total anual (Fig. 5A), verano 6 meses (Fig. 5B), invierno 6 meses (Fig. 5C), verano 3 meses (Fig. 5D) y verano 3 meses (Fig. 5E). Los veranos 6 meses y 3 meses fueron definidos de octubre a marzo y de enero a marzo, respectivamente. Los inviernos 6 y 3 meses fueron definidos de abril a septiembre y mayo a julio, respectivamente.

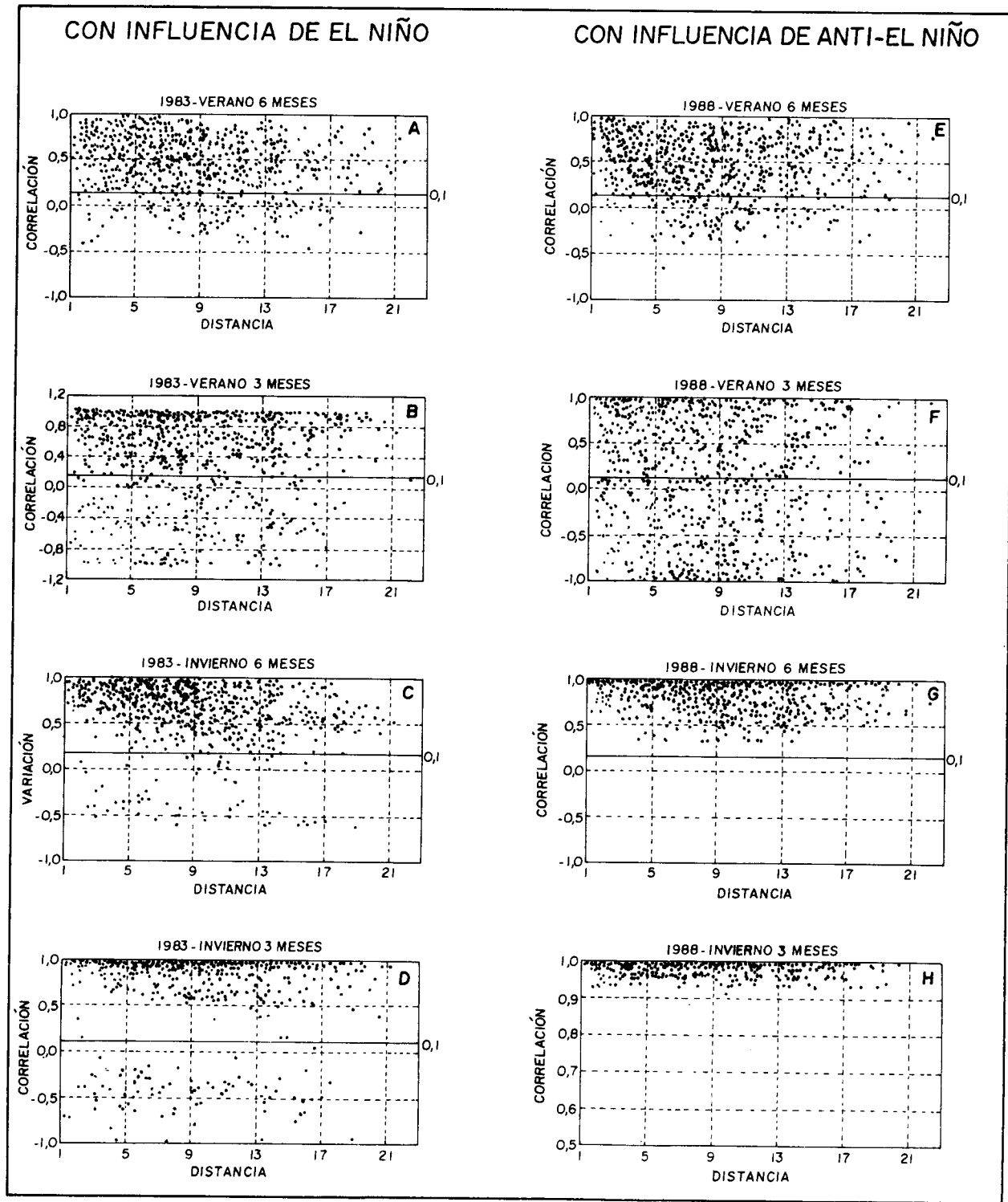


Fig. 6. Correlación lineal en función de la distancia para los años de El Niño y anti-El Niño. La Figura 6A presenta año de El Niño, verano de 6 meses. La figura 6B, año de El Niño, verano de 3 meses. La Figura 6C, año de 3 meses. Las Figuras 6E, 6F, 6G y 6H presentan los periodos de verano 6 meses, verano 3 meses respectivamente, invierno 6 meses e invierno 3 meses para un año de anti-El Niño.

TABLA II (a). AÑOS MÁS LLUVIOSOS Y MÁS SECOS

AÑOS	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6	SP 7	SP 8	SP 9	SP 10	SP 11	SP 12	SP 13	SP 14	SP 15	SP 16	SP 17	SP 18	SP 19	SP 20	SP 21	SP 22	SP 23
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1949	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950*	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-
1951#	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
1952	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1953#	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1955*	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
1956*	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
1957#	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1958	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
1959	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
1960	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1961	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-
1962	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
1963#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964*	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
1965#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1966	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
1967	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
1970*	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
1971*	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
1972#	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
1973*	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-
1974	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
1975*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-
1976#	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1977	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-
1978	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
1979	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
1980	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
1981	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
1982#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1983#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1984	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
1986#	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-
1987	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-
1988*	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+

Tabla II (a). La tabla presenta los signos para cada año. Los signos positivos representan desviaciones positivas en relación al promedio del período (1948-1988) y los signos negativos, desviaciones negativas, para cada año, en relación a la media climatológica. Los signos (#) EL NIÑO y (*) ANTI-EL NIÑO.

TABLA II (b). AÑOS MÁS LLUVIOSOS Y MÁS SECOS

AÑOS	SP 24	SP 25	SP 26	SP 27	SP 28	SP 29	SP 30	SP 31	SP 32	SP 33	SP 34	SP 35	SP 36	SP 37	SP 38	SP 39	SP 40	SP 41	SP 42	SP 43	SP 44	SP 45
1948	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
1950*	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+
1951#	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
1953#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
1955*	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+
1956*	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
1957#	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
1958	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
1959	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
1960	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
1961	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-
1962	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
1963#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964*	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
1965#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1967	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
1968	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970*	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+
1971*	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+
1972#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
1973*	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+
1974	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
1975*	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
1976#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1977	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
1978	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
1980	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-
1981	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+
1982#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1983#	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1984	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+
1986#	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1987	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1988*	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+

Tabla 11 (b). La tabla presenta los signos para cada año. Los signos positivos representan desviaciones positivas en relación al promedio del período (1948-1988) y los signos negativos, desviaciones negativas, para cada año, en relación a la media climatológica. Los signos (#) EL NIÑO y (*) ANTI-EL NIÑO.

A partir de la regionalización de las series (Cluster), conforme lo descrito anteriormente, se pueden analizar las características regionales, a través del análisis representativo de cada región.

La Región I, representada por la estación de Itapetininga (SP37), se localiza en el cuadrante sudeste de la provincia, coincidiendo su territorio con las isoietas de 1100 a 1300 mm. En el análisis del índice porcentual de las precipitaciones para los tres meses consecutivos, el comportamiento es idéntico al de las otras series, con veranos lluviosos e inviernos relativamente secos, Tabla III. En este caso, el trimestre más lluvioso es DJF (43%) y el trimestre con menos lluvia es el JJA (12%). Los fenómenos extremos (anomalías), se comportan, a lo largo de toda la serie, con mayores periodos con episodios (+) extremos y pocos periodos secos.

TABLA III - TRIMESTRES MÁS LLUVIOSOS Y TRIMESTRES MÁS SECOS

COD.	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	DJF
SP 01	44	32	20	11	06	04	05	14	26	40	51
SP 02	25	18	12	06	04	02	03	08	14	23	28
SP 03	45	33	22	12	08	07	08	15	24	35	47
SP 04	46	32	20	10	07	04	06	13	25	39	51
SP 05	46	33	20	10	07	04	06	14	25	38	50
SP 06	37	27	18	12	09	09	10	16	20	28	40
SP 07	41	34	27	19	15	12	13	18	21	27	41
SP 08	41	30	21	14	11	09	09	16	25	36	45
SP 09	40	33	26	18	15	13	14	19	22	28	40
SP 10	41	30	22	15	14	11	12	19	24	33	43
SP 11	43	31	22	13	09	06	08	16	25	36	47
SP 12	43	30	18	09	07	08	16	23	30	37	49
SP 13	44	31	20	12	09	07	08	14	23	37	51
SP 14	43	31	20	12	09	07	07	15	24	38	49
SP 15	43	31	20	13	11	08	09	16	23	35	49
SP 16	44	30	21	13	10	07	08	16	24	36	48
SP 17	50	37	20	12	10	07	09	15	24	36	56
SP 18	45	31	22	13	09	06	07	15	24	35	48
SP 19	40	29	21	15	12	08	09	17	25	37	45
SP 20	44	34	22	12	08	07	08	15	23	36	48
SP 21	42	32	22	13	08	07	08	16	25	43	52
SP 22	44	33	22	12	08	07	08	16	25	36	46
SP 23	43	33	22	13	08	07	08	16	24	37	48
SP 24	40	29	21	14	11	09	10	17	25	51	61
SP 25	45	33	22	13	10	08	08	15	22	33	49
SP 26	50	38	27	13	10	08	08	15	23	35	49
SP 27	41	31	22	15	13	09	10	17	24	34	45
SP 28	38	27	19	12	09	07	08	14	20	29	41
SP 29	37	30	23	18	15	12	11	18	24	34	41
SP 30	40	29	21	15	12	09	09	17	25	36	45
SP 31	40	29	21	16	13	10	10	17	25	34	44
SP 32	39	28	20	16	14	11	11	19	34	41	42
SP 33	39	29	20	16	14	11	12	18	24	33	43
SP 34	43	33	23	13	09	07	09	16	23	31	44
SP 35	40	29	21	15	12	10	11	18	25	35	45
SP 36	41	30	22	15	12	10	10	18	24	34	45
SP 37	39	29	21	15	14	12	13	19	25	33	43
SP 38	36	29	23	18	15	12	12	18	25	34	41
SP 39	43	30	20	12	08	06	07	17	25	39	49
SP 40	41	36	30	21	15	12	12	15	19	26	39
SP 41	42	30	20	13	10	09	09	17	24	36	48
SP 42	42	30	21	12	09	06	07	15	24	39	49
SP 43	43	33	24	12	07	06	08	15	25	36	45
SP 44	39	29	21	17	15	13	14	20	24	31	42
SP 45	45	32	21	12	08	06	08	15	24	36	50

Porcentaje de lluvia, para cada 3 meses consecutivos, para todas las estaciones de la provincia de San Pablo. El cálculo está hecho para el periodo 1948-1988.

La Región II, representada por la estación de Parapuá (SP19), alcanza el sector oeste, con dominio de las isoietas de 1200 a 1300 mm. El trimestre más lluvioso fue el de DJF (45%), y el más seco, fue el de JJA (7%), valor significativamente bajo pudiendo ser considerado extremadamente seco para el conjunto de la provincia. Los fenómenos anómalos confirman los trimestres más secos y los más húmedos, con eventos extremos en los que hubo sequía, principalmente en los primeros decenios de la serie, mientras que los eventos húmedos, ocurrieron en las últimas décadas.

La Región III, representada por la estación de Santo Antonio do Pinhal (SP23), cuadrante Norte/noreste de la provincia; región serrana, con cuota altimétrica superior a 900 m. El trimestre más lluvioso es DJF (48%) y el menos lluvioso es el de JJA (7%), demostrando inviernos extremadamente secos. Los eventos extremos (+), ocurren a lo largo de la serie histórica, habiendo poca presencia de fenómenos de sequía.

Localizada entre la Depresión Periférica y el Planalto Occidental, en el sector sur de la provincia, la Región IV es representada por la estación SP29, situada en Cândido Mota, a una altitud de 360 m. Predominan las isoietas anuales de 1300 a 1400 mm. El trimestre más lluvioso es idéntico a las demás series, DJF (41%) y, el más seco es JAS (11%). En relación a las anomalías, los períodos en que hubo más sequías, fueron durante las primeras décadas de la serie, y los eventos positivos extremos ocurrieron la mayor parte de las veces, en la segunda mitad de la serie histórica.

Al norte de la provincia se encuentra la Región V, como si fuera una prolongación de la región IV, en términos de división geomorfológica y de dominio de las isoietas. Su representante es la estación SP14, localizada en Araraquara, a 580 m de altitud. Los tres meses consecutivos más lluviosos son DJF (49%), y los trimestres más secos son JJA y JAS, ambos con 7%. En relación a los eventos extremos, se nota que a lo largo de la serie histórica, fueron 23 eventos con valores inferiores a la media, principalmente en los cuatro primeros decenios.

Abarcando el sector Norte/noreste, está la Región VI, representada por la estación SP34, en San José dos Campos, a una altitud de 570 m. El trimestre más húmedo fue DJF (44%) y, el más seco fue JJA (7%). Las anomalías con valores extremos significando períodos secos, totalizaron 23 índices bajo la media, ocurriendo la mayoría de ellos en la primera mitad de la serie histórica.

La Región VII alcanza toda la Planicie Litoral, siendo representada por la estación SP40, localizada en Ilhabela, a apenas 10 m de altitud. El trimestre más lluvioso fue JFM (42%), y el menos lluvioso alcanza los trimestres JJA y JAS, ambos con 12%. En relación a las anomalías, los eventos negativos (años secos), ocurrieron durante casi toda la serie histórica.

4. Conclusiones

Fueron ejecutados diversos “cortes” en el dendograma, con el objetivo de obtener conjuntos homogéneos que, efectivamente, aglutinaron el comportamiento particularizado de las estaciones pluviométricas en condiciones de permitir la regionalización de las mismas. Tal hecho se logró cuando la distancia de vinculación (linkage distance) se distribuyó a lo largo de 0 a 10000.

La clasificación definió nítidamente, siete regiones distintas, pudiendo las mismas, tener sus características asociadas a elementos del paisaje (orografía), así como factores indirectos (maritimidad, continentalidad, etc.), además de coincidir con las isolíneas y a la compartimentación geomorfológica del Estado de San Pablo

El análisis de Fourier confirma la estructura de las series, evidenciando una onda anual, caracterizando los veranos lluviosos y los inviernos secos. Esta característica es encontrada también a través del análisis de los índices porcentuales de contribución del promedio de los tres meses consecutivos, cuyo trimestre más seco fue el de JJA (junio, julio y agosto) acompañada de cerca por los trimestres de MJJ (mayo, junio y julio) y de JAS (julio, agosto y septiembre) y los más húmedos, DEF (diciembre, enero y febrero) y EFM (enero, febrero y marzo).

La correlación en función de la distancia, presenta los inviernos con correlaciones altamente significativas, no ocurriendo lo mismo en el verano. Esto se explica debido a que los sistemas polares son más homogéneos (invierno) que los sistemas convectivos, predominantes en verano.

En la correlación centrada en El Niño hay una dispersión significativa de los puntos, es decir, entre las estaciones correlacionadas. Tal hecho explica la inexistencia de un comportamiento homogéneo de la precipitación en esta región, en los años de El Niño. Lo mismo ocurre con los anti-El Niño.

Los hechos extremos, húmedos y secos, han ocurrido a lo largo de la serie histórica, independiente de las influencias del ENOS y del anti-ENOS. Se deben entender los otros factores que provocan esos eventos atípicos, lo que justifica la ejecución de pesquisas más detalladas sobre ese tema en la Región sudeste y, en la continuidad, extendiéndose a la Región sur de Brasil.

BIBLIOGRAFIA

- Brooks, C. E., N. Carruthers, 1953. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. London. 400 p.
- Castañeda, M. E., Y. Barros, 1994. Las Tendencias de la Precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorologica*, vol 19, no. 1, p. 23-32.
- Jenkins, G. M., D. G. Watts, 1968. *Spectral Analysis and its Applications*. Holden-Day, San Francisco, Cal., USA, 320 p.
- Molion, L. C. B., 1988. El Niño - Oscilação Sul e o Clima do Brasil. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. *Climanálise*, Vol. 6. no. 11, P. 29-46.
- Monteiro, C. A. F., 1969. A frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul - Oriental do Brasil. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, Séries Tese e Monografias no 1, São Paulo, Brasil.
- Nery, J. T., E. S. Silva, M. L. O. F. Martins, 1994. Estudo da Variabilidade Pluviométrica do Estado do Paraná. Revista *UNIMAR, EDUEM*, vol 16 no. 3. Maringá, Brasil.
- Nery, J. T., M. L. O. F. Martins, 1995. Estrutura da Precipitação de São Paulo. IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, p. 237 - 239, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Nimer, E., 1979. Climatologia do Brasil. Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, no. 4, 421p.

Panofsky, H. A., G. W. Brier, 1965. Some Applications of Statistics and Some Applications to Meteorology. Harriburg, Pennsylvania State University, USA, 423 p.