

# **REANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**

Nery, Jonas T.

Professor e pesquisador da UNESP/Ourinhos, SP, Brasil.

[jonas@ourinhos.unesp.br](mailto:jonas@ourinhos.unesp.br)

Povoa, Lucas V.

Técnico do laboratório de computação da Unesp/Ourinhos, SP – Brazil.

[lucas@ourinhos.unesp.br](mailto:lucas@ourinhos.unesp.br)

## **RAINFALL REVIEW OF THE STATE OF PARANA, BRAZIL**

### **SUMMARY**

Situated in the southern region of Brazil, Paraná state occupies an area of 199,323.9 km<sup>2</sup>, bordered to the north and northeast by the State of São Paulo, on the east by the Atlantic Ocean, to the south by the state of Santa Catarina, to the southwest by Argentina, to the west by Paraguay, and northwest by the State of Mato Grosso do Sul. The relief of its territory is characterized by lowland frequency on the coastal area, where predominates the alluvial plains and plateaus, and the existence of mountains of crystalline rock formations, such as Serra do Mar. In the inland, the landscape is divided into three distinct types of plateaus in the central and west regions.

The first plateau, where the city of Curitiba is located, the state capital, formations of crystalline rocks can be observed. In the second one predominates the sedimentary rocks, sandstones and limestones, and the third plateau, where there are almost 135,000 km<sup>2</sup> of the total area of the State, are observed geological formations that make up the basalt soils derived from volcanic rock and clay soils of sedimentary rocks.

A total of 53% of the total area of the state is located 600 meters above the sea level and its highest peak is the Paraná, 1.992m high. The state is crossed by the Tropic of Capricorn, which sets the southern limit of tropical crops. As a result of different topographic and geological features, the climate in the state of Parana has three distinct types, each corresponding to wet weather, presenting milder in the north and temperate in the south, where winters can be rigorous.

Parana is the fifth in economic importance among all Brazilian states. The different physical characteristics and climate of the state favor the existence of diversified agricultural activities and its degree of economic development allows the use of advanced agricultural techniques that result in higher productivity rates in the country. In 1994 the average rates of productivity in the main state of the crops (soybean, corn, beans, cotton, coffee and wheat) increased by 12.9%, due to the development of modern production systems, such as soybeans and wheat, grown on turnover system, generating two annual crops in the same area. Noteworthy is Paraná production of potatoes, sugar cane, cassava and rice. In recent years the fruit development programs has been deployed in various regions of the state.

In the northern region of Parana, the establishment of citrus orchards has allowed the industrial production of orange juice, while the apple production in many regions obtains an average yield of 30,000 tons per year. The cultivation of tropical fruits in the coastal region is generating good results, with rates of production and quality competitive on a large scale. The state has one of the largest cattle herds in the country with 8,606,629 head of cattle, and also the expressive creations of pigs (3780172) and poultry (85,713,370). The milk production of the state represents about 10% of national production. The State of Paraná, with climate dynamics of cold winter, stratiform rainfall and incoming frontal systems, remarkably intense, mainly between May and July.

There is possibility of hoarfrost, which causes damage to agricultural production in this region. Also during this period is the occurrence of air locks (Indian summer) that inhibits the rain in this area, occurring strong atmospheric stability.

During summer (December-March) rainfall is predominantly convective, occurring a supply of moisture from the northern region of Brazil, associated with the entry of frontal systems that force warm moist air to raise generating cumulus-nimbus clouds, with the occurrence of severe thunderstorms and possibly hail precipitation. The presence of moisture convergence zone, areas of the South Atlantic Convergence and Convective Complexes of Meso-scale, mainly from September to March, are marked in the central part of Brazil, reaching this state, depending on their orientation, causing increased rainfall over the area or, in some cases, inhibiting them.

The interannual variability (El Niño - oscillation periods also explains the wettest or driest in this state, because of the occurrence of the El Niño. Climatological rains above average in virtually every state in the South hand, when La Niña event occurs, unless it rains this region, often causing drought in much of the state. As the State of Paraná is primarily agricultural, producing grain (mainly wheat and soybeans) suffers a lot from this interannual variability. The 1982/83 El Niño was the most intense in the southern region, with rainfall exceeding 4000 mm, compared to the climatological average. In 1985 severe drought occurred in the same area, hit the state with negative anomalies, i.e., below the climatological average.

This study aims to accomplish an analysis of the rain in Parana state, based on data obtained from the National Water Agency (ANA), and analyze the period from 1976 to 2010. These data were primarily based on the free software, with climatological subroutine designed by Guijarro (2004). After homogenization of the data, several statistical analyses were performed, in addition to some indices to study the variability of rain in that state. The calculations showed clearly the anomalies of rainfall variability from year to year, been used as reference the climatological average. It is possible to observe temporal and special variability in the studied area.

**Key words:** rainfall, variability, ENOS.

## **RESUMO**

O objetivo desse trabalho foi realizar a reanálise da precipitação pluvial no Estado do Paraná. Para tanto foram selecionados dados no site da Agência Nacional de Água (ANA). O período utilizado para esse estudo foi de 1976 a 2010. Após selecionar os dados foram realizadas análise de consistência, preenchimento de falhas e homogeneização, utilizando o software R, com a subrotina Climatol, Guijarro (2004).

Após essas análises preliminares foram utilizados diversas estatísticas descritivas para estudar a variabilidade da chuva nessa área de estudo. Também se calculou as anomalias para anos padrões e para anos associados a eventos El Niño - Oscilação Sul (ENOS), fase positiva e negativa. Pode-se observar que a chuva no Estado do Paraná segue padrão de variabilidade bem definido, com máximos no verão e mínimos no inverno e que os eventos ENOS podem causar excessos ou déficit de chuvas nessa área de estudo.

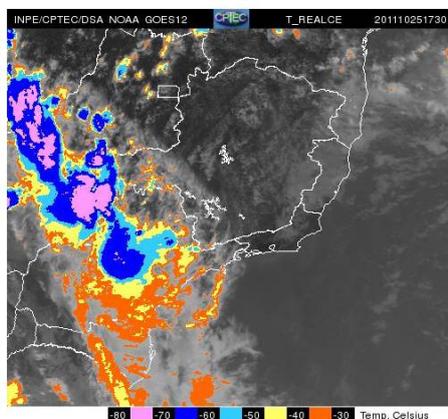
Palavras chave: precipitação pluvial, variabilidade pluviométrica, ENOS.

## **INTRODUÇÃO**

O Estado do Paraná localizado na região Sul do Brasil, tendo a sua porção Norte cortado pelo trópico de Capricórnio, sofre a influência de diversas dinâmicas climáticas. Há dois períodos marcados: o verão com chuvas convectivas intensas, devido ao maior aquecimento que resulta em mais vapor de água na região, além da entrada de vapor de água proveniente da Amazônia. Com a entrada de sistemas frontais, provenientes do extremo sul da América do Sul, esse vapor de água (quente e úmido) ascende resultando em cumulonimbus, que provocam chuvas intensas em toda a área. Algumas vezes as linhas de instabilidade estão presentes, produzindo

também chuvas duradouras nessa área. Pode-se observar na figura a seguir uma linha de instabilidade bem marcada, atingindo grande parte do estado.

As Zonas de Convergência de Umidade e de Convergência do Atlântico Sul, também são reguladoras das chuvas nessa região.



**Fonte: CPTEC.**

No inverno os sistemas frontais resultam em diminuição de temperatura e há freqüentes ocorrências de bloqueios, com acentuada subsidência sobre a região, resultando em períodos longos de ausência de chuvas, provocando prejuízos para a agricultura e problemas respiratórios na população.

O Estado do Paraná ocupa área de 199.323,9 km<sup>2</sup>, limitando-se ao norte e nordeste com o Estado de São Paulo; a leste com o oceano Atlântico; ao sul com o Estado de Santa Catarina; a sudoeste com a Argentina; a oeste com o Paraguai; e a noroeste com o Estado de Mato Grosso do Sul. O relevo de seu território caracteriza-se pela freqüência de terrenos de baixada no litoral, onde predominam as planícies de aluvião e a existência de planaltos e serras de formações rochosas cristalinas, como a Serra do Mar. Em direção ao interior, o relevo se divide em três tipos de planaltos distintos, nas seguintes regiões: central e oeste.

O primeiro planalto, onde está localizada a cidade de Curitiba, capital do Estado, apresenta formações de rochas cristalinas; no segundo predominam as rochas sedimentares, folhetos, arenitos e calcários; e no terceiro planalto, onde estão quase 135 mil km<sup>2</sup> da área total do estado, encontram-se formações geológicas basálticas que compõem os solos originados de rochas vulcânicas e os solos argilosos de rochas sedimentares.

Um total de 53% da área total do estado encontra-se localizada acima de 600 metros do nível do mar e o seu ponto mais elevado é o pico Paraná, com 1.922m de altura. O Estado é cortado pelo Trópico de Capricórnio, que estabelece o limite meridional das culturas agrícolas tropicais. Como resultado das diferentes formações topográficas e características geológicas, o clima no Estado do Paraná apresenta três tipos distintos, todos correspondentes a clima úmido, apresentando-se mais ameno na região norte e temperado no sul, onde os invernos podem ser rigorosos.

O Paraná ocupa quinto lugar em importância econômica entre todos os Estados brasileiros. As diferentes características físicas e climáticas do Estado propiciam a existência de atividades agrícolas diversificadas e seu grau de desenvolvimento econômico permite a utilização de avançadas técnicas agrícolas, que se traduzem nos mais altos índices de produtividade do país. Em 1994, os índices médios de produtividade nas principais lavouras do estado (soja, milho, feijão, algodão, café e trigo) elevaram-se em 12,9 %, em decorrência do desenvolvimento de modernos sistemas de produção, como é o caso da soja e do trigo, que são cultivados em sistema de rotatividade, gerando duas safras anuais na mesma área. Destaca-se ainda no Estado do Paraná, a produção de batatas, de cana-de-açúcar, de mandioca e

de arroz. Nos últimos anos, programas de desenvolvimento da fruticultura vêm sendo implantados em diversas regiões do Estado. Na região Norte do Paraná, a implantação de pomares cítricos vem permitindo a produção industrial de suco de laranja, enquanto a produção de maçã alcança, em várias regiões, uma safra média de 30 mil toneladas por ano. O plantio de frutas de clima tropical na região litorânea vem gerando bons resultados, com índices de produção e qualidade competitivos em larga escala. O estado possui um dos maiores rebanhos pecuários do país, com 8.606.629 de cabeças de bovinos, sendo expressivas também as criações de suínos (3.780.172) e galináceos (85.713.370). A produção paranaense de leite representa cerca de 10% da produção nacional.

O Estado do Paraná é um estado localizado na região Sul do Brasil, com dinâmica climática de inverno frio, com chuvas estratiformes e entrada de sistemas frontais, marcadamente intensos entre maio e julho, principalmente. Há possibilidade de ocorrência de geadas, o que provoca danos na produção agrícola dessa região. Também nesse período há a ocorrência de bloqueios atmosféricos (veranico) que inibe a chuva nessa área, ocorrendo forte estabilidade atmosférica. Durante o verão (dezembro a março) as chuvas são predominantemente convectivas, ocorrendo um aporte de umidade da região Norte do Brasil, que associadas a entrada de sistemas frontais forçam esse ar úmido e quente a ascender, gerando nuvens cumulonimbus, com ocorrência de tormentas severas e eventualmente precipitação de granizos. A presença de Zona de Convergência de Umidade, Zonas de Convergência do Atlântico Sul e Complexos Convectivos de Mesoescala, principalmente de setembro a março, são marcados na parte Central do Brasil, atingindo esse estado, dependendo da sua orientação, provocando aumento de chuva sobre a área ou, em alguns casos, inibindo-as.

A variabilidade interanual (El Niño - Oscilação Sul) também é explicada os períodos mais úmidos ou mais secos nesse estado, pois quando ocorre El Niño, chove acima da média climatológica em praticamente todos os estados da região Sul. Já quando ocorre o evento La Niña, chove menos nessa região, muitas vezes provocando déficit hídrico em grande parte do Estado. Como o Estado do Paraná é essencialmente agrícola, a produção de grãos (principalmente trigo e soja) sofre muito com essa variabilidade interanual. O El Niño de 1982/83 foi o mais intenso na região Sul, com chuvas superiores a 400 mm, comparativamente a média climatológica. Já em 1985 ocorreu seca intensa nessa mesma região, atingida o Estado com anomalias negativas, ou seja, abaixo da média climatológica.

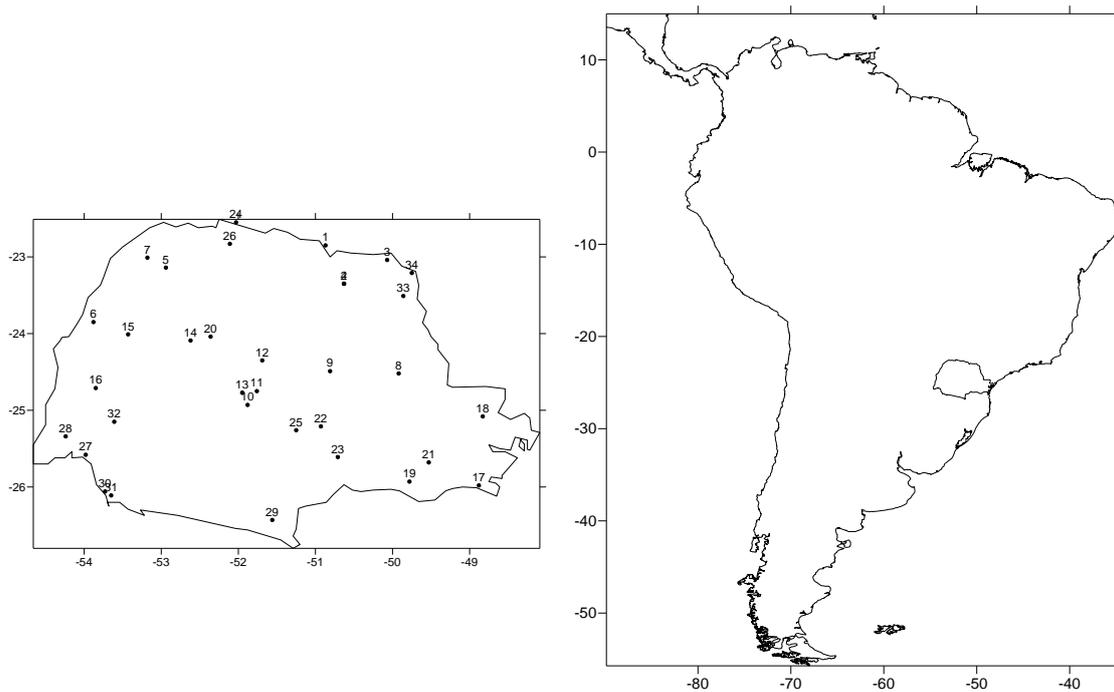
O objetivo desse trabalho é realizar uma análise da chuva no Estado do Paraná, com base em dados obtidos junto a Agência Nacional de Água (ANA), tendo o período analisado de 1976 a 2010.

## **METODOLOGIA**

Os dados foram obtidos no site da Agência Nacional de Água (ANA). O período elegido para a análise obedeceu ao critério de distribuição espacial, dentro da área de estudo, Figura 1.

Esses dados foram consistidos, primeiramente com base no *software* livre R, com subrotina CLIMATOL, desenhada por Guijarro (2004). Após a homogeneização dos dados foram realizadas diversas análises estatísticas, além de aplicação de alguns índices para estudar a variabilidade da chuva nesse estado. Os cálculos das anomalias mostraram claramente variabilidade da chuva de ano para ano, tendo como referência a média climatológica. É possível observar variabilidade espacial e temporal da chuva na área de estudo.

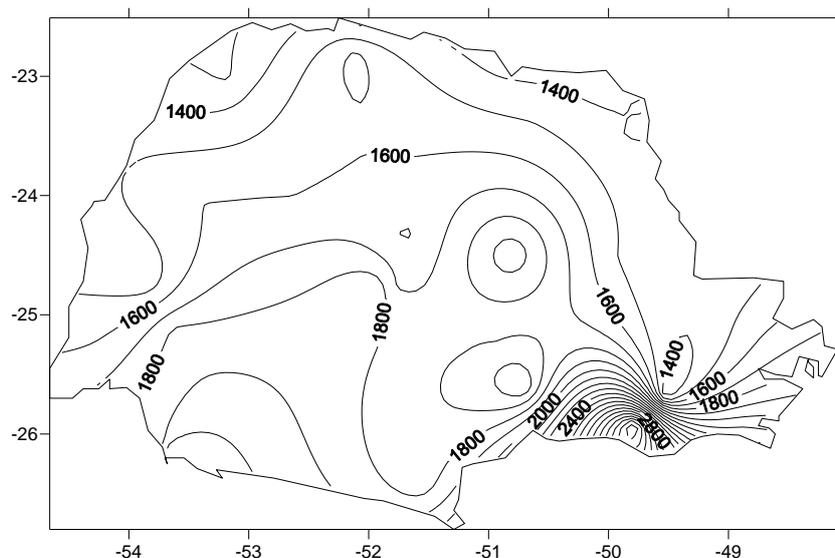
Diversas estatísticas descritivas foram utilizadas, tais como cálculos de médias, desvios padrões e coeficiente de variação. Também foram calculadas anomalias, para alguns períodos de ocorrência ou não de eventos ENOS.



**Figura 1** – Localização das séries pluviométricas do Estado do Paraná.

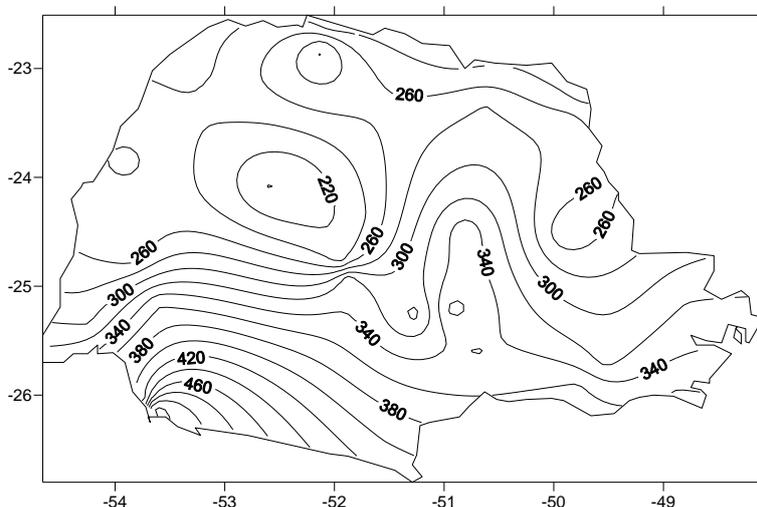
## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pode-se observar nas Figuras 2 e 3 os valores médios (média climatológica) e desvio padrão das chuvas na área de estudo. O estado é marcado por chuvas marcadas no litoral (leste do estado), com valores superiores a 2000mm. Já a oeste do estado esses valores são da ordem de 1600mm, marcando essa região com menor quantidade de chuva, o que é explicado pela presença de marcas de ar, reguladoras das chuvas dessa área, que são mais secas e quentes, principalmente na primavera e verão. A advecção do ar úmido do oceano Atlântico propicia mais umidade a região leste, provocando aumento de chuva nessa área.

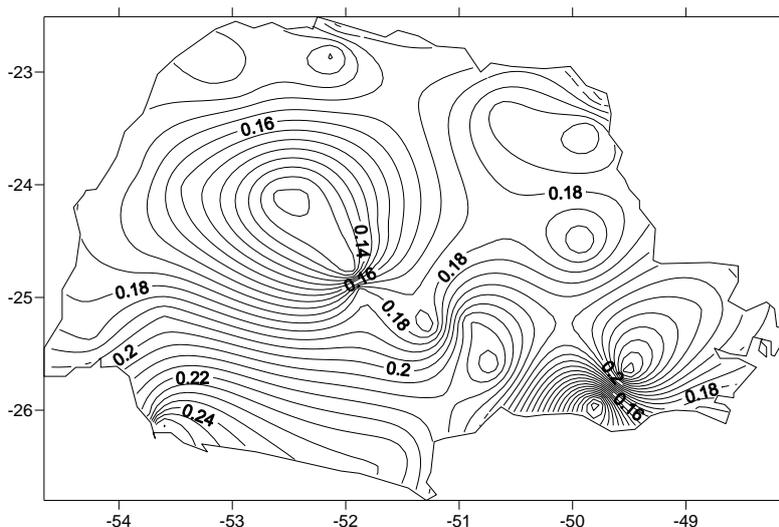


**Figura 2** – Média Climatológica espacial, para o período de análise (1976-2010).

Na Figura 3 tem-se a variabilidade espacial, obtido através do cálculo do desvio padrão. Há dois padrões de variabilidades: um com menores valores, na metade superior do estado, com valores de 260mm e outro, na metade inferior do estado, com valores superiores a 300mm. Nessa região a presença de relevos mais acentuados acaba provocando chuvas orográficas mais marcadas, diante da entrada de sistemas frontais oriundos do extremo sul da América do Sul.



**Figura 3** – Análise do desvio padrão para o período estudado.



**Figura 4** – Variabilidade relativa calculada através do coeficiente de determinação, para o período analisado.

Na Figura 4 tem-se a variabilidade relativa medida através do coeficiente de variação e o padrão observado é semelhante ao padrão de dispersão obtido na Figura 3, ou seja, chove mais na metade sul do estado. Desta forma, o Estado do Paraná tem fatores dinâmicos (frentes frias, zonas de convergências), estáticos (relevos: Serra Geral), marítimos (advecção de ar úmido do oceano Atlântico), além do aquecimento explicando as chuvas nessa região.

**Tabela 1 - Ocorrência de eventos La Niña (tabela em azul) e El Niño.**

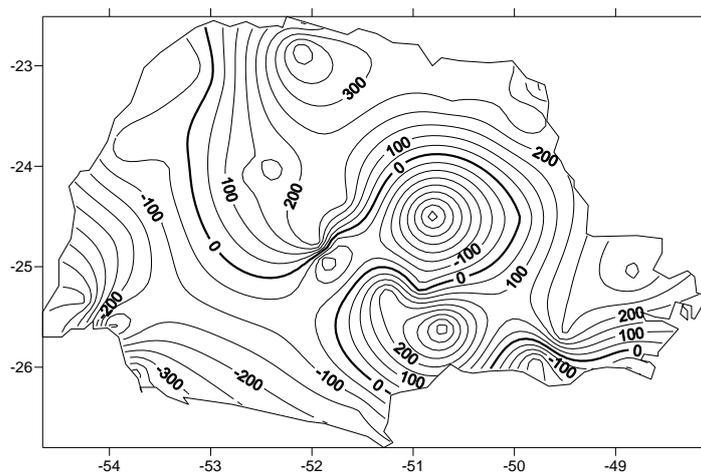
|             |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1886        | 1903 - 1904 | 1877 - 1878 | 1888 - 1889 |
| 1906 - 1908 | 1909 - 1910 | 1896 - 1897 | 1899        |
| 1916 - 1918 | 1924 - 1925 | 1902 - 1903 | 1905 - 1906 |
| 1928 - 1929 | 1938 - 1939 | 1911 - 1912 | 1913 - 1914 |
| 1949 - 1951 | 1954 - 1956 | 1918 - 1919 | 1923        |
| 1964 - 1965 | 1970 - 1971 | 1925 - 1926 | 1932        |
| 1973 - 1976 | 1983 - 1984 | 1939 - 1941 | 1946 - 1947 |
| 1984 - 1985 | 1988 - 1989 | 1951        | 1953        |
| 1995 - 1996 | 1998 - 2001 | 1957 - 1959 | 1963        |
| 2007 - 2008 | -           | 1965 - 1966 | 1968 - 1970 |
|             |             | 1972 - 1973 | 1976 - 1977 |
|             |             | 1977 - 1978 | 1979 - 1980 |
|             |             | 1982 - 1983 | 1986 - 1988 |
|             |             | 1990 - 1993 | 1994 - 1995 |
|             |             | 1997 - 1998 | 2002 - 2003 |
|             |             | 2004 - 2005 | 2006 - 2007 |
|             |             | 2009 - 2010 | -           |

Legenda: Forte Moderada Fraco

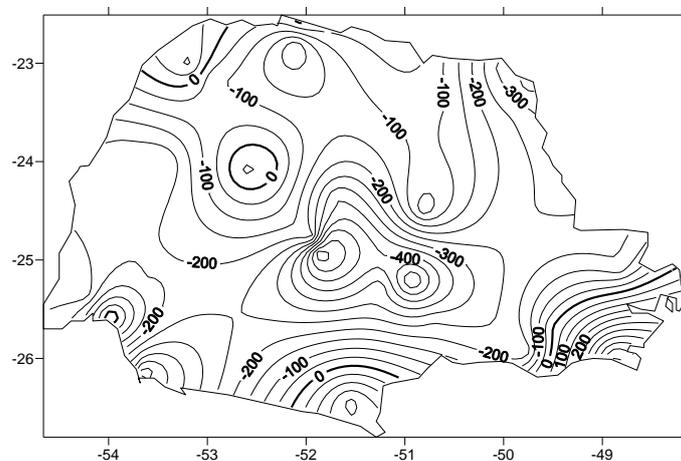
Legenda: Forte Moderada Fraco

Fonte: CPTEC/INPE - <http://enos.cptec.inpe.br/>

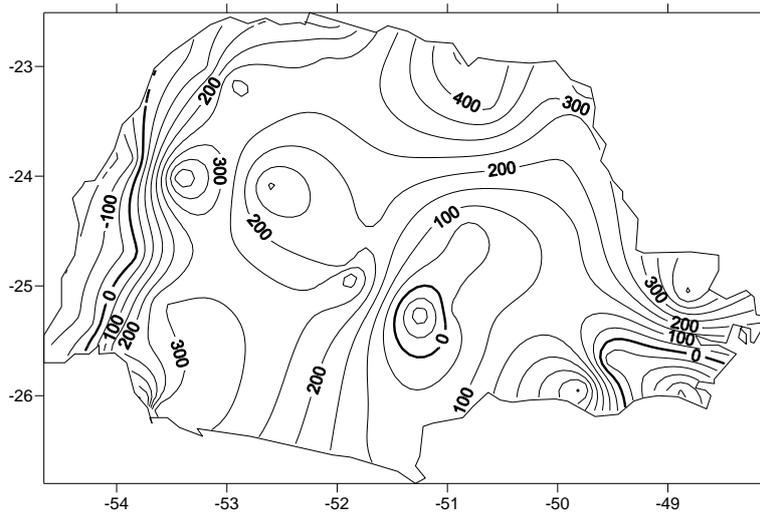
Na Tabela 1 têm-se os anos de ocorrência de eventos El Niño – Oscilação Sul. Esses eventos afetam de maneira diferenciada as chuvas na área de estudo. O evento mais marcado na chuva do estado, foi o fenômeno que ocorreu em 192/1983, Figuras 6 e 7. Há marcada variabilidade da chuva nessa área, como pode ser observado nas Figuras a seguir (Figura 4 a 9).



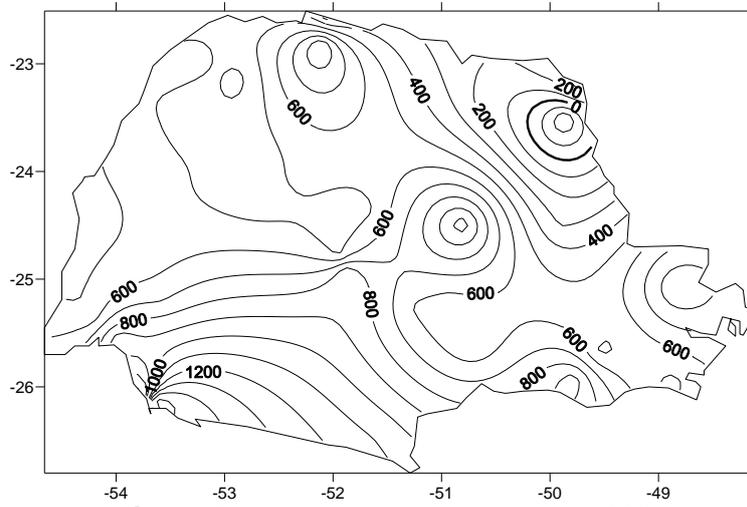
**Figura 4 - Anomalias espaciais no ano 1976.**



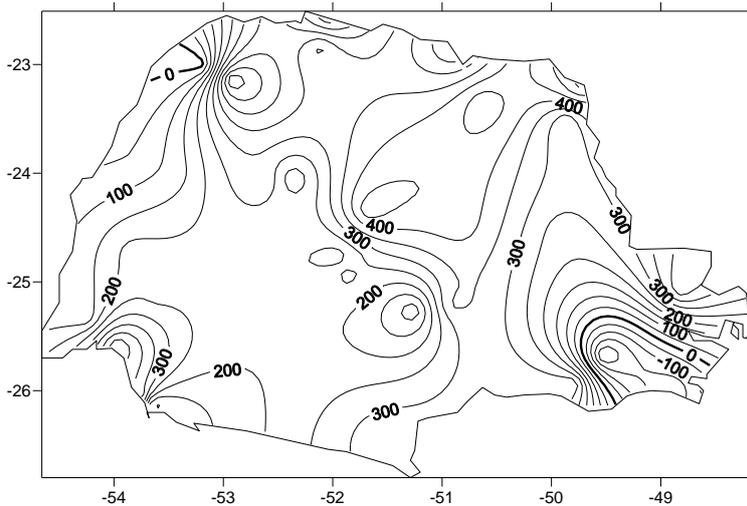
**Figura 5 – Anomalias ocorridas em 1977.**



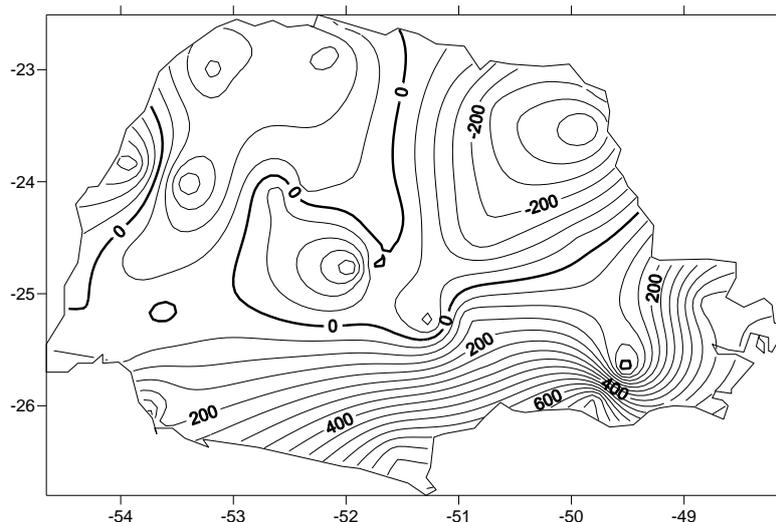
**Figura 6 – Anomalias ocorridas em 1982.**



**Figura 7 – Anomalias ocorridas em 1983.**



**Figura 8 – Anomalias espaciais ocorridas em 2009.**



**Figura 9** – Anomalias espaciais ocorridas em 2010.

## CONCLUSÃO

As chuvas no estado podem ser explicadas por diversas dinâmicas, desde aquecimento, devido a presença de maior incidência solar no Hemisfério Sul (primavera e verão), dinâmicas frontais, introdução de umidade da Amazônia e eventos cuja ocorrência se dá no oceano Pacífico tropical (eventos ENOS, fase fria e quente).

Na costa leste do estado a advecção do ar úmido do oceano Atlântico joga um papel importante na explicação da chuva nessa área.

## BIBLIOGRAFIA

- CASTAÑEDA, M. E.; BARROS, V., 1994. Las Tendencias de la Precipitación en el cono sur de Sudamerica al este de los Andes. *Meteorológica*, 19(1-2): 23-32.
- DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R., 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *Journal of Climate*, February, p. 251-271.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A., 1997. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(1): 127-132.
- GONZALEZ M.; NERY, J. T.; BARROS, V., 1998. Características de la precipitación em Argentina Subtropical y Brasil meridional y la Convección Tropical. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. Anais..., Brasília, DF. (Meio magnético).
- GRIMM A. M.; GUETTER, A. K.; CARAMORI, P. H., 1997. El Niño no Paraná: o que pode esperar em cada região. Uma análise científica. *SIMEPAR – Informativo*, 1.
- Gujarro JA. 2004. CLIMATOL: Software libre para la depuración y homogeneización de datos climatológicos. In *El clima, entre el Mar y la Montaña*, A-4, García Codron JC, Diego Liaño C, Fdez. De Arróyabe Hernadéz P, Garmendia Pedraja y C, Rasilla Álvarez D. (eds). Asociación Española de Climatología: 493–502.
- KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F., 1984. Eventos Oscilação do Sul – El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciências e Cultura*, 36 (11): 1188-1199.
- MENDONÇA, M.; MONTEIRO, M. A., 1997. Precipitações anômalas concentradas e localizadas ocorridas na costa centro-sul do estado de Santa Catarina no período de 1990-1995. *Boletim Climatológico, FCT/UNESP, Presidente Prudente*, 2(3): 77-180.
- MOTA, F. S., 1987. Estratégias e tecnologias para Minimizar os efeitos das secas sobre a produção de alimentos no Brasil. *Boletim Técnico*, 7:19.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O., 1986. Clima e Agricultura no Brasil. Porto Alegre, Sagra, 151p.

NERY, J. T.; VARGAS, M. W.; MARTINS, M. L. O. F., 1997. Variabilidade Interanual da precipitação do Rio Grande do Sul.