

**RELAÇÕES ENTRE AS CATEGORIAS DE PRECIPITAÇÃO EM REGIÕES HOMOGÊAS NO SUL DO BRASIL E EVENTOS DE TSM NO PACÍFICO**

**Iuri Rojahn da Silva  
Clóvis Angeli Sansigolo  
Cláudio Solano Pereira  
LMO, CPTEC, INPE, São José dos Campos, SP  
Jonas Teixeira Nery  
Depto de Física, UEM, Maringá, PR**

**ABSTRACT**

The relationships between monthly rainfall categories (below, near, and above normal) in South Brazil and Pacific SSTs in the Niño 3.4 region, were studied. Three rainfall homogeneous groups (Southern, Continental, and Coastal) were defined in the region by cluster analysis using Ward's method. The Relative Operational Characteristics score (ROC) was used to assess the significant relationships in 3 x 3 contingency tables. The El Niño events, classified according to Trenberth's criterion were significantly associated to above normal rainfall in the region, during the Austral Winter and Spring. This relationships is also observed in Summer in the Continental group. La Niña events and below normal rainfall relationships were only significant in Spring, and in the Coastal and Southern groups.

**1 - INTRODUÇÃO**

A Região Sul do Brasil é formada pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e ocupa uma área de aproximadamente 577.800 Km<sup>2</sup>, com altitudes que variam desde o nível do mar até 1200m nas regiões próximas às serras Geral e do Mar, mas em média, 2/3 da superfície está acima dos 500m. A economia da região Sul é baseada principalmente na agricultura, com aproximadamente 57% da produção nacional de grãos, na pecuária e na geração de energia, atividades bastante dependentes da quantidade e distribuição das precipitações (Berlato, 1992).

Estudos prévios envolvendo as anomalias de precipitação na região Sul, sugerem que existem conexões significativas com as anomalias de temperatura na superfície do Pacífico. Arkin (1982) sugeriu que as anomalias de TSM associadas a eventos El Niño induzem a intensificação da corrente de jato em ambos hemisférios, tendo grande influência sobre os padrões mensais e sazonais de temperatura e precipitação em várias regiões do globo.

Ropelewski e Halpert (1987) analisando séries temporais e precipitação em 1700 estações, identificaram as principais regiões do globo cuja precipitação é relacionada com o evento El Niño. Na América do Sul, eles verificaram que essa associação ocorreria no período da Primavera-Verão. Outros autores, entre eles Kousky et al.(1984) observaram que durante os eventos El Niño ocorreram precipitações excessivas no Sul do Brasil, mas no período de Inverno.

Rao e Hada (1990) correlacionaram as precipitações no Brasil com o Índice de Oscilação Sul (IOS) e obtiveram valores negativos significativos para a região Sul do Brasil, no Outono e Primavera.

Gan e Rao (1991) utilizando cartas de superfície analisaram, no período de janeiro de 1979 à dezembro de 1988, as variações sazonais e interanuais de ciclogênese sobre a América do Sul. Eles encontraram uma maior ocorrência de ciclogênese durante os anos de El Niño e que a ciclogênese estava relacionada com o aumento de precipitação na região Sul do Brasil.

Studizinski (1995) encontrou uma relação quente-chuvoso e frio-seco entre as TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e as precipitações no Sul do Brasil. A influência do PACE seria indireta através da variação interanual da posição da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e de uma anomalia ciclônica próxima à costa oeste da América do Sul.

Grimm e Sant'Anna (2000) relacionaram as fases extremas da Oscilação Sul com a intensidade e frequência das chuvas no Sul do Brasil e concluíram que a Primavera é a estação que sofre maior influência dos eventos El Niño e La Niña, com uma maior influência do El Niño na região continental e da La Niña na região litorânea.

Grimm et al. (2000) estudaram as anomalias de circulação responsáveis por processos geradores das anomalias de precipitação em diferentes regiões do Sul da América do Sul durante eventos El Niño e La Niña e concluíram que sua conexão com as anomalias de precipitação se dá pela mudança da posição do jato subtropical e da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com efeitos inversos durante os eventos de El Niño e La Niña.

O objetivo deste trabalho é estudar as relações entre as categorias de precipitação em grupos homogêneos na região Sul do Brasil e os eventos de TSM no Pacífico (El Niño, normal e La Niña), definidos pelo critério de Trenberth, usando tabelas de contingência 3 x 3, avaliadas pelo escore das características operacionais relativas.

## 2 - DADOS E METODOLOGIA

No presente estudo foram utilizados os totais mensais de precipitação referentes à 61 estações pluviométricas bem distribuídas pela região Sul do Brasil, no período de janeiro de 1950 a dezembro de 1997. Para definição dos grupos homogêneos de precipitação foram utilizados os fatores comuns espaciais e temporais das precipitações mensais na região, derivados por Sansigolo e Nery (1998).

Para estudar a variabilidade das precipitações mensais foram utilizadas séries temporais mensais das anomalias normalizadas pelo desvio padrão, considerando o conjunto das estações compreendidas num grupo homogêneo. As séries temporais foram subdivididos em 3 categorias equiprováveis (abaixo, quase e acima da normal), ordenando-se do menor para o maior os 48 índices (1950-97) e considerando o correspondente à 16ª posição como limite superior para a categoria abaixo da normal (seco) e o correspondente à 32ª como limite inferior para a categoria acima da normal (chuvoso) e entre esses 2 limites, situa-se a categoria quase normal.

Para o Oceano Pacífico, no período de 1950 a 1997, foram considerados pelo critério de Trenberth (1997) 16 eventos de El Niño, num total de 180 meses, 10 eventos de La Niña, com de 132 meses e finalmente 264 meses de eventos normais. A definição quantitativa para os eventos El Niño e La Niña pelo critério de Trenberth (1997) mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais características (início, fim, duração e magnitude) dos eventos El Niño e La Niña no Pacífico definidos pelo critério de Trenberth (1997), no período de 1950-98, como as anomalias de TSM na região do Niño 3.4 (5°N - 5°S, 120° - 170°W).

Eventos EL NIÑO					Eventos LA NIÑA				
Início	Fim	Duração (meses)	ATSM (°C)		Início	Fim	Duração (meses)	ATSM (°C)	
			Média	Máx.				Média	Máx.
ago 51	fev 52	7	0,7	1	mar 50	fev 51	12	-0,7	-1,2
mar 53	nov 53	9	0,6	1,1	jun 54	mar 56	22	-0,9	-2
abr 57	jan 58	10	1,1	2,1	mai 56	nov 56	7	-0,4	-0,7
jun 63	fev 64	9	0,9	1,2	mai 64	jan 65	9	-0,7	-1,1
mai 65	jun 66	14	1,2	1,9	jun 70	jan 72	20	-0,8	-1,8
set 68	mar 70	19	0,8	1,3	jun 73	jun 74	13	-1,1	-1,8
abr 72	mar 73	12	1,4	2,3	set 74	abr 76	20	-0,8	-1,7
ago 76	mar 77	8	0,8	1,1	set 84	jun 85	10	-0,7	-1,1
jul 77	jan 78	7	0,7	1	mai 88	jun 89	14	-1,3	-2,1
out 79	abr 80	7	0,5	0,8	set 95	mar 96	7	-0,7	-0,8
abr 82	jun 83	16	1,6	3,1					
ago 86	fev 88	19	1,3	2					
mar 91	jul 92	17	1,1	2					
fev 93	set 93	8	0,7	1,3					
jun 94	mar 95	10	0,8	1,4					
abr 97	mai 98	14	1,9	2,9					

Para a avaliação das relações entre as categorias de ATSM do PACE (La Niña, quase normal e El Niño) e as categorias de precipitação na região Sul (abaixo, quase e acima da normal) ou sejam as ocorrências simultâneas das diferentes categorias de TSM e de precipitação foram utilizadas tabelas de contingências 3 x 3. Para obtenção das medidas de exatidão, que incluem as taxas de acerto e de falso alarme, as tabelas de contingência 3 x 3 foram reduzidas para 2 x 2 conforme mostrado em Wilks, 1995. Nas tabelas de contingência 2 x 2, a taxa de acerto ou proporção correta é definida como  $TA=(a+d)/n$  e a taxa de falso alarme  $FA= a/(a+c)$ , que representa a proporção dos eventos considerados que não ocorreram.

O escore das Características Operacionais Relativas foi usado para verificar estatisticamente as taxas de acerto e de falso alarme. Este escore, baseado na teoria de detecção de sinais, é calculado por meio do parâmetro d, dado pela diferença entre as médias das distribuições normais das TA e FA.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de agrupamentos das precipitações mensais, usando os principais fatores comuns espaciais, que explicam 85,8% da variância regional e temporais, que explicam 59,3% da variância sazonal, foram obtidos 3 grupos homogêneos: Litorâneo (A), Sul (B) e Continental (C), mostrados na figura 1.

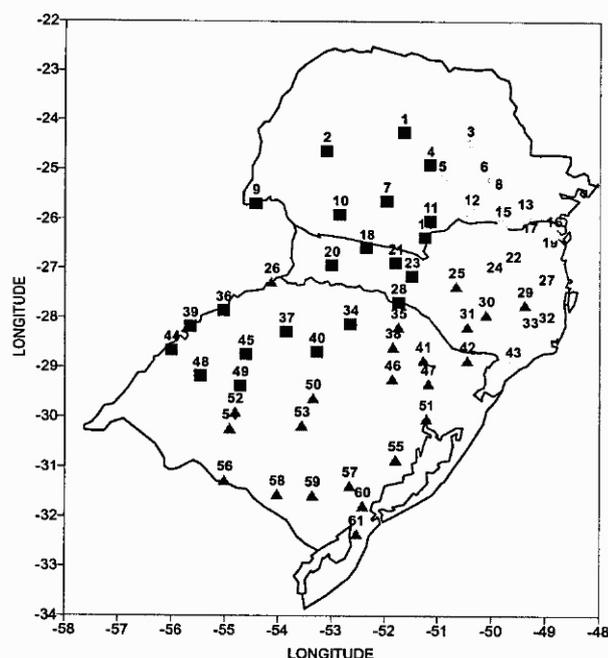


Figura 1. Distribuição geográfica das 61 estações pluviométricas nos 3 grupos homogêneos: Litorâneo (círculos verdes), Sul (triângulos vermelhos) e Continental (quadrados azuis).

A alocação das estações nos 3 grupos, concorda com as características fisiográficas e efeitos de continentalidade e maritimidade. No grupo A tem-se todas as estações no setor leste numa posição mais litorânea. O grupo B possui estações litorâneas e continentais, mas todas localizadas no extremo Sul do Brasil, e o grupo C se constitui de estações localizadas no setor Oeste da região Sul, sendo considerado o grupo mais continental.

Os limites de precipitação mensal para as 3 categorias de precipitação, nos 3 grupos homogêneos, na região Sul do Brasil, podem ser vistos na figura 2.

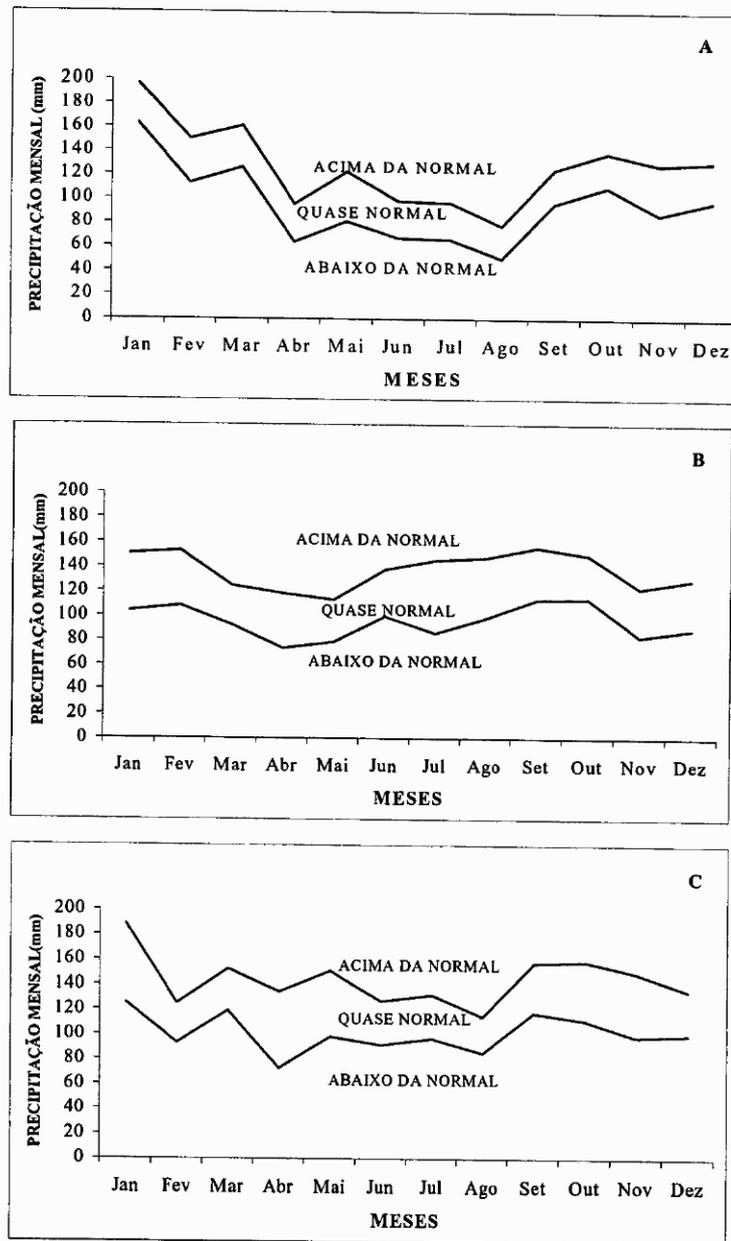


Figura 2. Limites das 3 categorias de precipitação mensal (tercis) para os 3 grupos homogêneos na região Sul do Brasil: Litorâneo (A), Sul (B) e Continental C).

Observa-se nesta figura (2), que o menor total de precipitação mensal, menos de 50 mm, encontra-se no grupo Litorâneo, no mês de agosto, e o maior, mais de 200 mm, no grupo Litorâneo, em janeiro. O grupo Sul possui a menor variação entre os limites abaixo da normal (80 e 100 mm) e acima (120 e 160 mm). No grupo Continental tem-se uma regularidade semelhante à do grupo Sul, com valores próximos aos do grupo Litorâneo.

Na tabela 2 encontram-se as frações percentuais dos 4 trimestres com determinada ocorrência de eventos de TSM no PACE (El Niño, Normal e La Niña), e correspondentes percentagens de ocorrência de determinada categoria de precipitação (abaixo, quase e acima da normal) em cada grupo.

Tabela 2 - Tabelas de contingência entre as categorias de precipitação nos 3 grupos considerados nos 4 trimestres do ano e no ano todo durante os eventos de TSM no PACE.

(LITORÂNEO)

TSM	PRECIPITAÇÃO	JFM	AMJ	JAS	OND	ANO
<b>LA NIÑA</b> 23%	<b>ABAIXO</b>	<b>18</b>	<b>33</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>34</b>
	NORMAL	30	24	34	31	31
	ACIMA	52	43	27	18	35
<b>NORMAL</b> 46%	<b>ABAIXO</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>39</b>
	<b>NORMAL</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>34</b>
	ACIMA	21	27	30	30	27
<b>EL NIÑO</b> 31%	<b>ABAIXO</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>27</b>
	NORMAL	36	30	25	34	32
	<b>ACIMA</b>	<b>33</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>50</b>	<b>42</b>

(SUL)

TSM	PRECIPITAÇÃO	JFM	AMJ	JAS	OND	ANO
<b>LA NIÑA</b> 23%	<b>ABAIXO</b>	<b>19</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	<b>45</b>	<b>35</b>
	NORMAL	35	37	40	48	39
	ACIMA	45	33	24	7	27
<b>NORMAL</b> 46%	<b>ABAIXO</b>	<b>44</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>37</b>
	<b>NORMAL</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>31</b>	<b>33</b>
	ACIMA	26	30	29	33	30
<b>EL NIÑO</b> 31%	<b>ABAIXO</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>20</b>	<b>27</b>
	NORMAL	33	27	21	30	27
	<b>ACIMA</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>45</b>

(CONTINENTAL)

TSM	PRECIPITAÇÃO	JFM	AMJ	JAS	OND	ANO
<b>LA NIÑA</b> 23%	<b>ABAIXO</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>33</b>
	NORMAL	38	41	33	42	39
	ACIMA	40	35	30	18	29
<b>NORMAL</b> 46%	<b>ABAIXO</b>	<b>43</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>35</b>
	<b>NORMAL</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>28</b>	<b>34</b>
	ACIMA	26	31	27	32	30
<b>EL NIÑO</b> 31%	<b>ABAIXO</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>28</b>
	NORMAL	28	37	32	30	32
	<b>ACIMA</b>	<b>43</b>	<b>30</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>41</b>

Na Tabela 2 pode-se observar que as maiores porcentagens na relação El Niño e precipitação acima da normal ocorrem em todos os grupos durante o 2ª semestre com seus máximos na primavera, o grupo Continental também apresenta um alto valor no 1ª trimestre. Considerando a relação entre os eventos de La Niña e precipitações abaixo da normal os maiores valores ocorrem somente na Primavera nos grupos Litorâneo e Sul.

Na Tabela 3, encontram-se as taxas de acerto, falso alarme e escore das características operacionais relativas entre as categorias de precipitação nos 3 grupos e as categorias de TSM nos 4 trimestres do ano.

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

Tabela – 3. Taxas de acerto, falso alarme e escore das características operacionais relativas entre os eventos de TSM no PACE e correspondentes categorias de precipitação nos 4 trimestres do ano nos 3 grupos homogêneos.

(LITORÂNEO)

MESES	Pac. x Prec.	TA	FA	D	ESCORE
JFM	Niña x Abaixo	52,1	83,9	-0,92	-0,64
	Normal x Normal	51,4	62,9	-0,28	-0,22
	Niño x Acima	58,3	66,7	-0,2	-0,16
AMJ	Niña x Abaixo	54,9	66,7	-0,3	-0,24
	Normal x Normal	50,7	70,3	-0,52	-0,4
	Niño x Acima	61,1	60	0,04	0,04
JAS	Niña x Abaixo	59,7	60,6	-0,02	-0,02
	Normal x Normal	54,9	66,6	-0,3	-0,24
	Niño x Acima	<b>61,8</b>	<b>56,3</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>
OND	Niña x Abaixo	<b>66,7</b>	<b>50</b>	<b>0,42</b>	<b>0,32</b>
	Normal x Normal	52,8	70,2	-0,48	-0,36
	Niño x Acima	<b>66,7</b>	<b>52</b>	<b>0,38</b>	<b>0,3</b>

(SUL)

MESES	Pac. x Prec.	TA	FA	D	ESCORE
JFM	Niña x Abaixo	54,2	82,4	-0,8	-0,58
	Normal x Normal	50	65,3	-0,4	-0,32
	Niño x Acima	63,2	65	-0,04	-0,04
AMJ	Niña x Abaixo	59,4	60	0	0
	Normal x Normal	50,7	62,9	-0,3	-0,24
	Niño x Acima	58,3	62,8	-0,1	-0,08
JAS	Niña x Abaixo	57,6	63,6	-0,14	-0,12
	Normal x Normal	53,5	55,7	-0,04	-0,04
	Niño x Acima	<b>61,1</b>	<b>55,3</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>
OND	Niña x Abaixo	<b>63,9</b>	<b>55,2</b>	<b>0,22</b>	<b>0,18</b>
	Normal x Normal	50	69,6	-0,52	-0,4
	Niño x Acima	<b>67,4</b>	<b>49</b>	<b>0,48</b>	<b>0,36</b>

(CONTINENTAL)

MESES	Pac. x Prec.	TA	FA	D	ESCORE
JFM	Niña x Abaixo	52,8	80	-0,76	-0,56
	Normal x Normal	49,3	68,6	-0,5	-0,38
	Niño x Acima	<b>62,2</b>	<b>57,1</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>
AMJ	Niña x Abaixo	59	66,7	-0,2	-0,16
	Normal x Normal	49,3	66,2	-0,44	-0,34
	Niño x Acima	56,9	70	-0,36	-0,28
JAS	Niña x Abaixo	64,6	63,6	0,04	0,04
	Normal x Normal	57,6	58,7	-0,02	-0,02
	Niño x Acima	<b>63,9</b>	<b>54</b>	<b>0,26</b>	<b>0,2</b>
OND	Niña x Abaixo	60,4	60,5	0,02	0,02
	Normal x Normal	50,7	71,9	-0,56	-0,42
	Niño x Acima	<b>64,6</b>	<b>54</b>	<b>0,28</b>	<b>0,22</b>

\* Os valores significativos encontram-se assinalados

Verifica-se na tabela 3 que nos grupos Litorâneo e Sul observam-se valores significativos apenas no 2º semestre nas relações El Niño x precipitações acima da normal e La Niña x abaixo da normal no quarto trimestre. O grupo B é o único que possui uma relação significativa de El Niño x precipitação acima da normal durante o ano todo, indicando que o Estado do RS é o mais afetado por este fenômeno, o que vem a confirmar os resultados obtidos por Rao e Hada (1990) e Diaz e Studzinski (1994).

Os valores que caracterizam a relação La Niña x precipitação abaixo da normal diferem acentuadamente entre os grupos Litorâneo e Sul, principalmente na primavera. Esta estação apresenta um escore alto (0,32) para o grupo Litorâneo, que é praticamente o dobro do valor encontrado no grupo Sul, indicando a importância deste evento para a previsão das secas de Verão que prejudicam a agricultura, pecuária e a produção de energia para esta região (Berlato, 1992). No grupo Continental tem-se os únicos valores significativos para a relação El Niño x precipitações acima da média no primeiro, terceiro e quarto trimestres do ano. Estes resultados complementam os encontrados por Rao e Hada (1994) e Grimm et al. (1998) que obtiveram valores significativos apenas para o último trimestre do ano e para o Inverno do ano seguinte.

#### 4 – CONCLUSÕES

Três grupos homogêneos são suficientes para representar a variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região Sul do Brasil. Os 3 agrupamentos, obtidos pelo método de Ward, situam-se no litoral, extremo Sul e Interior.

Tabelas de contingências 3 x 3 entre as ocorrências das diferentes categorias de precipitação e ATSM do Oceano Pacífico (La Niña, quase normal e El Niño) são uma forma simples, mas bastante robusta e eficiente para analisar estas conexões com vantagens sobre correlações lineares.

Os eventos de El Niño, classificados pelo critério de Trenberth, estão significativamente associados as precipitações acima da normal no Inverno e Primavera com maiores escores nos grupos Litorâneo e Sul sendo que no grupo Continental estas relações ocorrem também no Verão. No caso das relações entre as precipitações abaixo da normal e eventos La Niña, valores significativos só são obtidos na Primavera nos grupos Litorâneo e Sul.

#### 5 - REFERÊNCIAS

- Arkin, P. A. The relationship between interannual variability in the 200 mb tropical wind field and Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v. 110, n. 10, p. 1393-1404, 1982.
- Berlato M. The Climate forecasting applications in the decision-making process for the Southern Region of Brazil. In: **Workshop Report on ENSO and seasonal to inter annual climate variability, socio-economic impacts, forecasting and applications to the decision-making process**, Florianópolis, EPAGRI, 1992. v. 1, p. 14-16.
- Diaz A. F.; Studzinski, C. D. Rainfall anomalies in the Uruguay-Southern Brazil region related to SST in Pacific and Atlantic oceans using canonical correlation analysis. In: VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, 1994. *Anais*, 1994. v.1, p. 498-501.
- Gan, A. M.; Rao, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.
- Grimm, A. M.; Ferraz, S. E. T.; Gomes, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 11, n.10, p. 2863-2880, 1998.
- Grimm, A. M.; Sant'anna, C. L. S. Influência de fases extremas da Oscilação Sul sobre a intensidade e frequência das chuvas no Sul do Brasil. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 11., Rio de Janeiro, 2000. *Anais*, 2000.
- Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- Kousky, V. E.; Kayano, M. T.; Cavalcanti, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, v. 36A, n. 5, p. 490-504, 1984.
- Philander, S. G. *El Niño, La Niña, and the Oscillation*. New York: Academic Press, v. 46, International Geophysics Series, 1989. 239p.

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

- Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.
- Rao, V. B.; Hada, K. An experiment with linear regression in forecasting of spring rainfall over south Brasil. **Atmosfera**, v. 7, n. 2, p. 83 -87, 1994.
- Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño - Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.
- Sansigolo, C. A.; Nery, J. T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 10., Brasília, 1998. **Anais**, 1998.
- Silva, I. R. Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região Sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico. São José dos Campos. 90 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- Studzinski, C. **Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e a sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico tropical Sul**. São José dos Campos. 99 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.
- Trenberth, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.
- Wilks, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. San Diego: Academic Press, 1995. 467p.