

Índice de nebulosidade do estado do Rio Grande do Sul: climatologia e impactos do El Niño Oscilação Sul

*Diurnal cloudiness index in Rio Grande do Sul State:
climatology and El Niño South Oscillation impacts*

Maria de Souza Custodio

Universidade de São Paulo, Brasil

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar a climatologia dos impactos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a nebulosidade diurna do estado do Rio Grande do Sul. Além disso, através de um estudo de caso determinar os tipos de nuvem predominantes nas duas fases do ENOS. Para tanto, foram utilizados dados de insolação (horas de brilho solar) em base decedial e mensal, de 17 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1960-2005. Para a classificação de nuvens foi utilizado um algoritmo de classificação de nuvens desenvolvido pelo CPTEC. Os resultados apontam que de outubro a dezembro, tanto na análise mensal como na decedial, foram observadas as maiores diferenças entre o índice de nebulosidade diurna (IND) nas duas fases do ENOS. O comportamento do El Niño em relação ao neutro foi bem definido, com o índice se mantendo superior ao longo do ano. Para os eventos La Niña a probabilidade foi alta para o IND menor do que nos anos neutros na metade sul do estado. O período de maior impacto, tanto do El Niño como da La Niña, no índice de nebulosidade diurna do Estado, foi no final da primavera início do verão.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Cobertura de nuvens, ENOS.

Abstract

The purpose of this study was to study the climatology of impacts from El Niño South Oscillation (ENSO) phenomena over the diurnal cloudiness of Rio Grande do Sul state. Moreover, we determine the predominant kinds of clouds in both phase of ENSO through a case study. Therefore, we used decedial and monthly sunshine duration data from 17 weather stations widely distributed in the Rio Grande do Sul state, for 1960 to 2005 period. For cloudiness classification we used a cloud-classification algorithm developed by CPTEC. The results showed that from October to December the biggest differences were observed between diurnal cloudiness index (DCI) in two ENSO phases in both monthly and decedial analyses. The behavior of the El Niño events compared to the neutral years was well defined, with the indexes remaining higher throughout the year in the former case. In the La Niña events the probability of smaller DCI was higher than for neutral years in southern half of the state. The greatest ENSO impact period on DCI, for both El Niño and La Niña, was from the end of spring to the end of summer.

Keywords: Climate changes. Cloud covering, ENSO.

1 Introdução

A produção de grãos no Rio Grande do Sul (RS) é a mais afetada pelos fenômenos meteorológicos adversos, incluindo fenômenos climáticos de grande escala como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), pois estes afetam diretamente o comportamento das variáveis meteorológicas. O ENOS é a principal fonte de variabilidade climática interanual global e segundo estudos prévios é a principal causa da variabilidade do rendimento e da produção agrícola no Estado, especialmente as culturas de primavera-verão (Bergamaschi, 1989; Berlato, 1992; Fontana & Berlato, 1996; Berlato & Fontana, 1999; Carmona, 2001; Baptista & Berlato, 2004; Custodio et al, 2009).

O ENOS consiste de uma oscilação acoplada oceano-atmosfera na região do Oceano Pacífico, que produz alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), bem como dos padrões atmosféricos (temperatura, pressão, vento e convecção tropical), afetando assim, diferentes regiões do globo, especialmente o Brasil. Os efeitos diretos na precipitação gerados pelas fases do ENOS ocorrem devido aos padrões de teleconexões que são disparados pela convecção na região do Pacífico Tropical que altera/afeta o padrão da circulação de Walker (Grimm e Silva Dias, 1995; Ambrizzi et al., 1995), alterando assim os padrões atmosféricos sobre o Brasil.

Os efeitos do ENOS já são conhecidos a alguns anos e seus impactos como secas e enchentes afetam diferem regiões do globo. No Brasil o ENOS causa maiores impactos, especialmente na precipitação pluvial e temperatura, nas regiões Sul, Norte e Nordeste. Na região Sul a relação encontrada é do tipo quente-úmido/frio-seco (Oliveira, 1999, Berlato & Fontana, 2003).

Os estudos realizados até agora sobre os impactos do ENOS nas variáveis meteorológicas para todo o Estado do Rio Grande do Sul são referentes ao comportamento da temperatura, da precipitação pluvial, evapotranspiração e do déficit hídrico. Com base nisto, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar a climatologia dos impactos associados ao ENOS na nebulosidade diurna decendial e mensal do Rio Grande do Sul. Avaliando ainda, através de um estudo de caso, os tipos de nuvens que ocorrem em um evento extremo da fase quente

do ENOS (El Niño – 1997/1998) e um ano considerado neutro (2000-2001). Os objetivos específicos foram avaliar as distribuições espacial e temporal, e a frequência (ou probabilidade empírica) do Índice de Nebulosidade Diurna (IND) em anos de El Niño, La Niña e neutro, bem como analisar através de dois estudos de caso, El Niño (1997/1998) e da La Niña (1995/1996), os impactos do ENOS neste índice.

2 Material e Método

Neste estudo foram utilizados dados de insolação (horas de brilho solar) em base decendial e mensal, de 17 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia (INMET) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO-RS), distribuídas de acordo com a Figura 1. O período de estudo foi de 1960 a 2005 na maioria das estações, sendo que em algumas o período é menor, mas com no mínimo 30 anos de observações. As estações utilizadas foram: Alegrete, Bagé, Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Irai, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Maria, Santa Rosa, Santa Vitória do Palmar, São Borja, São Luiz Gonzaga e Uruguaiana.

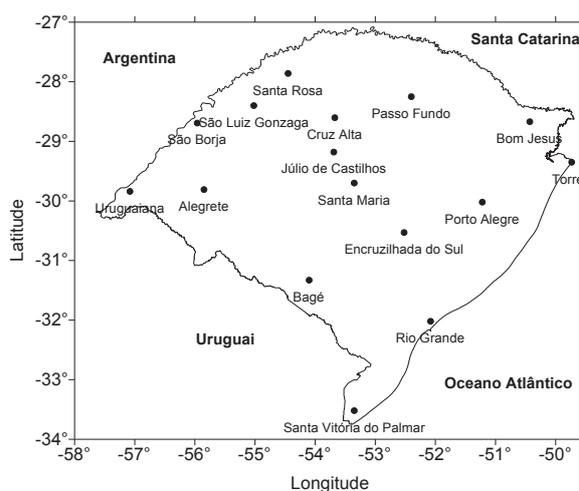


Figura 1 - Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul

O índice de nebulosidade diurna (IND) foi estimado a partir da insolação relativa (n/N), sendo n o número de horas de brilho solar e o N o brilho solar máximo (comprimento do dia). A

metodologia para a estimativa do IND foi a mesma adotada por Custodio et al. (2009).

A série histórica foi dividida em três cenários que representam as possíveis situações de ocorrência do fenômeno: anos com eventos El Niño, La Niña e Neutro, tomados segundo o critério de Trenberth (1997), que considera o mês de início e final do fenômeno. Os eventos El Niño de 1997/1998, 2002/2003 e 2004/2005 e a La Niña de 1998/2000 foram incluídos na classificação segundo a classificação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para cada uma das estações meteorológicas foram calculadas as médias climatológicas decendiais e mensais do IND durante todo o período primeiro para todo o Estado, e depois o dividindo em metade norte e metade sul. A análise temporal decendial e mensal dos dados foi feita através de gráficos que determinam o seu transcurso.

Além de estatísticas básicas, foi aplicada a análise de distribuição de probabilidade empírica (Wilks, 1995) comparando os três cenários considerados. Além disso, foram calculadas as anomalias de IND dos anos de El Niño e La Niña em relação aos anos neutro, sendo apresentadas através de mapas de isolinhas.

O estudo de caso para dois eventos extremos do ENOS (El Niño 1997/1998 e a La Niña 1995/1996) foi feita com base no comportamento temporal do IND durante estes eventos. Neste caso o IND foi analisado através das médias decendial, tanto para todo como estado como para suas duas metades (norte e sul). Além disso, uma avaliação dos tipos de nuvens sobre o Rio Grande do Sul foi feita para um evento forte de ENOS (El Niño 1997-1998) e um ano considerado neutro (2000-2001). Para tanto, utilizou-se imagens fornecidas pelo CPTEC/INPE, as quais fazem parte do acervo de imagens do satélite GOES classificadas quanto aos tipos de nuvens. Do conjunto geral de imagens, foram selecionadas todas as imagens disponíveis do mês de novembro por ser este um dos meses de maior impacto do ENOS sobre a precipitação do Rio Grande do Sul.

Para a análise estatística dos dados provenientes das imagens foram selecionados dois horários, seguindo o critério de número de imagens disponíveis e de coincidência com os horários próximos aos de observação em

superfície. Os horários selecionados foram 1309 TMG e 1909 TMG, estando disponíveis mais de 20 imagens em cada ano.

Feita a seleção realizou-se a contagem do número de pixels pertencentes a cada umas das 32 classes presentes nas imagens e, em seguida, agrupadas em categorias, as quais: Sf- céu claro, Cu- cumulus, MI- multi-camadas, Cb- cumulonimbus, Ci- cirrus, Sf/Ci- céu claro com cirrus, St- stratus e St/Cu- stratus com cumulus.

3 Resultados e Discussões

O IND no caso de evento El Niño foi superior ao de anos neutro em 9 meses na análise mensal estadual (Figura 2a). As maiores diferenças entre El Niño e neutro ocorreram nos meses de inverno (junho, julho e agosto). Para o caso de La Niña o índice foi inferior ao do neutro em 6 meses. Quando as duas fases do ENOS são comparadas, o IND durante a fase quente foi superior ao da fase fria em 10 meses, sendo que apenas nos meses de março e setembro o índice da fase fria foi superior. Alguns meses apresentaram um comportamento que se destacou dos demais e são apontados individualmente. Os meses de março e setembro apresentaram para eventos de La Niña, tanto ao do neutro como o do El Niño, um IND superior. O mês de outubro, onde o índice dos anos neutros foi superior ao índice das duas fases do ENOS. Por fim, o mês de novembro por apresentar os maiores impactos do ENOS no IND, que apresentou as maiores diferenças entre as fases do ENOS e o neutro.

Vale destacar ainda que a maior diferença entre os índices observados na fase quente e o neutro ocorreu em julho e novembro (0,06). No caso da fase fria em relação ao neutro a maior diferença foi em outubro (0,07), seguido de novembro (0,06). Quando comparado as duas fases do ENOS, a maior diferença foi no mês de novembro (0,12). Dos três casos analisados para o Rio Grande do Sul a La Niña apresentou a maior variabilidade ao longo do ano.

No Rio Grande do Sul (Figura 2a) o IND para o caso de El Niño apresentou um comportamento superior, tanto ao neutro como ao da La Niña, na maioria dos meses. Já no caso da La Niña não foi identificado qualquer comportamento evidente em relação ao neutro,

apenas em relação ao El Niño, quando o índice se manteve inferior na maior parte do ano.

Para a metade norte do estado (Figura 2b) a análise climatológica mostrou que o IND para o caso de El Niño foi superior (com exceção de outubro) ao dos anos neutros. Quando o IND da La Niña é analisado em relação ao neutro, o índice desta fase foi inferior em apenas cinco meses. Uma característica interessante que a metade norte do estado apresentou foi o comportamento do índice para o caso da La Niña, nos meses de janeiro, março e agosto, que foi levemente maior do que os índices do El Niño e ano neutro. Este comportamento também foi observado em setembro, só que neste mês a fase fria apresentou um índice bem maior do que os outros dois casos. Quando comparado o comportamento do IND no caso de El Niño e ano neutro na metade norte (Figura 2b) a maior diferença observada foi de 0,09 no mês de julho. Para o caso da La Niña outubro foi o mês que apresentou a maior diferença em relação ao neutro (0,07). Entre as duas fases do ENOS essa diferença entre os índices foi bem maior em novembro (0,11).

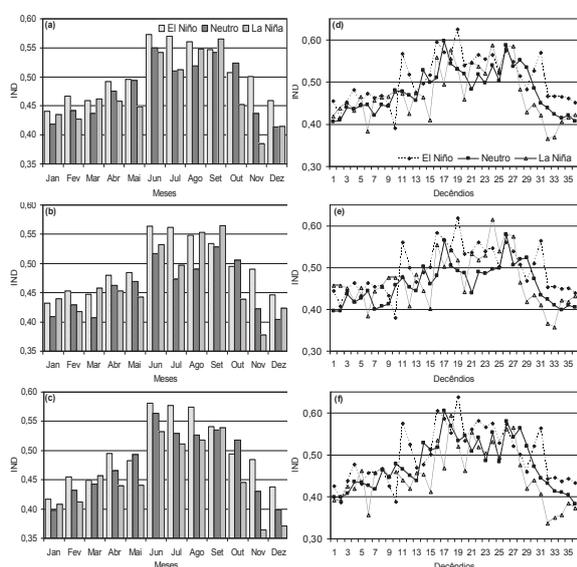


Figura 2 - Climatologia mensal do índice de nebulosidade diurna (IND) do Rio Grande do Sul (a), metade norte (b) e metade sul (c) e decendial Rio Grande do Sul (d), metade norte (e) e metade sul (f) em anos de El Niño, La Niña e neutro

Na climatologia para a metade sul do Estado (Figura 2c) o IND para o caso de El Niño foi superior ao do neutro em 10 meses do ano. No

caso da La Niña em relação ao neutro, o IND permaneceu inferior em 9 meses. Na análise do comportamento entre as duas fases, o El Niño apresentou em 10 meses um índice superior ao da La Niña. Os índices apresentam grandes diferenças entre os três casos analisados (El Niño, La Niña e Neutro) na metade sul do Estado. Para o El Niño a maior diferença observada em relação ao ano neutro foi de 0,05 nos meses de julho, agosto e novembro. No caso de La Niña em relação ao neutro essa diferença foi de 0,07 nos meses de outubro e novembro. Quando as duas fases são comparadas, a diferença entre os índices é bem maior (0,12) no mês de novembro.

O período de outubro a dezembro, principalmente o bimestre outubro-novembro, foi onde ocorreram as maiores diferenças entre o IND nas duas fases do ENOS, tanto para todo o Estado como para as suas duas metades (Figura 2). Este período de maior impacto do ENOS sobre o IND no Rio Grande do Sul concorda com os resultados determinados sobre a precipitação pluvial, número de dias com precipitação pluvial e temperatura média mínima (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000; Fontana & Almeida, 2002; Lopes & Berlato, 2003). Outra característica comum foi o comportamento do índice em caso de El Niño em relação ao neutro, que nas três análises climatológicas durante o período de inverno (junho, julho e agosto) apresentaram a maior diferença contínua entre os índices.

A análise decendial estadual (Figura 2d) em casos de ocorrência de El Niño mostrou um IND superior aos de anos neutros em 28 decêndios (77,8% dos decêndios). Para o caso de La Niña o índice foi inferior ao neutro em 16 decêndios, e o neutro apresentou um índice inferior a fase fria também em 16 decêndios, ou seja, cada um apresentando o menor índice em 44,5% dos decêndios anuais. Quando comparado o IND do El Niño em relação a La Niña, o índice da fase quente foi superior ao da fase fria em 24 decêndios (66,7% dos decêndios).

Na análise, decendial um período de destaque, tanto para o caso de El Niño como de La Niña, foi o dos decêndios 30 ao 34 (3º decêndio de outubro, os 3 decêndios de novembro e 1º de dezembro), onde o IND dos anos de El Niño foi superior aos de anos

neutros e de La Niña inferior aos anos neutros. Este padrão de comportamento do índice no Estado é coerente com os resultados sobre os impactos do ENOS na precipitação pluvial total e no número de dias com precipitação pluvial obtidos em estudos com dados de estações meteorológicas (Fontana & Berlatto, 1997, Fontana & Almeida, 2002).

A análise da metade norte (Figura 2e) mostrou que nos casos de El Niño 29 decêndios (80,6% dos decêndios anuais) apresentaram um IND superior ao dos anos neutros. Nos casos de La Niña em relação ao neutro, o índice foi inferior na fase fria em 12 decêndios (33,3%). Quando os índices das duas fases do ENOS foram comparados, em 22 decêndios (61,1%) o índice do El Niño permaneceu superior ao de La Niña. O período entre o decêndio 30 ao 33, destacou-se por apresentar uma sequência de decêndios com a maior diferença no IND nos três casos analisados (El Niño, La Niña e Neutro).

Na análise decencial do IND da metade sul (Figura 2f) em anos de El Niño o índice foi superior em 22 decêndios, o que equivale a 61,1% dos decêndios anuais. A análise dos casos de La Niña mostrou um índice inferior aos anos neutros em 24 decêndios, ou seja, em 66,7% dos decêndios anuais. O período dos decêndios 30 ao 34 apresentou o mesmo padrão de comportamento do índice que as outras duas regiões analisadas, entretanto na metade sul esse período se estendeu até o decêndio 36.

Portanto, nas três análises climatológicas o período dos decêndios 30 ao 34 (3º decêndio de outubro, decêndios de novembro e 1º de dezembro), apresentaram as maiores diferenças contínuas entre o índice das duas fases do ENOS e anos neutros. No 1º decêndio de novembro (decêndio 31), tanto na análise estadual como na das metades norte e sul, foi observada a maior diferença entre o IND do El Niño e da La Niña. Este período, que representa os decêndios do final do ano, foi o de maior impacto do fenômeno ENOS sobre o IND, o que é coerente com o período observado nos estudos sobre os impactos do ENOS na insolação relativa, na precipitação pluvial total e no número de dias com precipitação pluvial (Fontana & Berlatto, 1997, Fontana & Almeida, 2002, Custodio et al., 2009).

Nas três análises climatológicas o comportamento do El Niño em relação ao

neutro foi bem definido, com o IND se mantendo superior em grande parte dos decêndios anuais, tanto para o Estado como para suas duas metades. O comportamento da La Niña em relação aos anos neutros não apresentou um padrão predominante para o Rio Grande do Sul e em sua metade norte. Em contrapartida, na metade sul a La Niña apresentou um IND inferior ao do neutro na maioria dos decêndios anuais.

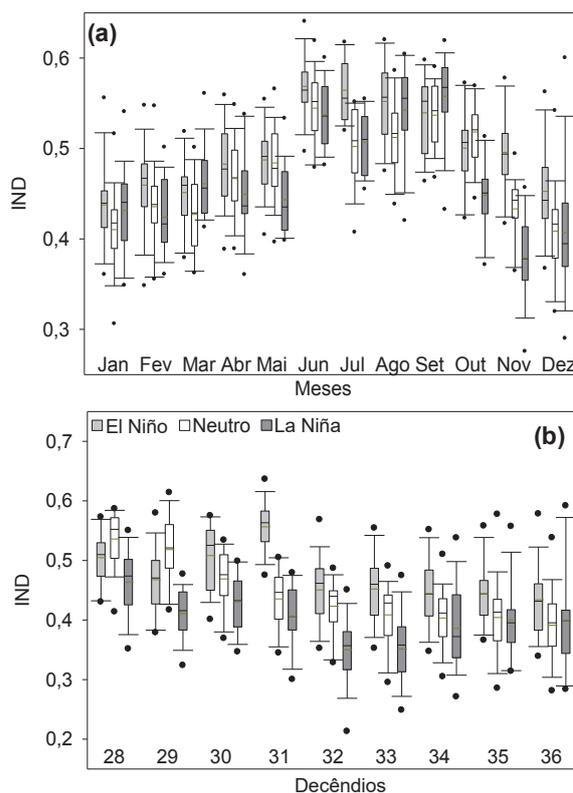


Figura 3 - Distribuição mensal (a) e decencial (b) do índice de nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul em eventos El Niño, La Niña e neutro. As linhas horizontais no interior das caixas representam o percentil 50 (mediana) e a média aritmética (linha cinza); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos cheios, os valores extremos

Na distribuição de probabilidade empírica anual do IND para o Rio Grande do Sul em anos de ocorrência de El Niño, La Niña e neutro (Figura 3a), o maior destaque foi o evento La Niña nos meses de outubro e novembro. Em outubro 100% dos dados estão abaixo da mediana dos anos neutros, em novembro há cerca de 90% de probabilidade do índice de nebulosidade diurna ser menor que a mediana

do caso neutro. Neste mesmo período de primavera início de verão, em eventos La Niña há alta probabilidade de maior IND em novembro e dezembro. No caso de El Niño, também em julho, 100% dos dados estão acima da mediana dos anos neutros. Os meses de junho e agosto apresentam alto IND em eventos quentes de ENOS.

No período de maior impacto do ENOS (outubro a dezembro) os decêndios de outubro (28, 29 e 30) e de novembro (31, 32 e 33) no caso de La Niña (Figura 3b) apresentaram probabilidade do IND se manter menor do que nos anos neutro. No 1º (dec. 28), 2º (dec. 29) e 3º (dec. 30) decêndios, há cerca de 90%, 100% e 75%, respectivamente, de probabilidade do índice na fase fria ser inferior ao do ano neutro. No decêndio 32 (2º de novembro) aproximadamente 90% dos dados ficam abaixo da mediana do ano neutro e no decêndio 33 (3º de novembro) aproximadamente 80% estão abaixo do neutro. Em contrapartida, para o caso de El Niño a distribuição de probabilidade empírica decendial (Figura 3b) apontou alta probabilidade do IND ficar acima da mediana dos anos neutros dos decêndios 30 ao 36 (3º decêndio de outubro, decêndios de novembro e dezembro). A exceção deste comportamento fica com os decêndios 28 e 29, onde o IND foi menor que os anos neutros.

A distribuição espacial mensal da anomalia média do índice de nebulosidade diurna (IND) está representada nas Figuras 4 e 5. Para os eventos de El Niño (Figura 4), os dois meses de maiores anomalias positivas (maior índice) são novembro e dezembro. Isoladamente o mês de julho foi o de maior anomalia positivas do IND. Na maioria dos meses, e em grande parte do Estado, as anomalias são positivas. As exceções a esse comportamento foram os meses de maio, setembro e outubro, onde foram observadas grandes áreas com anomalias negativas do IND (menor índice).

No caso de eventos La Niña (Figura 5) os meses de outubro e novembro aparecem como os de maior anomalia negativa. O mês de maio se destacou por apresentar grande anomalia negativa sobre o estado. Os meses de janeiro, março e agosto apresentaram somente anomalias positivas, podendo ser considerados altos estes valores nos dois últimos. Estes resultados são coerentes com o da climatologia

dos impactos da La Niña na precipitação pluvial do Estado, onde a precipitação da fase fria em janeiro é semelhante a da fase quente e superior a dos anos neutros; em março a precipitação pluvial é igual nos três casos (Fontana & Berlato, 1997).

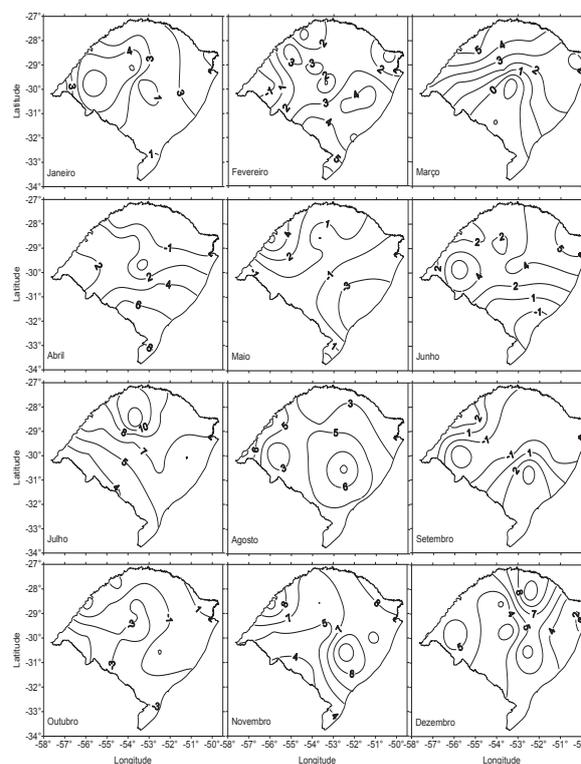


Figura 4 - Distribuição espacial da anomalia média do índice de nebulosidade diurna (IND) de janeiro a dezembro, no Estado do Rio Grande do Sul em anos de eventos El Niño. As anomalias são em relação aos anos neutros e estão multiplicadas por 100

A Figura 6 mostra a distribuição temporal do IND em um evento extremo de El Niño (1997/1998) e a climatologia dos anos neutros para o Rio Grande do Sul (a), metade norte (b) e metade sul (c) do Estado. Nos três casos analisados o El Niño (1997/98) apresentou índice superior ao do ano neutro na maioria dos decêndios. A relação encontrada foi: para o Estado foi superior em 29 decêndios, na metade norte em 30 e na metade sul em 26, o que representa 64,4%, 66,7% e 57,8% dos decêndios do fenômeno, respectivamente.

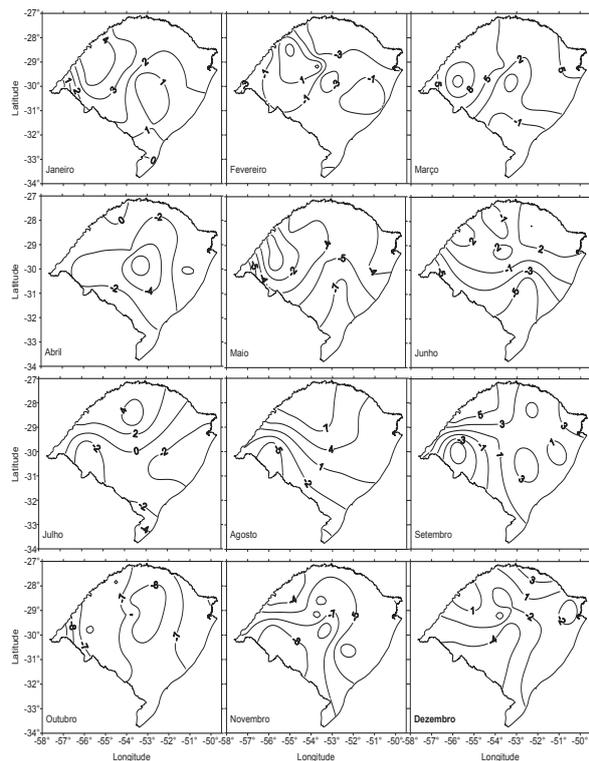


Figura 5 - Mesmo que da figura 4, mas para eventos La Niña

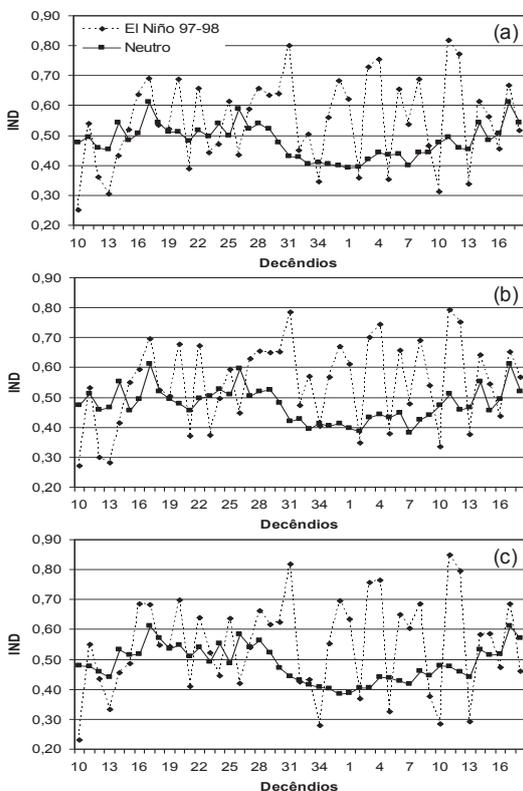


Figura 6 - Distribuição decennial do índice de nebulosidade diurna (IND) durante o El Niño 1997-1998 e anos neutros no Rio Grande do Sul (a), metade norte (b) e metade sul (c)

As maiores diferenças entre os índices do ano neutro e do caso de El Niño foram observadas a partir do decênio 28 (1º decênio de outubro) do ano de início do fenômeno até o decênio 12 (3º decênio de abril) no ano seguinte do início do fenômeno. Este período de maior impacto do ENOS no IND é coerente com o mostrado na análise climatológica decennial do El Niño, e também concorda com o de maior impacto do ENOS na precipitação pluvial e número de dias com precipitação pluvial (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000; Fontana & Almeida, 2002).

No ano agrícola de 1997/1998 o Rio Grande do Sul colheu umas das maiores safras das últimas décadas. Por exemplo, o rendimento médio estadual da soja de aproximadamente 2.088kg/ha, foi o maior da história dessa oleaginosa no Estado até então. O alto índice de nebulosidade diurna ocorrido durante esta safra produziu chuvas acima da média climatológica e a redução da insolação não prejudicou a cultura porque o fator limitante dos rendimentos da soja no Estado é a água, conforme mostrado por Berlato e Fontana (2003). Já para o caso do arroz irrigado a redução da insolação pode afetar negativamente os rendimentos (Carmona, 2001).

A distribuição temporal do IND para um evento extremo de La Niña (1995/96) e ano neutro para o Rio Grande do Sul, metade norte e metade sul do Estado (Figura 7a, b e c), mostra que nos três casos o índice da fase fria se manteve inferior ao do neutro em grande parte dos decênios, mas vale destacar que as diferenças entre os índices não foram tão altas como ocorreu nos eventos de El Niño. O índice Estadual da La Niña foi inferior em 57,1% dos decênios do fenômeno (12 decênios), o da metade norte e da metade sul em 52,4% dos decênios (11 decênios). O período do decênio 29 (2º de outubro) até o decênio 35 (2º de dezembro) do ano de início do fenômeno foi quando o IND sofreu os maiores impactos, tanto no Estado como em suas duas metades.

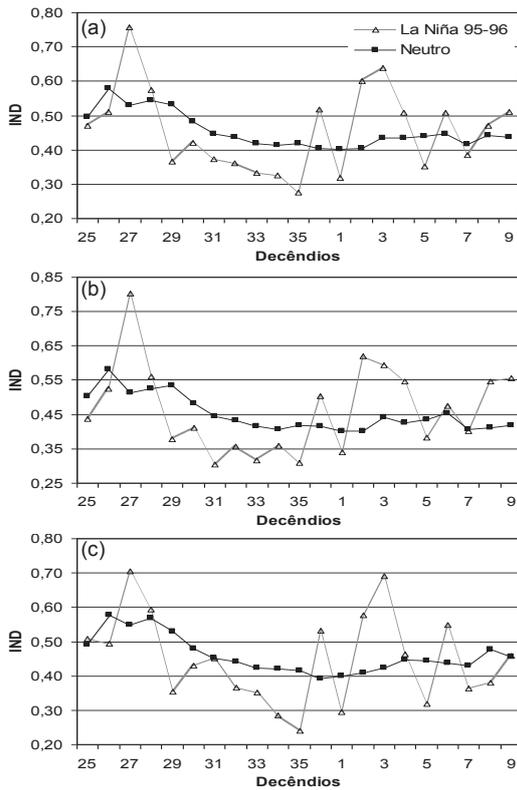


Figura 7 - Distribuição decenal do índice de nebulosidade diurna (IND) durante a La Niña 1995/1996 e anos neutros no Rio Grande do Sul (a), metade norte (b) e metade sul (c)

Uma característica interessante deste evento de La Niña (Figura 7), tanto na análise estadual como de suas metades norte e sul, foi que em 3 decênios o IND foi superior a do ano neutro, a quais: 2, 3 e 4, do ano seguinte ao início do fenômeno, que representam, respectivamente, o 2º e 3º decênios de janeiro e 1º de fevereiro. Confrontados com estes dados, a climatologia dos impactos de La Niña na precipitação pluvial mostra que em janeiro as precipitações pluviais são superiores aos anos neutros (Fontana & Berlato, 1997).

O comportamento do IND neste evento de La Niña está de acordo com o da precipitação pluvial observada no Estado durante este fenômeno. Estas condições de estiagem no final da primavera e início do verão, produzidas pela La Niña 1995/96, principalmente nos meses de novembro e dezembro, foram apontadas como principal causa dos baixos rendimentos da soja do milho neste ano no Rio Grande do Sul. Os rendimentos foram de 1.656kg/ha e 2.097kg/ha, para a soja e o milho, respectivamente (Berlato & Fontana, 2003).

As percentagens de ocorrência dos tipos de nuvens para o mês de novembro no horário das 1309 TMG (Figura 8a) mostraram que os anos de El Niño e neutro apresentam ocorrência de pixels de céu claro muito semelhante. A diferença entre os dois anos foi menor do que 3%. O céu claro foi a categoria que apresentou as maiores ocorrências (em torno de 40%), sendo nas demais categorias foi inferior a 21%. O ano neutro apresentou ocorrência superior ao El Niño para as categorias de céu claro, cumulus e cumulonimbus. Para os demais tipos de nuvens, o El Niño teve ocorrências superiores à do ano neutro. Neste caso, o céu claro com nuvens do tipo cirrus (Sf/Ci) também apresentou ocorrências de 1%, ou seja, praticamente não ocorreram sobre o Estado neste período.

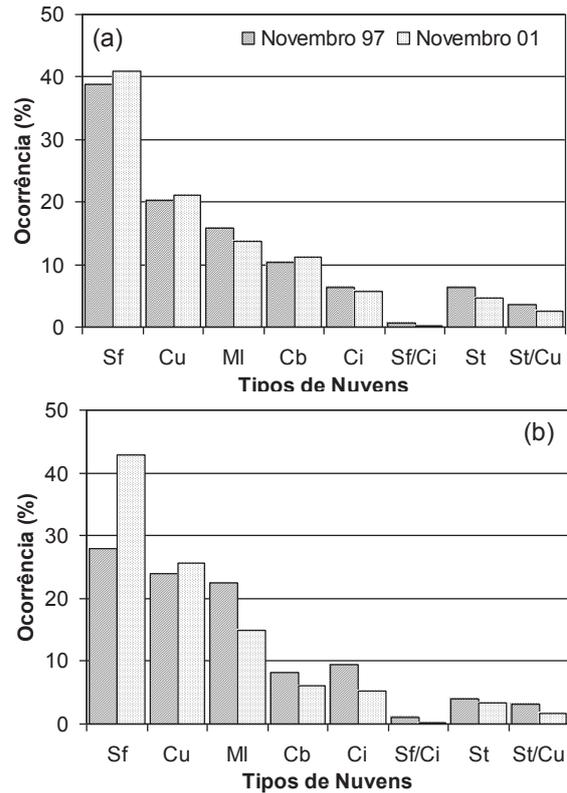


Figura 8 - Frequência de ocorrência (%) mensal dos tipos de nuvens sobre o Rio Grande do Sul em novembro dos anos 1997 e 2001 as 1309 TMG (a) e 1909 TMG (b). Onde: Sf- céu claro, Cu- cumulus, MI- multi-camadas, Cb- cumulonimbus, Ci- cirrus, Sf/Ci- céu claro com cirrus, St- stratus e St/Cu- stratus com cumulus.

No horário das 1909 TMG (Figura 8b) a análise da ocorrência dos tipos de nuvens para o mês de novembro mostrou que o ano neutro apresentou ocorrência maior de céu claro (superior a 40%) do que no horário das 1309 TMG. Para o caso de El Niño a ocorrência de céu claro foi inferior à do ano neutro. As nuvens do tipo cumulonimbus, cirrus, céu claro com cirrus, stratus e stratus com cumulus, apresentaram ocorrências inferiores a 10%. As maiores ocorrências, em ambos os casos, foram de céu claro, cumulus e multi-camadas.

Quando comparados os dois horários do mês de novembro observou-se que as nuvens do tipo cumulus, multi-camadas e cumulonimbus apresentaram um aumento em suas ocorrências das 1309 TMG para as 1909 TMG. No caso de El Niño de um horário para o outro, a ocorrência de céu claro foi menor, enquanto no caso de neutro praticamente não foi alterada.

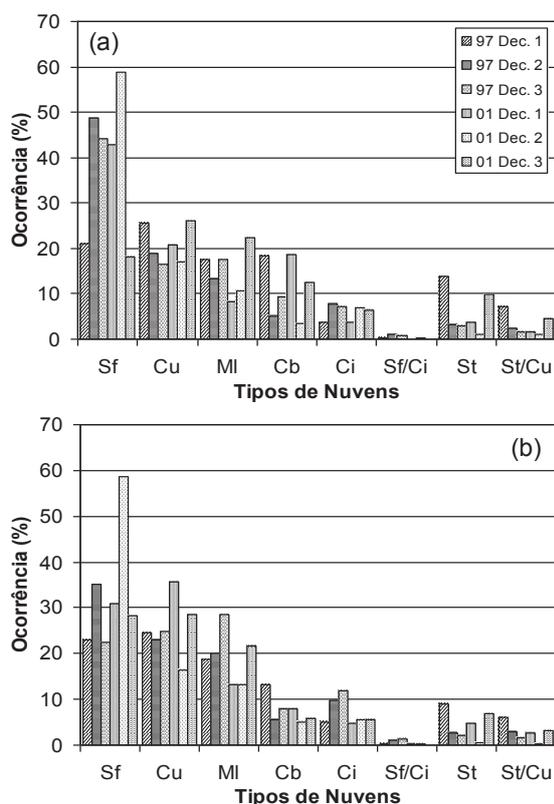


Figura 8a-Como na figura 7, mas por decêndios

A análise decencial da ocorrência dos tipos de nuvens para novembro às 1309 TMG (Figura 8a) mostrou que em 1997 o primeiro decêndio foi o que apresentou a maior nebulosidade (25% de Cu), bem como em 2001 a maior

nebulosidade (26% de Cu) ocorreu no terceiro decêndio. Nestes decêndios os tipos de nebulosidade mais freqüentes foram as nuvens do tipo cumulus, multicamadas e cumulonimbus. No segundo e terceiro decêndios de 1997, e no primeiro e segundo de 2001, o céu claro (Sf) apresentou as maiores ocorrências, sendo superior a 40% em todos os decêndios. Destaca-se o 2° decêndio de 2001 com ocorrência de céu claro em quase 60% dos pixels, sendo o maior valor do período. Os demais decêndios apresentaram em todas as outras categorias de nuvens ocorrências inferiores a 30%.

Analisando novembro no horário das 1909 TMG (Figura 8b), foi observado pequenas alterações na nebulosidade em relação ao horário das 1309 TMG. A tendência foi de aumento na nebulosidade e diminuição da frequência de pixels da categoria céu claro. O segundo decêndio de 2001 apresentou a maior frequência de ocorrência de céu claro no Estado, em quase 60% dos pixels. Os outros três decêndios apresentaram ocorrência superior a 30%, os quais: 2° de 1997 para o céu claro e o 1° de 2001 para o céu claro e as nuvens cumulus. No restante dos decêndios analisados no período as ocorrências foram inferiores a 30%. As nuvens do tipo cumulus e multi-camadas tiveram um aumento em sua ocorrência das 1309 TMG para as 1909 TMG. Nos dois horários as menores ocorrências foram de céu claro com nuvens do tipo cirrus (Sf/Ci).

4 Conclusões

No Rio Grande do Sul, o índice de nebulosidade diurna em anos de El Niño foi superior ao dos anos neutros na maioria dos meses do ano e, conseqüentemente, na maior parte dos decêndios. Enquanto em anos de La Niña, o IND foi inferior aos anos neutros somente na metade sul do Estado.

O período de maior impacto, tanto do El Niño como da La Niña, no índice de nebulosidade diurna do Estado, foi no final da primavera início do verão, confirmando o que vem sendo identificado no comportamento de outras variáveis meteorológicas como, por exemplo, precipitação pluvial e temperatura mínima.

O impacto no índice de nebulosidade diurna decendial do El Niño 1997/1998 e da La Niña 1995/1996, acompanhou o ciclo de maiores impactos do ENOS no Estado.

As informações obtidas neste trabalho sobre o impacto de ENOS no IND podem ser úteis no manejo do calendário agrícola das culturas de primavera-verão do Estado, quando houver previsão de ocorrência El Niño ou La Niña.

A nebulosidade obtida a partir das imagens GOES foi coerente com as informações de superfície. Estas imagens podem, portanto, contribuir para os estudos de caracterização da nebulosidade diurna do Rio Grande do Sul, melhorando seu detalhamento espacial e temporal, assim como agregando a informação dos tipos de nuvens em casos de ocorrência do ENOS.

Agradecimentos

Ao Dr. Moacir Antonio Berlato e a Dra. Denise Cybis Fontana pelas sugestões e comentários. Ao INMET e FEPAGRO pelo fornecimento dos dados das estações meteorológicas.

Referências

AMBRIZZI T., HOSKINS, B.J., HSU, H.H. (1995) Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the austral winter. *J. Atmos. Sci.*, v.52, p. 3661-3672.

BAPTISTA, R.L., BERLATO, M.A. (2004) Relações do rendimento de grãos de feijão safra do Estado do Rio Grande do Sul com a precipitação pluvial, a temperatura e o El Niño Oscilação Sul (ENOS). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 307-314.

BERGAMASHI, H. (1989) Variations on the Brazilian soybean production related to teh drought occourences – Preliminary analysis. In: *WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE*, 4, 1989, Buenos Aires. *Actas procedings*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, p.2153-2158.

BERLATO, M.A. (1992) As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos da estiagem na produção

agrícola. In: BERGAMASHI, H. (coord.). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, p.11-23.

BERLATO, M.A., FONTANA, D.C. (1999) Variabilidade interanual de precipitação pluvial e rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125.

BERLATO, M.A., FONTANA, D.C. (2003) El Niño e La Nina: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. 1ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 110p.

CARMONA, L.C. (2001) Efeitos associados aos fenômenos El Niño e La Niña no rendimento de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 77f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em agrometeorologia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CUSTODIO, M. S., BERLATO, M.A., FONTANA, D.C. (2009) Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: climatologia e tendência temporal. *Pesq. Agrop. Gaúcha*, Porto Alegre, v.15, n.1, p.45-52.

FONTANA, D.C., BERLATO, M.A. (1996) Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-46.

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*, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132.

FONTANA, D.C., ALMEIDA, T.S. (2002) Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10, n.1, p.135-145.

GRIMM A.M., SILVA DIAS P.L. (1995) Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. *Journal of Atmospheric Sciences*, v.52, p. 3538-3555.

LOPES, F., BERLATO, M.A. (2003) Relações entre a temperatura da superfície do mar na

região do niño 3.4 e a temperatura média mínima do estado do rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13, 2003, Santa Maria, RS. Anais: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Brasília: SBMET, p961 CD-ROM.

OLIVEIRA, G.S. DE. (1999) O El Nino e Você: O fenômeno climático. 1.ed. São José dos Campos, SP: TRANSTEC, 116p.

PUCHALSKI, L.A. (2000) Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 83f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em agrometeorologia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TRENBERTH, K.E. (1997) The definition of El Niño. Bulletin American Meteorological Society. V. 78, p. 2771-2777.

WILKS, D.S. (1995) Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 1. ed. New York, EUA: Academic Press, 467p.