

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



Dissertação

Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006: impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Estado em 2006

Morgana Vaz da Silva

Pelotas, 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MORGANA VAZ DA SILVA

**ANÁLISE SAZONAL DO REGIME HÍDRICO DO RIO GRANDE DO SUL NO
PERÍODO DE 1977 A 2006: impacto de sistemas meteorológicos no regime
hídrico do Estado em 2006**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Meteorologia)

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Pelotas, 2010

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

S586a Silva, Morgana Vaz da
 Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul
 no período de 1977 a 2006 : impacto de sistemas meteoroló-
 gicos no regime hídrico do Estado em 2006 / Morgana Vaz da
 Silva ; orientador Cláudia Rejane Jacondino de Campos. –
 Pelotas, 2010. – 120f. – Dissertação (Mestrado). Programa de
 Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologi-
 a. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

 1.Meteorologia. 2.Balanço hídrico. 3.Sistemas meteoro-
 lógicos. 4.Precipitação fluvial I.Campos, Cláudia Rejane Ja-
 condino de. II.Título

CDD: 551.577

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Dr. André Becker Nunes

Dr. Silvio Steinmetz

Dedico:

As cinco pessoas mais importantes da minha vida, Santo Edson Furtado Da Silva, Marinilda Vaz da Silva, Danilo Castro Barbosa, Cíntia Vaz da Silva e Rafael Vicente pelo incentivo e estímulo à busca de meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, que sempre se fez presente em minha vida, iluminando o meu caminho, mostrando que tudo na vida tem um propósito e que nada acontece por acaso.

À minha orientadora professora Dr^a Cláudia Rejane Jacondino de Campos, que me mostrou o jeito mais claro de colocar minhas idéias, me aconselhando a melhor maneira de conduzir a vida, sem deixar-se levar para o lado da loucura.

Aos melhores colaboradores que alguém poderia ter Cristiano Wickboldt Eichholz e Gustavo Raser, pelo auxílio valioso e fundamental durante a execução do trabalho

Aos meus colegas do curso de Pós-Graduação em Meteorologia Arita Madruga, Clóvis Corrêa, João Omena e Paulo Iriart, pela convivência durante este tempo de estudo.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Meteorologia. Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação por ensinamentos.

À banca examinadora pelas sugestões valiosas para o aprimoramento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Resumo

SILVA, Morgana Vaz da. **Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006: impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Estado em 2006.** 2010. 120f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

O regime hídrico de uma região é determinado pela disponibilidade de água no solo (deficiência ou excesso), que pode ser estimada com aceitável precisão, utilizando variáveis como precipitação (entrada de água no solo) e evapotranspiração (saída de água do solo), através de um sistema de balanço hídrico. Como o Rio Grande do Sul (RS) apresenta uma variabilidade espacial significativa de precipitação anual, uma vez que na Metade Sul é inferior à da Metade Norte do Estado, o objetivo geral deste trabalho foi determinar e analisar sazonalmente os balanços hídricos climatológicos (BHC) para a Metade Norte e Metade Sul do RS, no período de 1977 a 2006. Mais especificamente, pretendeu-se analisar o impacto dos sistemas meteorológicos (SM) no regime hídrico do RS no ano de 2006. Foram utilizados, para o cálculo dos BH, dados mensais de temperatura média e precipitação pluvial do período de 1977 a 2006, obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (8º Distrito de Meteorologia) de 16 estações meteorológicas distribuídas nas diferentes regiões ecoclimáticas do Estado. O método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) foi utilizado para calcular os BHC e para calcular a evapotranspiração utilizou-se o método de Thornthwaite (1948). Para a análise do impacto dos SM no regime hídrico do RS no ano de 2006 utilizaram-se dados obtidos nos Boletins Climanalise, no banco de dados da defesa civil do RS e imagens do satélite GOES-12 (Geostationary Operational Environmental Satellite) fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE. Os resultados para o período de estudo (1977 a 2006) mostraram que a distribuição de precipitação no RS foi bastante uniforme nos quatro períodos do ano, com registro de maior volume pluviométrico na Metade Norte do Estado. Observou-se que a Metade Norte do RS apresenta excesso hídrico durante todo ano, devido aos maiores índices pluviométricos associados a menores índices evaporativos. Já na Metade Sul foram observados déficits hídricos em JFM e OND, mas estes foram inferiores aos excessos hídricos, portanto não ocorre falta de água. Em 2006 na Metade Norte do RS não ocorreu falta de água, apesar da ocorrência de déficits hídricos nos trimestres de JFM, AMJ e OND, uma vez que estes foram inferiores aos excessos hídricos. Na Metade Sul, em 2006, a menor disponibilidade de água e a maior deficiência hídrica em relação às condições normais, causaram

falta de água em JFM e o no litoral em OND. Os fatores que contribuíram para a ocorrência de excedentes hídricos superiores aos déficits hídricos durante o ano de 2006 na Metade Norte e falta de água na Metade Sul do RS em JFM e no litoral em OND, foram: a maior frequência de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) e de eventos com condições de tempo severo na Metade Norte do RS em relação à Metade Sul; a menor frequência de SF neste ano na Metade Sul do RS em relação à normal climatológica do período de 1977 a 2006 e a atuação do fenômeno ENOS cuja configuração em 2006 provocou estiagem na região sul do Brasil e, portanto precipitação abaixo da normal em todos os trimestres do ano.

Palavras-chave: Balanço hídrico. Sistemas meteorológicos. Precipitação pluvial.

Abstract

SILVA, Morgana Vaz da. **Seasonal analysis of water regime of Rio Grande do Sul from 1977 to 2006: Impact of Weather Systems on the water regime of the state in 2006**. 2010. 120f. Thesis (MA) - Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The Water regime of a region is determined by the availability of soil water (both deficiency and excess) that can be estimated with acceptable accuracy using variables such as precipitation (entry of water into the ground) and evapotranspiration (output of water from the soil) through a system of water balance. The aim of this study was to determine and analyze the seasonal climatological water balance in the northern half and southern half of Rio Grande do Sul (RS) from 1977 to 2006, as RS has had a significant spatial variability of annual precipitation since in the southern half is lower than the Northern Half of the state. Specifically, it was analyzed the impact of weather systems on the water regime of RS in 2006. It has been used for the calculation of water balance, monthly data of average temperature and precipitation from 1977 to 2006, which was obtained from the National Institute of Meteorology - INMET (8th District of Meteorology) from 16 meteorological stations located in different ecoclimatic regions of the state. To calculate the water balance it was been used the method proposed by Thornthwaite and Mather (1955) and to calculate the evapotranspiration, the method of Thornthwaite (1948) was used the data from Bulletins of Climate Analysis from database of civil defense of RS and satellite images GOES-12 (Geostationary Operational Environmental Satellite) provided by the Center for Weather Forecasting and Climate Studies located at the National Institute for Space Research - CPTEC / INPE. The results for the study period (1977 to 2006) showed that the distribution of precipitation in RS was fairly uniform across the four periods of the year with record volumes of rainfall in the northern half of the state. It may be noted that the North Half of RS has presented over water throughout the year due to higher rainfall associated with lower evaporative rates. In the south, water deficits in JFM and OND has been observed, but these have been less than the excess water, so there is lack of water. In 2006 the northern half of RS, lack of water has not occurred, despite the occurrence of water deficits in the quarters of JFM, AMJ and OND. In the southern half in 2006, the reduced availability of water and increased water stress in relation to normal conditions have caused water shortages in JFM and OND on the coast. Factors that contributed to the occurrence of excess water above the water deficit during 2006 in

the North Half and water shortages in the south of RS in JFM and OND on the coast, have been: highest frequency of Weather and Climate System event with severe weather conditions in the northern half of RS related to the southern half; the lowest frequency of Frontal System this year in the south of RS related to the climate normal period from 1977 to 2006 and the role of ENSO whose configuration in 2006 led to drought in southern Brazil, and therefore precipitation below normal in all quarters year.

Keywords: Water balance, Weather systems, Rainfall.

Lista de figuras

Figura 1	Mapa topográfico (esquerda) e das unidades geomorfológicas do RS (direita). Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2009	20
Figura 2	Variação sazonal da temperatura média do ar no Rio Grande do Sul. (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2009.	23
Figura 3	(a) Temperatura média anual e (b) precipitação pluvial média anual para o Rio Grande do Sul. Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2009.	24
Figura 4	Ciclo hidrológico. Fonte: TUCCI, 1993.....	34
Figura 5	Diagrama esquemático do Balanço Hídrico. Fonte: HILLEL, 1980.....	35
Figura 6	Esquema do método de identificação e acompanhamento dos SCM. (a) continuidade, (b) split e (c) merge. Fonte: VILA et al, 2008.....	51
Figura 7	Representação esquemática da previsão do deslocamento do centro de massa de um SCM. As linhas pontilhadas verticais separam os diferentes passos de tempo. O SCM hachurado indica a posição prevista do SCM. Fonte: VILA et al, 2008.....	52
Figura 8	Variação da área do SCM em função do tempo de vida. Fonte: MACEDO et al, 2004.....	54
Figura 9	Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, em suas respectivas Regiões Ecoclimáticas	56

Figura 10	Distribuição sazonal da temperatura média do ar no RS no período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	64
Figura 11	Distribuição anual da precipitação pluvial no RS para o período de 1977 a 2006	66
Figura 12	Distribuição sazonal da precipitação pluvial no RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	66
Figura 13	Regime hídrico da Metade Norte do RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	68
Figura 14	Regime hídrico da Metade Sul do RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	71
Figura 15	Distribuição sazonal da temperatura média do ar no RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	73
Figura 16	Distribuição anual da precipitação pluvial no RS em 2006	75
Figura 17	Distribuição sazonal da precipitação pluvial no RS em 2006 (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	75
Figura 18	Regime hídrico da Metade Norte do RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	78
Figura 19	Regime hídrico da Metade Sul do RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)	81
Figura 20	Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período quente (JFM) (a) precipitação, (b) disponibilidade hídrica, (c) deficiência hídrica e (d) excesso hídrico	84
Figura 21	Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período temperado frio (AMJ) (a) precipitação, (b) disponibilidade hídrica, (c) deficiência hídrica e	

	(d) excesso hídrico	85
Figura 22	Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período frio (JAS) (a) precipitação, (b) disponibilidade hídrica, (c) deficiência hídrica e (d) excesso hídrico	87
Figura 23	Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período temperado quente (OND) (a) precipitação, (b) disponibilidade hídrica, (c) deficiência hídrica e (d) excesso hídrico	88
Figura 24	Distribuição sazonal dos SF que atuaram em 2006 (a) no RS e (b) em distintas regiões do RS.	90
Figura 25	Distribuição sazonal dos SCM que atuaram no RS em 2006.....	91
Figura 26	Localização dos SCM (pontos verdes) que atuaram no RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND). Os números nos mapas correspondem às estações meteorológicas da tab. 2.....	92
Figura 27	Distribuição sazonal dos eventos com condições de tempo severo que atingiram as 16 cidades que fazem parte deste estudo.	93

Lista de tabelas

Tabela 1	Principais parâmetros calculados pelo ForTrACC.	49
Tabela 2	Coordenadas geográficas, altitude e Regiões Ecoclimáticas das Estações Meteorológicas utilizadas neste estudo.	56
Tabela 3	Planilha utilizada para o cálculo do Balanço Hídrico.....	58

Lista de abreviaturas e siglas

AMJ	Abril- maio- junho
ARM	Armazenamento de água
BH	Balanço hídrico
BHC	Balanço hídrico climatológico
CAD	Capacidade de água disponível
CC	Células convectivas
CCM	Complexo convectivo de mesoescala
CM	Centro de massa
cT	Continental tropical
DEF	Deficiência hídrica
DP	Drenagem profunda ou percolação
Dq	Variação de umidade no solo
ECTS	Eventos com condições de tempo severo
ENOS	El niño oscilação sul
ES	Escoamento superficial
ET	Evapotranspiração
ETC	Evapotranspiração de cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
ETP	Evapotranspiração potencial

ETR	Evapotranspiração real
EXC	Excesso hídrico
ForTrACC	Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
I	Irrigação
JAS	Julho- agosto- setembro
JBN	Jato de baixos níveis
JFM	Janeiro- fevereiro- março
JST	Jato subtropical
LI	Linha de instabilidade
mP	Marítima polar
mT	Marítima tropical
OND	Outubro- novembro- dezembro
P	Precipitação total
P-ETP	Disponibilidade hídrica
ROL	Radiação de onda longa
RS	Rio Grande do Sul
SCM	Sistemas convectivos de mesoescala
SF	Sistemas frontais
SM	Sistemas meteorológicos
T_{ir}	Temperatura de brilho do topo das nuvens
T_m	Temperatura média do ar
TSM	Temperatura da superfície do mar
VCAN	Vórtices ciclônicos de altos níveis
WREVAP	Relação complementar Morton
ZCAS	Zona de convergência do Atlântico Sul

Sumário

1 Introdução	18
2 Revisão de literatura	20
2.1 Características da área de estudo	20
2.2 Sistemas meteorológicos que atuam na Região Sul do Brasil	27
2.3 Balanço hídrico	33
2.4 A técnica ForTrACC.....	45
2.4.1 Identificação dos SCM	46
2.4.2 A técnica de acompanhamento dos SCM	47
2.4.3 A técnica de previsão	51
2.4.3.1 Estimativa da velocidade e direção média de propagação do SCM	51
2.4.3.2 Tendência de crescimento e desenvolvimento dos SCM	52
3 Materiais e métodos	55
3.1 Balanço hídrico.....	55
3.2 Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do RS em 2006 ..	61
3.3 Divulgação na internet	62
4 Resultados e discussão	63
4.1 Análise sazonal do regime térmico, pluviométrico e hídrico do RS no período de 1977 a 2006.....	63
4.2 Análise sazonal do regime térmico, pluviométrico e hídrico do RS no ano de 2006	72
4.3 Análise sazonal das anomalias dos componentes dos BH de 2006	83

4.4 Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do RS em 2006 ..	89
5 Conclusão	96
Referências	98
Apêndices	114

Introdução

A região sul do país é afetada por fenômenos meteorológicos de diferentes escalas que influenciam o seu regime de chuvas, causando, de uma forma ou de outra, prejuízos à economia do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Isso porque, variações no armazenamento hídrico do solo e na precipitação têm um notável impacto na economia da região, uma vez que a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos de qualquer região. Tal importância deve-se às consequências que o excesso ou déficit de precipitação pode ocasionar (DAVIS, 2000).

Dentro deste contexto, uma ferramenta extremamente útil para monitorar a variação do armazenamento de água no solo é o balanço hídrico climatológico (BHC). Através do balanço hídrico (BH) é possível determinar as regiões que apresentam déficit ou excesso hídrico, sendo de fundamental importância nos diversos campos de atividades humanas que tratam da utilização e manejo da água, nas quais se destaca o planejamento de atividades agrícolas, zoneamento agroclimático, classificação climática, vazão, previsão de enchentes, planejamento e manejo de qualquer sistema de irrigação (COSTA et al., 1998).

Por outro lado, Matzenauer (2007) observou que no RS, em algumas regiões da Metade Norte do Estado o volume de chuvas ultrapassa 1900mm anuais, enquanto que na Metade Sul, algumas regiões apresentam volumes inferiores a 1400mm, caracterizando, portanto, uma variabilidade espacial significativa. Apesar da variabilidade espacial observada no RS, a distribuição da precipitação nas quatro estações do ano é bastante uniforme, apresentando, em média, 24% no verão, 25% no outono, 25% no inverno e 26% na primavera (BERLATO, 1992). Porém, os sistemas meteorológicos (SM) que as geram são distintos: nas estações frias (AMJ e JAS) e nas estações quentes (OND e JFM), grande parte da precipitação registrada

é associada a sistemas sinóticos (Sistemas Frontais-SF) e a sistemas de mesoescala (Sistemas Convectivos de Mesoescala-SCM), respectivamente (SCAGLIONI; SARAIVA, 2005; MARQUES, 2005). Atualmente, para a detecção e acompanhamento dos SCM dispõem-se do aplicativo ForTrACC (Forecasting and Tracking of Actice Cloud Clusters) que utiliza limiares de temperatura nas imagens do canal-4 do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) para detectar os SCM (VILA et al., 2008).

Pelo exposto, fica clara a importância do estudo do regime hídrico do solo (BH) associado ao estudo dos SM que geram a precipitação no RS, uma vez que os efeitos da atuação desses sistemas no regime hídrico do Estado causam grande impacto na população em geral, na área econômica e também na área agrícola.

Dentro deste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi determinar e analisar o balanço hídrico climatológico (BHC) para o RS no período de 1977-2006 visando detectar épocas e regiões de excesso ou déficit de água e analisar o impacto de SM no regime hídrico, no ano de 2006, para verificar se as regiões mais atingidas pelos SM são aquelas que apresentam excesso ou déficit hídrico.

Objetivos específicos:

1. Calcular o BHC do período de 1977 a 2006 (BHC) e do ano de 2006 (BHA2006) de 16 estações meteorológicas do RS;
2. Analisar o comportamento sazonal do regime hídrico da Metade Norte e da Metade Sul do RS para os 30 anos de estudo e para o ano de 2006;
3. Analisar a distribuição sazonal dos SF e SCM que atuaram no RS no ano de 2006;
4. Analisar a distribuição sazonal da ocorrência de fenômenos atmosféricos que causaram condições de tempo severo no RS no ano de 2006;
5. Analisar o impacto dos SM observados em 2006 no regime hídrico do RS;
6. Desenvolver uma página para internet para divulgação e consulta dos resultados obtidos no estudo.

Revisão de literatura

2.1 Características da área de estudo

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) localiza-se na região mais meridional do Brasil, entre as latitudes de 27°05'S e 33°45'S e longitudes de 49°43'O e 57°39'O. Possui uma extensão territorial de aproximadamente 282.184km², sendo que deste total 5,2% corresponde a grandes lagunas e ambientes lacustres, além de possuir 622km de costa marinha. Sua distribuição topográfica é bastante variada, com um planalto ao norte, depressões no centro e planícies costeiras, com altitudes, que podem variar de mais de 1.000m ao norte chegando a menos de 100m na Depressão Central e Planície Costeira (Fig. 1).

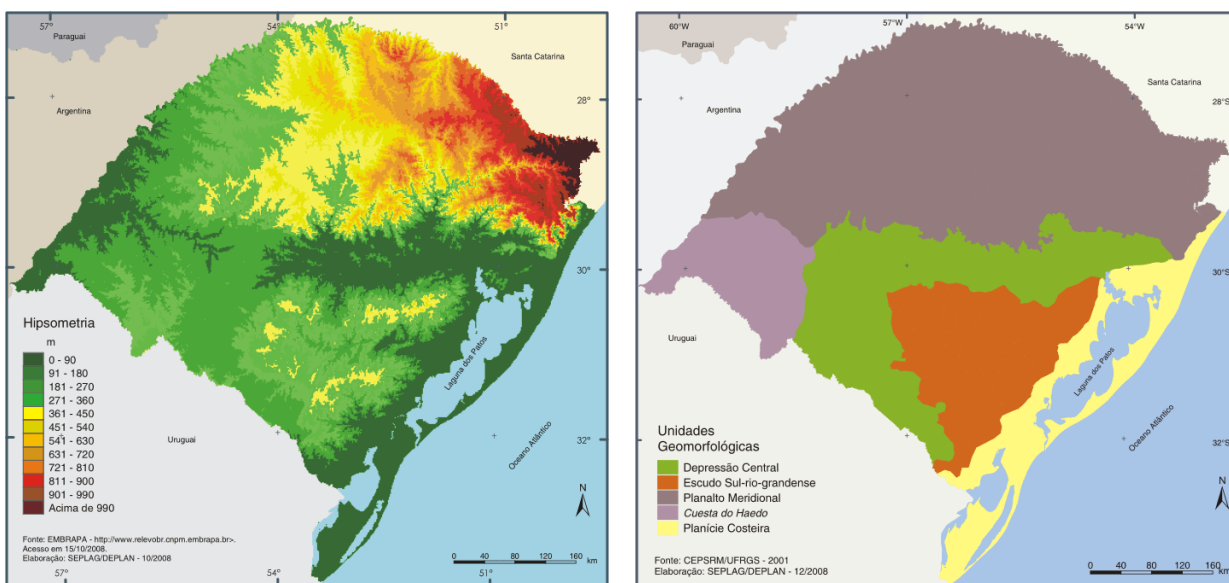


Figura 1 - Mapa topográfico (esquerda) e das unidades geomorfológicas do RS (direita).

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2009)

O RS se enquadra na zona fundamental temperada ou "C" e no tipo fundamental "Cf" ou temperado úmido, segundo o sistema de classificação climática de Köppen. No Estado, este tipo "Cf" se subdivide em duas variedades: "Cfa" e "Cfb", que se caracterizam por apresentar chuvas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais frio superior a 3°C. O que as diferencia é a temperatura do mês mais quente, que no caso da variedade "Cfa" é superior a 22°C enquanto que para a variedade "Cfb" é inferior a 22°C. Desta forma, com base na classificação climática de Köppen, o RS se divide em duas áreas climáticas, "Cfa" e "Cfb", sendo que a variedade "b" se restringe ao Planalto Meridional e ao escudo Sul-Rio-Grandense, enquanto que as demais áreas pertencem à variedade "a" (MORENO, 1961).

No Sul do Brasil a temperatura (apesar de sua diversificação espacial), assim como a pluviosidade, exerce um papel de unificadora e uniformizadora do clima regional. Isto não significa que os valores e comportamento da temperatura sejam semelhantes. Significa, apenas, que há uma relativa semelhança que não permite a determinação de áreas intra-regionais muito distintas, como se verifica em outras regiões geográficas do Brasil (NIMER, 1989).

O RS apresenta grande amplitude térmica anual caracterizada por verões quentes e invernos frios, sendo influenciado fortemente por sistemas atmosféricos de latitudes médias e elevadas. O regime de temperatura deste Estado é influenciado pelas massas de ar Marítima Tropical (mT), Marítima Polar (mP) e Continental Tropical (cT) (ANDRADE, 1972). A massa de ar Continental Tropical atua principalmente no oeste do Estado, elevando as temperaturas durante o verão. Já durante o inverno, o avanço das massas de ar de origem polar (Marítima Polar), provoca expressiva redução nas temperaturas (ANDRADE, 1972; TUBELIS; NASCIMENTO, 1983). A latitude, o relevo e continentalidade/maritimidade também exercem influência na temperatura do RS (MORENO, 1961; NIMER, 1989).

É comum acreditar que nas regiões temperadas não existe calor, todavia na Região Sul do Brasil a inclinação dos raios solares, em dezembro e janeiro, é muito pequena, pois o sol incide, no RS, com inclinação semelhante ou menos do que no Equador, decorrendo daí que é comum a ocorrência de forte calor durante o Verão, quando se registram temperaturas máximas em torno de 30 °C em algumas localidades. No que diz respeito ao Inverno, em virtude do balizamento intertropical da marcha zenital do Sol, esta estação torna-se, evidentemente, mais longa e mais

fria à medida que o observador se afasta do Equador. No Hemisfério Sul, em virtude do notável fluxo de ar polar, o limite setentrional da zona temperada climática está situado acerca do trópico. Embora o Sul do Brasil esteja situado na zona subtropical, o Inverno, na sua maior parte, é acentuado. De maio a agosto a temperatura média se mantém relativamente baixa por toda a área. Durante estes meses toda a região sente os efeitos típicos do Inverno em função das sucessivas e intensas invasões de frentes polares que trazem, geralmente, abundantes chuvas sucedidas por massa polar, cuja participação na circulação atmosférica regional é, pelo menos, igual à participação dos sistemas tropicais, acompanhada de forte queda de temperatura que, comumente, atinge a níveis poucos superiores a 0°C e, não raras vezes, descem a valores negativos, tornando notável a ocorrência de geadas (NIMER, 1989).

Levantamentos de Mota et al. (1971), efetuados no período de 1931 a 1960, mostram que a temperatura média anual do Estado variava de 14,5°C (São Francisco de Paula) a 19,8°C (São Luiz Gonzaga e Uruguaiana), a média anual das temperaturas máximas variava de 20,3°C (São Francisco de Paula) a 27,5 °C (Iraí) e a média anual da temperatura mínima variava entre 9,9°C (São Francisco de Paula) e 15,3°C (Rio Grande). Sendo o mês mais quente janeiro, e o mês mais frio julho. No RS o período de verão apresenta temperaturas máximas elevadas, com a média das máximas chegando a 28,4°C, e com condições favoráveis a atuação da continentalidade/oceanidade (MARIN et al., 2003).

As publicações do Instituto Nacional de Meteorologia (BRASIL, 1992), para o período de 1961-1990, mostram que a temperatura média anual do RS variava de 14,7°C (Bom Jesus) a 20,0°C (São Luiz Gonzaga) e que as médias anuais das temperaturas mínimas e máximas variavam de 10,7°C (Bom Jesus) a 15,7°C (Torres) e de 20,3°C (Bom Jesus) a 27,1°C (Iraí), respectivamente.

De acordo com o Atlas Sócio Econômico do RS (2009), a temperatura média do ar no RS apresenta grande variação sazonal (Fig. 2), com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geada e precipitação eventual de neve. As temperaturas médias anuais variam de 10 a 20°C (Fig. 3a).

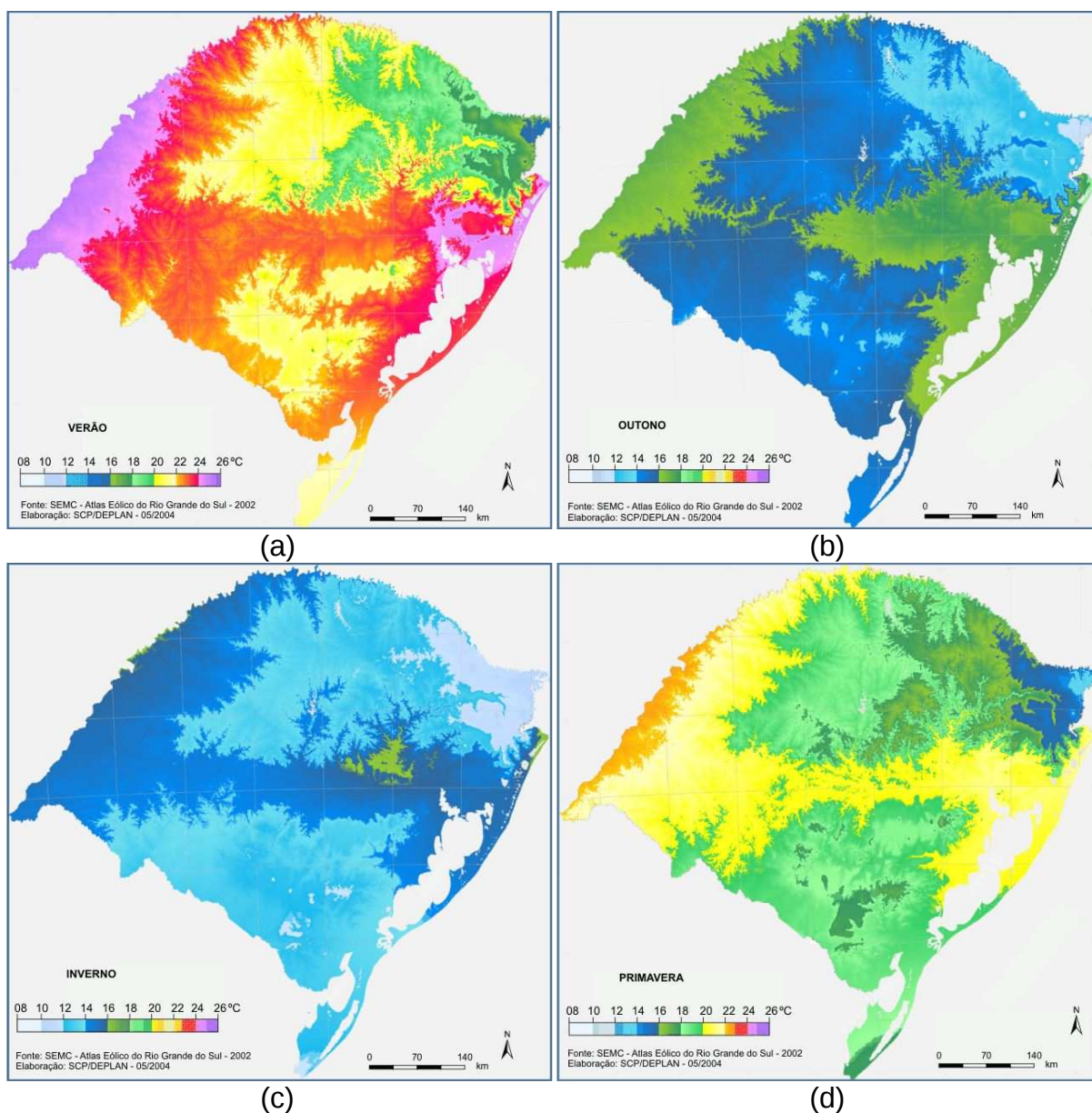


Figura 2 - Variação sazonal da temperatura média do ar no RS. (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2009)

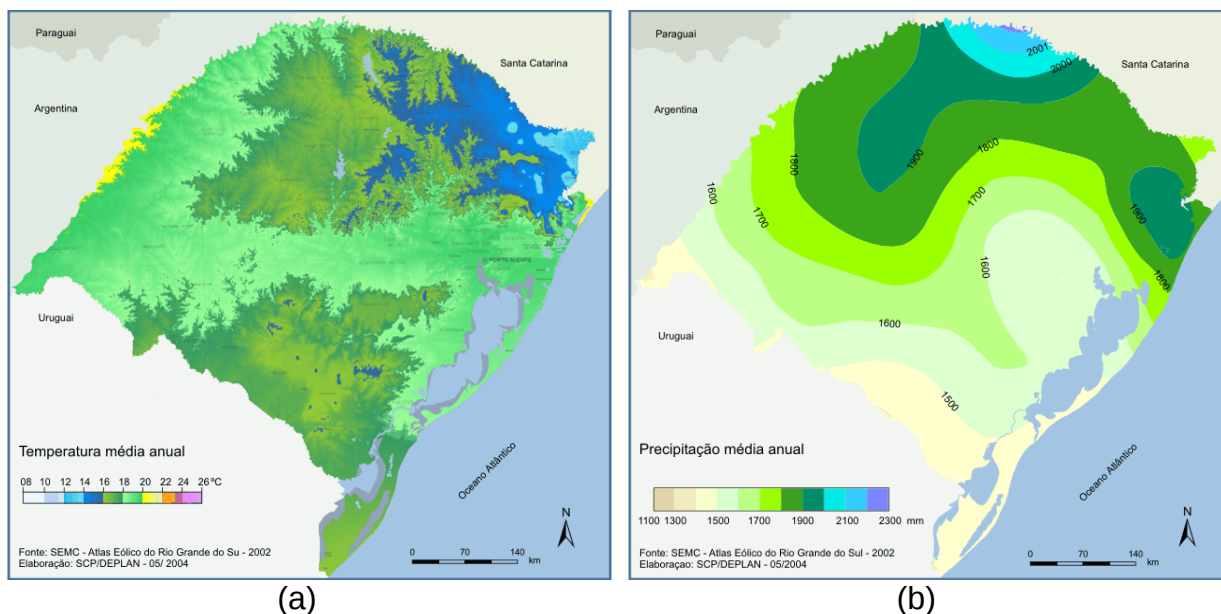


Figura 3 - (a) Temperatura média anual e (b) Precipitação pluvial média anual do RS

Fonte: ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS (2009)

Das regiões geográficas do Globo, o Sul do Brasil, é segundo diversos autores (MOTA, et al. 1971; NIMER, 1989; TUBELIS; NASCIMENTO, 1983; VIANELLO; ALVES, 2000), a que apresenta uma distribuição espacial de precipitação mais uniforme, com regime de precipitação pluvial bem distribuído e bem definido. Portanto, não há no RS nenhum local cuja precipitação pluvial seja excedente ou deficiente. Segundo Nimer (1989), essa vantagem de que se reveste o clima da região Sul não reside apenas nos índices de precipitação acumulada anual, mas principalmente na forma pela qual ela se distribui. O fato do RS se caracterizar por possuir baixos índices de variabilidade pluviométrica, não deve ser interpretado como uma situação constante no clima regional do Sul do Brasil, mas tão somente como uma situação de maior frequência. Portanto, os valores médios de precipitação pluvial no Estado do RS apresentam regularidades ao longo do ano, mas com grandes variações em torno destes. Essa característica pode ser comprovada em diversos estudos como os apresentados a seguir.

Diversos autores (NIMER, 1989; IPAGRO, 1989; ÁVILA et al., 1996; BERLATO et al., 2000) mostram que apesar de o relevo regional, caracterizado por superfícies e formas simples, não interferir a ponto de criar diferenciações muito importantes na pluviometria anual, sua influência é sentida uma vez que na Metade Sul do RS (sul do paralelo 30° S) chove menos que na Metade Norte (norte do

paralelo 30° S). Ao sul de 30° S são registradas precipitações pluviais anuais, inferiores a 1.500mm enquanto que na Metade Norte do Estado são registrados totais anuais de precipitação superiores a 1.500mm.

De acordo com Moreno (1961) há uma grande variação quantitativa de chuvas nas várias regiões do Estado. Assim, segundo ele, enquanto Santa Vitória do Palmar é a localidade menos chuvosa, São Francisco de Paula é a mais chuvosa. Entre estes dois extremos encontram-se valores intermediários. A região menos chuvosa localiza-se no litoral e no Sul do Estado, na divisa com o Uruguai. No período de 1931 a 1960 (IPAGRO, 1989) a precipitação média anual no RS variava de 1.162mm, na localidade de Rio Grande, a 2.162mm em São Francisco de Paula. Já na série 1961-1990, os valores ficavam entre 1.191mm em Santa Vitória do Palmar e 1.972mm em São Luiz Gonzaga (BRASIL, 1992).

O RS apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no Estado (Fig. 3b). O volume de chuvas, no entanto é diferenciado. Ao sul a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800mm, com intensidade maior de chuvas à nordeste do Estado, especialmente na encosta do planalto, local com maior precipitação no Estado (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RS, 2009),

Ferreira e Nery (1999), analisando a distribuição da precipitação pluvial no RS, utilizando dados mensais desta variável de 29 estações meteorológicas para o período de 1948 a 1988, concluíram que existe uma maior concentração da precipitação pluvial nas regiões oeste e nordeste do Estado e uma menor concentração, na região noroeste e na região do estuário do Guaíba.

Matzenauer et al. (2007) caracterizaram o regime de chuvas no RS utilizando uma série atualizada de dados de 24 estações meteorológicas distribuídas nas diferentes regiões ecoclimáticas, para o período 1976-2005. Concluíram que a Metade Norte do estado apresenta maior volume anual de chuvas quando comparado com a Metade Sul. Em algumas regiões da Metade Norte o volume de chuvas ultrapassa 1.900mm anuais, enquanto que na Metade Sul, algumas regiões apresentam volumes inferiores a 1.400mm, caracterizando, portanto, uma variabilidade espacial significativa. A primavera é a estação do ano que concentra o maior volume de chuvas na Metade Norte do estado, com valores superiores a 550mm em parte da região, enquanto que o menor volume de chuvas ocorre na

estação de inverno, nas regiões da Campanha (Bagé e Uruguai) e Baixo Vale do Uruguai (Itaqui e São Borja), com valores inferiores a 250mm.

Em determinados anos, a precipitação pluvial torna-se tão abundante que em certas áreas chega a atingir totais equivalentes ao dobro (ou até mais) da precipitação pluvial média, representativa da normal climatológica, enquanto que em outros anos, o decréscimo é tão notável que a acumulada fica abaixo da metade da precipitação pluvial média (NÍMER, 1989). Segundo Puchalski (2000), o RS apresenta anomalias positivas de precipitação pluvial em anos de El Niño e anomalias negativas de precipitação pluvial em anos de La Niña. A frequência de anos considerados secos é maior na Metade Sul do Estado, sendo que na Campanha (Bagé e Uruguai) e Baixo Vale do Uruguai (Itaqui e São Borja), a frequência média de anos secos atinge 20%. Nessas regiões do Estado ocorrem as mais intensas e extensas estiagens, como mostram as séries históricas disponíveis de observações meteorológicas (BERLATO, 1992).

Ávila (1994) e Berlato et al. (1995) mostraram que não existe tendência nem no aumento nem na diminuição da precipitação pluvial anual média em todo o Estado. Existe sim, uma alta variabilidade interanual deste elemento. Na Metade Sul do Estado, a precipitação pluvial normal do trimestre DJF, variava de aproximadamente 250 a 350mm (BERLATO, 1992). Essa precipitação pluvial não atende à demanda evaporativa da atmosfera da estação de verão e, conseqüentemente, nesta região ocorre deficiência hídrica.

Fontana e Almeida (2002) analisaram a variabilidade interanual do número de dias de precipitação pluvial no Estado do RS concluindo que o número de dias com precipitação pluvial é semelhante em todas as estações do ano, apresentando tendência de incremento em todas as regiões climáticas. O incremento é maior na primavera e verão, o que é favorável à agricultura, visto que, nestes períodos, ocorrem as maiores probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica no Estado.

2.2 Sistemas Meteorológicos que atuam na Região Sul do Brasil

A região sul do Brasil é afetada por sistemas meteorológicos de diferentes escalas que afetam o seu regime de chuvas. Dentre eles pode-se citar: (a) sistemas frontais que se deslocam do Pacífico, passam pela Argentina e seguem para o nordeste; (b) sistemas que se organizam no Sul do Brasil resultantes de frontogênese ou ciclogênese; (c) sistemas que se desenvolvem no Sul do Brasil, associados a vórtices ciclônicos ou cavados em altos níveis que chegam à costa oeste da América do Sul vindos do Pacífico; (d) sistemas que se organizam no norte da Argentina e Paraguai, com intensa convecção associada à instabilidade causada pelo jato subtropical (JST) e com propagação para leste atingindo o Sul do Brasil e (e) sistemas com a forma de vírgula invertida que se formam na retaguarda de sistemas frontais.

Esses sistemas ocorrem durante todo o ano, tendo, segundo diversos autores (CAVALCANTI, 1985; SATYAMURTY et al., 1998; SELUCHI et al., 1998 etc), épocas mais frequentes para suas ocorrências.

Os Sistemas Frontais (SF) atuam durante todo o ano no Brasil e afetam mais significativamente as Regiões Sul e Sudeste sendo responsáveis pelas chuvas e frio, principalmente no sul do país (QUADRO et al., 1996; SATYAMURTY et al., 1998; HARTE, 2004).

Algarve e Cavalcanti (1994) afirmam que no verão o ingresso de SF é favorecido pela intensificação da Baixa do Chaco, sendo a convecção alimentada pelo fluxo de umidade que provem das regiões tropicais. Já no inverno os SF são mais rápidos e associados a um escoamento ondulatório mais amplificado que traz ar frio e condições apropriadas para ocorrências de geadas nas regiões Sul e Sudeste de América do Sul.

Oliveira (1986), Lemos e Calbete (1996), Justi da Silva e Silva Dias (2002) e Cavalcanti e Kousky (2003) mostram que os SF atingem a região costeira do sul do Brasil mais freqüentemente no período de inverno.

A interação entre SF e outros sistemas meteorológicos vem sendo amplamente estudada. Os SF podem estar associados a: convecção tropical, gerando um aumento desta devido a sua presença (KOUSKI; VIRJI, 1982; OLIVEIRA, 1986); ciclones térmicos, causando aumento nos gradientes horizontais

e verticais de temperatura na região de junção dos dois sistemas (SIGNORINI et al., 1998); Linhas de Instabilidade, causando precipitação intensa e ventos fortes (CONFORTE; FERREIRA, 2000); El Niño Oscilação Sul (ENOS): a ocorrência de frentes frias na faixa latitudinal de 20°S e 40°S é maior em anos de El Niño (CAVALCANTI, 1996; FEDOROVA; CARVALHO, 2000; FEDOROVA et al., 2007).

Estudos de Gan e Rao (1991), Gan (1992), Seluchi (1995), Sugahara (2000), Mendes e Mendes (2004) entre outros, mostram que o inverno é a estação do ano com maior incidência de ciclones que cruzam os Andes. Em geral esses ciclones levam à formação de ciclogênese na superfície influenciando o tempo na região costeira do sul do Brasil, gerando ventos fortes em baixos níveis e chuvas intensas (CARNEIRO; SARAIVA, 1998; FERNANDES et al., 2004). Os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) que se propagam desde o Oceano Pacífico, a posição climatológica do JST, que é mais intenso e frequente no inverno (PEZZI; CAVALCANTI, 1994; PEZZI et al., 1996) e o forte gradiente de temperatura da superfície do mar, provocado pelo encontro da corrente do Brasil e da corrente das Malvinas, são os responsáveis pela intensificação da ciclogênese e pela geração de chuvas nessa região (SINCLAIR, 1995; LOURENÇO et al., 1996; SARAIVA; DIAS, 1996).

A região Sul do Brasil sofre, frequentemente, a influência de bloqueios no escoamento atmosférico. Esses bloqueios refletem-se na interrupção da regularidade na propagação dos sistemas sinóticos, provocando períodos relativamente longos de seca ou chuvas. A frequência máxima de bloqueios ocorre no outono na região Sul, ao passo que o mínimo ocorre no inverno e primavera. As situações de bloqueio podem durar de 5-7 dias até 3 semanas. Os bloqueios, principalmente no verão, estão associados ao estacionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na região sul/sudeste do Brasil.

A ZCAS corresponde a uma banda de nebulosidade orientada no sentido NW/SE que se estende desde o interior do continente em direção ao Oceano Atlântico, sobretudo entre outubro e março. Casarin e Kousky (1986) observaram que períodos de veranicos no RS frequentemente estão associados ao estacionamento da ZCAS mais ao norte, onde podem ocorrer períodos prolongados (10 ou mais dias) de chuvas intensas. A variabilidade intrasazonal da ZCAS está

associada à oscilação de 30/60 dias, conforme demonstrado por Casarin e Kousky (1986), Silva Dias (1988), Silva Dias, et al. (1991) e Sugahara (1992). Kodama (1992 e 1993) mostra que o padrão de escoamento essencial para justificar as características da ZCAS é a forte convergência de umidade, a frontogênese nos campos de temperatura potencial equivalente e a geração de instabilidade convectiva. Sendo uma das principais características da ZCAS estar associada a um JST de altos níveis, próximo a 35°S. Já as análises de Quadro (1994) sugerem que a ZCAS deve ocorrer associada aos seguintes padrões meteorológicos: convergência de umidade na baixa e média troposfera, faixa de movimento ascendente do ar com orientação noroeste/sudeste, um cavado semi-estacionário sobre a costa leste da América do Sul em 500hPa, intenso gradiente de temperatura potencial equivalente na média troposfera e também uma faixa de vortacidade anticiclônica em altos níveis (200hPa). Segundo Chaves e Nobre (2004), o resfriamento do Atlântico Sul desintensifica a convecção associada à ZCAS, favorecendo a convecção sobre a porção subtropical da América do Sul.

Outra característica importante da região de estudo é a presença do jato em baixos níveis (JBN) que foi identificado a leste dos Andes e com direção para o Pólo em trabalhos de análises de padrões de circulação (VIRJI, 1981; PAEGLE 1987; RASMUSSEN; MO, 1996). Este jato é de vital importância na estrutura do balanço hídrico da região (BERRI; INZUNZA, 1993) já que transporta umidade desde a região da Amazônia até a região sul do Brasil (SAULO et al., 2000; BERBERY; COLLINI, 2000).

No Rio Grande do Sul, grande parte da precipitação registrada nas estações quentes é associada a Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que causam condições de tempo severo, uma vez que sua ocorrência, geralmente, vem acompanhada de precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e granizo.

Houze (1993) definiu os SCM como sendo sistemas formados por blocos de tempestades individuais e em linhas, com uma dinâmica mais complexa do que a dos mesmos, por sua formação ser ocasionada pela união destes sistemas.

Podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares.

Estes sistemas de nuvens tipicamente possuem um tempo de vida da ordem de 6 a 12h, e em algumas ocasiões, a parte estratiforme da bigorna do SCM pode durar vários dias.

A formação dos SCM é originada pela existência de algumas forçantes que disparam a convecção, geralmente iniciada pela convergência de ar quente e úmido em níveis mais baixos da atmosfera. Entre os diversos mecanismos que podem originar essa convergência, podemos citar a circulação mar e terra, a circulação vale e montanha, a convergência ao longo de superfícies frontais em latitudes médias, a existência de gradientes de umidade no solo, os JBN, entre outros.

Segundo diversos autores (MADDOX, 1983; GUEDES et al., 1994; JIRAK; COTTON, 2004), a condição primordial para a iniciação, organização e manutenção de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um JBN e uma advecção quente e úmida. O acoplamento do JBN e do jato em altos níveis é um dos mecanismos importantes para a compreensão do processo de formação dos CCM (UCCELINI; JOHNSON, 1979; SILVA DIAS, 1987; SEVERO et al., 1994). Os CCM possuem uma maior frequência nos meses de Novembro a Abril, tendo sua máxima intensidade na madrugada (VELASCO; FRITSCH, 1987).

As principais características que podem ser observadas nos SCM são: em baixos níveis, uma zona convectiva marcada por um fluxo convergente que alimenta o sistema e mais particularmente as ascendências convectivas. Atrás deste fluxo, pode-se observar um fluxo divergente que se incorpora ao sistema. Parte deste fluxo é desviada para os níveis mais próximos da superfície, atrás do fluxo que entra, e alimenta as subsidências convectivas. Uma outra parte, a mais larga é acelerada para trás dentro da região estratiforme onde, por essência, a subsidência de ar ocorre. Nas camadas intermediárias e altas, o fluxo na região convectiva apresenta um aspecto divergente acima das células convectivas. Após a linha convectiva, este fluxo se incorpora ao sistema e mais especificamente à região estratiforme sofrendo deformação (CAMPOS; CHONG, 1999). Essas são algumas das características bem conhecidas dos SCM (HOUZE; BETTS, 1981; CHONG et al., 1987; ROUX, 1988). Observa-se também que as subsidências convectivas são claramente separadas da subsidência de mesoescala. Estas últimas, na região estratiforme contribuem, em grande parte, para alimentar o fluxo dirigido para trás do sistema e observa-se também a presença de uma corrente de densidade associada a subsidência convectiva.

Com relação aos movimentos verticais associados aos SCM, a subsidência de baixos níveis induz a ocorrência de precipitações convectivas, que são geralmente associadas a aguaceiros e tempestades de granizos e que alimentam o ar frio que se acumula abaixo da região convectiva, que forma a frente de rajada do SCM. Além das subsidências de baixos níveis podem-se observar subsidências de altitude que tendem a ocorrer em ambos os lados dos núcleos e ascendências, onde os núcleos de ascendência são organizados verticalmente na região convectiva e horizontalmente na região estratiforme (HOUZE, 1993).

Uma outra característica muito importante para se entender a evolução desse tipo de sistema é o comportamento do perfil vertical de determinadas variáveis meteorológicas. Segundo diversos autores (MADDOX, 1983; COTTON et al., 1989; LAING; FRITSCH, 2000; GUEDES; MACHADO, 2003; TORRES, 2003) ao longo do ciclo de vida de um SCM, o geopotencial, a temperatura, a umidade e a velocidade vertical evoluem de forma combinada entre as fases, e acopladas verticalmente, podendo assim, em função desse acoplamento determinar a iniciação, a intensificação e a duração do próprio sistema. O tamanho médio dos SCM é associado ao seu tempo de vida, maiores sistemas têm maior tempo de vida. Com relação ao horário de formação dos sistemas, a maioria é detectada inicialmente no período da tarde, horário de máxima atividade convectiva no ciclo diurno sobre o continente. Um máximo secundário de formação é observado no fim da noite e início da manhã (entre 5 e 6 horas da manhã), sugerindo estar relacionado com o máximo de convecção sobre os oceanos. A fase madura dos sistemas tem dois picos, uma pela tarde e outra durante a noite e primeiras horas da manhã (MACHADO et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003; VILA, 2004; ZIPSER et al., 2004).

Quanto à trajetória dos SCM que se originam a leste da Cordilheira dos Andes (entre 25° e 40°S), diversos autores (GUEDES, 1985; FIGUEIREDO; SCOLAR, 1996; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003), afirmam que a tendência desses sistemas é de deslocar-se para leste. Já Velasco e Fritsch (1987) mostram uma maior variabilidade de trajetórias com uma tendência a serem mais zonais (de oeste para leste) na primavera e início do outono e mais meridionais (de sul para norte) no verão.

O fenômeno ENOS (El Niño/Oscilação Sul) também tem impacto significativo sobre o clima na região sul do Brasil. Associadas com a ocorrência do ENOS ocorrem anomalias sobre a circulação na América do Sul, refletidas principalmente no deslocamento da célula de Walker, o fortalecimento do JST e do trem de ondas que se estende desde o Pacífico até o Sul da América do Sul (CAVALCANTI, 1996).

Rao e Hada (1990) mostram que anos com ocorrência do El Niño tendem a ser mais chuvosos na região Sul, principalmente no período de primavera. Nos anos de El Niño foram encontradas chuvas acima da média no Uruguai desde Novembro até Janeiro (PISCIOTTANO et al., 1994) além de um maior número de CCM na região norte de Argentina e Paraguai (VELASCO; FRITSCH, 1987).

Precipitação acima da média também foi registrada no sul do Brasil durante o El Niño 82/83 (KOUSKY; CAVALCANTI, 1984; CAVALCANTI et al. 2001). Kousky e Cavalcanti (1984) concluíram que o evento El Niño de 1982-1983 foi bastante intenso porque um JST bem pronunciado sobre a América do Sul e o leste do Oceano Pacífico Sul, juntamente com várias situações de bloqueios em latitudes médias, favoreceram a manutenção de sistemas frontais ativos no sul do Brasil. Estes eventos contribuíram para a ocorrência da excessiva precipitação observada na região Sul do Brasil.

Grimm e Santanna (2000) pesquisaram as fases extremas do fenômeno ENOS e suas relações com a intensidade e com a frequência das chuvas no sul do Brasil. Concluíram que a primavera é a estação que sofre maior influência dos eventos El Niño e La Niña. Observaram também que durante os eventos El Niño tanto o aumento da precipitação média em dias chuvosos quanto o aumento do número de dias chuvosos contribuíram para o aumento de precipitação sazonal. Porém, a relação com a frequência é mais intensa durante eventos La Niña, pois nos períodos em que ele ocorre é predominante a influência da diminuição do número de dias chuvosos, exceto no litoral. Este é um aspecto especialmente danoso para a agricultura. Por outro lado, Kane (2000) examinou as épocas de início de El Niño em relação à precipitação e mostrou que, no sul do Brasil, apenas os eventos El Niño ativos durante a última metade do ano foram efetivos em causar excesso de chuvas. Em média a relação entre eventos El Niño e precipitação foi pobre e provavelmente efeitos devidos a outros fatores (temperaturas da superfície do Atlântico, frentes frias vindas da Antártica etc) são mais importantes.

Pezzi e Cavalcanti (2001) sugeriram que o dipolo do Atlântico, durante condições de El Niño, influencia somente a Região Nordeste do Brasil, mudando o sinal das anomalias de precipitação sobre o norte do Nordeste e a intensidade das anomalias negativas de precipitação sobre esta região. A região amazônica e outras partes da América do Sul são influenciadas apenas pelas anomalias da temperatura da superfície do Oceano Pacífico. Já durante as condições La Niña o dipolo do Atlântico influencia a precipitação de toda a América do Sul.

Estudos mais recentes mostram características diferentes da atuação do El Niño, o chamado El Niño Modoki (palavra japonesa que significa “similar, mas diferente) que se caracteriza por apresentar anomalias positivas de TSM na região central do Oceano Pacífico (WENG et al. 2007; WANG; HENDON, 2007). Ashok et al. (2007) utilizaram dados mensais do ENOS de 1979 a 2005 e notaram que o fenômeno vem ocorrendo com mais frequência nos últimos anos e influenciando significativamente a precipitação e a temperatura em muitas partes do globo. Ao contrário do El Niño o El Niño Modoki provoca aumento da precipitação no nordeste e secas nas regiões sudeste e sul do Brasil.

2.3 Balanço hídrico

A água ocorre em vários lugares e em várias fases na natureza, na superfície, dentro e sobre a terra. A transformação de uma fase em outra e o movimento de um a outro local constitui o ciclo hidrológico (Fig. 4), que é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela radiação solar associado à rotação terrestre (TUCCI, 1993).

O fornecimento natural de água ao solo é feito através das precipitações em forma de chuva, granizo, neve e orvalho que, por sua vez, escoam ou se infiltram no solo. Quando escoam, abastecem rios, lagos e oceanos, retornando sob a forma de chuvas, após evaporação e condensação. Quando se infiltram, uma parte alimenta o lençol freático e outra fica retida no solo. A última evapora para a atmosfera, é absorvida pelas plantas e se mantém no solo. Assim, o ciclo hidrológico envolve vários processos hidrológicos, entre eles: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial (TUCCI, 1993).

Uma das diversas maneiras de se contabilizar a quantidade de água armazenada no solo é utilizar o Balanço Hídrico (BH) que consiste em um método prático que contabiliza as entradas e as saídas de água no solo, que nada mais é do que o resultado da aplicação do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado. O BH contabiliza, então, até a profundidade explorada pelas raízes, todos os fluxos positivos (entrada de água no solo: chuva, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral, ascensão capilar e irrigação) e negativos (saída de água do solo: evapo(transpi)ração, escoamento superficial, drenagem lateral, e drenagem profunda). Tais fluxos decorrem de trocas com a atmosfera (precipitação, condensação e evapotranspiração) e do próprio movimento da água entre os diferentes perfis do solo. Do ponto de vista da agricultura, é mais apropriado considerar o BH da zona radicular (ROSSATTO, 2001). Assim, os vários componentes de entrada do BH de uma zona radicular hipotética podem ser representados através do diagrama esquemático apresentado na Fig. 5.



Figura 4 - Ciclo hidrológico

Fonte: TUCCI (1993)

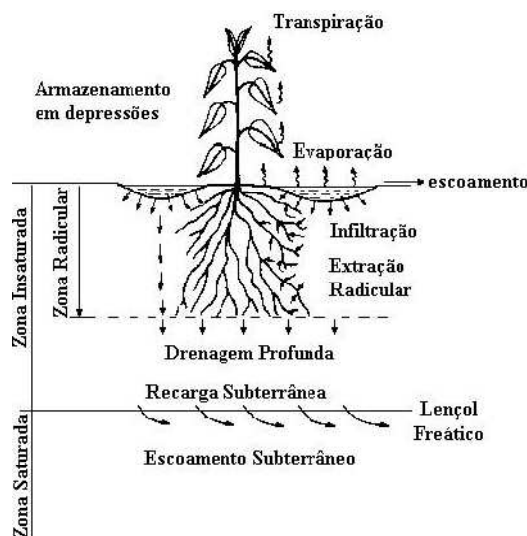


Figura 5 - Diagrama esquemático do Balanço Hídrico

Fonte: HILLEL, 1980

Nesta representação considera-se somente o movimento vertical de água dentro do volume de solo analisado. O que entra neste sistema é apenas a água da precipitação. O que sai é resultado da evapotranspiração real e da água que percola abaixo do alcance do sistema radicular das plantas que ali se encontram.

Matematicamente o BH de uma área vegetada pode ser representado por (PEREIRA et al., 1997):

$$P + I = DP + D_q + ES + ET \quad \text{Equação 1}$$

sendo: P a precipitação; I a irrigação; DP a drenagem profunda ou percolação; D_q a variação da umidade no solo; ES o escoamento superficial e ET a evapotranspiração. Em uma média de longo período pode-se admitir que D_q , DP e I sejam constantes, de forma que flutuações dessas quantidades tornam-se insignificantes no BH, que pode ser simplificado para:

$$P = ET + ES \quad \text{Equação 2}$$

A descrição de cada um dos componentes do BH é feita a seguir (TOMASELLA; ROSSATTO, 2005).

Precipitação (P) é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície, independente de seu estado físico, após os processos de evaporação e condensação, que depende do clima da região.

Irrigação (I) é a aplicação de água sobre o solo feita pelo homem para repor a umidade necessária na zona das raízes. Esta atividade que substitui a chuva favorece o crescimento das plantas, que é função do próprio BH, juntamente com os efeitos do clima, solo e tipo de planta.

Drenagem profunda ou percolação (DP) é o movimento de água livre contida no solo que escoar pela ação da gravidade. A água em excesso, que escorre ou que se perde por drenagem profunda, é aquela que vai reabastecer os mananciais de água, como os rios, lagos, açudes e também o lençol freático. A drenagem profunda expressa o excesso de água que penetrou no volume através das chuvas ou irrigação e que sai pela parte inferior do volume de controle.

Variação da umidade do solo ou drenagem lateral (Dq) se dá por fenômenos de absorção e capilaridade, dessa forma o solo retém a umidade das chuvas que as plantas necessitam.

Escoamento superficial (ES) que ocorre sobre a superfície do terreno é um dos vários destinos que a água que precipita nos continentes pode tomar. A parte restante penetra no interior do solo, subdividindo-se em duas. Uma parcela se acumula na sua parte superior e pode voltar à atmosfera por evapotranspiração. Outra caminha em profundidade até atingir os lençóis freáticos e vai constituir o escoamento subterrâneo. O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela. Já o escoamento subterrâneo, em especial quando se dá através de meios porosos, ocorre com grande lentidão e continua a alimentar o curso de água por longo tempo após ter terminado a precipitação que o originou. A variação da umidade do solo ou drenagem lateral (Dq) e o escoamento superficial (ES) tendem a se compensar quando o volume de controle é relativamente pequeno.

Evapotranspiração (ET) é a quantidade de água transferida para a atmosfera pelos processos de evaporação da água do solo e transpiração das plantas.

A obtenção de medidas de evapotranspiração é extremamente difícil e cara, por isso são utilizados diversos métodos para a sua estimativa. De acordo com Vianello e Alves (1991) e Pereira et al. (1997), os métodos de estimativa da ET

podem ser agrupados em cinco categorias, ou seja: i) empíricos; ii) aerodinâmico; iii) balanço de energia; iv) combinados e v) correlação dos turbilhões.

Métodos Empíricos – Estes resultam de correlações entre a ET medida em condições padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em postos também padrões. Alguns desses métodos têm aplicação quase universal. Dentre estes métodos citam-se os do tanque classe A, detalhado em Reichardt (1987), de Thornthwaite (1948), de Thornthwaite modificado por Camargo, de Blaney-Criddle, de van Bavel, de Making, de Linacre, dentre outros, cujas limitações e aplicabilidades podem ser vistos em Stull (1988), Pereira e Camargo (1989), Pereira et al. (1997) e em outras referências da literatura específica sobre ET.

Método Aerodinâmico - Este é um método micrometeorológico, com base físico teórico da dinâmica dos fluidos e transporte turbulento, ou seja, considera que o escoamento atmosférico acima de uma superfície natural rugosa é predominantemente turbulento, com mistura contínua na camada de ar que interage com a superfície (LOCKWOOD, 1985).

Métodos de Balanço de Energia - O balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Em condições atmosféricas normais, o suprimento principal de energia para a superfície é dado pela radiação solar (HARTMANN, 1994). Dessa forma, o método do balanço de energia, para a determinação indireta do transporte vertical turbulento de vapor d'água para a atmosfera, por evaporação ou ET, fundamenta-se no princípio da conservação da energia aplicado aos diferentes fluxos energéticos que acontecem na superfície-fonte (SILVA; REIS, 1990). A principal dificuldade na utilização da aproximação do balanço de energia surge da distribuição de energia entre a transferência de calor sensível e latente para a atmosfera (LOCKWOOD, 1985). Entre os métodos de balanço de energia, destacam-se o da razão de Bowen, proposto por Bowen, em 1926 (ARYA, 1988) e o de Priestley e Taylor (PRIESTLEY; TAYLOR, 1972).

Métodos Combinados - O termo combinado deriva do fato de que as equações propostas associam os efeitos do balanço de energia à superfície e os termos de energia advectiva para estimar as perdas de água de superfícies cultivadas. Dentre os métodos combinados destaca-se o método de Penman, de Penman Modificado e o de Penman-Monteith (PENMAN, 1948; MONTEITH, 1973; MONTEITH, 1981).

Método da Correlação dos Turbilhões - Método proposto para determinar a transferência vertical turbulenta de vapor d'água, calor e quantidade de movimento para a atmosfera, baseado em flutuações turbulentas de parâmetros microclimatológicos em torno de suas respectivas médias. No entanto, a utilização do método de correlação de turbilhões é complexa, por exigir sensores eficientes e de resposta muito rápida; caso contrário, não serão capazes de detectar a passagem de vórtices de diferentes tamanhos (ARYA, 1988; SILVA; REIS, 1990).

Para a avaliação do BH de uma região, é necessário introduzir os diferentes conceitos de ET (VIANELLO; ALVES, 1991; PEREIRA et al., 1997):

- **Evapotranspiração potencial (ETP):** conceito introduzido por Thornthwaite corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando este bem suprido de umidade, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo. Para Penman (1956), a vegetação deve ser baixa e de altura uniforme, tendo sido as superfícies gramadas consideradas como padrão, por ser esta a cobertura utilizada nos postos meteorológicos. Assim, a ETP é um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva (THORNTHWAITE, 1946), sendo expressa na mesma unidade de medida (mm). A comparação entre chuva e a ETP resulta no balanço hídrico climatológico, indicando excessos e deficiências de umidade ao longo do ano ou da estação de crescimento das culturas (PEREIRA et al., 1997).

- **Evapotranspiração real (ETR):** é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente de sua área, seu porte e das condições de umidade do solo. Portanto, é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem imposição de qualquer condição de contorno.

- **Evapotranspiração de Oásis:** Oásis é uma região vegetada em meio a um grande deserto, ou seja, é uma pequena área com umidade disponível circundada por extensa área seca (STULL, 1988). No caso da ET, define-se a condição de oásis quando: (1) uma pequena área irrigada está rodeada por área seca; (2) a área tampão (**área fetch, buffer** ou **bordadura**, definida como a distância entre a região de transição e o ponto onde a evapotranspiração se torna mínima) não é suficiente para eliminar os efeitos advectivos do calor sensível. Villa Nova e Reichardt (1989) denominaram este processo de evapotranspiração máxima (ETm).

- **Evapotranspiração de referência (ET_o):** é aquela de uma extensa superfície, coberta totalmente por grama com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo e sem deficiência hídrica (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Assim definida, a ET_o coincide com a ETP.

- **Evapotranspiração da Cultura (ETC):** A cultura, desde o plantio até a colheita, cresce progressivamente e ocupa, portanto, a área disponível. Nessas condições ocorre a evapotranspiração real, a qual é denominada, na prática, evapotranspiração da cultura (ETC) ou evapotranspiração máxima (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Conhecer a ETC é fundamental em projetos de irrigação, uma vez que ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais, embora sua determinação esteja sujeita a muitos erros.

Visto os componentes do BH é importante salientar a sua utilização prática.

Primeiramente o BH foi desenvolvido com o objetivo de se caracterizar o clima de uma região, de modo a ser empregado na classificação climática de Thornthwaite na década de 40 (THORNTHWAITE, 1948). Posteriormente, esse método foi empregado para se determinar o local mais apropriado para que determinada cultura possa ser explorada com maior eficácia. Na realidade, o BH é uma ferramenta em distintas áreas de estudo podendo ser utilizado para diversos fins.

O BH pode ser utilizado na meteorologia agrícola, delimitando áreas de mesma disponibilidade hídrica que serve para determinar o local mais apropriado para que determinada cultura possa ser explorada com maior eficácia, definindo a época mais apropriada ao longo do ano para o preparo do solo, semeadura e plantio; na irrigação, determinando os períodos de deficiências hídricas de uma região em que há necessidade de irrigação suplementar e identificando os períodos de excesso, os quais poderão ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva; na hidrologia, estuda as bacias hidrográficas, dimensionando reservatórios (AMORIM, 1989).

Os resultados de um BH podem ser utilizados para o zoneamento agroclimático da região, demanda potencial de água das culturas irrigadas, definição de prioridades no planejamento de pesquisas ou, ainda, no conhecimento do regime hídrico de uma região (AGUILAR et al., 1986; SILVA; REIS, 1990; COSTA et al., 1998).

Pelo exposto fica claro que o BH possui diversas aplicações possibilitando a obtenção de informações diferenciadas dependendo da periodicidade estabelecida para o estudo, podendo este ser calculado para várias escalas de tempo: diária, decendial, mensal, etc. Dentro deste contexto podem-se ter os seguintes tipos de BH: i) **Balanço Hídrico Climatológico ou Normal (BHC)** – o qual é elaborado com valores de normais climatológicas, representando, portanto, uma estimativa do comportamento médio do regime edafoclimático de uma região. A expressão edafoclimático refere-se a características definidas através de fatores do meio ambiente tais como clima, relevo, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo, vento, composição da atmosfera e precipitação pluvial. Esse tipo de BH é um indicador climático da disponibilidade hídrica da região, por meio da variação sazonal das condições do BHC ao longo de um ano médio, ou seja, dos períodos com deficiências e excedentes hídricos. As informações fornecidas pelo BHC são de cunho climático e, portanto auxiliam no planejamento agrícola e servem de subsídio para a determinação da melhor época e tipo de manejo para a exploração agrícola; ii) **Balanço Hídrico Seqüencial** – o qual é elaborado com dados de precipitação e evapotranspiração de um período (meses, semanas, dias) de um ano específico para uma determinada região. Esse tipo de balanço fornece a caracterização e a variação sazonal das condições do BH (deficiências e excedentes) ao longo do período em questão. Essas informações são de grande importância para as tomadas de decisão em práticas agrícolas tais como: plantio, colheita, irrigação, entre outros e iii) **Balanço Hídrico de Cultivo** - o qual é específico de uma cultura e visa calcular o armazenamento de água no solo levando em consideração tanto o tipo de vegetação como a sua fase de crescimento e desenvolvimento.

Determinar o BH não é uma atividade simples e, às vezes, nem sempre é possível. A utilização de métodos diretos ou indiretos demanda tempo e trabalho. Além disso, há necessidade de consideráveis instrumentos envolvidos no estudo da determinação do BH, independente da escala geográfica em uso (VILLAGRA et al., 1995). Conseqüentemente, esses métodos tornam-se inviáveis sobre extensas áreas, como é o caso do Brasil. Por essas dificuldades, os pesquisadores têm utilizado modelos que relacionam as propriedades físico-hídricas do solo com os componentes de entrada e saída de água no sistema solo-planta, os quais são conhecidos como Balanços de Água no Solo ou simplesmente Balanços Hídricos (HILLEL, 1980).

Segundo Costa (1994), há diversos métodos para o cálculo do BH, sendo que cada um tem a sua finalidade principal. Um dos modelos mais conhecidos foi proposto por Charles Warren Thornthwaite, em 1948 e posteriormente modificado por John Russ Mather, em 1955, que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). A principal função deste balanço é servir como base para uma classificação climática e tem sido amplamente utilizado. Portanto, o BH de Thornthwaite e Mather (1955) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão. Este BH fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM). A capacidade de armazenamento de água no solo ou máxima água disponível (CAD) às plantas representa o limite de água entre a capacidade de campo (C_c – limite máximo de água no solo) e o ponto de murchamento (P_m – ponto a partir do qual uma planta que murcha não se recupera mais). A umidade do solo na C_c representa uma quantidade de água que pode ser mantida no solo contra a força da gravidade, sem haver drenagem. Desse limite até o P_m , a água só pode ser removida por ação direta da evaporação ou evapotranspiração das plantas. O armazenamento máximo admitido, portanto, é aquele volume que se situa entre estes dois limites, dentro de uma profundidade efetiva do solo. A CAD é função, portanto, da textura do solo e da profundidade das raízes das espécies vegetais que o cobre (PEREIRA et al., 1997).

Diversos trabalhos na literatura utilizam o método de Thornthwaite e Mather (1955) para o cálculo do BH, uma vez que de acordo com Toledo et al. (2002), este método utiliza em seus cálculos elementos climatológicos que são os mais observados e de melhor qualidade (precipitação e temperatura).

Vários autores (BARBIERI et al., 1991; DOURADO; LIER, 1991; LEMOS et al., 1994; ROLIM et al., 1998; D'ANGIOLELLA; VASCONCELLOS, 2002, 2003) desenvolveram programas para o cálculo do BH. Dentre eles, Rolim et al. (1998) e D'Angiolella e Vasconcellos (2002, 2003) desenvolveram planilhas no ambiente EXCEL para Windows para os cálculos do BH utilizando o método de Thornthwaite e Mather (1955) e diversos métodos para a estimativa da ETP. Disponibilizando ao

usuário uma ferramenta para a confecção de gráficos e criação e manipulação de banco de dados.

Dentre os inúmeros trabalhos que utilizam o método de Thornthwaite e Mather (1955) para o cálculo do BH existem aqueles que são aplicados para todo o Globo (MINTZ; SERAFINI, 1992), para todo o Brasil (SENTELHAS et al., 1999; D'ANGIOLELLA; SILVA, 2004) e para regiões e localidades específicas do Brasil (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996; LOZADA; ANGELOCCI, 1999; SILVA, 2000; TOLEDO et al. 2002; CARDOSO et al., 2002a,b; NUNES et al., 2007). Uma revisão dessas diversas aplicações do BH é feita a seguir.

Mintz e Serafini (1992) avaliaram a climatologia mensal da umidade do solo e da evapotranspiração para todo o globo. O modelo foi desenvolvido a partir de dados de séries climatológicas longas de precipitação e de temperatura do ar sobre os continentes. Estes parâmetros foram coletados e processados pelos vários serviços nacionais de previsão de tempo. A partir dos resultados obtidos concluíram que, apesar da necessidade de se utilizar um modelo mais detalhado que permitam descrever explicitamente o papel da vegetação, as distribuições de umidade do solo e de evapotranspiração obtidas podem ser usadas na validação de modelos climáticos.

Sentelhas et al. (1999), calcularam o BHC mensal para 500 locais situados em todos os estados brasileiros. Os resultados mostraram que as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentam valores mínimos de armazenamento de água no solo durante os meses de junho a setembro.

D'Angiolella e Silva (2004) calcularam o BHC do Brasil com base nas informações de temperatura média compensada e precipitação das Normais Climatológicas de 1961 a 1990 (BRASIL, 1992). Os resultados mostraram que a região sul se caracteriza pela ocorrência de temperaturas amenas e elevado índice pluviométrico podendo chegar a 1.800mm/ano na divisa oeste de Santa Catarina com o Paraná. A ETP não chega a ser tão elevada, apresentando valores em torno de 500mm/ano o que é facilmente atendido pela evapotranspiração real devido à disponibilidade hídrica plena. Foram constatados valores da ordem de 1.000mm/ano de excedente hídrico na divisa do Rio Grande do Sul com Santa Catarina, sem no entanto, haver deficiência hídrica.

Teixeira e Azevedo (1996) utilizam o BH para o zoneamento agroclimático para a videira no Estado de Pernambuco, utilizando dados de 125 municípios.

Concluíram que as microrregiões de Petrolina, Itaparica, Sertão do Moxotó, Salgueiro e Araripina, em função das disponibilidades térmica e hídrica, apresentam as melhores condições para o cultivo da videira européia em condições de irrigação no Estado de Pernambuco.

Cardoso et al. (2002a) utilizando o método de Thornthwaite e Mather (1955) estudaram a disponibilidade hídrica no solo para dez estações meteorológicas do RS para anos de La Niña, para o período de 1973 a 1991. Para estimar a ETP foi utilizado o programa computacional WREVAP (relação complementar de Morton), e concluíram que apenas eventos extremos como estiagem prolongada pode causar impacto dramático na agricultura.

Cardoso et al. (2002b), investigaram a disponibilidade hídrica de oito estações meteorológicas do RS, no período de 1973 à 1991. Para estimar ETP, utilizaram o modelo complementar de Morton. Os resultados mostraram que não existem excedentes hídricos que possam prejudicar a agricultura e as deficiências geralmente ocorrem no verão.

Nunes et al. (2007), utilizaram o BH para estimar a evapotranspiração real e potencial a fim de identificar as regiões restritas e inaptas ao cultivo do café (*Coffea arabica* L.) na Bacia do Rio Doce. Utilizaram dados de temperatura e déficit hídrico de 50 estações meteorológicas instaladas na bacia e em bacias limítrofes. Foram identificadas regiões equivalentes a um terço da bacia, localizadas na parte central e no nordeste da mesma, como sendo inaptas ao cultivo do café, conforme os critérios de produtividade relacionados com as exigências térmicas e hídricas da cultura.

FZB-RS (2008) estudaram o BH climatológico mensal no solo no período de 1961 a 1990, a partir das informações disponíveis nas estações climatológicas do RS. Concluíram que as maiores deficiências hídricas estão concentradas na fronteira oeste do Estado, especialmente na região de Uruguaiana. Este fato decorre, principalmente, da baixa precipitação desta localidade nos meses de verão associada aos altos índices evaporativos. Os solos Neossolos, de baixa capacidade de armazenamento, intensificam a deficiência hídrica. Esses solos também são encontrados na Metade Sul do Estado, especialmente na região de Bagé. Nessa região também há altos índices evaporativos associados a baixas precipitações no verão. Observaram também que os altos índices de precipitação e baixos índices de evaporação, associados a solos da classe dos Latossolos e Argissolos fazem da porção norte do Estado a melhor região em termos de cultivo, apresentando baixo

risco de ocorrência de deficiências hídricas no solo. Em termos anuais, os maiores totais precipitados são de Caxias do Sul, São Luiz Gonzaga e Iraí. Considerando apenas os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, as maiores somas ocorrem em São Luiz Gonzaga e Bom Jesus (484 e 470mm, respectivamente). Em termos anuais, os menores totais precipitados são de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande, Porto Alegre e Uruguaiana. Considerando-se apenas os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, as menores somas ocorrem em Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Porto Alegre e Bagé. Observaram também que os maiores valores evaporados ocorrem em Uruguaiana, nos meses de dezembro e janeiro. Também são observados valores bastante altos em Bagé, especialmente nos meses de verão. Em termos anuais, os maiores totais evaporados são também de Uruguaiana, Bagé e Passo Fundo. Considerando apenas os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, as maiores somas ocorrem, de novo, em Uruguaiana e Bagé (517 e 444mm, respectivamente). Em termos anuais, os menores totais evaporados são de Bom Jesus, Iraí e Torres. Considerando apenas os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, as menores somas ocorrem em Bom Jesus e Torres.

D'Angiolella et al. (1999) avaliaram o regime hídrico dos solos de Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano utilizando o BH. Utilizaram dados meteorológicos de Cruz das Almas do período de 1971 a 1997. Concluíram que o déficit hídrico chega a 27,1 % da média total de precipitação. E que há necessidade de suprimento desse déficit hídrico pela irrigação entre os meses de setembro a março.

Lozada e Angelocci (1999) utilizaram o BH para estimar o efeito da temperatura e da disponibilidade hídrica do solo para o milho em Santa Cruz das Palmeiras, SP. Concluíram que a temperatura média do ar no subperíodo de florescimento à colheita foi o principal fator a influenciar o rendimento.

Silva (2000) calculou o BH para a região de Guaratinguetá-SP, para anos chuvoso (1983), seco (1984) e médio (1985). Concluiu que houve deficiência hídrica no inverno e outono nos três anos; no verão do ano seco e na primavera dos anos seco e médio.

Toledo et al. (2002), calcularam o BH para Altamira –PA no período de 1961-1990. Concluíram que elevadas taxas de precipitação anual não significam que a região esteja livre de períodos de deficiência hídrica. Isso porque para Altamira - PA, onde a precipitação total - média atingiu 1.989mm, foi verificada uma deficiência

hídrica em torno de 277mm nos meses de julho a novembro, e um excedente hídrico de 754mm nos meses de janeiro a maio.

Horikosh e Fisch (2007) elaboraram o BH atual para o município de Taubaté-SP e analisaram a questão da disponibilidade hídrica futura. Utilizaram dados observados de 1965 a 2005 e simulados de 2010 a 2099. Concluíram que haverá um aumento do déficit hídrico (ao redor de 50 a 80mm) e uma diminuição do excedente hídrico (próximo a 200mm).

2.4. A técnica ForTrACC

O Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters (ForTrACC) é um algoritmo que permite o seguimento das propriedades radiativas e morfológicas dos SCM bem como a previsão da evolução destas propriedades físicas (baseado na temperatura de brilho do topo das nuvens) para até 120 minutos, utilizando imagens de satélite do canal 4 (10,8 μ m) do satélite GOES (VILA et al., 2008).

Os principais passos deste algoritmo são:

1. Um método de detecção de aglomerados de nuvens ('cloud clusters') baseado num limiar de tamanho e temperatura de brilho do topo das nuvens (T_{ir});
2. Um módulo estatístico para identificar parâmetros morfológicos e radiativos de cada SCM;
3. Uma técnica de seguimento, baseada na área de superposição entre sucessivas imagens, que permite a construção das trajetórias dos sistemas ('famílias') ao longo de seu ciclo de vida e
4. Um módulo de previsão baseado na evolução dos SCM em relação a um tempo anterior. Este último passo será brevemente discutido, uma vez que a versão prognóstica do ForTrACC não será utilizada neste trabalho e sim a versão diagnóstica, a qual não utiliza este módulo.

É importante ressaltar que uma das principais etapas do ForTrACC é a de formação das "famílias". Nessa etapa, o programa acompanha os sistemas desde o seu surgimento até a sua dissipação, levando em consideração todas as fusões e divisões sofridas por ele ao longo do seu ciclo de vida e, a esse conjunto de SCM dá-se o nome de família. Assim, família é o comportamento dos sistemas ao longo da sua trajetória durante todo o seu ciclo de vida.

2.4.1. Identificação dos SCM

Segundo Machado et al. (1998) um SCM é composto por diversos tipos de nuvens que variam segundo a fase do ciclo de vida.

Como a convecção profunda associada aos SCM penetra a alta troposfera, o primeiro passo para a detecção de um SCM é identificar todas as nuvens que tem topos acima de 6-9km (meio da troposfera). Por outro lado, uma nuvem é definida como um SCM somente se em um determinado estágio do seu ciclo de vida ela contém convecção profunda ativa. Portanto, o segundo passo para a detecção de um SCM é definir a presença de nuvens associadas à atividade convectiva através de limiares de T_{ir} . Assim, além de se identificar topos de nuvens altas deve-se detectar a presença de convecção profunda ativa.

No ForTrACC um limiar de T_{ir} de 235 K é utilizado para detectar a presença de SCM, pois este limiar parece ser aceitável para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da América do Sul, conforme sugerido em Carvalho e Jones (2001), Laurent et al. (2002), Machado e Laurent (2004) e Vila et al. (2008). Além de detectar os SCM pelo limiar de T_{ir} de 235 K, o ForTrACC também detecta as células convectivas (CC) imersas nos SCM, utilizando o limiar de T_{ir} de 210 K (VILA, 2004). O segundo limiar de T_{ir} de 210 K visa detectar aqueles SCM que em alguma etapa do seu ciclo de vida contiveram núcleos de convecção profunda com maior atividade convectiva, que são de grande interesse para a previsão de curto prazo.

Outro ponto importante na detecção de um SCM é a definição do limiar de tamanho mínimo do SCM. Diversos autores propuseram diferentes limiares de tamanho de SCM (MADDOX, 1980; TORRES, 2003). Considerando a hipótese conservativa de mínima superposição da área de 25% para duas imagens consecutivas com intervalo de 30 minutos (MOREL; SENESI, 2002) e um valor de excentricidade próximo a 0,5 [valor médio deste parâmetro, VILA (2005)], um valor mínimo de 150 pixels é obtido (considerando uma imagem com resolução de 4km x 4km, a área mínima será 2.400km²) como um limiar de tamanho mínimo para seguir um dado SCM.

2.4.2. A técnica de acompanhamento dos SCM

Conforme descrito acima, o método de identificação dos SCM foi desenvolvido a partir da classificação dos pixels das imagens considerando os limiares de tamanho (150 pixels) e temperatura (235K e 210K). Assim, a cada aglomerado de nuvens (aglomerado de pixels) identificado é atribuído um número, o qual é retido durante todo algoritmo de acompanhamento, que permite a geração de informações estatísticas sobre cada SCM (ou aglomerado de nuvens) e sua identificação durante o seu ciclo de vida.

Para cada SCM identificado são calculados, os parâmetros morfológicos, radiativos e de posição (MACHADO et al., 1998), levando em conta as coordenadas de latitude e longitude do centro de massa (CM) do SCM.

Parâmetros morfológicos

- Tamanho do SCM: o número de pixels e a área em km² são calculados.
- Raio efetivo do SCM (R_s): é o raio de um círculo cuja área seja igual à área do SCM em km. Dado pela expressão

$$R_s = \sqrt{area / \pi} \quad \text{Equação 3}$$

- Número de CC imersas em cada SCM (N_{cc}): As localizações de todas as CC são comparadas com as localizações dos SCM para identificar e contar o número de CC imersas em cada SCM. As células convectivas são definidas como os aglomerados de pixels que possuem temperatura de brilho imediatamente mais baixa que o limiar inferior, sendo neste caso 210K.

- Tamanho e posição do centro de massa da maior CC e o tamanho médio das 5 maiores CC são determinados para cada SCM.

- Fração convectiva (C_f): é o raio da área coberta por nuvens com $T_{ir} < 210$ e nuvens cobertas por $T_{ir} < 235$. Esta fração não representa somente a área coberta por nuvens convectivas, já que as CC podem também incluir algumas nuvens cirrus, mas ela representa o tamanho relativo dos núcleos ativos do SCM.

$$C_f = 100 N_{cc} \left(\frac{r_c}{R_s} \right)^2 \quad \text{Equação 4}$$

onde r_c é o raio médio de todas as CC imersas no SCM.

• Excentricidade do SCM (ε): o cálculo é baseado numa representação no plano de todos os pontos do sistema. Ajusta-se uma reta pelo método dos mínimos quadrados as posições de todos os pixels do SCM. A reta gerada (e sua ortogonal) são os novos eixos de inércia. Logo, os pontos (LAT_i , LON_i) são projetados no novo sistema cartesiano (xx_i e yy_i):

$$\begin{aligned} xx_i &= LON_i \cos \beta + LAT_i \sin \beta \\ yy_i &= LON_i \sin \beta + LAT_i \cos \beta \end{aligned} \quad \text{Equação 5}$$

$$\beta = \tan^{-1} \alpha$$

$$\alpha = \frac{(N \sum LAT_i LON_i - \sum LAT_i \sum LON_i)}{N \sum LAT_i^2 - (\sum LAT_i)^2}$$

A excentricidade é calculada pela razão entre a variação das abscissas e a variação das ordenadas. Se $\varepsilon > 1$ a razão é invertida, então ε é sempre ≤ 1 . Note que nesta definição um círculo tem $\varepsilon = 1$ (e não 0):

$$\varepsilon = \frac{|xx(\max) - xx(\min)|}{|yy(\max) - yy(\min)|}$$

Equação 6

$$\varepsilon = \frac{|yy(\max) - yy(\min)|}{|xx(\max) - xx(\min)|}$$

• Inclinação do SCM (β): A inclinação de qualquer SCM é dada por β nas equações acima. Quando $\varepsilon < 0.5$, esta informação indica a orientação do SCM que pode estar relacionada a orientação de uma frente fria. Valores de $\varepsilon \geq 0.5$ indicam formas circulares, nas quais a orientação dos eixos não significa muito.

Parâmetros radiativos

- Temperaturas média e mínima do sistema;
- Temperatura média das cinco maiores células convectivas;

Parâmetros de localização

- Coordenadas de centro geométrico;
- Coordenadas do centro geométrico das cinco maiores células convectivas;
- Data e hora (GMT).

A tab. 1 apresenta os principais parâmetros calculados pelo ForTrACC (MACHADO et al., 1998).

Tabela 1 - Principais parâmetros calculados pelo ForTrACC

Siglas	Definições
SYS	Número de identificação do SCM
XLAT	Latitude do centro de massa (CM) do SCM
XLON	Longitude do centro de massa do SCM
TIME	Intervalo de tempo em relação ao horário da imagem
SIZE	Tamanho do SCM em pixels
TMED	Temperatura média do SCM
DTMED	Taxa de variação da temperatura média do SCM
TMIN	Temperatura mínima do SCM
DTMIN	Taxa de variação da temperatura mínima do SCM
TMIN9	Temperatura mínima do kernel de 9 pixels (análise da vizinhança)
DTMIN9	Taxa de variação de TMIN9
CBNUM	Quantidade de topos frios (CC)
CBMED	Tamanho médio dos topos frios (CC)
VEL	Velocidade do CM do SCM em relação ao seu posicionamento na imagem anterior
DIR	Direção da velocidade do centro de massa do SCM
INCLI	Inclinação do SCM
ECCE	Excentricidade do SCM
CLA	Classificação do SCM (N, D, C, S ou M)
SYS_ANT	Identifica qual o SCM anterior que originou o atual

O método de identificação de um mesmo SCM no tempo "t" e nas imagens sucessivas em "t+ Δt " é baseado no critério de mínima superposição da área dos SCM em imagens sucessivas (MATHON; LAURENT, 2001), utilizando os limiares de temperatura (235K e 210K) e de tamanho. O número de pixels mínimo para considerar a continuidade do SCM é de 150 pixels (aproximadamente 2.400km²) para um Δt = 30 minutos. Se a superposição for menor, o sistema não é considerado como sendo o mesmo sistema no tempo anterior.

Essa técnica simplesmente assume que a nuvem num tempo posterior corresponde aquela num tempo anterior quando, considerando as características anteriores de tamanho e temperatura, existem pixels comuns em imagens consecutivas.

A comparação de sucessivas imagens de satélite é feita no tempo anterior e posterior (WILLIAMS; HOUZE, 1987; MATHON; LAURENT, 2001), assim, cinco situações podem ser obtidas utilizando este algoritmo de acompanhamento:

Sistema novo ou de geração espontânea (N): Na comparação entre duas imagens sucessivas não há superposição entre a primeira imagem (ausência de

SCM) e a segunda imagem (presença de SCM). Ou seja, é aquele SCM que é identificado numa imagem e não está presente na imagem anterior ou não cumpre com o critério de mínima superposição dos SCM. Esta situação é considerada uma geração espontânea e o início de um ciclo de vida de um novo SCM.

Dissipação Natural (D): Similar ao caso anterior, não há sobreposição entre a primeira imagem (presença de SCM) e a segunda (ausência de SCM). Esta situação é considerada como dissipação natural do ciclo de vida de um SCM.

Continuidade (C): É aquele SCM que é identificado numa imagem e está presente na imagem anterior cumprindo com o critério de mínima superposição dos SCM. Há a superposição de somente um par de SCM. Essa situação pode ser visualizada na Fig. 6a.

Split (S): Esta situação ocorre quando uma comparação no tempo posterior é realizada. Quando no tempo " t " existe um sistema, que cumpre com o critério de mínima superposição dos SCM no tempo " $t+\Delta t$ ", com dois ou mais sistemas é considerado um processo de "split". Neste caso, a maior superfície de superposição entre o SCM no tempo " t " e o SCM encontrado no tempo " $t+\Delta t$ " é considerado como a continuidade do SCM observado no tempo " t ". O outro sistema representa a iniciação de um novo SCM (iniciação por split). Essa situação pode ser visualizada na Fig. 6b.

Merge (M): Similar ao caso anterior, exceto que aqui uma comparação com o tempo anterior é realizada. Quando no tempo " t " existem dois ou mais SCM, que cumprem com o critério de mínima superposição no tempo " $t+\Delta t$ ", com só um sistema é considerado um processo de "merge". O SCM que apresentar a maior área de superposição é escolhido para continuar o ciclo de vida do SCM. O outro ou outros (caso haja mais de um SCM presente) representa a dissipação do ciclo de vida dos SCM (dissipação por merge) . Essa situação pode ser visualizada na Fig. 6c.

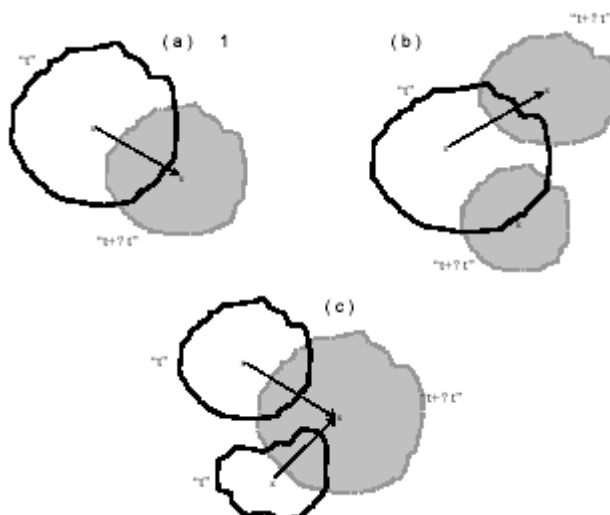


Figura 6 - Esquema do método de identificação e acompanhamento dos SCM. (a) continuidade, (b) split e (c) merge.

Fonte: VILA et al., 2008

2.4.3. A Técnica de previsão

2.4.3.1. Estimativa da velocidade e direção média de propagação do SCM

A partir da identificação e segmento de um dado SCM, ao longo do seu ciclo de vida, em três imagens sucessivas (" $t-2\Delta t$ ", " $t-\Delta t$ ", " t "), é calculado o deslocamento previsto do SCM (VILA et al., 2004), seguindo o seguinte procedimento. O vetor deslocamento estimado (em km/h) no intervalo de tempo anterior, $V(t-1)$, é gerado considerando o deslocamento do centro de massa entre " $t-2\Delta t$ " e " $t-\Delta t$ ". Considerando que o deslocamento não varia muito (em módulo e direção), no intervalo de tempo entre as imagens (30 min), é gerada uma velocidade prevista $VP(t)$. Simultaneamente o deslocamento real do SCM, $V(t)$, é também calculado considerando os intervalos de tempo " $t-\Delta t$ " e " t ". A estimativa do vetor deslocamento $VE(t+1)$ é calculada como $V(t)$ mais a diferença entre o deslocamento real e a velocidade prevista [$\Delta V(t)=V(t)-VP(t)$] no último intervalo de tempo. Este procedimento, que conserva a forma e o tamanho do SCM, é mostrado na Fig. 7.

Se dois intervalos de tempo sucessivos para um mesmo SCM não estão disponíveis, o vetor deslocamento é estimado pelo deslocamento do centro de massa entre " $t-\Delta t$ ", e " t ".

Este procedimento só é aplicado se a condição de continuidade (C) é cumprida, pois a separação (S) ou fusão (M) de um SCM introduz um deslocamento

do centro de massa não realístico. Nestes casos, assim como no caso de geração espontânea (N) o deslocamento é calculado baseado na média ponderada do deslocamento dos sistemas próximos ao sistema em questão. O critério de vizinhança utilizado considera um círculo de 2° de raio centrado no centro de massa. No caso de um sistema novo (geração espontânea), esse critério é utilizado para a estimativa da velocidade inicial do SCM. Cabe ressaltar que a direção de propagação do SCM é calculada em coordenadas meteorológicas.

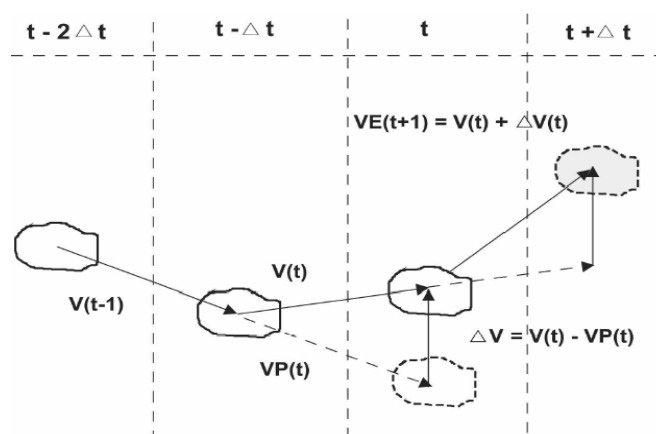


Figura 7 - Representação esquemática da previsão do deslocamento do centro de massa de um SCM. As linhas pontilhadas verticais separam os diferentes passos de tempo. O SCM hachurado indica a posição prevista do SCM.

Fonte: VILA et al., 2008

2.4.3.2. Tendência de crescimento e desenvolvimento dos SCM

A partir do estudo estatístico das famílias (conjuntos de SCM) geradas a partir de um conjunto de imagens de satélite, o algoritmo concentra-se no estudo da variável expansão da área normalizada, $\Delta E = 1/A(\partial A/\partial t)$ (MACHADO et al., 1998; MACHADO; LAURENT, 2004), onde A é a área de um dado SCM num dado tempo ($T_{ir} < 235K$). Este parâmetro é indicativo do crescimento (ou decrescimento) relativo do sistema com respeito a sua área média em um intervalo de tempo Δt . Se o valor é positivo o sistema está em processo de expansão e se é negativo seu estado é de dissipação. Machado e Laurent (2004) descrevem as equações que estimam o modelo do ciclo de vida de um SCM, definindo a variável ΔE como sendo

tipicamente uma reta: $\Delta E = 1/A(\partial A/\partial t) = at + b$. O valor de a (inclinação) e b (interceptação) dependem do tempo de vida total do sistema.

Assim é definido o ciclo de vida dos sistemas baseando-se na informação estatística do comportamento destes, que depende da classificação dos sistemas de acordo com o tempo total de seu ciclo de vida. Para cada classificação é calculado o valor médio de expansão inicial, o tempo em que o parâmetro ΔE esteve próximo a zero (mínima expansão) e o tempo de finalização do SC. O resultado é um conjunto de retas com o valor de ΔE para cada classificação considerada.

A primeira estimativa do tempo total do ciclo de vida de um SCM que apresenta continuidade é feita a partir da expansão inicial. De acordo com o modelo de previsão proposto, a área que o sistema terá nas próximas horas depende do valor do parâmetro de expansão. Este valor é calculado com base na expansão inicial do sistema e no conjunto de retas. Dado o tempo decorrido desde o início do ciclo de vida do SCM e a expansão atual, é calculado um ponto no espaço expansão-tempo onde existe o conjunto de retas. Uma vez que este ponto encontra-se externo ao conjunto de retas, ele é induzido a utilizar a reta mais próxima para representar a sua expansão. No entanto se o ponto encontra-se em meio às duas retas o programa calcula uma nova reta, por interpolação das duas retas definidas, que representa a sua expansão. Os SCM podem ser classificados, segundo o seu tempo estimado de vida, em SCM com duração menor que 2 horas, com duração entre 2 e 6 horas e com mais que 6 horas, conforme o conjunto de retas representado na Fig. 8. Nos casos de SCM novos, *splits* e *merges*, o parâmetro de expansão é calculado baseando-se inicialmente na reta que representa uma menor duração de vida do SCM.

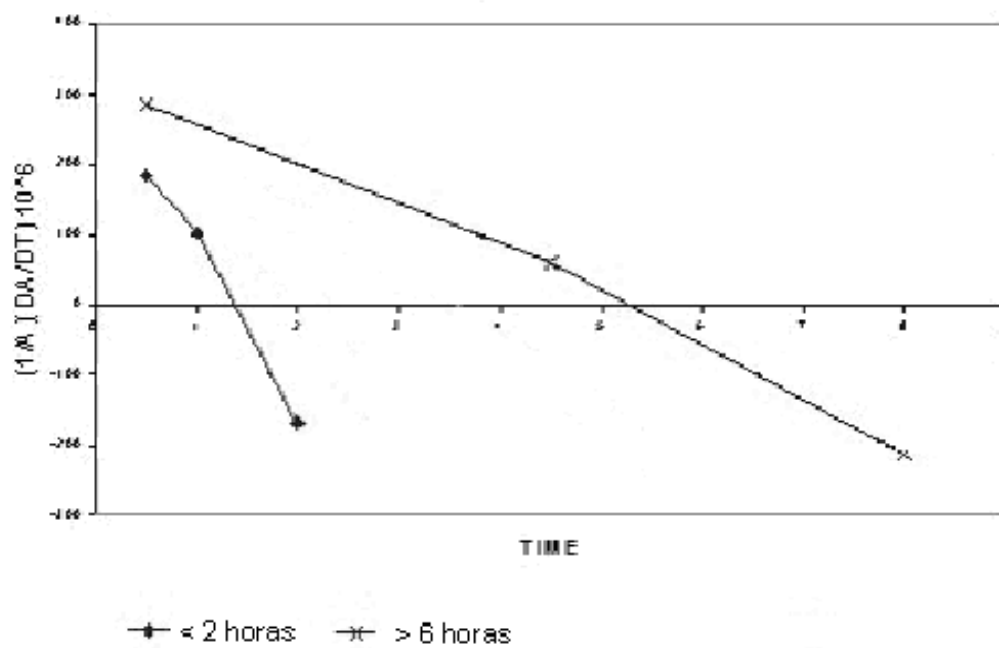


Figura 8 – Variação da área do SCM em função do tempo de vida.

Fonte: MACEDO et al., 2004

Materiais e métodos

3.1 Balanço hídrico

Para os cálculos dos BH foram utilizados dados mensais de temperatura média do ar (T_m) e precipitação total (P) de 16 estações meteorológicas de superfície distribuídas no RS pertencentes ao 8º DISME/INMET (Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia) do período de 1977 a 2006. As 16 estações meteorológicas de superfície foram escolhidas por estarem bem distribuídas, por apresentarem uma série completa de dados e por pertencerem a diferentes regiões Ecoclimáticas do Estado. A distribuição espacial das 16 estações meteorológicas do RS, das quais os dados são oriundos é mostrada na Fig. 9 e as coordenadas geográficas, a altitude e a Região Ecoclimática a que cada estação meteorológica pertence são mostradas na tab. 2.

Foram calculados os BHs, de cada uma das 16 estações meteorológicas, para o período de 1977 a 2006 (BHC) e para o ano de 2006 (BHA2006). Estes BH representam uma estimativa do comportamento médio do regime hídrico do RS, ou seja, servem para identificar as regiões do Estado que possuem déficit/excesso hídrico.

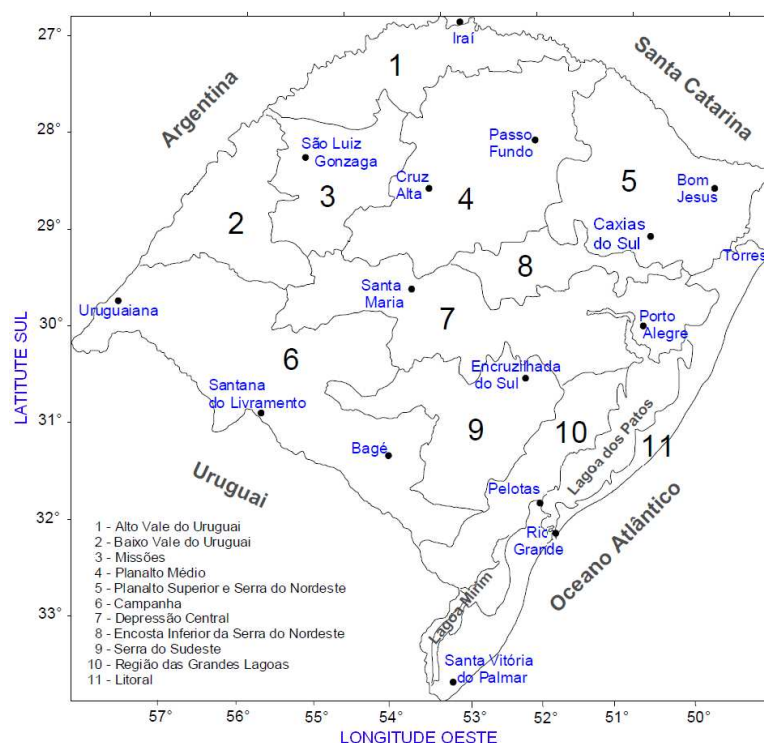


Figura 9 - Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, em suas respectivas Regiões Ecoclimáticas.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas, altitude e Regiões Ecoclimáticas das Estações Meteorológicas utilizadas neste estudo.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude	Regiões Ecoclimáticas
1. Bagé	31°21'	54°06'	215	6
2. Bom Jesus	28°40'	50°26'	1047	5
3. Caxias do Sul	29°10'	51°12'	785	5
4. Cruz Alta	28°38'	53°36'	472	4
5. Encruzilhada do Sul	30°32'	52°31'	427	9
6. Irai	27°11'	53°14'	222	1
7. Passo Fundo	28°15'	52°24'	676	4
8. Pelotas (Capão do Leão)	31°52'	52°21'	13	10
9. Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	7
10. Rio Grande	32°01'	52°05'	5	10
11. Santa Maria	29°42'	53°42'	95	7
12. Santana do Livramento	30°53'	55°32'	210	6
13. Santa Vitória do Palmar	33°31'	53°21'	6	11
14. São Luiz Gonzaga	28°23'	54°58'	254	3
15. Torres	29°20'	49°43'	43	11
16. Uruguaiana	29°45'	57°05'	74	6

Os BH foram calculados pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), uma vez que o mesmo utiliza em seus cálculos elementos climatológicos que são os mais observados e de melhor qualidade (P e Tm) (TOLEDO et al., 2002).

Este método é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela precipitação (P) e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD), o BHC fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), para cada mês do ano (CAMARGO,1971; PEREIRA et al., 1997).

Para a estimativa da ETP foi utilizado o procedimento proposto por Thornthwaite (1948), o qual tem a vantagem de necessitar apenas dos dados de T_m dos períodos e da latitude local, fornecendo resultados confiáveis entre as latitudes de 40°N e 40°S (DOURADO; LIER, 1991). A seguir é descrito como foi calculada a ETP pelo método proposto por Thornthwaite (1948).

Para o cálculo da evapotranspiração padrão (ETP_p) utilizou-se a fórmula empírica:

$$ETP_p = 16 \left(\frac{10 \times T_n}{I} \right)^a ; \quad 0 \leq T_n \leq 26,5^\circ C$$
Equação 7

Sendo T_n a temperatura média do mês, em °C e I um índice que expressa o nível de calor disponível na região. No caso de $T_n \geq 26,5^\circ C$ a ETP é dada por (WILLMOTT et al., 1985):

$$ETP_p = -415,82 + 32,24T_n - 0,43T_n^2; \quad T_n \geq 26,5^\circ C$$
Equação 8

O valor de I depende do ritmo anual da temperatura (preferencialmente com valores normais), integrando o efeito térmico de cada mês, sendo calculado pela fórmula:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_n)^{1,514}$$
Equação 9

O expoente a , da equação 7, sendo função de I , também é um índice térmico regional, e é calculado pela função polinomial:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad \text{Equação 10}$$

Esses coeficientes a e I calculados com as normais climatológicas são característicos da região e tornam-se constantes, sendo independentes do ano de estimativa de ETP_p .

O valor de ETP_p calculado, por definição, representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria naquelas condições térmicas, mas para um mês de 30 dias, em que cada dia teria 12 horas de fotoperíodo (THORNTHWAITE, 1948). Portanto, para se obter a ETP do mês correspondente, esse valor de ETP_p deve ser corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês, ou seja,

$$ETP = ETP_p \cdot Cor \quad \text{Equação 11}$$

$$Cor = (ND/30) \cdot (N/12) \quad \text{Equação 12}$$

Sendo ND o número de dias do mês em questão, e N é o fotoperíodo médio naquele mês. Em geral, as tabelas consideram o fotoperíodo do dia 15 como representativo do valor de N para o mês.

No presente trabalho considerou-se o valor de 100mm para a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), uma vez que Camargo (1971) e Tubelis e Nascimento (1983), sugerem que este valor pode ser considerado para as plantas agrícolas em geral.

Foi adotada uma planilha EXCEL, desenvolvida por Rolim et al. (1998) para o cálculo dos BH pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Essa planilha é construída, conforme mostrado na tab. 3.

Tabela 3 - Planilha utilizada para o cálculo do Balanço Hídrico

Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
Mês	P	ETP	P-ETP	ARM		ETR	DEF	EXC
				VAL	ALT			
Janeiro								
⋮								

A planilha é preenchida seguindo o roteiro abaixo:

- A coluna 1 é preenchida com dados de precipitação;
- A coluna 2 é preenchida com dados de evapotranspiração;
- A coluna 3 é a diferença entre a P e a ETP;

$P - ETP < 0$ período seco

$P - ETP > 0$ período úmido

- A coluna 4 representa os valores do total de água armazenada (ARM) no solo ao final de cada mês. O ARM varia de zero até a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD). Por exemplo, para calcular o ARM do mês de março, basta calcular a diferença entre o ARM do mês anterior, no caso fevereiro, e a água disponível do mês que desejo calcular o ARM, no caso março.

$$ARM_{\text{março}} = ARM_{\text{fevereiro}} - (P - ETP)_{\text{março}}$$

- A coluna 5 representa a alteração (ALT) que é calculada pela diferença entre os armazenamentos de água do mês atual e do mês anterior, por exemplo, para calcular a ALT do mês de março: $ALT_{\text{março}} = ARM_{\text{março}} - ARM_{\text{fevereiro}}$.

- A coluna 6 representa a evapotranspiração real (ETR), que é calculada dependendo se o período for seco ou úmido:

Se $P - ETP \geq 0$ (período úmido) $\rightarrow ETR = ETP$

Se $P - ETP < 0$ (período seco) $\rightarrow ETR = P + |ALT|$

- A coluna 7 representa o déficit hídrico que é calculado pela diferença entre ETP e ETR. Por exemplo, $DEF_{\text{março}} = ETP_{\text{março}} - ETR_{\text{março}}$.

- A coluna 8 representa o excesso hídrico que é calculado para duas situações:

1° Se $ARM=0$, então o $EXC=0$

2° Se $ARM=CAD$ o excesso é calculado pela diferença entre a água disponível ($P-ETP$) e a alteração (ALT), por exemplo,

$$EXC_{\text{fevereiro}} = (P-ETP)_{\text{fevereiro}} - ALT_{\text{fevereiro}}$$

Depois de contabilizado o BH, pode-se verificar sua exatidão utilizando-se as seguintes expressões:

- $\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P - ETP)$
- $\Sigma ALT = 0$
- $\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF$
- $\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC$

Os dados resultantes do cálculo dos BHC e BHA2006 foram separados por região (Metade Norte e Metade Sul). Isso foi feito porque segundo diversos autores (NIMER, 1989; IPAGRO, 1989; ÁVILA et al., 1996; BERLATO et al., 2000; MATZENAUER et al., 2007) existe uma diferença no regime pluviométrico destas duas regiões do Estado. As estações meteorológicas que compõem a Metade Norte do Estado são: Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo, Santa Maria, São Luiz Gonzaga e Torres, e aquelas que compõem a Metade Sul do Estado são: Bagé, Encruzilhada do Sul, Pelotas (Capão do Leão), Porto Alegre, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Santana do Livramento e Uruguaiana (Fig. 9).

Os dados dos BH também foram separados por trimestres que representam cada uma das estações do ano, conforme Araujo (2005). Para uma análise sazonal, os dados foram divididos em: período quente (jan-fev-mar, JFM), período temperado frio (abr-mai-jun, AMJ), período frio (jul-ago-set, JAS) e período temperado quente (out-nov-dez, OND). Não foram usados os trimestres astronômicos, que definem as estações do ano, por facilitar os cálculos com dados dentro do mesmo ano.

Para cada uma das 16 estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, foi feita a separação por trimestres dos componentes dos BH (BHC e BHA2006), da seguinte maneira: a Tm de cada trimestre corresponde a média das Tm dos 3 meses que o compõe; os valores de P, ETP, (P-ETP), DEF e EXC de cada trimestre correspondem a soma dos valores desses componentes obtidos em cada mês do trimestre. Portanto, cabe ressaltar que dentro de um trimestre é possível que uma determinada estação meteorológica apresente tanto déficit quanto excesso hídricos, uma vez que esses valores são o resultado da soma dos DEF e EXC hídricos ocorridos nos 3 meses que compõem o trimestre.

Em seguida foi feita a análise sazonal do regime térmico, pluviométrico e hídrico do RS dos 30 anos de estudo (BHC) para a Metade Norte e Metade Sul do Estado.

Na sequência, dos 30 anos analisados, selecionou-se o ano de 2006, para um estudo mais detalhado. Este ano foi selecionado por ter apresentado precipitação abaixo da normal, com períodos de estiagem e também por ter sido um ano com atuação das três fases do ENOS (CLIMANALISE, 2006). A mesma análise realizada para os 30 anos de estudo foi feita para o ano de 2006, ou seja, analisou-se sazonalmente o regime térmico, pluviométrico e hídrico para a Metade Norte e

para a Metade Sul utilizando os resultados do BHA2006. Também analisou-se o comportamento sazonal do regime hídrico do ano de 2006 (BHA2006) através das anomalias de precipitação, água disponível (P–ETP), deficiência e excedente hídrico em relação aos valores normais para o período de estudo (BHC).

Os campos sazonais de Tm e P foram gerados pelo software *Surfer 8.0*, utilizando o método de interpolação *Kriging*. Segundo Barbosa (2006) a krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de n dados $\{Z(x_i), i=1,n\}$ disponíveis. A krigagem é feita após a conclusão dos estudos geoestatísticos, os quais poderão inclusive indicar a não aplicação deste método se o comportamento da variável regionalizada for totalmente aleatório. Os estudos geoestatísticos levam a definição de um modelo de variograma, que servirá para inferir os valores de variância e covariância que serão utilizados pelos métodos geoestatísticos de interpolação. Utilizamos a krigagem pontual que é utilizada para se estimar a variável de interesse em um ponto não amostrado. A aplicação prática da krigagem pontual é voltada para a representação gráfica de dados geográficos, seja por mapas de isovalores (isotermas, isoietas) bem como por meio de superfícies tridimensionais, obtidas pela projeção perspectiva da malha regular.

3.2 Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do RS em 2006

Para o ano selecionado (2006) foi analisada a distribuição sazonal dos SF que atuaram no RS. Para tal foram utilizados os Boletins de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise, divulgados pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) do ano de 2006, que descrevem as situações sinóticas ocorridas em cada mês no Brasil, e permitem a detecção da atuação de SF sobre a região de estudo. Com estes dados, foi contabilizado o número de SF que atuaram em 2006 em cada trimestre do ano, em distintas regiões do RS (litoral, centro e oeste, divisão semelhante à feita no Boletim Climanálise).

Ainda para o ano de 2006 foi analisada a distribuição sazonal dos SCM que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS. Para esta análise foram utilizadas imagens brutas do satélite GOES 12, com resolução espacial de 4 x 4km e escala

temporal de 30 minutos, fornecidos pelo CPTEC/INPE, do ano de 2006 e o aplicativo ForTrACC (VILA et al., 2008), que utiliza limiares de temperatura, nas imagens do canal-4 do GOES para detectar os SCM. Este aplicativo que é um método de identificação e acompanhamento dos SCM fornece informações sobre as características físicas de cada SCM durante seu ciclo de vida. Foram selecionados os SCM, com duração de 1h30min, que atuaram no RS em 2006 pela detecção do centro de massa da máxima extensão de cada SCM, que deveria estar dentro dos limites de latitude e longitude do Estado. Para mais detalhes sobre o aplicativo ForTrACC ver item 2.4 da revisão de literatura.

Posteriormente, ainda para o ano de 2006, analisou-se a ocorrência de fenômenos atmosféricos que causaram condições de tempo severo no RS. Para esta análise utilizaram-se dados fornecidos pela defesa civil do RS (<http://www.defesacivil.rs.gov.br>). Do banco de dados da defesa civil do RS foram selecionadas as ocorrências de eventos com condição de tempo severo (enchente, furacão, granizo e vendaval) observadas em 2006. Foi computado o número de eventos observados na Metade Norte e Metade Sul do Estado, para cada trimestre do ano.

3.3. Divulgação na internet

Com objetivo de tornar mais eficiente a divulgação dos resultados obtidos neste trabalho foi desenvolvida uma página na internet (web site) com sistema de mapa interativo. Segue o link da página:

http://www.ufpel.edu.br/meteorologia/pos-graduacao/resultados_pesquisas/bh_rs/

Resultados e discussão

4.1 Análise sazonal do regime térmico, pluviométrico e hídrico do RS no período de 1977 a 2006

Os dados de Tm e P, utilizados para o cálculo do BH, permitiram a análise sazonal do regime térmico e pluviométrico do RS, no período de 1977 a 2006 (Apêndices A e B).

A distribuição sazonal da Tm no RS, para o período de 1977 a 2006 (Fig. 10) mostra que as regiões nordeste e noroeste do Estado foram as que apresentaram, respectivamente, os menores e maiores valores de Tm em todos os trimestres.

Pode-se observar que nos quatro trimestres os menores valores de Tm ocorreram na região de Bom Jesus. Por outro lado, os maiores valores de Tm foram observados na região de São Luiz Gonzaga (JFM, AMJ e OND) e Iraí (JAS).

Na Metade Norte do Estado o menor e maior valor de Tm foi registrado em Bom Jesus (12,36°C, em JAS) e São Luiz Gonzaga (25,69°C, em JFM), respectivamente. Por outro lado, na Metade Sul do Estado as cidades de Santa Vitória do Palmar (13,07°C, em JAS) e Porto Alegre (25,05°C, em JFM) foram as que registraram o menor e maior valor de Tm, respectivamente. Pode-se observar ainda que a amplitude térmica anual e a média anual de Tm, na Metade Norte do Estado foi maior em relação à Metade Sul, mostrando maior variabilidade de Tm. Essa variabilidade térmica se deve a influência de fatores tais como continentalidade/maritimidade, latitude, altitude, presença de grandes massas de água e/ou vegetadas e dos ventos predominantes (NIMER, 1989).

A comparação dos resultados obtidos neste trabalho, para o período de 1977 a 2006, com aqueles apresentados nas publicações do Instituto Nacional de Meteorologia (BRASIL, 1992), para o período de 1961-1990, os quais mostravam

que a média anual de Tm do RS variava de 14,7°C (Bo m Jesus) a 20,0°C (São Luiz Gonzaga) indicam que a distribuição da média anual de Tm sobre o RS manteve-se semelhante àquela. Porém, ocorreu um aumento da amplitude térmica anual no RS de 0,24°C no período de 1977 a 2006 em relação ao período de 1961 a 1990. Esses resultados estão de acordo com os estudos de Sansigolo et al. (1992), Victória et al. (1998), Hulme e Sheard (1999) e Marengo e Rogers (2001) que detectaram aumentos sistemáticos de temperatura média do ar em diversas regiões do Brasil.

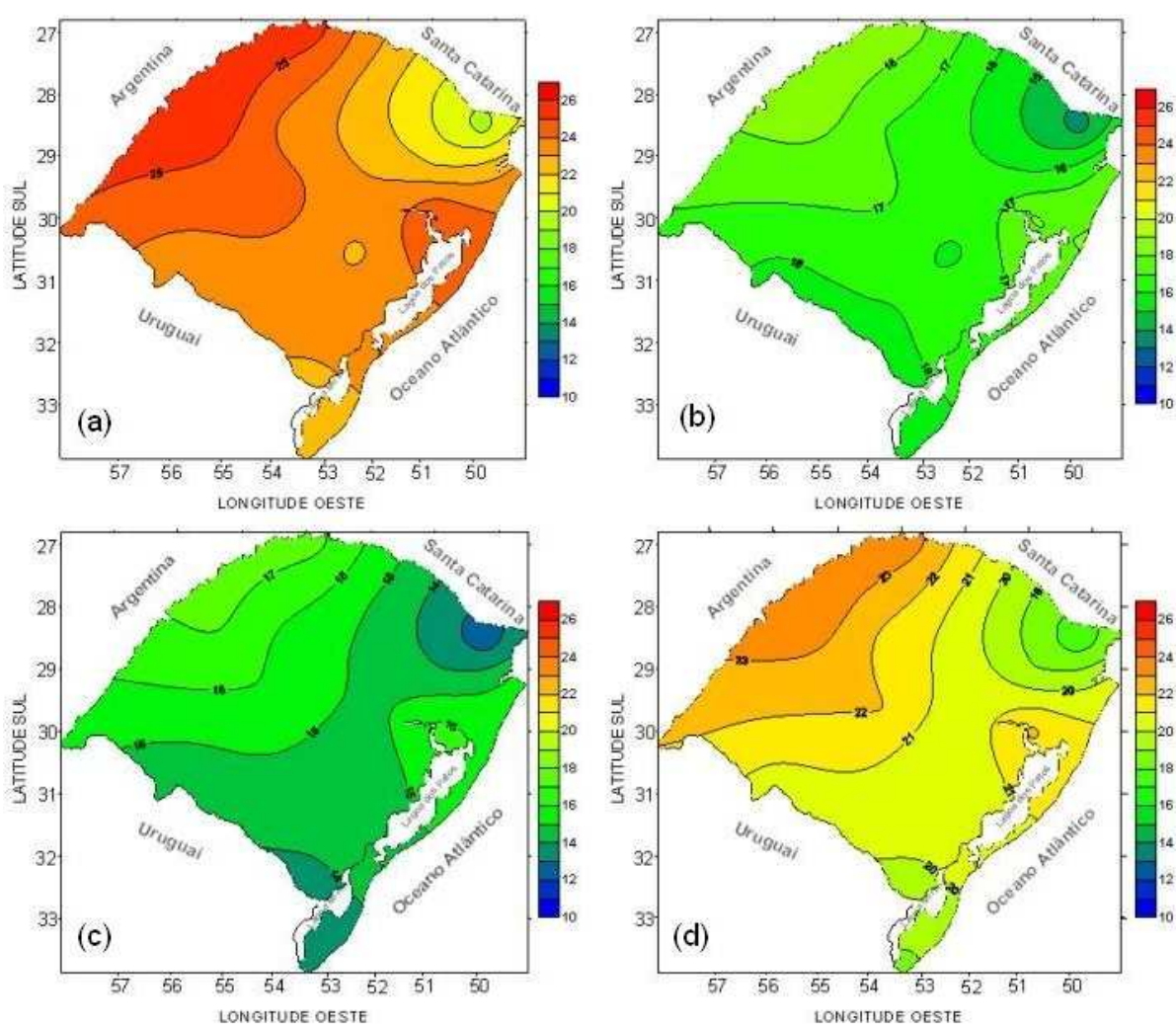


Figura 10 - Distribuição sazonal da temperatura média do ar no RS no período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND).

A análise da distribuição anual da precipitação pluvial no RS no período de 1977 a 2006 (Fig. 11) mostra que na Metade Norte do Estado ocorreram os maiores volumes anuais de chuva quando comparado com a Metade Sul do Estado. Pode-se observar na Fig. 11 uma isoietas de 1.600mm que corta o Estado de leste a oeste, próximo à latitude de central do RS (30°S), com valores superiores ao Norte e inferiores ao Sul. Na região noroeste da Metade Norte o volume de chuvas ultrapassa 1.900mm anuais. Na Metade Sul, ao contrário, no extremo Sul do Estado o volume de chuvas é inferior a 1.400mm, caracterizando, portanto, uma variabilidade espacial significativa na distribuição da precipitação pluvial no RS.

Na Metade Norte do Estado o menor e maior volume pluviométrico nos quatro trimestres foi registrado em Torres (323,75mm, em AMJ) e São Luiz Gonzaga (539,35mm em OND), respectivamente (Apêndice A). Por outro lado, na Metade Sul do Estado a cidade de Uruguaiana foi a que registrou o menor e o maior volume pluviométrico nos quatro trimestres, respectivamente, 235,96mm em JAS e 453,79mm em JFM (Apêndice B).

Pode-se observar ainda que a distribuição da precipitação nas quatro estações do ano no RS (Fig. 12 e Apêndice A e B) foi bastante uniforme com 24,8% em JFM (13,3% na Metade Norte e 11,5% na Metade Sul), 25,3% em AMJ (13,4% na Metade Norte e 11,9% na Metade Sul), 24,4% em JAS (13,5% na Metade Norte e 10,9% na Metade Sul) e 25,5% em OND (14,8% na Metade Norte e 10,7% na Metade Sul). O período temperado quente (Fig. 12d) e o período frio (Fig. 12c) foram os períodos do ano que concentraram os maiores (valores superiores a 530mm na Região Norte do Estado) e menores (valores inferiores a 250mm no oeste do Estado) volumes de chuva no Estado. Esses resultados concordam com aqueles apresentados por Berlato (1992).

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho também foram obtidos por Matzenauer et al. (2007), quando estudaram o regime de chuvas do RS para o período de 1976 a 2005, utilizando 24 estações meteorológicas distribuídas nas diferentes regiões Ecoclimáticas do RS.

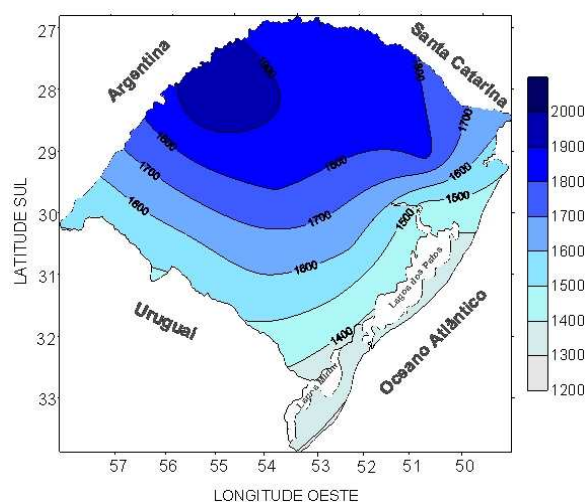


Figura 11 – Distribuição anual da precipitação pluvial no RS para o período de 1977 a 2006.

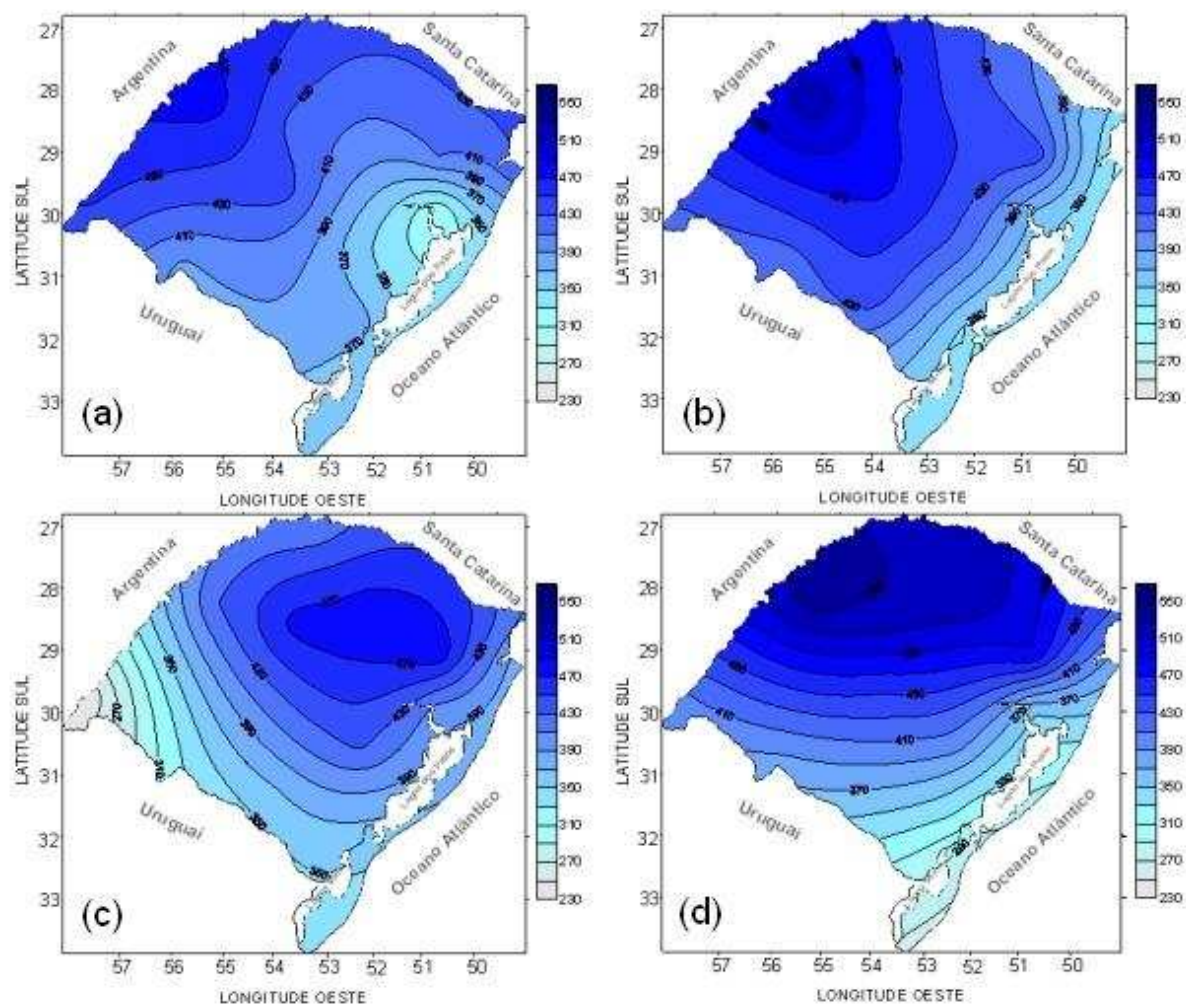


Figura 12 - Distribuição sazonal da precipitação pluvial no RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e período temperado quente (OND).

A partir do cálculo do BHC foi possível caracterizar o regime hídrico sazonal da Metade Norte do RS, do período de 1977 a 2006 (Fig. 13 e Apêndice A).

O trimestre quente (JFM), (Fig. 13a e Apêndice A), foi o que registrou os menores volumes de excedente hídrico (inferiores à 153mm). Na região noroeste do RS foram observados os menores valores de excesso hídrico (em torno de 50mm), destacando-se Iraí (43,64mm), que apesar de registrar altos índices pluviométricos apresentou alta demanda evaporativa, superior a precipitação nos meses de janeiro e março, causando déficit hídrico de 0,7mm em janeiro. Por outro lado, neste trimestre os maiores volumes hídricos excedentes (em torno de 150mm) estavam concentrados na região nordeste do RS, especialmente nas cidades de Bom Jesus e Torres. Este fato decorreu principalmente devido aos altos índices de precipitação e baixos índices de evaporação, observados nas duas cidades.

No período temperado frio (AMJ) os volumes de excedente hídrico foram superiores a 220mm em toda Metade Norte do Estado (Fig. 13b e Apêndice A). As regiões nordeste e noroeste do RS, neste trimestre, foram as que apresentaram os menores e os maiores valores de excesso hídrico, respectivamente. Destacando-se as cidades de Torres (221,50mm) e São Luiz Gonzaga (355,47mm), com o menor e maior volume de excedente hídrico.

O período frio (JAS), (Fig. 13c e Apêndice A), foi o que apresentou os maiores volumes sazonais de excedente hídrico, superiores a 270mm. Neste trimestre, não houve diferenças marcantes na Metade Norte do RS com relação aos volumes de excedentes hídricos. Iraí e Caxias do Sul foram as cidades em que se observou o menor (269,74mm) e o maior (360,55mm) volume hídrico excedente, respectivamente.

Para o período temperado quente (OND), também não houve diferenças marcantes entre na Metade Norte do RS com relação aos volumes de excedentes hídricos, que foram superiores a 139mm. (Fig. 13d e Apêndice A). Iraí e Passo Fundo foram as cidades em que se observou o menor (178,93mm) e o maior (254,45mm) volume de excedente hídrico, respectivamente, neste trimestre.

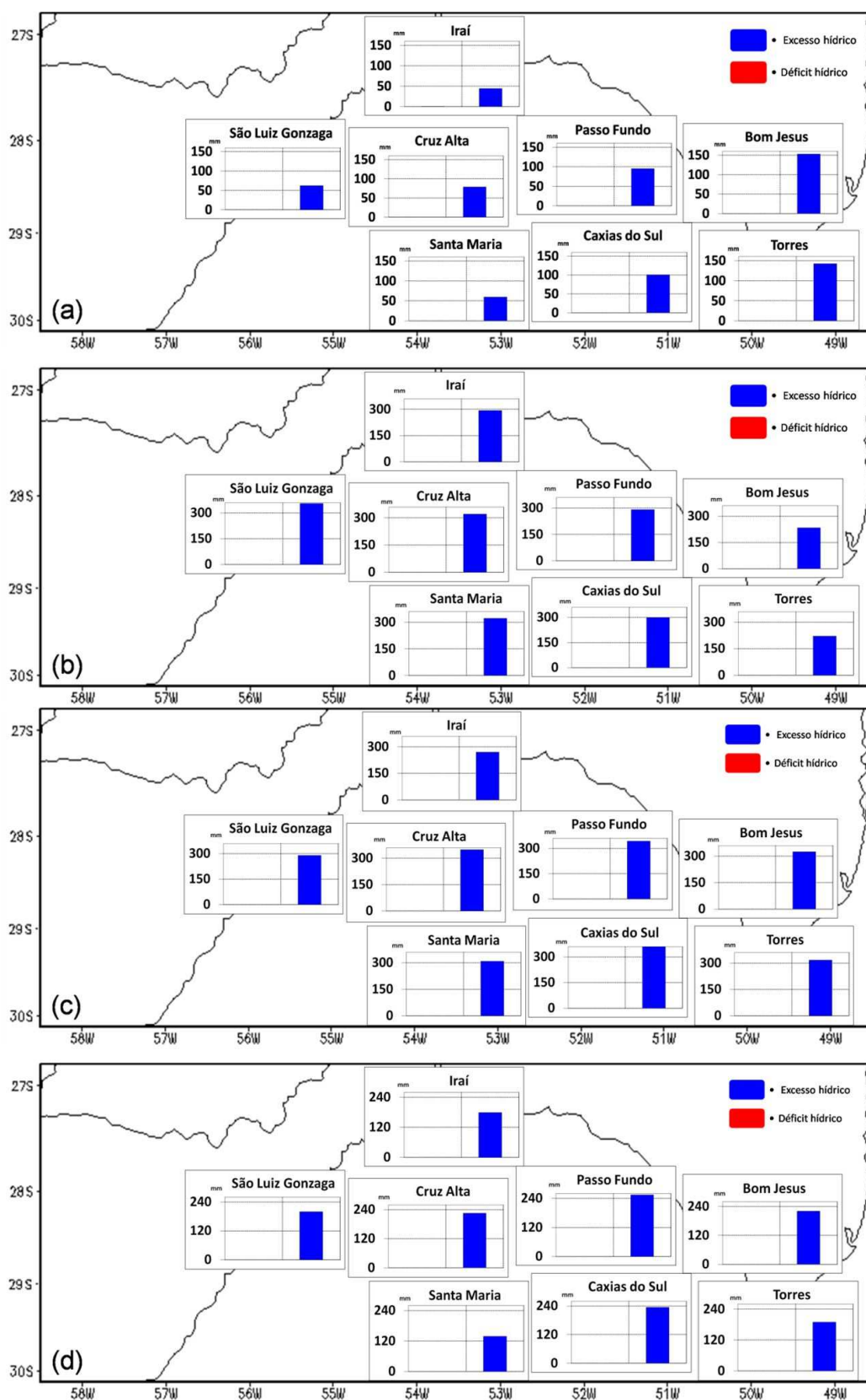


Figura 13 – Regime hídrico (mm) da Metade Norte do RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND).

Pode-se observar que no período de 1977 a 2006, a Metade Norte do RS caracterizou-se por apresentar excedente hídrico em todos os períodos do ano. Esses resultados concordam com aqueles obtidos por Silva et al. (1998) que mostraram que a região Norte do Estado possui os maiores volumes hídricos excedentes. Os menores volumes de excedente hídrico foram observados no período quente (JFM), com variação de 43,64mm (em Iraí) a 153,09mm (em Bom Jesus). Por outro lado, os maiores volumes de excedente hídrico foram observados em JAS, com variação de 269,74mm (em Iraí) a 360,55mm (em Caxias do Sul). Portanto, a ocorrência de excedente hídrico em todos os períodos do ano na Metade Norte do Estado, no período de 1977 a 2006, deveu-se principalmente aos altos índices pluviométricos e aos baixos índices de evaporação, registrados na região. Associado a esse fato tem-se também os solos da classe dos Latossolos e Argissolos, que constituem a Metade Norte do RS, e que apresentam baixos riscos de ocorrência de deficiência hídrica (FZB-RS, 2008).

O comportamento sazonal do regime hídrico da Metade Sul do RS no período de 1977 a 2006 é mostrado na Fig. 14 e Apêndice B.

O período quente (JFM) foi caracterizado pela ocorrência de déficits e excessos hídricos na Metade Sul do RS. Cabe ressaltar que os maiores e os menores volumes sazonais de déficits hídricos (de até a 40mm) e de excedentes hídricos (inferiores a 42mm) foram observados neste trimestre. Exceto as regiões de Porto Alegre (total de 40mm, nos três meses) e Rio Grande (11,72mm em janeiro) que registraram apenas déficit hídrico devido a demanda evaporativa ter sido superior ao volume precipitado, todas as outras regiões da Metade Sul do RS apresentaram excesso hídrico superior a deficiência hídrica (que ocorreu somente em janeiro).

No período temperado frio (AMJ) em toda a Metade Sul do RS observou-se excedente hídrico, variando de 137,9mm (em Porto Alegre) a 304,07mm (em Bagé). As regiões leste e sudeste do RS, neste trimestre, foram as que apresentaram os menores valores de excesso hídrico, devido aos maiores índices evaporativos associados aos menores índices pluviométricos (Fig. 14b e Apêndice B).

No período frio (JAS) assim como no período anterior, em toda a Metade Sul do RS observou-se excedente hídrico. Os maiores volumes sazonais de excedente hídrico foram observados na região central do Estado (superiores a 300mm). A

região oeste do RS, neste trimestre, foi a que apresentou os menores valores de excesso hídrico. Uruguaiana e Encruzilhada do Sul foram as cidades que apresentaram o menor (114,66mm) e o maior (318,65mm) volume de excedente hídrico, respectivamente (Fig. 14c e Apêndice B).

No período temperado quente (OND) assim como no período quente (JFM) na Metade Sul do RS observou-se a ocorrência de deficiências e excedentes hídricos. Em toda região o excedente hídrico foi sempre superior a deficiência hídrica. A região sudeste do RS, neste trimestre, foi a que apresentou os menores e maiores valores de excesso e déficit hídrico, respectivamente. As cidades que se observaram o menor (32,70mm) e o maior (123,11mm) volume excedente foram Rio Grande e Encruzilhada do Sul, respectivamente (Fig. 14d e Apêndice B). Cabe ressaltar que em toda região os déficits hídricos registrados ocorreram somente no mês de dezembro.

Pode-se notar que na Metade Sul do Estado no período de 1977 a 2006, apesar da ocorrência de déficits hídricos, nos trimestres JFM e OND, estes foram inferiores aos excessos hídricos. Portanto não ocorreu falta de água, nesta porção do Estado, uma vez que o aporte de água foi superior à demanda evaporativa em todos os trimestres. Essa condição pode ser justificada porque a Metade Sul do RS possui uma baixa disponibilidade hídrica nos meses mais quentes, principalmente devido à pluviosidade mais baixa e aos altos índices evaporativos. A esse fato soma-se a presença, nessa região, de solos do tipo Neossolos que são de baixa profundidade e, portanto, de baixa capacidade de armazenamento (FZB-RS, 2008). Essa constituição reforça a ocorrência de déficits hídricos nos meses de dezembro e janeiro na Metade Sul do RS, no período estudado. Os resultados encontrados neste trabalho concordam com Cardoso et al. (2002b) e Leivas et al. (2006) que mostraram que as deficiências hídricas ocorrem geralmente no verão e na Metade Sul do Estado.

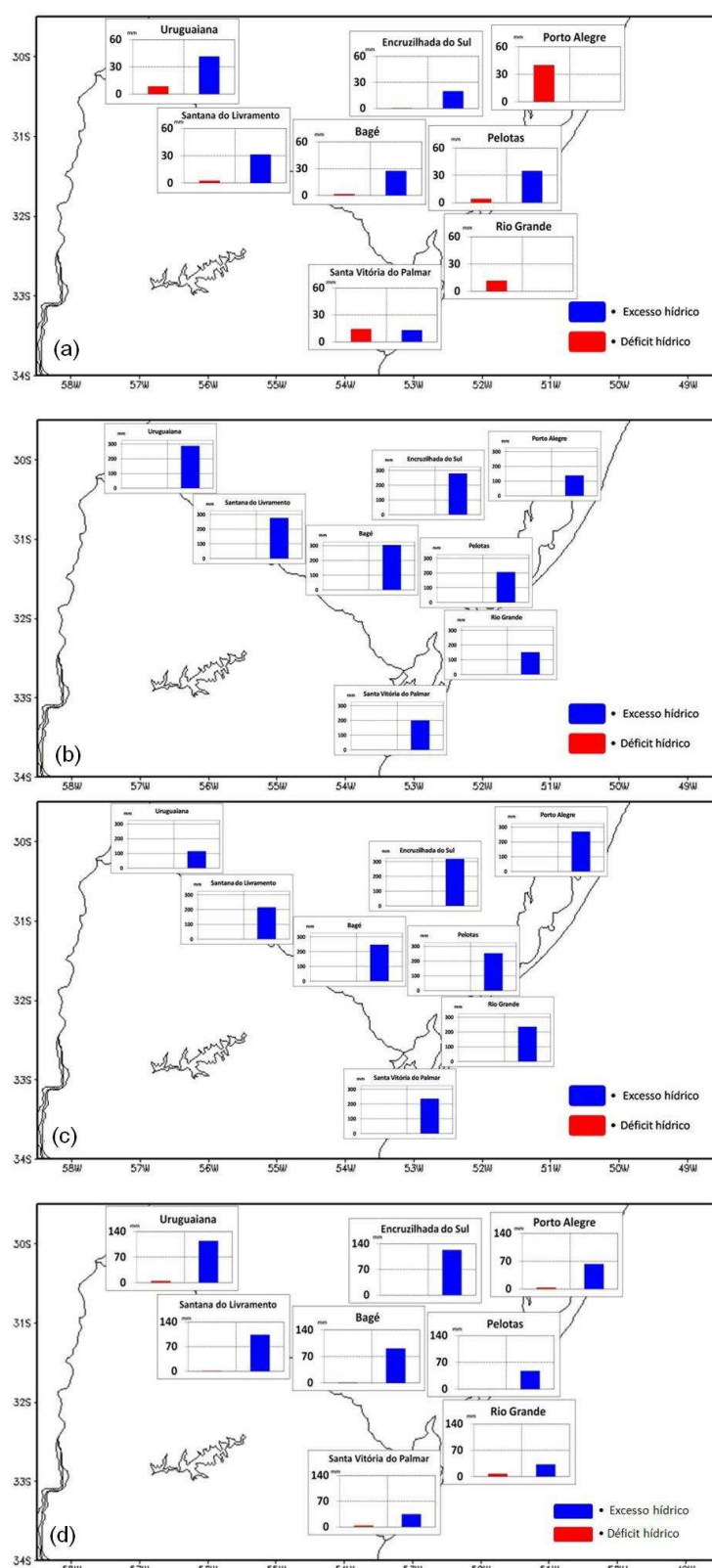


Figura 14 – Regime hídrico (mm) da Metade Sul do RS para o período de 1977 a 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)

4.2 Análise sazonal do regime térmico, pluviométrico e hídrico para o RS no ano de 2006

Analisando o comportamento sazonal da Tm do RS, para o ano de 2006, pode-se observar que as regiões noroeste e nordeste do RS foram as que apresentaram os maiores e menores valores de Tm em todos os trimestres do ano, respectivamente (Fig. 15). A região de Bom Jesus, em todos os trimestres, registrou os menores valores de Tm. Já os maiores valores desta variável foram observados na região de São Luiz Gonzaga (JFM, AMJ e JAS, Fig. 15a, b e c) e Iraí (OND, Fig. 15d). Constatou-se também que na Metade Norte do RS (Apêndice C) a Tm variou de 13,17°C (Bom Jesus, em AMJ) a 26,38°C (São Luiz Gonzaga, em JFM). Já na Metade Sul do Estado (Apêndice D) a Tm variou de 13,97°C (Santa Vitória, em JAS) a 26,08°C (Uruguaiana, em JFM). Isso mostra que 2006 apresentou comportamento semelhante à normal climatológica do período de 1977 a 2006 (ver Fig. 10 e Apêndices A e B).

Pode-se notar para o ano de 2006, assim como para os 30 anos de estudo, que a maior amplitude térmica anual e a maior variabilidade de Tm ocorreu na Metade Norte do RS, confirmando a existência de maior variabilidade de Tm nesta porção do Estado em relação a Metade Sul do RS devido a influência dos fatores citados por Nimer (1989). A comparação dos resultados obtidos para o ano de 2006 com aqueles do período de 1977 a 2006 mostraram que em 2006 houve um aumento da amplitude térmica anual e da média anual de Tm, confirmando os resultados de Sansigolo et al. (1992), Victória et al. (1998), Marengo e Rogers (2001) e Hulme e Sheard (1999).

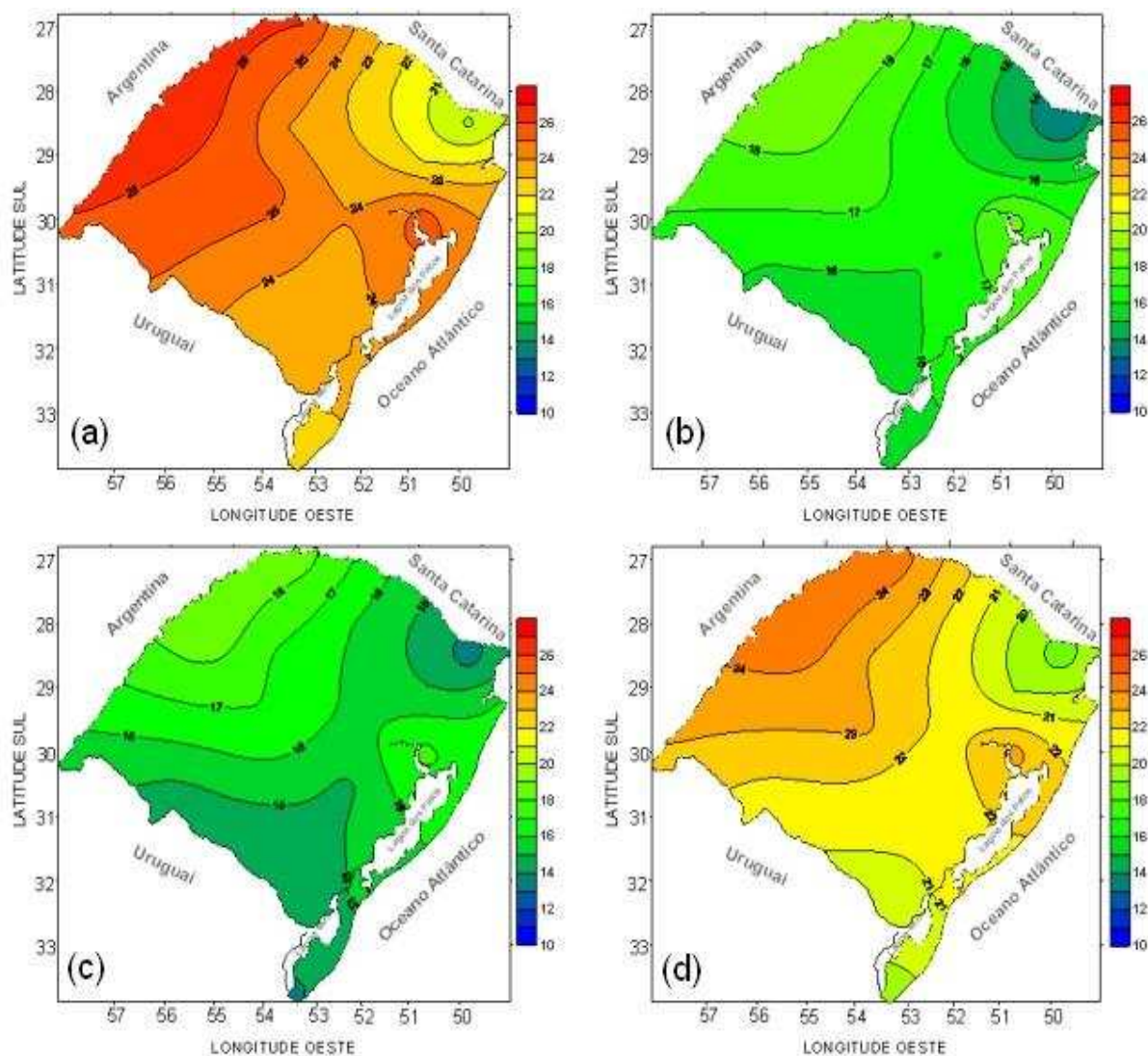


Figura 15 - Distribuição sazonal da temperatura média do ar no RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND).

A distribuição anual de precipitação pluvial para 2006 mostra que os maiores volumes pluviométricos foram registrados na Metade Norte do RS quando comparados com a Metade Sul do RS. Pode-se observar na Fig. 16 uma isoietal de 1.300mm que corta o RS de leste a oeste, próximo a 30°S, com valores superiores ao Norte e inferiores ao Sul. Na região noroeste da Metade Norte o volume pluviométrico ultrapassou 1.700mm anuais e na Metade Sul, na região da Campanha e extremo Sul do RS, os volumes de chuva foram inferiores a 1.100mm.

Na Metade Norte do Estado as regiões de Iraí (175,0mm em AMJ) e São Luiz Gonzaga (631,3mm em OND) foram as que registraram os menores e os maiores volumes de precipitação nos quatro trimestres do ano, respectivamente. Já na Metade Sul do RS nas regiões de Santana do Livramento (123,5mm em JFM) e Encruzilhada do Sul (524,4mm em OND) foram observados os menores e os maiores volumes de chuva, respectivamente.

Os maiores e menores volumes pluviométricos em 2006 foram observados em diferentes regiões do Estado dependendo do trimestre analisado. Foi observada uma maior variabilidade da precipitação no RS entre os quatro trimestres do ano de 2006 (Fig. 17) quando comparados com os 30 anos de estudo (Fig. 12).

No período quente (JFM) volumes pluviométricos próximos à 500mm foram observados no norte da Metade Norte enquanto que no oeste da Metade Sul do RS foram observados valores inferiores à 130mm (Fig. 17a). No período temperado frio (AMJ) a distribuição de precipitação variou de valores superiores à 330mm na região de Caxias de Sul e Uruguaiana, a valores inferiores a 150mm na região de Pelotas (Fig. 17b). No período frio (JAS) os volumes de chuva foram superiores a 350mm na região nordeste do RS e na região sudoeste estes não ultrapassaram 250mm (Fig. 17c). Já no período temperado quente (OND) na região noroeste do RS os volumes de precipitação foram superiores a 600mm, e inferiores à 160mm no extremo Sul da Metade Sul do RS (Fig. 17d).

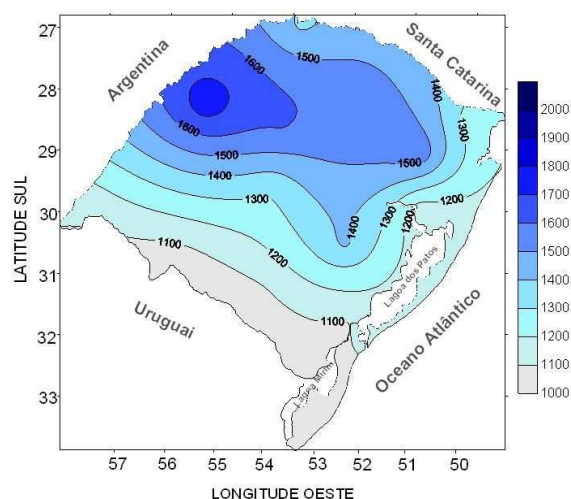


Figura 16 - Distribuição anual de precipitação pluvial no RS em 2006.

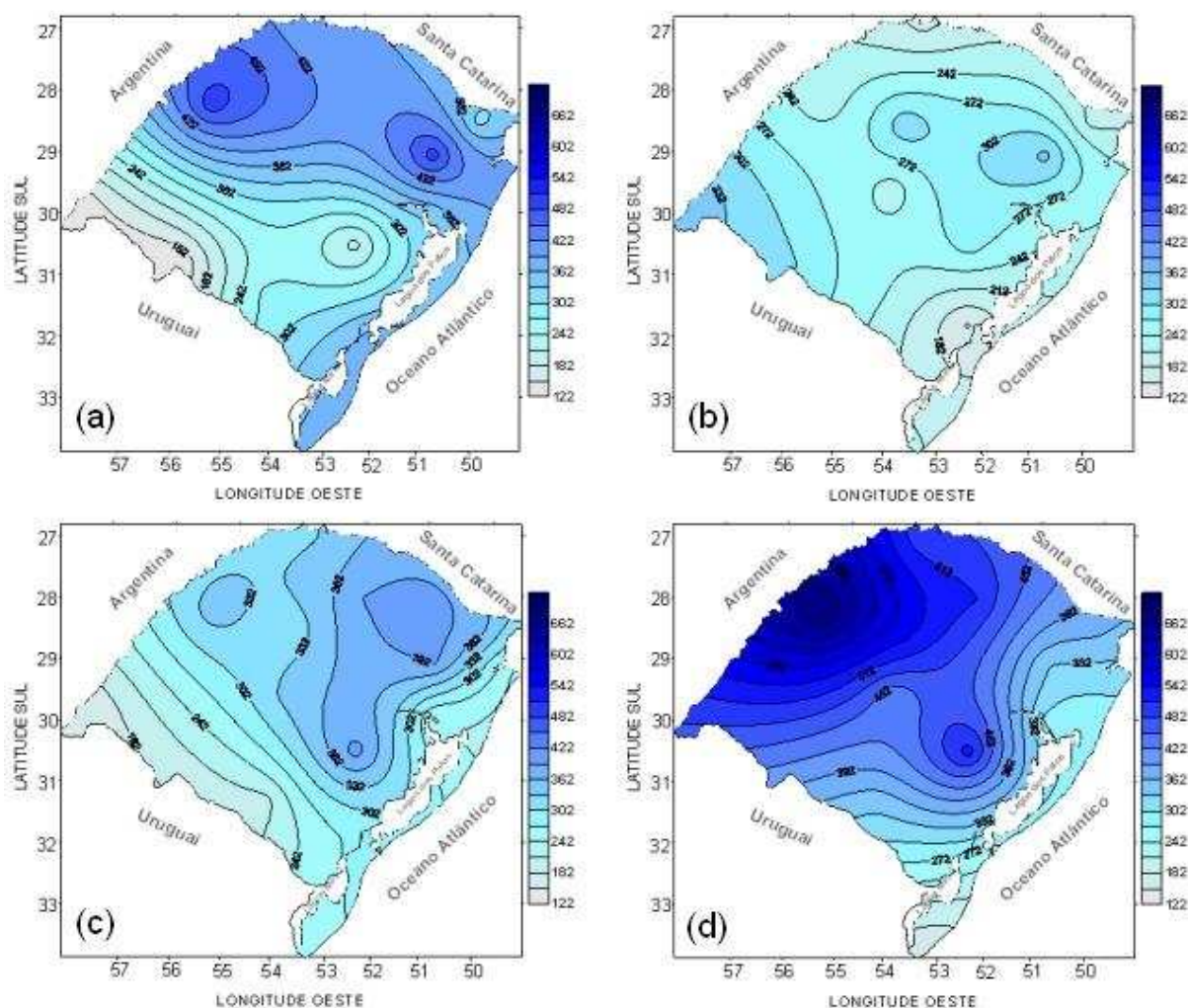


Figura 17 - Distribuição sazonal da precipitação pluvial no RS em 2006 (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio e (d) período temperado quente (OND).

O comportamento sazonal do regime hídrico da Metade Norte do RS, no ano de 2006 é mostrado na Fig. 18 e Apêndice C.

No período quente (JFM), nesta porção do Estado (Fig. 18a), observou-se a ocorrência de déficits e excessos hídricos. Na porção leste da Metade Norte do RS, foram registrados os maiores volumes de excedentes hídricos, com registro apenas de excessos hídricos. Esse fato ocorreu devido aos maiores índices pluviométricos associados a menores índices evaporativos desta região. Já na região oeste da Metade Norte observou-se a ocorrência de déficits hídricos. É importante destacar que os maiores e os menores volumes sazonais de déficits hídricos (de até 59mm) e de excedentes hídricos ocorreram neste trimestre na região central do Estado. Os déficits hídricos observados foram supridos em toda região, exceto na região de Santa Maria que registrou somente déficit hídrico, devido à demanda evaporativa ter sido superior ao volume de chuva.

No período temperado frio (AMJ), assim como no período quente, observou-se na Metade Norte do RS (Fig.18b e Apêndice C) a ocorrência de déficits e excessos hídricos, porém com valores menores de déficits e maiores de excessos hídricos em relação à JFM. Os excessos hídricos, neste trimestre, variavam de 11,3mm a 210,12mm, sendo maiores no centro leste da região e menores no oeste. Já os déficits hídricos variavam de 0,15mm a 14,08mm, na porção norte do Estado. Apesar de neste trimestre, na Metade Norte do RS em 2006, ter ocorrido deficiências hídricas, estas foram pequenas e supridas pela disponibilidade de água. Exceção ocorreu na região de Iraí (14,08mm) onde o volume de chuvas não supriu a demanda evaporativa.

No período frio (JAS) em toda a Metade Norte do RS foram observados excessos hídricos. Quanto à distribuição espacial dos excessos hídricos não houve diferenças marcantes nesta porção do Estado neste trimestre. Iraí (157,08mm), na região norte, e Caxias do Sul (261,33mm), na região nordeste, registraram o menor e o maior valor de excesso hídrico, respectivamente (Fig. 18c e Apêndice C).

No período temperado quente (OND) o regime hídrico na Metade Norte do RS apresentou características semelhantes às observadas nos trimestres JFM e AMJ, ou seja, ocorreram tanto déficits quanto excessos hídricos. Em toda região o excedente hídrico foi sempre superior à deficiência hídrica. A região noroeste do RS, neste trimestre foi a que apresentou os maiores valores de excesso hídrico, destacando-se a região de São Luiz Gonzaga, única a registrar apenas excedente

hídrico e o maior volume de excesso hídrico (320,2mm). Por outro lado, os déficits hídricos registrados nessa porção do Estado foram maiores na região central, onde Santa Maria registrou o maior volume de deficiência hídrica (23,30mm). Novamente assim como nos trimestres JFM e AMJ, não houve falta d'água em 2006 nesta porção do Estado, uma vez que os déficits hídricos observados foram inferiores aos excessos hídricos (Fig. 18d e Apêndice C).

Assim, na Metade Norte do RS em 2006, pode-se observar que os maiores volumes de déficit (superior a 50mm) e os menores volumes de excesso hídricos (inferior a 150mm), foram observados no período quente (JFM). Já os maiores volumes de excedente hídrico foram observados no período frio (JAS), único trimestre a não apresentar deficiência hídrica. Pode-se constatar que não ocorreu falta de água nesta porção do Estado em 2006, apesar da ocorrência de déficits hídricos nos trimestres de JFM, AMJ e OND, uma vez que estes foram inferiores aos excessos hídricos. Exceção ocorreu nas regiões de Santa Maria (JFM – déficit de 59,0mm) e Iraí (AMJ – déficit de 14,08mm) que apresentaram somente déficit hídrico e, portanto falta de água. Essa situação é incomum nesta porção do Estado, já que segundo Sentelhas et al. (1999) as regiões cobertas por essas duas cidades, pelo cálculo do BH para o período de 1961 a 1990, caracterizam-se por apresentar excedentes hídricos em todos os meses do ano. Portanto, apesar de a Metade Norte do RS apresentar precipitação anual superior à 1.600mm de acordo com as normais climatológicas de 1977 a 2006 (Fig. 11) e, por essa razão ser caracterizada por não apresentar falta de água (Fig. 13), no ano de 2006 observou-se nessa porção do Estado valores de precipitação mais baixos (superiores a 1.400mm, Fig. 16), além da ocorrência de déficits hídricos e falta de água em duas regiões.

Uma justificativa para o registro de volume pluviométrico anual abaixo da normal em 2006 no RS, foi a atuação do fenômeno ENOS (Climanalise, 2006) que apresentou a seguinte configuração: JFM – La Niña fraca; AMJ – condições de neutralidade; JAS – início El Niño fraco e OND – El Niño fraco. Apesar de estudos climatológicos indicarem que o fenômeno El Niño normalmente causa aumento da precipitação na região sul do Brasil, foi registrado precipitação abaixo da média climatológica nos trimestres JAS e OND. Este fato está associado a uma forma atípica do fenômeno El Niño encontrada no Oceano Pacífico Tropical, o El Niño Modoki (palavra em japonês que significa similar, porém diferente).

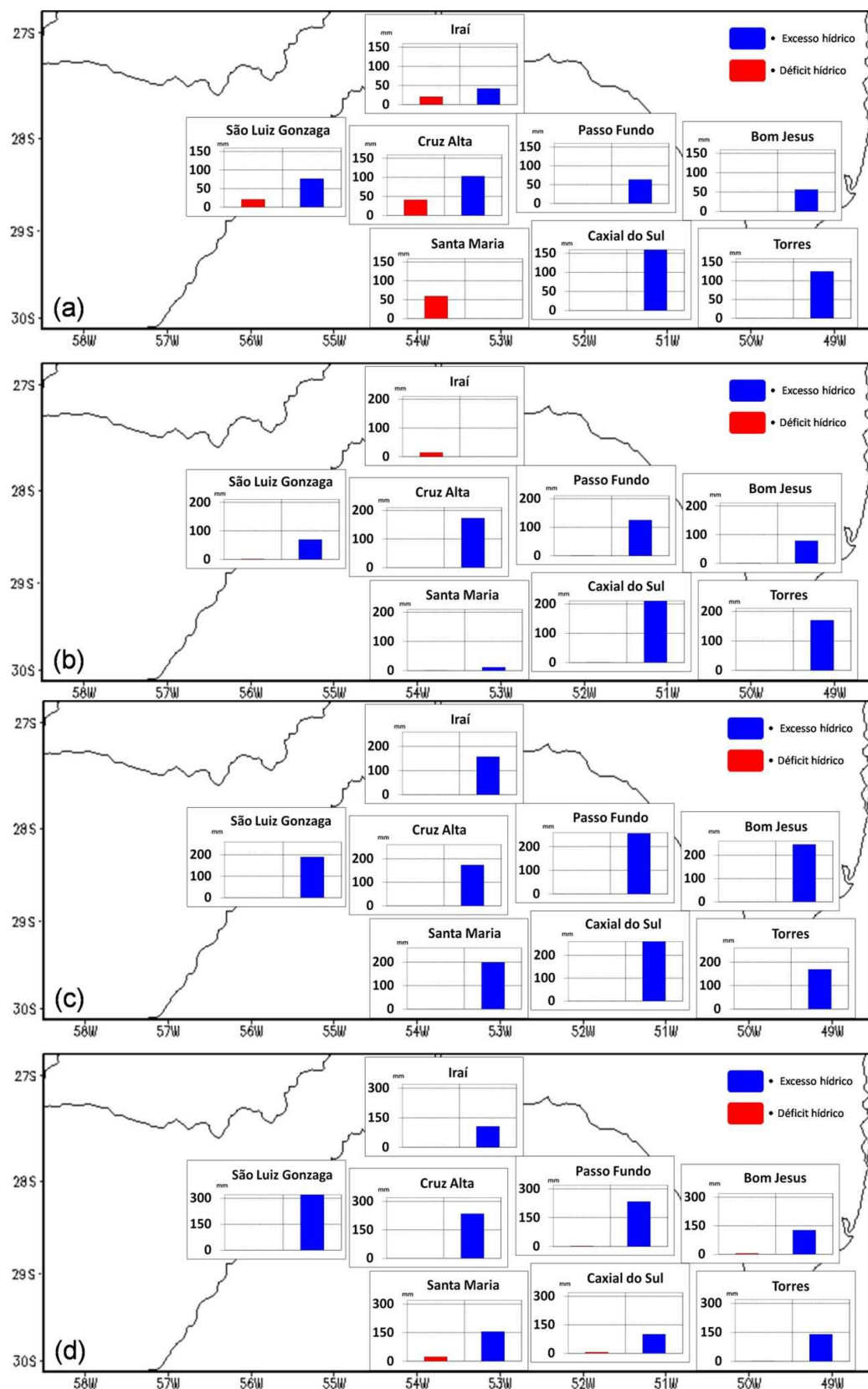


Figura 18 – Regime hídrico (mm) da Metade Norte do RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND).

Esse fenômeno se caracteriza por apresentar anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região central do Oceano Pacífico (e não no leste do Oceano pacífico próximo à costa peruana como é observado no El Niño tradicional) e provoca efeitos contrários daqueles do El Niño no regime de precipitação, ou seja, causa estiagem nas regiões sul e sudeste e chuvas acima da média climatológica no nordeste do Brasil (Ashok et al., 2007; Wang & Hendon, 2007; Weng et al., 2007). A atuação do El Niño Modoki nos trimestres JAS e OND de 2006 pode ser comprovada, uma vez que foram observadas, nestes trimestres, anomalias positivas de TSM localizadas na região central do Oceano Pacífico (Climanalise, 2006) e índices de El Niño Modoki positivos (Jamstec, 2010), que são indicativos de ocorrência deste fenômeno.

O comportamento sazonal do regime hídrico para a Metade Sul do RS, para o ano de 2006, é mostrado na Fig. 19 e Apêndice D.

No período quente (JFM) nesta porção do Estado ocorreram tanto déficits quanto excessos hídricos. Porém os déficits foram sempre superiores aos excessos hídricos. As regiões de Bagé (1,70mm, em janeiro) e Santa Vitória do Palmar (17,53mm, em março), foram as únicas que registraram excedente hídrico. Neste trimestre os déficits hídricos variaram de 7,10mm (Pelotas) a 194,44mm (Uruguaiana). A região oeste da porção Sul do RS foi a que registrou os maiores déficits hídricos. Os altos índices evaporativos deste trimestre contribuíram para a baixa disponibilidade de água, causando falta d'água na Metade Sul do RS neste trimestre principalmente na fronteira oeste (Fig.19a e Apêndice D).

No período temperado frio (AMJ) na Metade Sul do RS também ocorreram tanto déficits quanto excessos hídricos. Porém, ao contrário do observado no trimestre de JFM, em AMJ os excessos foram sempre superiores aos déficits hídricos. Os maiores e menores valores de excedente hídrico foram observados na fronteira oeste (acima de 110mm, em Uruguaiana) e no litoral Sul (inferior a 20mm, em Pelotas), respectivamente. Já os déficits hídricos ficaram concentrados no litoral (valores superiores a 40mm, em Porto Alegre). Neste trimestre, apesar da ocorrência de déficits hídricos, a demanda evaporativa mais baixa contribuiu para que não houvesse falta de água (Fig.19b e Apêndice D).

O período frio (JAS) foi o que apresentou os maiores volumes sazonais de excedente hídrico, variando de 35,61mm (Uruguaiana) a 284,10mm (Encruzilhada do Sul). As regiões centro leste e oeste do Estado foram as que apresentaram os

maiores e menores valores de excedente hídrico, neste trimestre, respectivamente. Apenas na região de Santa Vitória do Palmar foi observado deficiência hídrica de 1,84mm no mês de setembro. Assim não ocorreu falta d'água em 2006 nesta porção do Estado neste trimestre, uma vez que a disponibilidade de água foi suficiente para repor a demanda evaporativa do período (Fig. 19c e Apêndice D).

No período temperado quente (OND), assim como em JFM e AMJ observou-se na Metade Sul do RS a ocorrência de déficits e excessos hídricos. Os maiores volumes de excedentes hídricos, neste trimestre, estavam concentrados na porção central da Metade Sul do RS, tendo a região de Encruzilhada do Sul (220,80mm) registrado os maiores valores de excedentes hídricos. Por outro lado, no litoral da Metade Sul do RS, neste trimestre, foi onde observou-se a ocorrência de déficits hídricos. Pode-se notar que, neste trimestre, na região de Porto Alegre (19,49mm) e Santa Vitória do Palmar (61,81mm) houve falta de água, uma vez que a demanda evaporativa foi superior à precipitação pluvial. Nas outras regiões do Estado a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água, não ocorrendo falta de água (Fig. 19d e Apêndice D).

Em 2006, na Metade Sul do RS, pode-se observar que a ocorrência de déficits e excessos hídricos em todos os trimestres do ano (Fig. 19 e Apêndice D). Os maiores e menores volumes de déficits hídricos ocorreram em JFM (superiores a 190mm, no oeste) e JAS (inferior a 2mm, no litoral), respectivamente. Já os maiores e menores volumes de excedentes hídricos ocorreram, respectivamente, em JAS (superiores a 280mm, na região central) e JFM (inferiores a 20mm, no litoral). Nesta porção do Estado em 2006 não houve falta d'água, apesar da ocorrência de déficits hídricos, nos trimestres AMJ, JAS e OND, uma vez que a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água. Porém, a menor disponibilidade de água e a maior deficiência hídrica observada em 2006 em relação às condições normais, para o período de 1977 a 2006, que ocorreram devido à atuação do fenômeno ENOS, cuja configuração em 2006 provocou estiagem na região sul do Brasil (CLIMANALISE, 2006), causou falta d'água em 2006 na Metade Sul do RS no período quente (JFM), e no litoral no período temperado quente (OND) (ver Fig. 19 e Apêndice D). Vale lembrar que nos trimestres JAS e OND apesar da ocorrência de El Niño, que normalmente causa aumento da precipitação na região sul do Brasil, foi registrada precipitação abaixo da média climatológica.

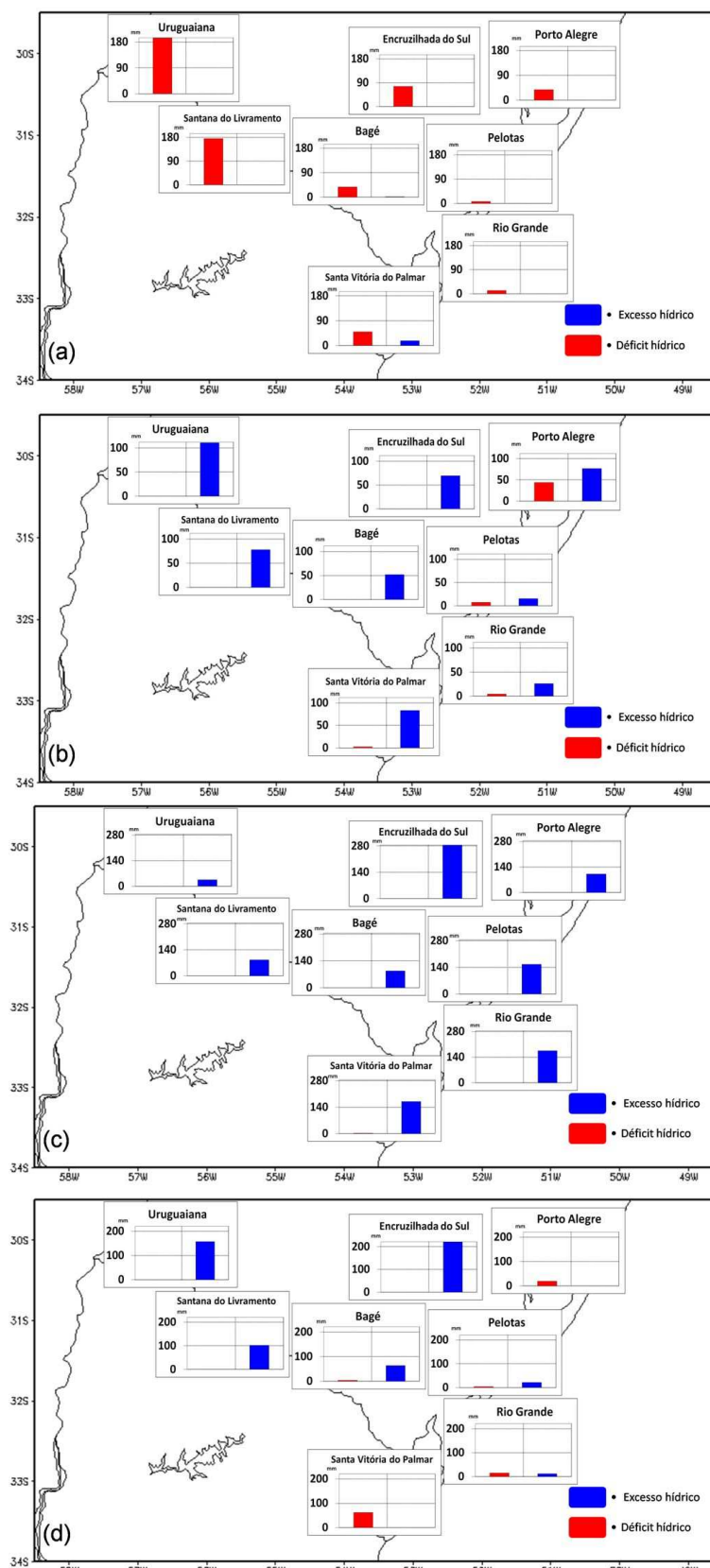


Figura 19 – Regime hídrico (mm) da Metade Sul do RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND)

Esse fato pode estar associado ao El Niño Modoki, que causa secas no sul do Brasil, uma vez que foram observadas nestes trimestres anomalias positivas de TSM localizadas na região central do Oceano Pacífico (CLIMANALISE, 2006).

Comparando os resultados do regime hídrico da Metade Sul (Apêndice D) com aqueles da Metade Norte (Apêndice C) do Estado pode-se observar que a porção Sul do RS em 2006 apresentou menor disponibilidade de água e maior deficiência hídrica. Esse fato ocorreu devido a dois fatores. Primeiro, o volume pluviométrico diferenciado das duas regiões, ou seja, a Metade Sul registrou em 2006 precipitação pluvial menor em relação a Metade Norte do Estado. E segundo, diferença na composição do solo das duas regiões conforme já mencionado na discussão com relação ao regime hídrico dos 30 anos de estudo (Metade Norte – solos da classe dos Latossolos e Argilosos, com baixo risco de ocorrência de deficiência hídrica e Metade Sul – solos do tipo Neossolos, de baixa profundidade e baixa capacidade de armazenamento).

4.3 Análise sazonal das anomalias dos componentes dos BH de 2006

Na Fig. 20 e Apêndice E e F são mostradas as anomalias dos componentes (P, P-ETP, DEF e EXC) do BH de 2006 em relação ao BHC de 1977 a 2006, para o período quente (JFM). Pode-se notar que em 2006 no trimestre JFM ocorreram anomalias negativas de precipitação (Fig. 20a) e de disponibilidade hídrica (Fig. 20b) na maior parte do RS. Apenas na região de Caxias do Sul e Porto Alegre e no extremo Sul do RS foram observados valores positivos de anomalias de P e P-ETP. A ocorrência de menores índices pluviométricos associados a maiores índices evaporativos, gerou anomalias positivas de déficit hídrico (Fig. 20c) na maior parte do RS e anomalias negativas de excesso hídrico (Fig. 20d) nas regiões sudoeste e nordeste do Estado. Já os maiores índices pluviométricos associado a menores índices evaporativos observados na região de Caxias do Sul e Porto Alegre levaram a um comportamento dos déficits hídricos (Fig. 20c) próximo à normal climatológica do período de 1977 a 2006, e à ocorrência de anomalias positivas de excesso hídrico (Fig. 20d)

Portanto, a ocorrência de anomalias negativas de P, P-ETP e EXC e de anomalias positivas de DEF na maior parte do RS, mostra que o trimestre de JFM de 2006 foi mais seco do que a normal climatológica do período de 1977 a 2006, devido a ocorrência do fenômeno La Niña, confirmando os dados apresentados no Boletim Climanalise (2006). Além disso, pode-se observar que essa configuração não causou falta de água na Metade Norte do RS em 2006 (Fig. 18) porque mesmo os excedentes hídricos tendo sido inferiores à normal climatológica, estes foram suficientes para repor a demanda evaporativa deste trimestre, nesta porção do Estado. Por outro lado, na Metade Sul do RS houve falta de água (Fig. 19), uma vez que a demanda evaporativa não foi suprida pela disponibilidade de água que ficou bem abaixo da normal climatológica neste trimestre, nesta porção do Estado.

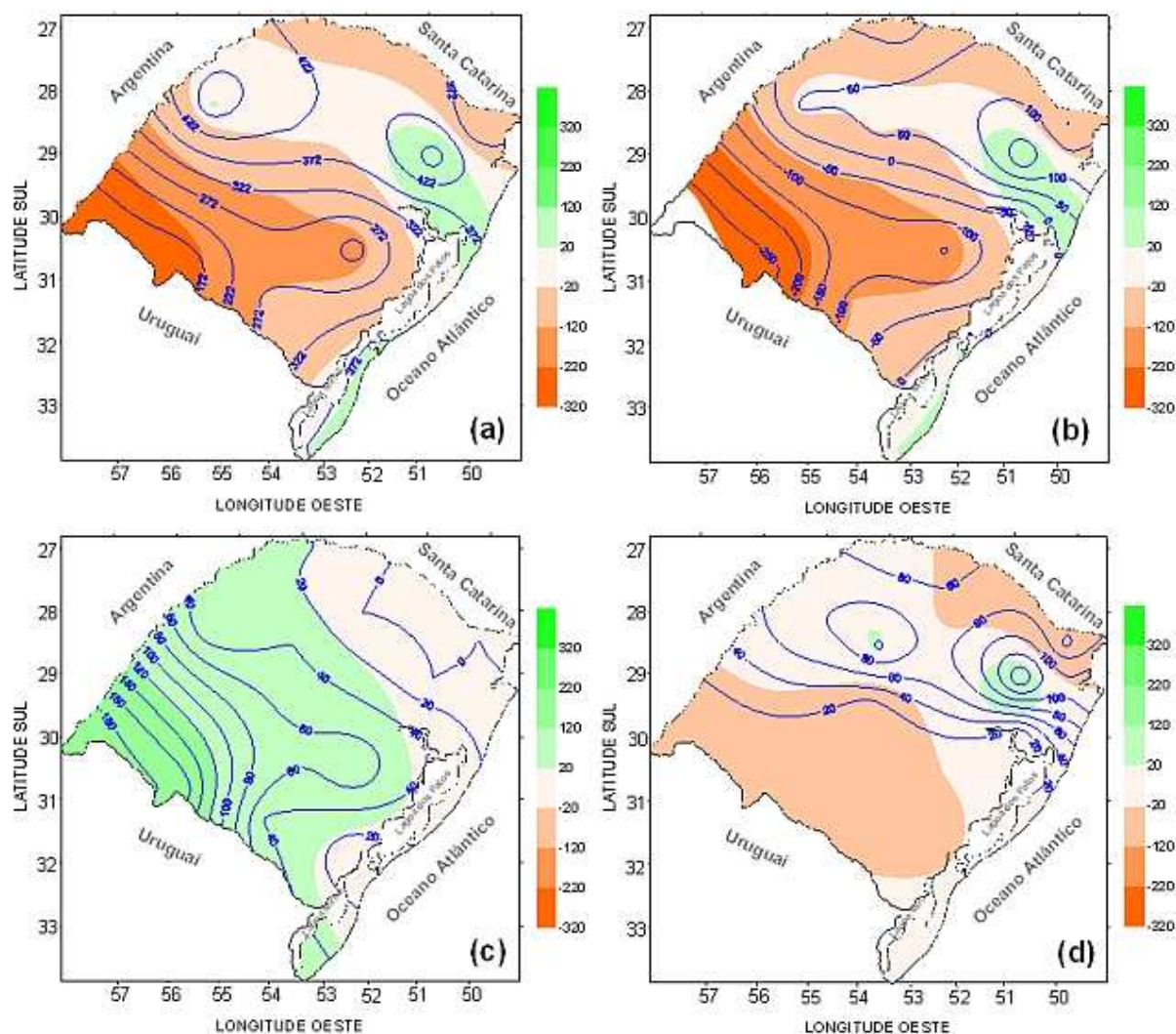


Figura 20 – Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período quente (JFM): (a) precipitação pluvial (mm), (b) disponibilidade hídrica (mm), (c) déficit hídrico (mm) e (d) excesso hídrico (mm). As isolinhas (azul) representam os valores normais (1977 a 2006) das variáveis em cada figura.

As anomalias dos componentes do BH de 2006, em relação ao BHC de 1977 a 2006 para o período temperado frio (AMJ) são mostradas na Fig. 21 e Apêndice E e F. Em 2006 no trimestre de AMJ assim como no trimestre de JFM observou-se a ocorrência de anomalias negativas de P (Fig. 21a) e P-ETP (Fig. 21b) em todo o Estado. Porém, essas anomalias foram superiores aquelas observadas em JFM, ou seja, esse trimestre em 2006 foi bem mais seco do que a condição normal para o RS. Cabe ressaltar que estava atuando, neste trimestre, o fenômeno ENOS na sua fase neutra (Climanálise, 2006). As anomalias negativas de P e

P-ETP geraram no RS em 2006 no período temperado frio a ocorrência de excedentes hídricos abaixo da normal climatológica em todo o Estado e um comportamento próximo à normal climatológica dos déficits hídricos. Ocorrendo anomalias positivas de déficits hídricos somente na região metropolitana de Porto Alegre, em torno de 30mm.

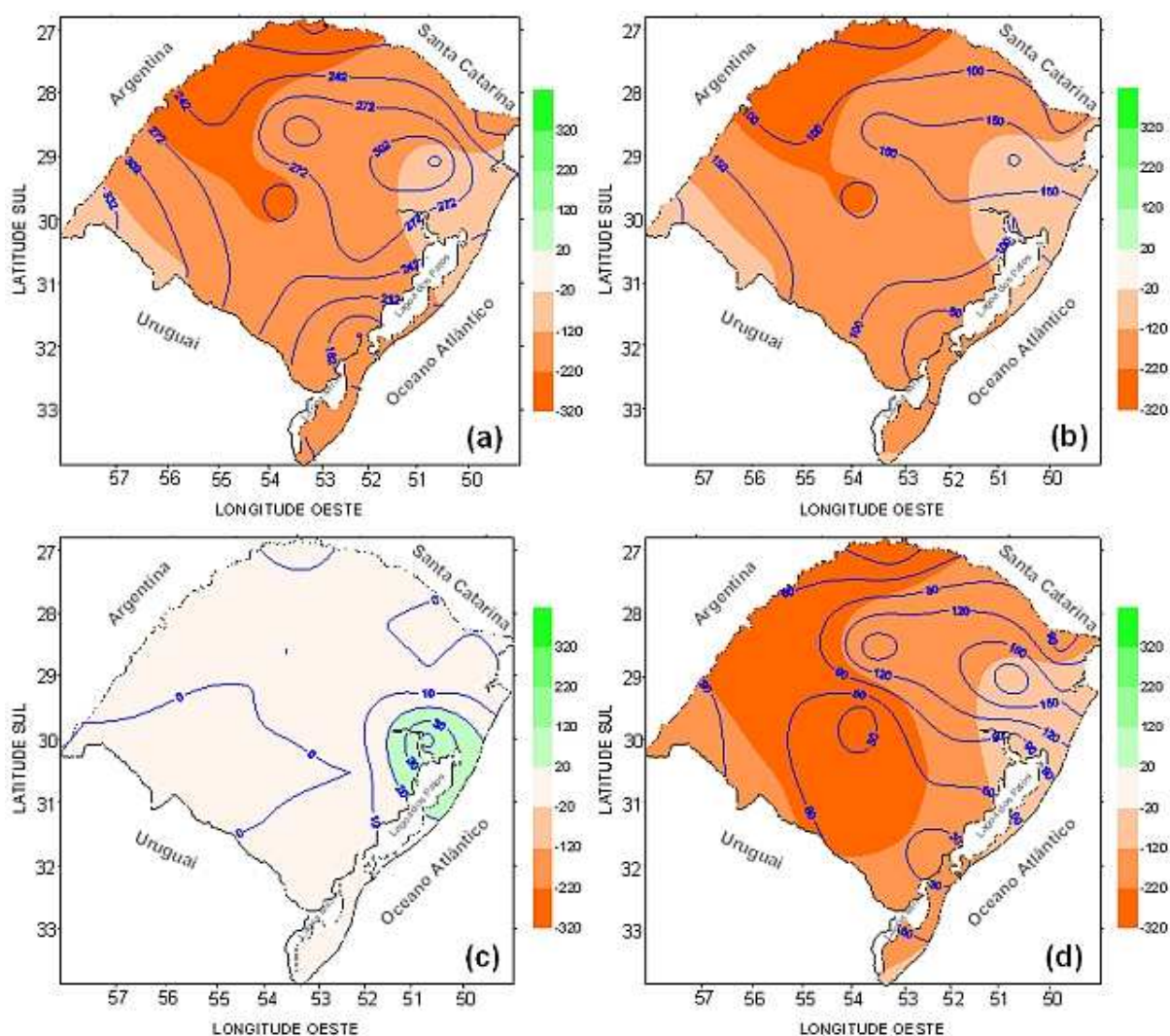


Figura 21 - Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período temperado frio (AMJ): (a) precipitação pluvial (mm), (b) disponibilidade hídrica (mm), (c) déficit hídrico (mm) e (d) excesso hídrico (mm). As isolinhas (azul) representam os valores normais (1977 a 2006) das variáveis em cada figura.

Assim, no trimestre AMJ de 2006 apesar da ocorrência de menores valores de P, P-ETP e EXC e de maiores valores de DEF em relação à normal climatológica não ocorreu falta de água (Fig. 18 e 19). Isso porque mesmo à disponibilidade

hídrica tendo sido inferior à normal climatológica, foi suficiente para repor a demanda evaporativa do trimestre.

Na Fig. 22 e Apêndice E e F são mostradas as anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC de 1977 a 2006 para o período frio (JAS). Neste trimestre também foram observadas anomalias negativas de P (Fig. 22a) e de P-ETP (Fig. 22b) em todo o RS. É interessante ressaltar que neste trimestre o fenômeno ENOS mostrava o início da sua fase quente (El Niño), caracterizada por causar aumento da precipitação. Porém, neste trimestre a precipitação ainda manteve-se abaixo da média climatológica. Este fato pode estar associado à ocorrência do El Niño Modoki conforme mencionado anteriormente. As anomalias negativas de P e de P-ETP observadas causaram a ocorrência de anomalias negativas de excesso hídrico em todo o RS (Fig. 22d) e um comportamento semelhante à normal climatológica das anomalias de déficits hídricos (Fig. 22c), não ocorrendo neste trimestre, assim como nos 30 anos de estudo, déficits hídricos. Portanto, em 2006 no trimestre JAS apesar do registro de anomalias negativas de P, P-ETP e EXC, não ocorreu falta de água, pois a disponibilidade hídrica, apesar de menor do que a média climatológica foi suficiente para repor a demanda evaporativa e também porque neste trimestre não houve registro de déficits hídricos.

As anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC de 1977 a 2006, para o período temperado quente (OND), são mostradas na Fig. 23 e Apêndice E e F. Pode-se observar que ocorreram anomalias negativas de precipitação (Fig. 23a) e disponibilidade hídrica (Fig. 23b) na região nordeste e no extremo Sul do RS e anomalias positivas desses dois componentes na região noroeste e centro Sul do Estado. O regime de precipitação deste trimestre, ainda abaixo da média climatológica em algumas regiões do Estado, e a demanda evaporativa mais alta em relação aos trimestres AMJ e JAS, conjuntamente com a atuação do fenômeno El Niño de fraca intensidade, e a possível atuação do El Niño Modoki, que causa estiagem no RS (CLIMANÁLISE, 2006), contribuíram para o regime deste trimestre da seguinte forma. Ocorrência de anomalias positivas de deficiência hídrica no extremo Sul do RS e na região de Porto Alegre e comportamento semelhante à normal climatológica do período de 1977 a 2006 nas outras regiões. Em relação aos excedentes hídricos, foram observadas anomalias negativas nas regiões nordeste e extremo Sul do RS e anomalias positivas nas regiões noroeste e centro Sul do Estado. Logo, a ocorrência de anomalias positivas

de DEF e negativas de EXC no extremo Sul do RS e na região de Porto Alegre causou falta de água nessas regiões.

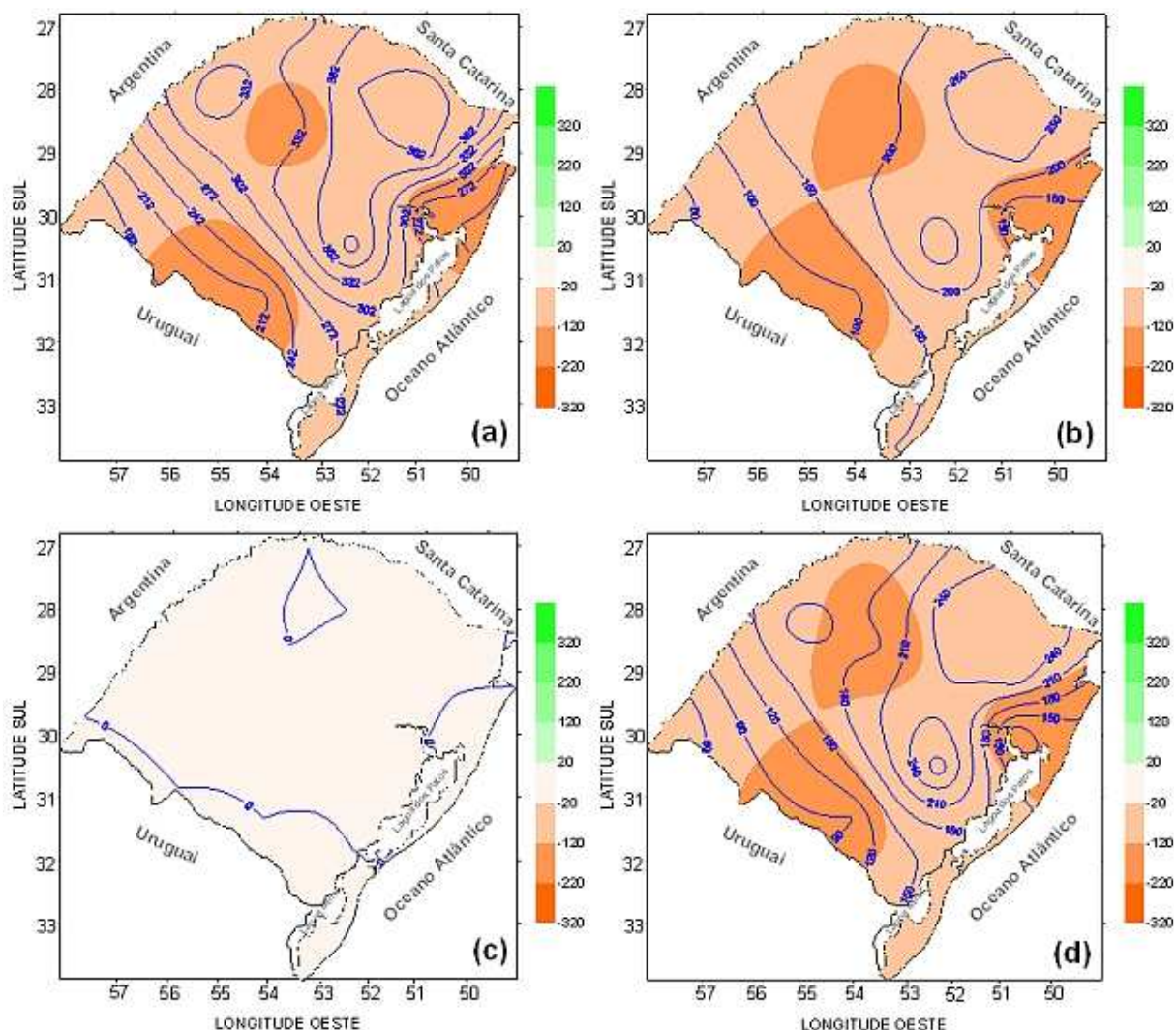


Figura 22 - Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período frio (JAS): (a) precipitação pluvial (mm), (b) disponibilidade hídrica (mm), (c) déficit hídrico (mm) e (d) excesso hídrico (mm). As isolinhas (azul) representam os valores normais (1977 a 2006) das variáveis em cada figura.

Portanto, em 2006, no trimestre OND, a ocorrência de anomalias negativas de P, P-ETP e EXC nas regiões nordeste e extremo Sul do RS e de anomalias positivas de déficits hídricos no extremo Sul do RS, causou falta d' água na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar. Isso porque neste trimestre a disponibilidade de água ficou abaixo da normal, não tendo sido suficiente para repor a demanda

evaporativa dessas cidades. Nas outras regiões do Estado, neste trimestre, não ocorreu falta de água, uma vez que a demanda evaporativa foi suprida pela disponibilidade de água.

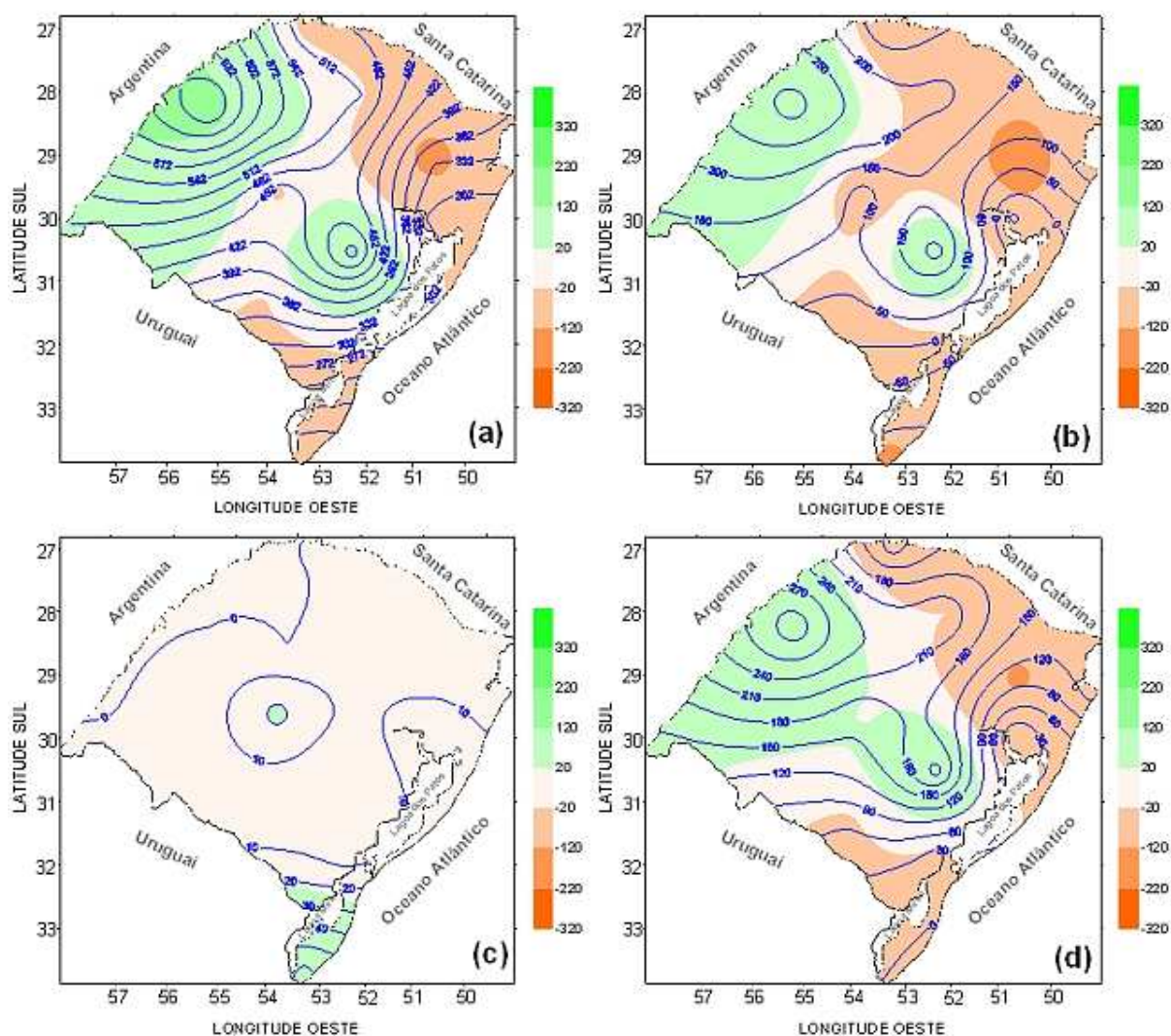


Figura 23 - Anomalias dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para o período temperado quente (OND): (a) precipitação pluvial (mm), (b) disponibilidade hídrica (mm), (c) déficit hídrico (mm) e (d) excesso hídrico (mm). As isolinhas (azul) representam os valores normais (1977 a 2006) das variáveis em cada figura.

4.4 Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do RS em 2006

Inicialmente, foi analisada a distribuição sazonal dos SF que atuaram no RS no ano de 2006. Os resultados mostraram que no ano de 2006 foram observados 53 SF atuando sobre o RS em todos os trimestres (Fig. 24). Os trimestres que apresentaram a maior e menor ocorrência de SF foram JAS (34% do total de SF) e JFM (18,7% do total de SF). Esses resultados concordam com Oliveira (1986), Lemos & Calbete (1996), Justi da Silva & Silva Dias (2002) e Cavalcanti & Kousky (2003) que mostram que os SF atingem a região costeira do sul do Brasil mais frequentemente no período de inverno (JAS).

Por outro lado, a climatologia de SF para latitudes entre 25°S e 35°S, dentro da qual se localiza o RS (~27°S e ~34°S), é de 6 e 7 SF por mês nos períodos de Dezembro a Junho e Julho a Novembro, respectivamente (CLIMANALISE, 2006). Com base nesta informação a climatologia de SF para cada trimestre do ano é a seguinte: 18 SF nos trimestres JFM e AMJ, 21 SF no trimestre JAS e 20 SF no trimestre OND.

Confrontando os resultados obtidos neste trabalho com a climatologia de SF para cada trimestre pode-se observar que o número de SF em todos os trimestres do ano de 2006 ficou abaixo da climatologia (Fig. 24a). Sendo o período quente (JFM) o que apresentou maior desvio em relação ao valor climatológico, ou seja, passaram sobre o RS neste trimestre apenas 10 SF, 44,5% a menos do que normalmente se espera para este período. O período frio (JAS) foi o que ficou mais próximo à climatologia. Neste trimestre, atingiram o RS 14,3% menos SF do que normalmente se espera para este trimestre (18 SF). Nos períodos temperado frio (AMJ) e temperado quente (OND) atingiram o RS 33,3% e 35% menos SF do que normalmente se espera para estes trimestres (12 SF e 13 SF), respectivamente.

Quando se analisou a atuação dos SF nas diferentes regiões do Estado (Fig. 24b) pode-se observar que a maioria dos SF atuou em todo o estado (51% dos 53 SF). A região mais atingida isoladamente pelos SF foi o litoral com 30,2% do total de SF. Pode-se constatar que a maioria dos SF atuou com mais frequência na Metade Sul do Estado. No período frio (JAS), que apresentou o maior número de SF, o número de SF que atuou na Metade Norte e Sul foi próximo, 12 e 15 SF, respectivamente.

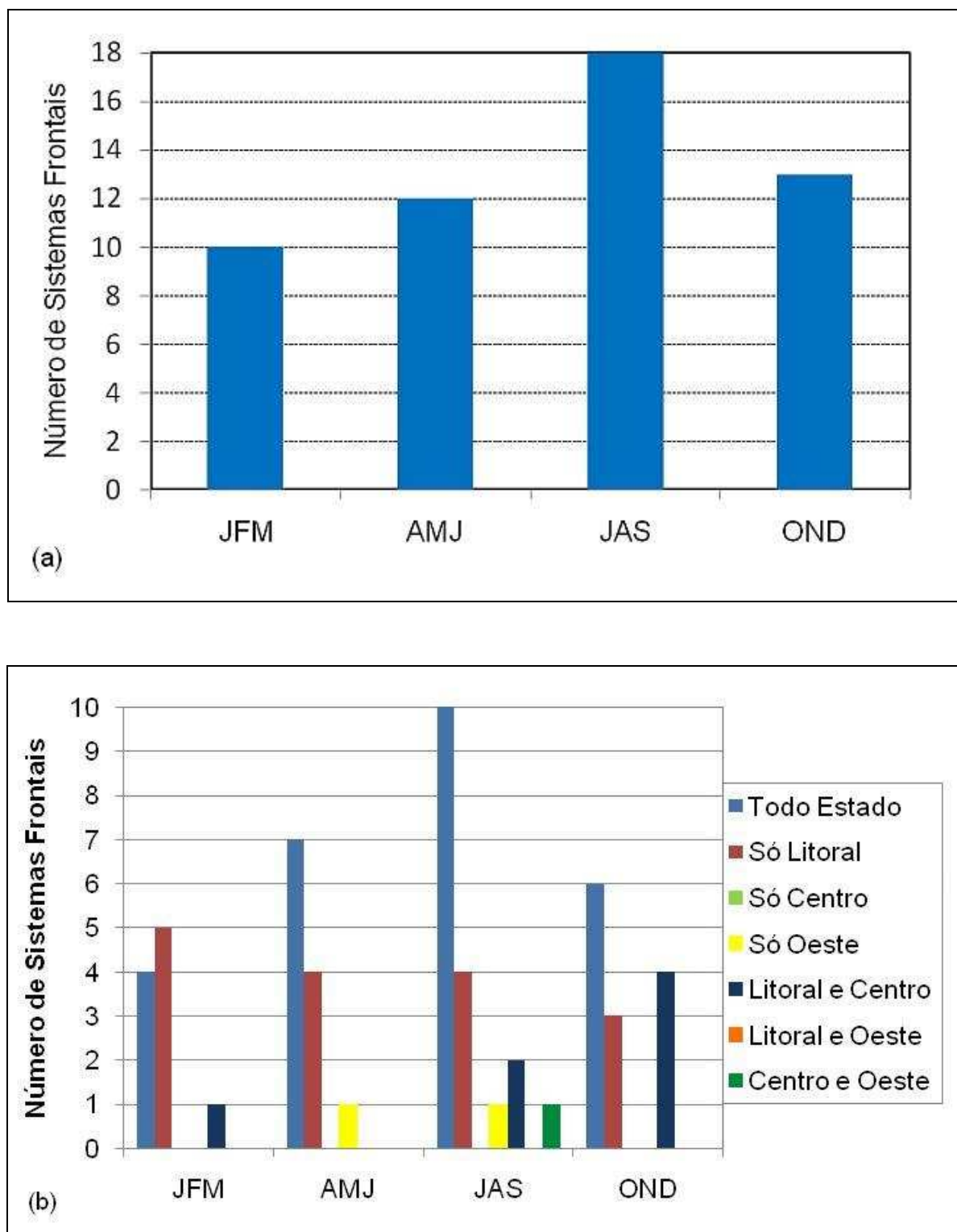


Figura 24 – Distribuição sazonal dos SF que atuaram em 2006: (a) no RS e (b) em distintas regiões do RS.

Em seguida foi analisada a distribuição sazonal dos SCM que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS em 2006 (Fig. 25). Os resultados mostraram que em 2006 foram detectados 607 SCM sobre o RS. Destes, 53,9% ocorreram na Metade Norte (327 SCM) e 46,1% na Metade Sul (280 SCM). Os trimestres JFM e AMJ foram os que apresentaram maior e menor ocorrência de SCM, representando 43,7% e 14% do total de SCM observados em 2006, respectivamente (Fig. 26a,b). Também foram detectados SCM nos trimestres JAS (19,9% do total de SCM, Fig. 26c) e OND (22,4% do total de SCM, Fig. 26d). Esses resultados concordam com estudos que mostram que a Metade Norte do Estado é mais atingida por SCM do que a Metade Sul (CAMPOS et al, 2007) e que o trimestre JFM é o que apresenta maior ocorrência de SCM (MADDOX, 1983; TORRES, 2003).

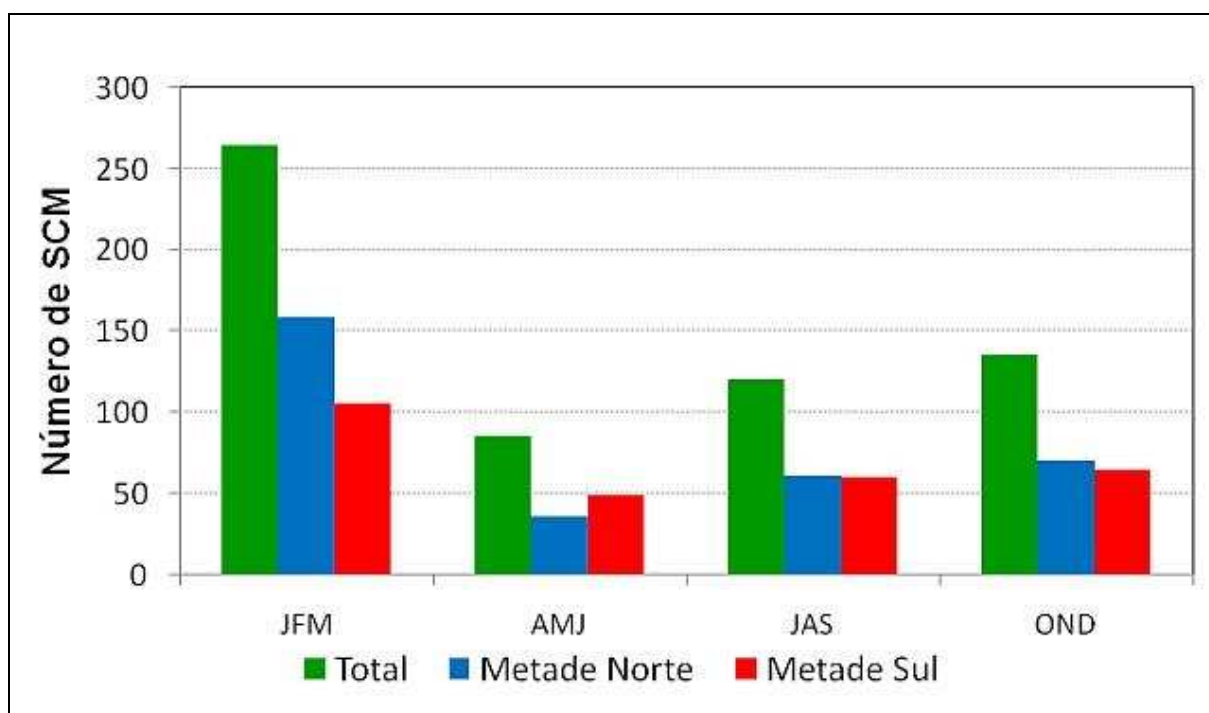


Figura 25 - Distribuição sazonal dos SCM que atuaram no RS em 2006.

Por fim foi analisada a distribuição sazonal dos fenômenos atmosféricos que causaram condições de tempo severo (enchente, furacão, granizo e vendaval) e que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS em 2006. Das 16 cidades que fazem parte deste estudo, três foram atingidas por 7 eventos que causaram condições de tempo severo (10/01/06 e 25/12/06 – Caxias do Sul; 08/01/06 e

10/01/06 – Rio Grande e 25/01, 14/09/06 e 06/11/06 – Santa Maria). A maioria dos 7 eventos ocorreu no trimestre JFM (57,1% do total), também foram observados eventos nos trimestres OND (28,6%) e JAS (14,3%). A Metade Norte do RS foi a região onde ocorreu a maioria dos 7 eventos (71,4% do total).

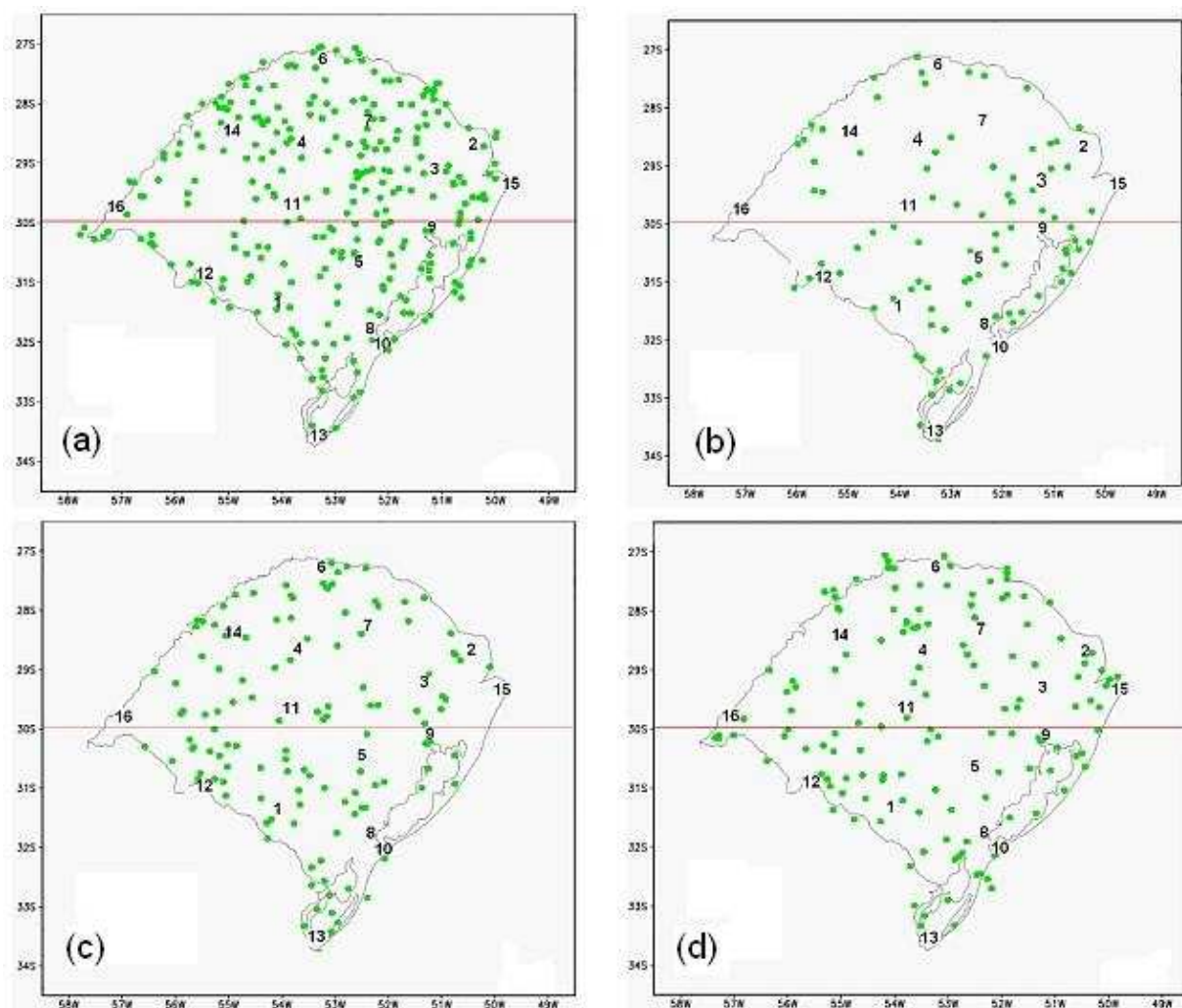


Figura 26 – Localização dos SCM (pontos verdes) que atuaram no RS em 2006. (a) período quente (JFM), (b) período temperado frio (AMJ), (c) período frio (JAS) e (d) período temperado quente (OND). Os números nos mapas correspondem às estações meteorológicas da tab. 2

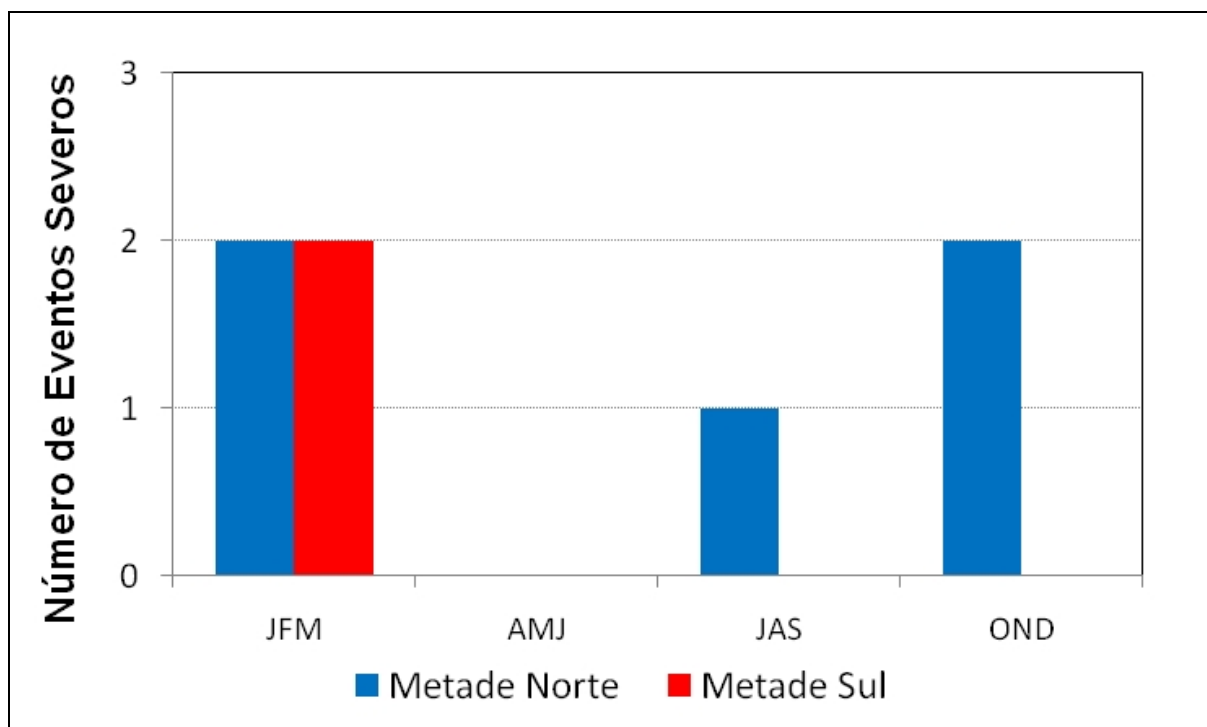


Figura 27 – Distribuição sazonal dos eventos com condições de tempo severo que atingiram as 16 cidades que fazem parte deste estudo

Pode-se observar que os SM contribuíram para a precipitação no Estado durante todo o ano. Sendo que os SCM e os eventos com condição de tempo severo foram os mais freqüentes na Metade Norte e no período quente (JFM) e os SF foram os mais freqüentes na Metade Sul e no período frio (JAS). Esses resultados confirmam que nas estações frias (AMJ e JAS) e nas estações quentes (OND e JFM), grande parte da precipitação registrada no RS, é associada a sistemas sinóticos (SF) e a sistemas de mesoescala (SCM), respectivamente (SCAGLIONI & SARAIVA, 2005; MARQUES, 2005).

Analisando-se o impacto dos SM no regime hídrico do RS em 2006, pode-se observar que a maioria dos SCM e eventos com condição de tempo severo ocorreram na Metade Norte do Estado nos trimestres JFM e OND, coincidindo com a região e trimestres onde foram registrados os maiores volumes pluviométricos (ver Fig. 17a,d e Apêndice C). Portanto, esses SCM e eventos com condição de tempo severo que ocorreram na Metade Norte do RS contribuíram para o total pluviométrico e por consequência para a disponibilidade de água da região, neste

ano. Por essa razão, não ocorreu falta de água, na Metade Norte do Estado em 2006, uma vez que o aporte de água foi superior à demanda evaporativa em todos os trimestres. Exceção ocorreu na região de Santa Maria (Fig. 18a), que foi a única região da Metade Norte do RS a registrar falta d'água em 2006 no trimestre JFM. Isso mostra que a ocorrência dos SCM e do evento com condições de tempo severo, observado em 25/01/06, apesar de minimizar o déficit hídrico não foram suficientes para repor a demanda evaporativa dessa região nesse trimestre. Na Metade Sul do Estado, conjuntamente com a menor frequência de SF neste ano em relação à normal climatológica, a ocorrência de SCM e dos eventos com condição de tempo severo em Rio Grande (08/01/06 e 10/01/06) não foi suficiente para repor a demanda evaporativa do trimestre JFM. O mesmo ocorreu na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar em OND.

Em 2006, com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) indicando a persistência do fenômeno La Niña de fraca intensidade em JFM e condições de neutralidade em AMJ sobre o Pacífico Equatorial e com o posicionamento da ZCAS mais ao norte, as chuvas no Estado ficaram abaixo da média climatológica (CLIMANALISE, 2006). Isso causou a passagem rápida dos SF sobre o RS, o que é desfavorável para a organização da convecção (SCM) e consequentemente das chuvas. Portanto, houve ocorrência de estiagem no RS principalmente na região sul e oeste do Estado nestes trimestres. Essa situação justifica o porquê de no trimestre JFM, na Metade Sul do RS, o aporte de água ter sido inferior à demanda evaporativa e a ocorrência de deficiência hídrica na região (ver Apêndice D). Como na Metade Norte do Estado normalmente chove mais do que na Metade Sul, os SM que atuaram nesta região no trimestre JFM, apesar de ter ocorrido déficit hídrico (ver Apêndice C), foram capazes de repor a demanda evaporativa e gerar excedente hídrico neste ano em quase toda a Metade Norte do RS, com exceção da região de Santa Maria conforme mencionado anteriormente.

No trimestre JAS teve início o fenômeno El Niño, que se caracteriza por apresentar na sua fase madura precipitação abundante na primavera, chuvas intensas de maio a julho e aumento da temperatura média. Porém, neste trimestre, foi registrada precipitação abaixo da média climatológica. Esse fato pode estar associado ao El Niño Modoki, que causa secas no sul do Brasil, uma vez que foram observadas nestes trimestres anomalias positivas de TSM localizadas na região central do Oceano Pacífico (CLIMANALISE, 2006). Neste trimestre, apesar de a

precipitação ainda ter-se mantido um pouco abaixo da média climatológica no RS, o aporte de água foi suficiente para suprir a demanda evaporativa tanto da Metade Norte quanto da Metade Sul do Estado (Apêndice C e D). Ou seja, os SM que atuaram no RS neste trimestre contribuíram para o regime hídrico do Estado mantendo-o com disponibilidade hídrica.

No trimestre OND as condições de TSM e Radiação de Onda Longa (ROL) eram indicativas de aumento da precipitação e consistentes com a fase madura do fenômeno El Niño, porém de fraca intensidade (CLIMANALISE, 2006). Na Metade Norte do Estado foi observado neste trimestre que apesar do estabelecimento do El Niño, a precipitação ficou abaixo da média (Apêndices E e F). Esse fato pode estar associado a atuação do El Niño Modoki, que conforme mencionado anteriormente provoca efeitos contrários ao do El Niño, ou seja, estiagem no sul do Brasil. Neste trimestre a demanda evaporativa foi mais alta em relação aos dois trimestres anteriores, uma vez que as temperaturas médias deste trimestre foram maiores. Os SM que atuaram no RS foram capazes repor a demanda evaporativa, apesar da ocorrência de deficiência hídrica. Na Metade Sul do Estado foi observado, como era de se esperar, uma deficiência maior em relação à Metade Norte, porém os SM que atuaram neste trimestre contribuíram para a ocorrência de precipitação acima da média e, portanto a demanda evaporativa foi suprida. Exceção ocorreu na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar onde o aporte de água foi insuficiente, causando falta de água.

5. Conclusão

O regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006 e o impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico de 2006 foram analisados neste trabalho.

As condições normais do período de 1977 a 2006 para o RS mostraram que:

- a distribuição sazonal da precipitação pluvial é bastante uniforme, porém a distribuição espacial é diferenciada com volumes pluviométricos na Metade Norte superiores à Metade Sul do Estado;

- a Metade Norte do RS apresenta excedente hídrico em todos os períodos do ano, com menores e maiores volumes nos períodos quente (JFM) e frio (JAS), respectivamente. Portanto, a ocorrência de excedente hídrico em todos os períodos do ano na Metade Norte do Estado deve-se, principalmente, aos maiores índices pluviométricos e aos menores índices de evaporação registrados nesta região neste período. E também ao tipo de solo desta região que apresenta maior capacidade de armazenamento de água.

- na Metade Sul do Estado, que é constituída por solos de baixa capacidade de armazenamento de água, apesar da ocorrência de déficits hídricos, nos trimestres JFM e OND, estes são inferiores aos excessos hídricos. Portanto não ocorre falta de água, nesta porção do Estado, uma vez que o aporte de água é superior à demanda evaporativa em todos os trimestres.

Para o ano de 2006 observou-se que:

- a distribuição sazonal da precipitação pluvial também foi uniforme, porém com variação em relação a normal do período de 1977 a 2006;

- a distribuição espacial foi semelhante a normal do período de 1977 a 2006, ou seja, volumes pluviométricos maiores na Metade Norte do que na Metade Sul do Estado;

- na Metade Norte do RS não ocorreu falta de água, apesar da ocorrência de déficits hídricos nos trimestres de JFM, AMJ e OND, uma vez que estes foram inferiores aos excessos hídricos. Exceção ocorreu nas regiões de Santa Maria em JFM e Irai em AMJ que apresentaram somente déficit hídrico e, portanto falta de água;

- na Metade Sul do RS nos trimestres AMJ, JAS e OND não houve falta d'água, apesar da ocorrência de déficits hídricos, uma vez que a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água. Porém a menor disponibilidade de água e a maior deficiência hídrica observada em 2006 em relação às condições normais, para o período de 1977 a 2006, causou falta d'água no período quente (JFM), e no litoral no período temperado quente (OND);

- os fatores que contribuíram para a ocorrência de excedentes hídricos superiores aos déficits hídricos durante todo o ano na Metade Norte e falta de água na Metade Sul do RS em JFM e no litoral em OND, foram:

i) a maior frequência de SCM e de eventos com condições de tempo severo na Metade Norte do RS em relação à Metade Sul;

ii) a menor frequência de SF neste ano na Metade Sul do RS em relação à normal climatológica e

iii) a atuação do fenômeno ENOS cuja configuração em 2006 (JFM-La Niña; AMJ-neutralidade; JAS-El Niño Modoki; OND-El Niño Modoki) provocou estiagem na região sul do Brasil e, portanto precipitação abaixo da normal em todos os trimestres do ano.

Referências

AGUILAR, D. J.; KRUKER, R. J. M.; CALHEIROS, R. O.; et al. **Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico de região da Grande Dourados**. Dourados : EMBRAPA – UEPAE, 1986. 150 p.

ALGARVE, V.; CAVALCANTI, I. F. A. Características da circulação atmosférica associada à ocorrência de geadas no sul do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8.1994, Belo Horizonte-MG. **Anais do....** Cachoeira Paulista: INPE, 1994. v. 3, p. 545–547.

AMORIM, M. S. M. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955)**. Petrolina :EMBRAPA - CPATSA, 1989. 18 p. (Boletim Técnico n. 34).

ANDRADE, G. O. **Os climas**. In: Azevedo, A. (org.) Brasil, a terra e o homem. 2° ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972. v.1, p. 397-462.

ARAUJO, S. M. B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas média do ar no Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Faculdade de Meteorologia, UFPel, 2005. 54p.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. New York: Academic Press, 1988. 307p.

ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG H.; YAMAGATA T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **Journal of Geophysical Research Oceans**, 112, 81 p. 2007.

ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre: SCP/DEPLAN. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>> Atualizado em: 12/08/2009. Acesso em: 13 ago. 2009

ÁVILA, A. M. H. **Regime de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo**. Porto Alegre, 1994. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1994.

AVILA, A. M. H.; BERLATO, M.; SILVA, J. B.; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 149-154, 1996.

BARBIERI, V.; TUON, R. L.; ANGELOCCI, L. R. Programa para microcomputador do balanço hídrico (Thornthwaite & Mather, 1955) para dados mensais, CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa : SBA/UFV, 1991. 314 p. p. 297-299.

BARBOSA J. P. M. Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o sig como ferramenta. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 17, p. 85 - 96, fev/2006.

BERBERY, E. H.; COLLINI, E. A. Springtime precipitation and water vapor flux over Southeastern South America. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 5, p. 1328-1346, 2000.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. Tendência temporal de precipitação pluvial anual no estado do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 3, p. 111-113, 1995.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; PUCHALSKI, L. Precipitação pluvial normal e riscos de ocorrência de deficiência pluviométrica e deficiência hídrica no Rio Grande do Sul: ênfase para a metade sul do Estado. In: Seminário Sobre Água na Produção de Frutíferas 68, 2000, Pelotas: **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000, p.67-81.

BERRI, G. J.; INZUNZA, B. J. The effect of the low-level jet on the poleward water vapor transport in the central region of South America. **Atmospheric Environment**, v. 27A, n. 3, p. 335-341, 1993.

BRASIL. 1992: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Divisão de Meteorologia Aplicada. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: SPI/EMBRAPA. 84 p.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico do Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas**, 116: 1-24, 1971.

CAMPOS, C. J.; CHONG, M. Sistema convectivo de mesoescala observado no dia 12 de dezembro de 1992 durante TOGA-COARE: estrutura cinemática e transporte de quantidade de movimento. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.17, n.2-3, p.175-185, 1999.

CAMPOS, C. R. J. ; PINTO, L. B. ; EICHHOLZ, C. W. . Condições de tempo severo observadas no RS entre 2003 e 2006 que causaram prejuízos à agricultura. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA,15. 2007, Aracajú-SE. v. 1. p. 53-56. **Anais do...** Aracajú-SE, 2007

CARDOSO, M. A. G.; MINUZZI, R. B.; MARCELINO, B. C. Balanço Hídrico em Anos Anômalos. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12. 2002a, Foz do Iguaçu- RJ. **Anais do....** Rio de Janeiro : SBMET, 2002a.

CARDOSO, M. A. G.; MINUZZI, R. B.; MARCELINO, B. C. Balanço Hídrico Médio para o Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,12. 2002b, Foz do Iguaçu-RJ. **Anais do...** Rio de Janeiro, 2002b.

CARNEIRO C. P.; SARAIVA J. M. B. Comparação entre dois casos de ciclones no litoral sul do rio grande do sul (RS) e sua relação com o aumento do nível do mar na área em estudo. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,10. Brasília, 1998. **Anais do...** Brasília,1998

CARVALHO, L.; JONES, C. A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE). **Journal of Applied Meteorology**, 2001. v. 40, 1683–1701.

CASARIN D. P.; KOUSKY V. E. Anomalias de precipitação no Sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 1986; Vol. 1, p. 83-90.

CAVALCANTI, I. F. A. **Casos de intensa precipitação nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983**. São José dos Campos:INPE, 1985. (INPE- 3743-RPE/498).

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios de El Niño/ Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Boletim Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).

CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Climate characteristics in an ensemble simulation using the CPTEC/COLA Atmospheric Global Circulation Model**. São José dos Campos: INPE, 2001. 71p. (INPE-8150-RPQ/717)

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography,

7., Wellington, New Zealand, 2003. **Proceedings...** New Zealand: American Meteorological Society, 2003. 1 CD-ROM

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, 31:L03204, 2004.

CHONG, M.; AMAYENC, P.; SCIALOM, G.; TESTUD, J. A tropical squall line during the COPT81 experiment in west Africa. Part 1: kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data. **Monthly Weather Review**, v.115, p.670-694, 1987

CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática- INPE/CPTEC, 2006. São José dos Campos - SP, Brasil.

CONFORTE J. C.; FERREIRA N. J. Estudo de caso de intensa atividade convectiva associada a sistema frontal no sul do Brasil: TRMM versus análises do NCEP. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,11. Rio de Janeiro-RJ, 2000. **Anais do...** Rio de Janeiro-RJ, 2000.

COSTA J. P. R.; ELOI C. M. A.; MORAES J. C.; Avaliação do comportamento da evapotranspiração em área de floresta tropical úmida da Amazônia. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,10. 1998. Brasília. **Anais do ...** Brasília, 1998.

COSTA, M. H. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955)**. Viçosa: UFV, 1994. 20p.

COTTON, W. R.; LIN, M. S.; MCANELLY, R. L.; TREMBACK, C. J.: A composite model of mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.117, p.765-783, 1989.

D'ANGIOLELLA G. L. B ; SILVA J. F.; Balanço hídrico climatológico do Brasil; CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. Fortaleza, 2004. **Anais do...** Fortaleza, 2004.

D'ANGIOLELLA G. L. B.; NETO M. T. C.; COELHO E. F. Balanço hídrico em solos de Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano. **Revista Bahia Agrícola** V.3, n.3, setembro de 1999.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. Cálculo do balanço hídrico climatológico com diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração potencial, em planilhas ExcelTM. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,12. 2002. **Anais do...** Foz do Iguaçu-RJ, 2002.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS V. L. D. Planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico normal utilizando diferentes métodos de estimativa da

evapotranspiração potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 375-378, 2003

DAVIS, E. G. **Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª ed. revista e ampliada. Brasília, Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2000.

DEFESA CIVIL. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>> Acesso em: 09/03/2009.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p. (FAO Irrigação e Drenagem 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

DOURADO N. D.; LIER, Q. J. V. **Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes**. Piracicaba : Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, 1991. 58 p. (Apostila).

FEDOROVA N.; LEVIT V.; CARVALHO M. H. Eventos de precipitação associados a processos e sistemas sinóticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 134-159, 2007.

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M.H. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.2, p. 57-72, 2000.

FERNANDES, D. S.; PINTO, L. B., CAMPOS, C. R. J. Análise sinótica de um ciclone extratropical que atingiu a cidade de Pelotas-RS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS; Florianópolis-SC, p. 697-703, 2004. **Anais do...** Florianópolis-SC, 2004.

FERREIRA, J. H. D.; NERY, J. T. Análise estatística da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis – SC. **Anais do...** Florianópolis – SC, 1999.

FIGUEIREDO, J. C.; SCOLAR, J. Estudo das trajetórias dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 7. E CONGRESSO LATINO AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 7. 1996, Buenos Aires-Ag. **Anais do ...**, 1996, p.165-166.

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

FZB-RS. Recursos hídricos. Disponível em: http://www.fzb.rs.gov.br/novidades/silvicultura/recursos_hidricos/texto_recursos_hidricos.pdf. Acesso em 07/08/2008.

GAN M. A. **Ciclogêneses e ciclones sobre a América do Sul**.1992. 221f. Tese(Doutorado em Meteorologia). INPE/5400-TDI/459.

GAN, M.A., RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South América. **Monthly Weather Review**, v.119, n.5, p.186-195, May,1991.

GRIMM, A. M., SANTANNA, C. L. S. Influência de fases extremas da oscilação sul sobre a intensidade e frequência das chuvas no sul do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11. 2000, Rio de Janeiro-RJ. **Anais do ...** Rio de Janeiro, 2000.

GUEDES, R. L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. 1985. 89f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-IAG/Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUEDES, R. L.; MACHADO, L. A. T. Climatologia da estrutura vertical das perturbações convectivas sobre a América do Sul e adjacências. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.18, n.2, p.215-230, 2003.

GUEDES, R. L.; MACHADO, L. A. T.; SILVEIRA, J. M. B.; ALVES, M. A. S., WALTZ, R. C. Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,8. 1994. **Anais do ...** Minas Gerais-BH, 1994. v. 2, p. 77-80.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. New York: Academic Press, 1994. 411p.

HARTER, I. B. **Análise de precipitação em Pelotas - RS utilizando transformada Wavelet de Morlet**. Pelotas, 2004, 85f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: **Academic Press**, 1980. 385p.

HORIKOSH A. S.; FISH G.; Balanço hídrico atual e simulações para cenários futuros no município de Taubaté, SP, BRASIL; **REVISTA AMBI-ÁGUA**, Taubaté, V. 2, N.2, P. 33-46, 2007.

HOUZE, R.A. Mesoscale convective systems. In Cloud dynamics. **Academic Press**, v. 53, p. 334-404, 1993.

HOUZE, R.A.; BETTS, A.K. Convection in GATE. **Review Geophysical Space Physical**, v.19, p.541-576, 1981.

HULME, M.; SHEARD, N. Cenários de alterações climáticas para o Brasil, Norwich: **Climatic Research Unit**, p. 6, 1999.

IPAGRO – Instituto de Pesquisas Agronômicas. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, p.102, 1989.

JAMSTEC. Modoki ENSO: a new phenomenon is found in the Tropical Pacific. Disponível em: http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/modoki_home.html.en. Acesso em 10/03/2010.

JIRAK, I. L.; COTTON, W. R.. Environmental precursors to mesoscale convective system development. CONFERENCE ON AVIATION 11, RANGE, AND AEROSPACE AND THE 22ND CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS OPENING REMARKS, 2004, Hyannis, MA, USA. **Trabalhos online....** Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf>>. Acesso em: 20 julho 2008.

JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 11., Foz do Iguaçu, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.

KANE, R. P. Relationship between el Niño timings and rainfall extremes in NE Brazil, São Paulo city and South Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.1, p.45-57, 2000.

KOMADA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the spcz, and sacz). **Journal of the meteorological society of Japan**, (7094):813-836, 1992.

KODAMA, Y. M, Large-scale common features of Sub-Tropical Convergence Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **Journal of the meteorological society of Japan**, 71, 581-610, 1993.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos Oscilação do Sul - El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, 36(11), p.11888-11899, 1984.

KOUSKY, V. E.; VIRJI H. A entrada de um sistema frontal em latitudes baixas e seus efeitos na atividade convectiva tropical. Congresso brasileiro de Meteorologia, 2. Pelotas, RS, Vol. II, Outubro, 1982. **Anais do...** Pelotas-RS, 1982.

LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. The large-scale environments of the global populations of mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.128, p.2756-2776, 2000.

LAURENT H.; MACHADO, L.A.T.; MORALES, C.; DURIEUX, L. 2002. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment, **Journal Geophysical**, Vol. 107, (D20), 8054, 2002.

LEIVAS J. F.; BERLATO M. A.; FONTANA D. C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande/PB. v.10, n. 2, p.397-407, 2006.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Boletim Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, p. 131-134, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).

LEMOS, M. A. F.; HERNANDEZ, F. B.T.; MARQUES, S.; et al. Hidrisa: novo software para elaboração de balanço hídrico. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas-SP. **Anais do...**, Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola., 1994. p. 8.

LOCKWOOD, J. G. **World climatic systems**. Baltimore: Edward Arnold, 1985. 292p.

LOURENÇO, M. C. M.; GAN, M. A.; FERREIRA N. J. Estudo de um caso de vórtice ciclônico em altos níveis que atuou no sul da América do Sul: Parte A- Aspectos sinóticos. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9.1996 Campos do Jordão-SP, V.I, 470-473. **Anais do...** Campos do Jordão-SP, 1996.

LOZADA B. I.; ANGELOCCI L. R.; Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

MACEDO, S. R.; MACHADO, L. A. T.; VILA D.; MORALES, C.A.; LAURENT H. Monitoramento de sistemas convectivos de mesoescala atuantes no Brasil utilizando o FORTRACC (Forecast and Tracking of Active and Convective Cells). CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. 2004. Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza, 2004.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, Vol 126, 1630-1654, 1998.

MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; SILVEIRA, J. M. B.; WALTZ, R. C.; ALVES, M. A. S. Ciclo de vida de sistemas convectivos. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. Belo Horizonte, **Anais do ...** Belo Horizonte, 1994, v. 2, p. 323-326.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 4, pp. 714-725, 2004.

MADDOX, R. A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. **Monthly Weather Review**. 1980. v.108, p.1108-1121.

MADDOX, R.A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, 1983. v.121, n.5, p.1398-1416.

MARENGO, J.; ROGERS, J. Cold front and polar air outbreaks in the Americas during: modern climate assessments and impacts, and some past climate evidences. In: Markgraf, v. (Ed). **Present and past inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal effects**. New York Academic, p. 31-49, 2001.

MARIN, F. R.; PANDORFI, H.; FERREIRA, A. S. Estimativas das temperaturas máximas e mínimas médias mensais para o Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003. Santa Maria-RS. **Anais do...** Santa Maria. 2003, p.761.

MARQUES, J. R. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 2005. 209f. Tese (Doutorado-Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MATHON, V.; LAURENT, H. 2001. Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, vol. 127, 377-406, 2001.

MATZENAUER R.; VIANA D. R.; BUENO A. C.; MALUF J. R. T.; CARPENEDO C. B. Regime Anual e Estacional De Chuvas No Rio Grande Do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju-SE, 2007. **Anais do...**, Aracaju-SE, 2007

MENDES D.; MENDES M. D.; climatology of cyclones, anticyclones and storm tracks: revision of concepts. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2004. v. 22(2), p.127- 134.

MINTZ, Y.; SERAFINI, Y. V. A global monthly climatology of soil moisture and water balance. **Climate Dynamics**, v. 8, n. 1, p. 13-27, Oct. 1992.

MONTEITH, J. L. Evaporation and surface temperature. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 87, p. 159-170, 1981.

MONTEITH, J. L. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1973. 241p.

MOREL, C.; SENESI, S., 2002: A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery. I: Methodology. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v.128, p.1953–1971. 2002.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M. I. C.; GARCEZ, J. R. B. Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: **Normais agroclimáticas**. Pelotas: 1971. 80p. (Circular nº50).

NICOLINI, M.; SAULO, A.C.; TORRES, J.C.; SALIO, P. Enhanced precipitation over Southeastern South América related to strong low-level jet events during austral warm season. *Meteorologica*, Special Issue for the South American Monsoon System, v.27, p.59-69, 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2.ed,1989. 421p.

NUNES E. L.; AMORIM R. C. F.; SOUZA W. G. S.; RIBEIRO A.; SENNA M. C.; LEAL B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a bacia do rio doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 297-302, 2007.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. 1986. 134p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PAEGLE, J. Interactions between convective and large-scale motions over Amazonia. In: Dickinson, ed. **Geophysiology of Amazonia: vegetation and climate interactions**, New York: R. Wiley, 1987. p. 347-390.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc. London**, v. 193, n. A, p. 120-146, 1948.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. J. Agric. Sci.**, v. 4, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P. An analysis of the criticism of Thornthwaite's equation for estimating potential evapotranspiration. **Agriculture Forest Meteorological**, v. 46, n. 1-2, p. 149-157, Apr. 1989.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. O Jato Subtropical Sobre a América do Sul no Período de 1980 a 1989. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 2. Belo Horizonte, 1994. **Anais do...** Cachoeira Paulista: INPE, 1994. v. 2, p. 148-151.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Journal of Climate**, v.11, p.205-212, 2001

PEZZI, L. P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. A corrente de jato sobre a América do Sul. **Boletim Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).

PISCIOTTANO, G.; DÍAZ, A.; GAZES, G.; MECHOSO, C.R. Rainfall anomalies in Uruguay associated with the extreme phases of the El Niño / Southern Oscillation phenomenon. **Journal of Climate**, v. 7, n. 8, p. 1286-1302, 1994.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, p. 81-92, 1972.

PUCHALSKI, L. A. **Efeito associado ao El niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Rio Grande do Sul**. 2000. 100f. Dissertação (Mestrado Agrometeorologia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N.N.M.; SAMPAIO, G. Climatologia de Precipitação e Temperatura. **Boletim Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** 1994. 123f. Dissertação (Mestrado Meteorologia) - INPE – 6341 – TDL / 593, São Paulo, 1994.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and applied climatology**, v.42(2), p. 81-92, 1990.

RASMUSSEN, E.M.; MO, K.C. Large-scale atmospheric moisture cycling as evaluated from NMC global analysis and forecast products. **Journal of Climate**, v. 9, n.12, p. 3276-3297, 1996.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole 1987. 188p

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI V. Planilhas no ambiente exceltm para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil.** Dissertação de mestrado – São José dos Campos: INPE, 2001. 145p. – (INPE-8915-TDI/809).

ROUX, F. The west-african squall line observed on 23 June 1981 during COPT81. Kinematics and thermodynamics of the convective region. **J. Atmos. Sci.**, v.45, p.406-426, 1988.

SANSIGOLO, C.; RODRIGUEZ, R.; ETCHICHURY, P. Tendências nas temperaturas médias do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7. 1992, São Paulo. **Anais do...** São Paulo, 1992.

SARAIVA, J. B.; DIAS, P. L. S. Ciclogênese no litoral sul do Brasil - Estudo de caso. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9. 1996, Campos do Jordão-SP. v. 1. p. 779-782. **Anais do...** Campos do Jordão-SP, 1996.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Topics: South America. **Meteorological Monographs**, v.27, n.49, p.119-139, 1998.

SAULO, A.C.; NICOLLINI, M.; CHOU, S.C. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-1998 spring summer season. **Climate Dynamic**, v. 16, n. 10-11, p. 867-881, 2000.

SCAGLIONI, T. P.; SARAIVA, J. M. B. Climatologia dos sistemas precipitantes frequentes no inverno, atuantes no RS. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. 2005, Campinas-SP. **Anais do...** Campinas-SP, 2005.

SELUCHI, M. E. Diagnóstico y pronóstico de situaciones sinópticas conducentes a ciclogénesis sobre el este de sudamérica, **Revista geofísica internacional**, 1995. v. 34,2, p.171-186

SELUCHI, M.E.; SERAFINI, Y.V.; LE TREUT, H. The Impact of the Andes on Transient Atmospheric Systems: a comparision between observations and GCM results. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 4, p. 895-912, Apr. 1998.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balances hídricos climatológicos do Brasil**. Piracicaba, ESALQ-USP, 1999. CD-ROM.

SEVERO, D. L., GAN, M. A., FERREIRA, N. J. Estudo de um caso de chuvas intensas associado a enchentes na região do Vale do Itajai, em Santa Catarina. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, Belo Horizonte, 1994. **Anais do...**v. 2, p. 561-564, 1994.

SIGNORINI E.; FEDOROVA N.; SILVA R. S.; Encontro entre um ciclone térmico e um sistema frontal parte i: análise sinótica e análise da temperatura. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10. 1998 Brasília. **Anais do...** Brasília, 1998

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo à Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol 2, p.133-15, 1987.

SILVA DIAS, P. L. As anomalias globais observadas em fevereiro e a previsão de medio e longo prazo. **Boletim climanálise**, 1 (2):32-33, fevereiro 1988.

SILVA DIAS, P. L.; ETCHICHURI, P.; SCOLAR, J.; PEREIRA FILHO, A. J.; SATYAMURTY, P.; DIAS, M. A. F. S. As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. **Boletim climanálise**, 6(5): 44-59. maio 1991.

SILVA, J. U. L. Balanço hídrico na região de Guaratinguetá. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, 27. 2000. São Paulo- Brasil. **Anais do...** São Paulo- Brasil, 2000.

SILVA, L. M. P.; MARCELINO, B.C.; LIMA, M. V.; SIAS, E. K. Balanço hídrico para diferentes locais do Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10. 1998, Brasília. **Anais do...** Brasília, 1998.

SILVA, M. A. V.; REIS, A. C. S. **Meteorologia**. Recife: s. ed., 1990. 454p.

SINCLAIR M. R.; A climatology of cyclogenesis for the southern hemisphere. **Monthly weather review**, v123, 1995.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988. 666p.

SUGAHARA S. Aspectos de grande escala da variação intrasazonal da radiação de onda longa emergente na região de São Paulo. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7. 1992. São Paulo-SP. **Anais do...** São Paulo-SP.

SUGAHARA S. Variação anual da frequência de ciclones no Atlântico Sul CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11. 2000. Rio de Janeiro-RJ. **Anais do...** Rio de Janeiro-RJ, 2000.

TEIXEIRA A. H. C.; AZEVEDO P. V.; Zoneamento agroclimático para a videira europeia no estado de Pernambuco, Brasil.; **Revista Brasileira De Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.

THORNTON, C. W. The moisture factor in climate. **Am. Geophys Union Trans.**, v. 27, p. 41-48, 1946.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTON, C. W.; MATTER, J. R. **The water balance**. Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Technology, p. 104, 1955.

TOLEDO, L. B.; ROLIM, P. A. M.; Neves, D. G.; Braga, A. P.; Nascimento, M. J. C.; Santos, D. N.; Lima, K. C. Balanço hídrico de Altamira-PA. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12. 2002 Foz do Iguaçu- PR. **Anais do...** Foz do Iguaçu- PR, 2002.

TOMASELLA, J.; ROSSATTO, R.. **Balanço Hídrico**. INPE-13140-PRE/8399, 2005 12p.

TORRES, J. C. **Sistemas Convectivos en Mesoescala Altamente Precipitantes en el Norte y Centro de Argentina**. Tese de doutorado. FCEyN-UBA, 2003.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva. Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. 1ª ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1983. 374p .

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed., Editora da Universidade, 1993. p. 943.

UCCELINI, L. W.; JOHNSON, D.R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective storms. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 682-703, 1979.

VELASCO I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v.92, n.D8, p.9591-9613, Aug. 1987

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora da UFV. 2000. p. 448.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1991. 449p.

VICTÓRIA, R.; MARTINELLI, L.; MORAES, J.; BALLESTER, M. V.; KRUSHCHE, A.; PELLEGRINO, G.; ALMEIDA, R.; RICHEY, J. Surface air temperature variations in the Amazon región and its border during this century. **Journal Climatic**, v.1, p. 1105-1110, 1998.

VILA, D. A.: **Sistemas Convectivos Precipitantes de Mesoescala sobre Sudamerica: ciclos de vida e circulación en gran escala asociada**. Tese de Doutorado. FCEyN-UBA, 2004.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; VELASCO, I.; MACEDO, S.R. Los sistemas convectivos de mesoescala sobre la cuenca Del Plata: La Técnica FORTRACC. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 2004, Brasilia-DF. **Anais do...** Brasilia-DF, 2004.

VILA, D. A. **Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy mesoscale convective systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)**. Ph.D. thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, p.132, 2005.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. **Wea. Forecasting**, v. 23, p.233–245, 2008.

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. **Evaporação/Evapotranspiração de um ecossistema e suas relações com o meio ambiente**. Ramos, F. ed. Engenharia Hidrológica, Rio de Janeiro, ABRH, v. 2, p. 145-197, 1989. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

VILLAGRA, M. M.; BACCHI, O. O. S.; TUON, R. L.; REICHARDT, K. Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 72, p. 317-325, 1995.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over south america estimated from clouds winds. **Monthly Weather Review**, v.109, p.167-178, 1981.

WANG, G.; HENDON H. H.; Sensitivity of Australian rainfall to inter El Niño variations. **Journal Climatic**. v. 20, p. 4211-4226, 2007.

WENG, H.; ASHOK, K., BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; YAMAGATA, T. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal Summer. **Climate Dynamics**, 29, p. 113-129, 2007.

WILLIAMS, M.; R. A. HOuze Jr., Satellite-observed characteristics of winter monsoon cloud clusters. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 505–519, 1987.

WILLMOTT, C. J.; ROWE C.M.; MINTZ Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, 1985. v. 5, p. 589-606.

ZIPSER, E.J.; SALIO, P.; NICOLI, M. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. **CLIVAR, Exchanges –Scientific Contributions**. n. 29, march 2004.

Apêndices

APÊNDICE A - Componentes do BHC do período de 1977 a 2006 (BHC30anos) para a Metade Norte do Estado, para os trimestres JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	19,64	427,29	274,20	153,09	0,00	153,09
Caxias do Sul	21,72	409,78	309,51	100,25	0,00	100,25
Cruz Alta	23,44	422,71	344,13	78,58	0,00	78,58
Iraí	25,46	445,86	402,87	42,99	0,07	43,64
Passo Fundo	22,49	415,82	320,75	95,07	0,00	95,07
Santa Maria	24,59	438,69	379,09	59,60	0,00	59,60
São Luiz Gonzaga	25,69	476,12	413,68	62,43	0,00	62,43
Torres	23,35	429,87	287,71	142,17	0,00	142,20
Total	23,30	3466,14	2731,95	734,17	0,07	734,86

Período temperado frio (AMJ)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	13,60	363,32	130,31	233,01	0,00	233,01
Caxias do Sul	15,47	439,43	141,29	298,14	0,00	298,14
Cruz Alta	16,89	470,91	150,16	320,74	0,00	320,74
Iraí	18,42	456,91	162,90	294,01	0,00	293,43
Passo Fundo	16,22	436,77	145,55	291,21	0,00	291,21
Santa Maria	17,29	473,12	150,79	322,34	0,00	322,34
São Luiz Gonzaga	18,58	519,21	163,74	355,48	0,00	355,47
Torres	17,89	323,75	102,18	221,57	0,00	221,50
Total	16,79	3483,42	1146,92	2336,50	0,00	2335,84

Período frio (JAS)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	12,36	439,76	114,52	325,23	0,00	325,23
Caxias do Sul	14,13	483,40	122,85	360,55	0,00	360,55
Cruz Alta	15,46	475,86	126,90	348,95	0,00	348,95
Iraí	17,31	411,82	142,08	269,74	0,00	269,74
Santa Maria	15,89	435,92	127,78	308,14	0,00	308,14
Passo Fundo	14,98	470,47	126,65	343,83	0,00	343,83
São Luiz Gonzaga	17,20	427,49	137,62	289,87	0,00	289,87
Torres	15,63	375,72	58,82	316,89	0,00	316,90
Total	15,37	3520,44	957,23	2563,20	0,00	2563,21

Período temperado quente (OND)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	17,32	448,49	227,56	220,93	0,00	220,93
Caxias do Sul	19,17	487,67	253,37	234,30	0,00	234,30
Cruz Alta	21,55	517,96	293,18	224,80	0,00	224,80
Iraí	23,49	517,55	338,62	178,93	0,00	178,93
Santa Maria	22,08	455,44	316,47	138,97	0,00	138,97
Passo Fundo	20,66	525,72	271,26	254,45	0,00	254,45
São Luiz Gonzaga	23,60	539,35	339,43	199,92	0,00	199,91
Torres	20,45	378,55	188,51	190,05	0,00	190,10
Total	21,04	3870,72	2228,39	1642,35	0,00	1642,39

APÊNDICE B - Componentes do BHC do período de 1977 a 2006 (BHC30anos) para a Metade Sul do Estado, para os trimestres JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	23,47	391,33	352,31	39,02	1,62	27,55
Encruzilhada do Sul	22,83	356,67	335,23	21,44	0,47	19,89
Pelotas	23,21	382,26	344,91	37,30	4,20	34,90
Porto Alegre	25,05	310,31	393,02	-82,72	40,00	0,00
Rio Grande	23,40	345,70	348,85	-3,14	11,72	0,00
Santa Vitória do Palmar	22,38	354,59	331,30	23,29	14,34	13,04
Santana do Livramento	23,21	385,69	345,67	40,02	2,50	31,26
Uruguaiana	24,98	453,79	393,01	60,78	8,57	41,49
Total	23,56	2980,33	2844,29	135,99	83,41	168,13

Período temperado frio (AMJ)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	15,98	443,56	139,50	304,07	0,00	304,07
Encruzilhada do Sul	15,85	421,86	141,94	279,92	0,00	279,92
Pelotas	16,38	353,76	147,07	206,70	0,00	206,70
Porto Alegre	18,06	366,39	161,66	204,71	0,00	137,90
Rio Grande	16,66	325,88	149,55	176,33	0,00	150,82
Santa Vitória do Palmar	15,31	339,43	138,52	200,92	0,00	200,92
Santana do Livramento	15,76	414,35	138,03	276,34	0,00	276,34
Uruguaiana	17,08	433,68	146,72	286,96	0,00	286,96
Total	16,39	3098,92	1162,98	1935,95	0,00	1843,63

Período frio (JAS)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	14,37	362,75	116,18	246,57	0,00	246,57
Encruzilhada do Sul	14,00	433,61	114,96	318,65	0,00	318,65
Pelotas	14,27	367,94	115,43	252,60	0,00	252,60
Porto Alegre	16,29	400,14	130,74	269,40	0,00	269,30
Rio Grande	14,57	352,61	117,28	235,33	0,00	235,33
Santa Vitória do Palmar	13,07	343,80	107,37	236,43	0,00	236,43
Santana do Livramento	14,16	330,04	114,86	215,18	0,00	215,18
Uruguaiana	15,52	235,96	121,30	114,66	0,00	114,66
Total	14,53	2826,85	938,12	1888,83	0,00	1888,73

Período temperado quente (OND)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	20,57	366,94	290,00	76,94	0,94	90,96
Encruzilhada do Sul	20,03	399,51	278,43	121,07	0,02	123,11
Pelotas	20,16	320,81	280,01	40,80	0,20	47,70
Porto Alegre	22,15	353,28	318,11	35,17	3,50	62,80
Rio Grande	20,51	277,82	286,81	-8,99	7,60	32,70
Santa Vitória do Palmar	18,88	267,84	261,32	6,52	3,63	34,73
Santana do Livramento	20,54	382,37	290,45	91,93	0,69	103,87
Uruguaiana	22,41	409,24	327,41	81,83	4,79	114,48
Total	20,66	2777,81	2332,55	445,27	21,38	610,36

APÊNDICE C - Componentes do BHC do ano de 2006 (BHA) para a Metade Norte do Estado, para os trimestres JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	19,87	322,80	273,95	48,85	0,26	56,15
Caxias do Sul	21,90	498,20	310,88	187,32	0,00	158,30
Cruz Alta	24,03	425,50	359,08	66,42	41,00	102,88
Iraí	26,00	398,10	424,50	-26,40	20,89	42,12
Santa Maria	25,30	323,40	402,73	-79,30	59,00	0,00
Passo Fundo	22,80	407,90	326,59	81,31	0,00	63,08
São Luiz Gonzaga	26,38	498,50	442,67	55,80	21,00	76,90
Torres	22,82	405,40	267,56	137,84	0,00	124,70
Total	23,64	3279,80	2807,96	471,84	142,15	624,13

Período temperado frio (AMJ)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	13,17	202,80	117,76	85,04	0,67	78,67
Caxias do Sul	15,07	339,70	130,47	209,23	0,88	210,12
Cruz Alta	17,22	320,50	147,48	173,02	0,00	173,02
Iraí	18,58	175,00	156,82	18,18	14,08	0,00
Santa Maria	17,32	228,10	143,32	84,80	0,50	11,30
Passo Fundo	16,00	259,30	134,94	124,36	0,15	124,51
São Luiz Gonzaga	18,85	228,20	160,26	68,00	1,40	69,40
Torres	15,97	240,90	71,37	169,53	0,00	169,60
Total	16,52	1994,50	1062,42	932,16	17,68	836,62

Período frio (JAS)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	13,60	373,10	126,95	246,15	0,00	246,15
Caxias do Sul	15,17	396,00	134,67	261,33	0,00	261,33
Cruz Alta	16,63	311,50	137,67	173,83	0,00	173,83
Iraí	18,38	326,70	154,25	172,45	0,00	157,08
Santa Maria	16,90	335,80	137,08	198,70	0,00	198,70
Passo Fundo	15,95	392,80	136,65	256,15	0,00	256,15
São Luiz Gonzaga	18,60	345,00	155,34	189,70	0,00	189,70
Torres	16,17	234,40	65,55	168,85	0,00	168,90
Total	16,43	2715,30	1048,16	1667,16	0,00	1651,84

Período temperado quente (OND)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bom Jesus	18,58	372,40	249,53	122,87	4,44	127,32
Caxias do Sul	19,98	336,30	271,22	65,08	6,34	100,44
Cruz Alta	22,80	555,80	325,11	230,69	0,11	235,34
Iraí	24,63	483,00	376,65	106,35	0,29	106,64
Santa Maria	23,17	427,70	348,87	78,80	23,30	155,80
Passo Fundo	21,85	513,10	298,62	214,48	1,90	234,61
São Luiz Gonzaga	24,57	691,30	371,05	320,20	0,00	320,20
Torres	20,63	320,20	194,28	125,92	0,90	140,00
Total	22,03	3699,80	2435,33	1264,39	37,28	1420,35

APÊNDICE D - Componentes do BHC do ano de 2006 (BHA) para a Metade Sul do Estado, para os trimestres JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	23,68	279,40	358,21	-78,70	37,70	1,70
Encruzilhada do Sul	23,72	202,30	357,32	-155,00	76,20	0,00
Pelotas	23,47	341,20	351,10	-9,90	7,10	0,00
Porto Alegre	25,52	344,30	409,99	-65,69	37,90	0,00
Rio Grande	23,92	385,50	362,37	23,13	11,82	0,00
Santa Vitória do Palmar	22,38	373,00	330,11	42,89	49,64	17,53
Santana do Livramento	24,90	123,50	392,79	-269,29	176,07	0,00
Uruguaiiana	26,08	143,00	431,87	-288,87	194,44	0,00
Total	24,21	2192,20	2993,76	-801,43	590,87	19,23

Período temperado frio (AMJ)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	15,57	246,90	131,31	115,70	0,00	51,90
Encruzilhada do Sul	15,98	285,40	137,13	148,30	0,00	69,50
Pelotas	16,18	149,80	139,29	10,51	7,50	15,20
Porto Alegre	18,20	256,10	156,74	99,36	43,70	76,90
Rio Grande	16,82	178,30	146,79	31,51	4,25	25,90
Santa Vitória do Palmar	15,12	212,10	131,66	80,44	2,50	82,93
Santana do Livramento	15,83	304,40	133,06	171,34	0,00	78,11
Uruguaiiana	17,10	347,20	141,80	205,40	0,00	110,97
Total	16,35	1980,20	1117,78	862,56	57,95	511,41

Período frio (JAS)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	14,50	203,80	115,75	88,10	0,00	88,10
Encruzilhada do Sul	14,83	403,40	119,28	284,10	0,00	284,10
Pelotas	15,00	277,80	121,61	156,19	0,00	156,20
Porto Alegre	17,23	240,40	139,48	100,92	0,00	100,90
Rio Grande	15,33	298,30	122,66	175,64	0,00	175,64
Santa Vitória do Palmar	13,97	266,90	116,79	150,11	1,84	169,91
Santana do Livramento	14,35	194,50	109,10	85,40	0,00	85,40
Uruguaiiana	15,92	156,00	120,39	35,61	0,00	35,61
Total	15,14	2041,10	965,06	1076,07	1,84	1095,86

Período temperado quente (OND)						
Estação meteorológica	Tm	P	ETP	P-ETP	Def	Exc
Bagé	21,13	344,20	305,09	39,10	4,00	64,00
Encruzilhada do Sul	21,17	524,40	303,61	220,80	0,00	220,80
Pelotas	21,12	321,80	303,90	17,90	3,80	21,80
Porto Alegre	23,32	295,80	353,60	-57,80	19,40	0,00
Rio Grande	21,42	261,30	309,17	-47,87	14,82	11,77
Santa Vitória do Palmar	19,70	160,50	279,36	-118,86	61,81	0,00
Santana do Livramento	21,37	409,00	307,21	101,79	0,00	101,79
Uruguaiiana	23,12	503,20	345,42	157,78	0,00	157,78
Total	21,54	2820,20	2507,36	312,84	103,83	577,94

APÊNDICE E – Anomalia dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para a Metade Norte do RS, para os trimestres de JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bom Jesus	-104,49	-104,24	0,26	-96,94
Caxias do Sul	88,42	87,07	0,00	58,05
Cruz Alta	2,79	-12,16	41,00	24,30
Iraí	-47,76	-69,39	20,82	-1,52
Passo Fundo	-7,92	-13,76	0,00	-31,99
Santa Maria	-115,29	-138,90	59,00	-59,60
São Luiz Gonzaga	22,38	-6,63	21,00	14,47
Torres	-24,47	-4,33	0,00	-17,50

Período temperado frio (AMJ)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bom Jesus	-160,52	-147,97	0,67	-154,34
Caxias do Sul	-99,73	-88,91	0,88	-88,02
Cruz Alta	-150,41	-147,72	0,00	-147,72
Iraí	-281,91	-275,83	14,08	-293,43
Passo Fundo	-177,47	-166,85	0,15	-166,70
Santa Maria	-245,02	-237,54	0,50	-311,04
São Luiz Gonzaga	-291,01	-287,48	1,40	-286,07
Torres	-82,85	-52,04	0,00	-51,90

Período frio (JAS)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bom Jesus	-66,66	-79,08	0,00	-79,08
Caxias do Sul	-87,40	-99,22	0,00	-99,22
Cruz Alta	-164,36	-175,12	0,00	-175,12
Iraí	-85,12	-97,29	0,00	-112,66
Passo Fundo	-77,67	-87,68	0,00	-87,68
Santa Maria	-100,12	-109,44	0,00	-109,44
São Luiz Gonzaga	-82,49	-100,17	0,00	-100,17
Torres	-141,32	-148,04	0,00	-148,00

Período temperado quente (OND)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bom Jesus	-76,09	-98,06	4,44	-93,61
Caxias do Sul	-151,37	-169,22	6,34	-133,86
Cruz Alta	37,84	5,89	0,11	10,54
Iraí	-34,55	-72,58	0,29	-72,29
Passo Fundo	-12,62	-39,97	1,90	-19,84
Santa Maria	-27,74	-60,17	23,30	16,83
São Luiz Gonzaga	151,95	120,28	0,00	120,29
Torres	-58,35	-64,13	0,90	-50,10

APÊNDICE F – Anomalia dos componentes do BH de 2006 em relação ao BHC (1977 a 2006) para a Metade Sul do RS, para os trimestres de JFM, AMJ, JAS e OND.

Período quente (JFM)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bagé	-111,93	-117,72	36,08	-25,85
Encruzilhada do Sul	-154,37	-176,44	75,73	-19,89
Pelotas	-41,06	-47,20	2,90	-34,90
Porto Alegre	33,99	17,03	-2,10	0,00
Rio Grande	39,80	26,27	0,10	0,00
Santa Vitória do Palmar	18,41	19,60	35,30	4,49
Santana do Livramento	-262,19	-309,31	173,57	-31,26
Uruguaiana	-310,79	-349,65	185,87	-41,49

Período temperado frio (AMJ)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bagé	-196,66	-188,37	0,00	-252,17
Encruzilhada do Sul	-136,46	-131,62	0,00	-210,42
Pelotas	-203,96	-196,19	7,50	-191,50
Porto Alegre	-110,29	-105,35	43,70	-61,00
Rio Grande	-147,58	-144,82	4,25	-124,92
Santa Vitória do Palmar	-127,33	-120,48	2,50	-117,99
Santana do Livramento	-109,95	-105,00	0,00	-198,23
Uruguaiana	-86,48	-81,56	0,00	-175,99

Período frio (JAS)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bagé	-158,95	-158,47	0,00	-158,47
Encruzilhada do Sul	-30,21	-34,55	0,00	-34,55
Pelotas	-90,14	-96,41	0,00	-96,40
Porto Alegre	-159,74	-168,48	0,00	-168,40
Rio Grande	-54,31	-59,69	0,00	-59,69
Santa Vitória do Palmar	-76,90	-86,32	1,84	-66,52
Santana do Livramento	-135,54	-129,78	0,00	-129,78
Uruguaiana	-79,96	-79,05	0,00	-79,05

Período temperado quente (OND)				
Estação meteorológica	P	P-ETP	DEF	EXC
Bagé	-22,74	-37,84	3,06	-26,96
Encruzilhada do Sul	124,89	99,73	-0,02	97,69
Pelotas	0,99	-22,90	3,60	-25,90
Porto Alegre	-57,48	-92,97	15,90	-62,80
Rio Grande	-16,52	-38,88	7,22	-20,93
Santa Vitória do Palmar	-107,34	-125,38	58,18	-34,73
Santana do Livramento	26,63	9,86	-0,69	-2,08
Uruguaiana	93,96	75,95	-4,79	43,30

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)