



## A climatologia e monitoramento da precipitação no noroeste do Rio Grande do Sul

**Michel Nobre Muza<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Associação Catarinense de Meteorologia (michel.muza@pq.cnpq.br)

### **Resumo**

Este trabalho apresenta o monitoramento contínuo da variabilidade hidrológica para diagnóstico da precipitação de médio e longo período. A área de estudo é o noroeste do estado brasileiro do Rio Grande do Sul no período de 1961 até os dias atuais. Uma análise da climatologia regional é investigada em períodos sazonais distintos. Os resultados mostram um padrão de precipitação acumulada acima da climatologia tanto em períodos sazonais mais recentes como nos últimos anos.

Palavras-chave: acumulado de precipitação, variabilidade de precipitação.

Área Temática: Recursos Hídricos

### **The climatology and monitoring of precipitation in the northwest of State of Rio Grande do Sul**

#### ***Abstract***

*This work presents the continuous monitoring of hydrological variability for the diagnosis of medium and long term from precipitation. The study area is the northwest of the Brazilian state of Rio Grande do Sul from 1961 to the present day. An analysis of regional climatology is investigated in distinct seasonal periods. The results show the accumulated actual precipitation pattern above the climatology both in the most recent seasonal and interannual periods.*

*Key words:* Accumulated Precipitation.

*Theme Area:* Water resources



## 1 Introdução

O clima do Rio Grande do Sul (RS) têm as características da zona subtropical, semelhantemente a todo o sul do Brasil. Como fator regulador do clima, há a marcada influência latitudinal de transição entre a zona tropical e médias latitudes, moldadas longitudinalmente pelo contraste continente-oceano bem como a influência do planalto meridional do sul do país, integrando a Serra Gaúcha. As estações do ano são consideradas bem definidas, principalmente pela mudança sazonal da temperatura do ar. Por outro lado, a vegetação natural não demonstra uma sazonalidade tão evidente na mudança de coloração, como ocorre em latitudes mais altas no Hemisfério Norte (WALLACE AND HOBBS, 2006). Em macro escala a principal característica que altera o clima do RS e causa sua variabilidade climática é o deslocamento e alternância de massas de ar frio ou quente, juntamente as suas respectivas frentes (CAVALCANTI ET AL. 2009). Em macro escala o oeste do RS é parte da área hidrográfica do Rio da Prata por meio da Bacia do Rio Uruguai, e integra o clima da região central da América do Sul, que sofre a influência da formação de massas de ar quente, na qual atuam e se deslocam desta região. Além disso, a baixa pressão formada termicamente na região do Chaco entre Argentina e Paraguai, algumas vezes é associada à outra baixa térmica no norte da Argentina relacionada ao Vento Fohen quente e seco que desce a Cordilheira dos Andes (SELUCHI, 2003). Não só o oeste, mas o sul do Brasil como um todo, o principal fator para a variação e aumento no conteúdo de umidade do ar provém da Amazônia (NOGUÉS-PAEGLE and MO, 1997). Esta umidade vem associada a um fluxo de vento intenso a aproximadamente 1500 m de altura conhecido como Jato de Baixos Níveis, que tem o papel de aumentar a disponibilidade de vapor da água e assim, intensificar as frentes e as tempestades, estas últimas de intensa convecção atmosférica. A soma destas características da variabilidade climática são os fatores responsáveis pela precipitação subtropical abundante e de certa forma bem distribuída durante o ano. Outros elementos têm seu papel na determinação do clima da região, como o vento intenso da corrente de jato subtropical em altos níveis troposféricos, que climatologicamente encontra-se sobre o sul do Brasil aproximadamente em 30°S. Além disso, a influência de bloqueios atmosféricos menos periódicos que as frentes, ou ainda teleconexões remotas de oscilações de baixa frequência como El Niño e La Niña, oscilações intrazonais tropicais ou influências sazonais atmosféricas do pólo sul são elementos que compõem a variabilidade climática e contribuem para a climatologia observada do RS.

Em análises de séries temporais climatológicas muitas vezes encontramos uma variação anual dependente da sazonalidade na qual se deseja investigar sua variação ou subtraí-la, pois esse ciclo é bem conhecido e o interesse pode ser analisar as anomalias das ocorrências diárias das variáveis. Além disso, a análise do ciclo anual climatológico pode ser usada como um parâmetro de referência para o monitoramento climático, por exemplo, inferindo sobre a determinação da precipitação acima ou abaixo de sua climatologia. Neste contexto, pesquisas prévias tiveram o intuito de entender o papel de outras escalas temporais na modulação da precipitação ao longo do tempo (MUZA ET AL, 2009). As normais climatológicas são médias históricas compreendidas, por exemplo, no período mais recente de janeiro de 1961 a dezembro de 1990 das estações meteorológicas de superfície, dentre aquelas em operação segundo conceituação e procedimentos da Organização Meteorológica Mundial (WMO, documento WCDP Nº. 10). O procedimento de média de 30 anos suaviza de forma preponderantemente a variabilidade diária comum em variáveis meteorológicas correspondente a gama de efeitos de variabilidade de alta a baixa frequência. É preconizado que as normais são médias em períodos consecutivos, contudo, tem se tornado prática calcular as médias para outros períodos em atenção a tendências observadas nos dados de longo período. Entretanto, a média é uma medida que pode apresentar-se influenciada por valores de



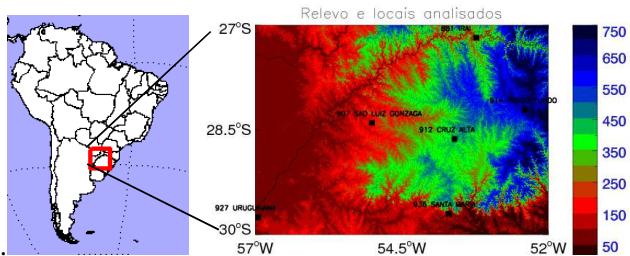
eventos extremos. Neste caso, o uso da mediana contribui para amenizar este problema. A análise estocástica aplicada para fins de estudos climatológicos determina que o comportamento de séries temporais possa ser estimada por uma conjunto de dados de uma variável associada a sua distribuição de probabilidades, que descreve as propriedades estatísticas da mesma (WILKS, 1995).

O objetivo deste estudo é a realização de consistência e monitoramento das séries temporais de precipitação em áreas de estudo de interesse com a finalidade de realizar o monitoramento da inclinação da precipitação em relação a sua climatologia um para diversos fins dos setores agrícolas e de gestão de recursos hídricos.

## 2 Dados meteorológicos e metodologia

Este trabalho utilizou dados de precipitação (mm/dia) provenientes de seis estações meteorológicas (EM) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sobre a mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul (Fig. 1). O período investigado é de 1961 até o presente (15 de novembro de 2017, aproximadamente 57 anos), equivalente a uma série temporal de mais de 20760 dados diários, com exceção aos dados faltantes (Tabela 1). Por essa razão, uma série longa é relevante para compensá-los e para consideração de processos estocásticos.

Figura 1 – Área de estudo com locais analisados e mapa de relevo do WorldClim.



A tendência em séries temporais indica uma variação de longo período, podendo ser oscilações seculares do clima, efeitos globais ou locais, antropogênicos ou naturais, por exemplo, urbanização ou mudanças do uso do ambiente na área de medição. São condições indesejadas, pois apresentam ciclos incompletos devido à limitação do período de dados ou é parte de uma variabilidade ou mudança desconhecida. Os parâmetros estatísticos, linear ( $A$ ) e angular ( $Bx$ ) de um modelo linear,  $y = A + Bx$  foram calculados pelo método combinado de minimização do erro do chi-quadrado, sendo o parâmetro  $Bx$  a tendência.

A precipitação aqui analisada exibem variações sazonais chamadas aqui de ciclo anual. O ciclo anual médio corresponde à climatologia. Para obter o ciclo anual médio, primeiramente foi calculada a média diária para cada dia do ano variando de 1 a 365 dias. Anos bissextos foram calculados a média de 28 e 29 de fevereiro. Em geral, quando executamos esse procedimento, devido ao reduzido número de anos, o ciclo anual médio apresenta oscilações que são o resultado de variabilidades interanuais, as quais não são suavizadas pelo simples processamento da média aritmética. Além disso, a média é corrompida pelos valores extremos, por isso, em alguns casos se faz o uso da mediana, mas que ainda assim não é suficiente para compor um ciclo anual alisado.

Um método robusto foi usado para calcular o ciclo anual, obtendo as transformadas de Fourier discretas, descrito detalhadamente em Wilks (1995). Este procedimento consiste do cálculo dos coeficientes  $A_k$  e  $B_k$  através das equações (1) e (2), respectivamente.

$$A_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos\left(\frac{2\pi k t}{n}\right) \quad (1)$$

$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin\left(\frac{2\pi k t}{n}\right) \quad (2)$$

$$C_k = \left( A_k^2 + B_k^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

Onde,  $k$  são as funções harmônicas,  $n$  o tamanho da amostra (365 dias),  $t$  conjunto de pontos no tempo,  $y$  a série do ciclo anual médio. Através dos coeficientes são encontradas a amplitude  $C_k$  (eq. 3) e a fase  $\Phi$  (eq. 4).



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

$$\phi_i = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i} & A_i > 0 \\ \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i} \pm \pi, \text{ ou } \pm 180^\circ & A_i < 0 \\ \frac{\pi}{2}, \text{ ou } 90^\circ & A_i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$y_t = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left( C_k \cos\left(\frac{2\pi k t}{n} - \phi_k\right) \right) \quad (5)$$

Assim, obtém-se uma nova série  $y_t$  (eq. 5) representada através dos  $n/2$  harmônicos. A representação do ciclo anual médio na análise de Fourier pode ser calculada para  $n/2$  funções harmônicas, mas como o interesse é a suavização do ciclo anual para análise da climatologia, utilizaram-se apenas os primeiros harmônicos, na qual o primeiro, ou harmônico fundamental corresponde a uma onda cosseno representando o ciclo anual, que é a menor ou mais baixa frequência analisada. Em contraponto a esta metodologia, foi considerado para comparação um filtro com pesos 1-2-1 (filtro1-2-1 =  $[y(t-1)+2.y(t)+y(t+1)/4]$ ) executando  $x$  vezes, dependendo da análise do comportamento do ciclo anual alisado resultante. Testes de sensibilidade indicaram a utilização execução de  $x1000$  para suavizar a média da precipitação.

### 3 Resultados e discussão

A localização e tendência dos locais analisados encontram-se na Tabela 1, que mostra que os mesmos têm semelhantes amplitudes de  $A$ , valores são aproximadamente 3 a 5 mm/dia, indicando uma similar dispersão dos dados em relação à reta de tendência do modelo linear ajustado. Os coeficientes angulares  $Bx$  foram positivos, sendo maiores em São Luiz Gonzaga e Cruz Alta. Estes valores se alteram levemente quando considerado séries temporais parciais em diferentes décadas, dentro do período de dados analisados, bem como os parâmetros estatísticos da média e desvio padrão, ou ainda, se desconsiderado os dados sem precipitação (zeros). Ou seja, os coeficientes se alteram em ordem menor do que dez vezes o valor apresentado, considerando toda a série de dados disponível. Desta forma, as séries de dados analisados aqui podem ser assumidas estacionárias. Ainda assim, utilize-se o procedimento de remover a tendência, embora esta seja fraca na qual as propriedades estatísticas não se modificam abruptamente ao longo do tempo, na qual considera-se em equilíbrio estatístico.

Tabela 2 - Localização e altitude das estações meteorológicas utilizadas, total de período temporal disponível (em anos) e coeficientes da função linear  $y = A + B.x$  das séries de precipitação diária com período de 57 anos (1961 a novembro de 2017).

EM	Local	Lat	Lon	Alt (m)	Anos	A	Bx
1	SAO LUIZ GONZAGA	-27,58	-48,56	245,1	49,2	5.0	$9,1 \times 10^{-5}$
2	CRUZ ALTA	-28,30	-49,93	472,5	46,7	4.9	$8,9 \times 10^{-5}$
3	PASSO FUNDO	-27,81	-50,33	684,1	49,7	5.2	$4,4 \times 10^{-5}$
4	URUGUAIANA	-29,35	-49,73	62,3	45,2	4.0	$1,5 \times 10^{-5}$
5	SANTA MARIA	-26,90	-49,21	95,0	44,7	4.9	$0,3 \times 10^{-5}$
6	IRAI	-27,38	-51,20	247,1	48,1	5.5	$0,4 \times 10^{-5}$

Fonte: próprio autor.

A Figura 2 apresenta o percentual de precipitação sazonal em relação ao total anual nos dados do WorldClim. O sul do Brasil tem como características, chuvas relativamente bem distribuídas ao longo do ano, percentual em torno de 23 a 27% em diferentes períodos sazonais. Algumas peculiaridades na precipitação são observadas devido às efeitos locais como a topografia a leste de Santa Maria, influenciando um padrão sazonal de mais chuvoso em contrate a inverno mais seco. Em parte da Argentina e Paraguai, as chuvas ocorrem mais nos períodos de transição sazonais associadas a sistemas convectivos de mesoescala originados climatologicamente nesta região central da América do Sul.

Na Figura 3 observa-se a comparação da média de precipitação anual e o ciclo anual da precipitação nos locais analisados da área de estudo. Mais ainda, apresenta-se uma

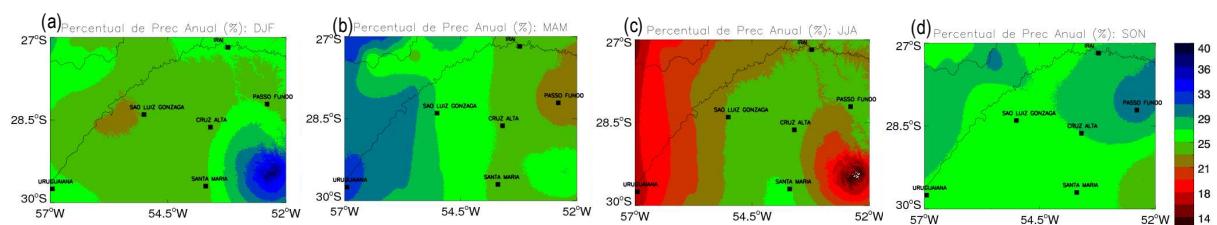


## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

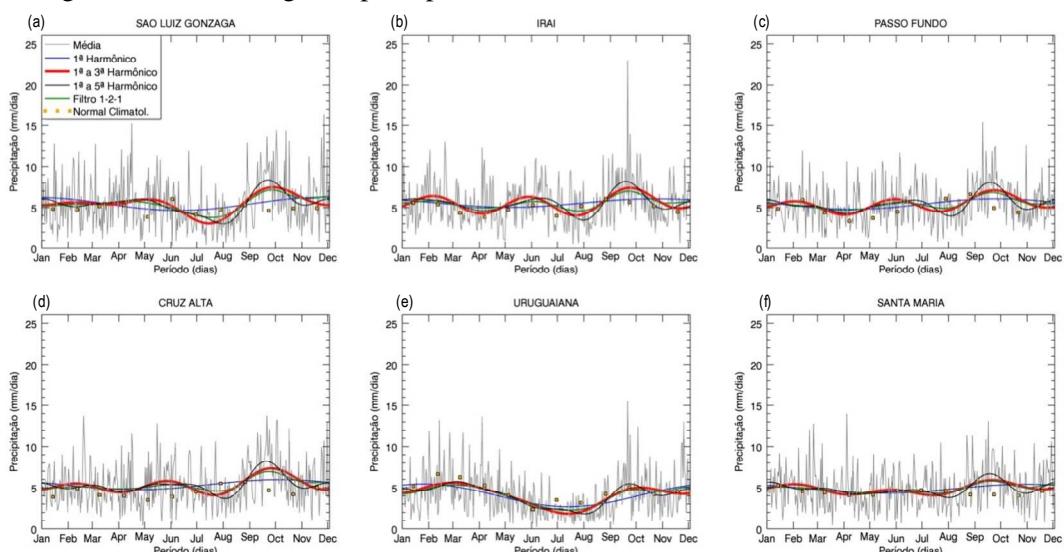
comparação dos ciclos anuais usando um harmônico, três harmônicos, cinco harmônicos e o filtro 1-2-1 obtidos. As variações da média da precipitação são proeminentes e a sazonalidade não é nitidamente percebida.

Figura 2 – Percentual de prec. sazonal em relação ao total anual a partidos dados do clima atual Worldclim (a) Dez a Fev, DJF, (b) Mar a Mai, MAM (c) Jun a Ago, JJA e (d) Set a Nov, SON.



O ciclo anual atribuído ao 1<sup>a</sup> harmônico é uma função cosseno levemente transladada para a esta leve sazonalidade, mas insuficiente no ajuste para a representação da climatologia. O ciclo anual do 1<sup>a</sup> harmônico é o menos pronunciado, mostrando uma linha quase invariável em contraste a média da precipitação, filtrando abruptamente as variações da média e negligenciando detalhes característicos do mesoclima da região. O ciclo anual usando os 1<sup>a</sup> ao 3<sup>a</sup> harmônico apresenta uma oscilação que representa o aumento de precipitação na primavera com pico entre setembro-outubro. A utilização deste ciclo para a suavização é efetiva na representação da oscilação sazonal da precipitação nos locais analisados. O ciclo anual usando os 1<sup>a</sup>-5<sup>a</sup> harmônicos apenas evidencia esse padrão climatológico. Mais do que isso, nota-se oscilações de ordem intrasazonal relativa à variabilidade de baixa frequência e eventos extremos como visto na média diária da precipitação. Por exemplo, uma diferenciação entre aumento e diminuição de chuva dentro de um mesmo período sazonal entre setembro e novembro. Desta forma, a adoção dos 3 primeiros harmônicos é necessária e suficiente para representar a climatologia. O filtro 1-2-1 apresentou leves discrepâncias em relação ao ciclo anual de 3 harmônicos. Para as diferenças marcantes entre o ciclo anual de 3 harmônicos e a normal climatológica, deve-se considerar que a normal é um total mensal climatológico, que para fins comparativos foi dividido pelo número de dias de cada mês do ano, gerando assim alguma inconsistência na amplitude da precipitação. Além disso, o período das normais é de 1961 a 1990, enquanto que aqui se estende até 2017.

Figura 3 – Climatologia da prec. para os locais de análise.





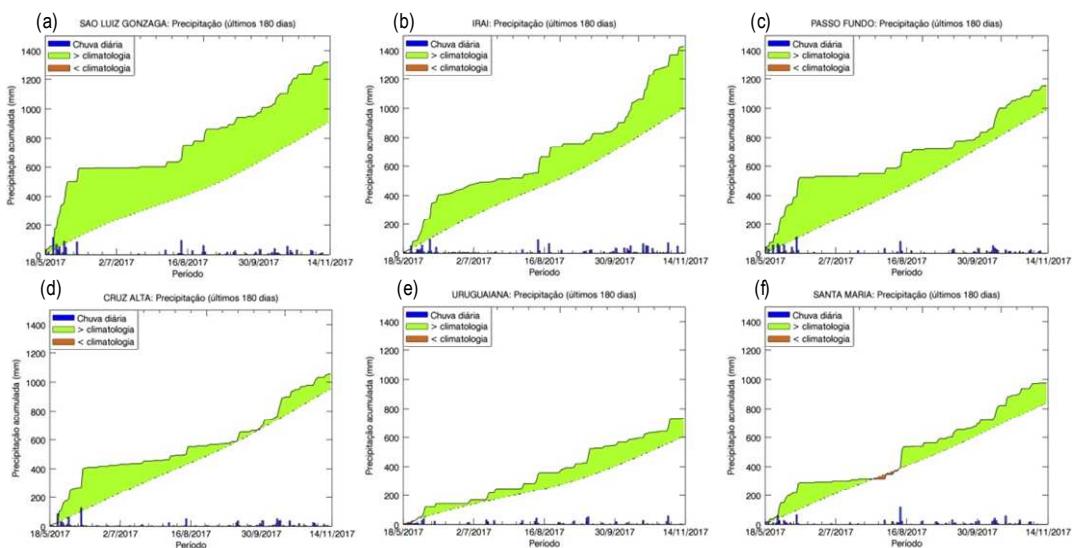
## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

A climatologia da precipitação fica em torno de 5 mm/dia, mas na primavera, supera esse valor. Destaca-se os ciclos anuais similares entre os municípios de Iraí, Passo Fundo e Cruz Alta, onde constatam-se três picos máximos em fevereiro, junho e setembro. Em Uruguaiana, o máximo ocorre no final do verão e em Santa Maria apresenta uma mescla entre esses padrões. Já São Luiz Gonzaga encontra-se um pico máximo na primavera, enquanto que verão e outono o ciclo anual é praticamente contínuo. Os três picos máximos no verão, outono e primavera são típicos de regime trimodal do oeste da Região Sul do Brasil e atribuídos à influência dos sistemas meteorológicos denominados de complexos convectivos de mesoescala (CAVALCANTE ET AL 2009, pp 274). Já a característica marcante de maior precipitação na primavera pode ser associada ao aumento na frequência de frentes frias deslocando-se sobre a Região Sul do Brasil neste período sazonal (Cavalcanti AND KOUSKY, 2003), juntamente ao aumento da ocorrência de ciclogêneses sobre o Atlântico sudoeste entre maio e outubro (SINCLAIR, 1995).

A Figura 4 mostra o monitoramento da precipitação acumulada observada considerando os últimos 180 dias até o tempo presente. Essa análise mostra um acumulado da precipitação acima da climatologia, com maior acumulado em São Luiz Gonzaga, e inclui a precipitação diária observado no período. Há uma relativa consistência entre os locais, exceto um breve período de precipitação abaixo da climatologia de Santa Maria. Além disso, observa-se uma escassez de precipitação em meados do inverno, mas que não foi suficiente para deixar a precipitação abaixo da climatologia, pois o ganho anterior ocorrido no final do outono foi significativo. Porém, este excesso de precipitação atingiu o período de plantio de trigo na região, que não foi o ideal, e posteriormente houve uma estiagem no período de desenvolvimento e maturação. Por fim, mais um período expressivo de precipitação durante a colheita, que não trouxe benefício mais uma vez. Assim, o monitoramento contínuo torna-se importante para o diagnóstico da precipitação voltado, por exemplo, para a produtividade da região (EMATER, 2017).

Figura 4 – Precipitação acumulada (mm) e diária (mm/dia) nos últimos 180 dias para (a) São Luiz Gonzaga, (b) Iraí, (c) Passo Fundo, (d) Cruz Alta, (e) Uruguaiana e (f) Santa Maria.



A Figura 5 mostra a série de precipitação observada acumulada para São Luiz Gonzaga considerando o tempo presente até os últimos 60 dias, 90 dias e 1 ano. A análise de 60 e 90 dias apresenta uma variabilidade intrazonal hidrológica natural, com uma precipitação aproximadamente próxima à climatologia no início da primavera de 2017, ficando consideravelmente acima até mesmo da climatologia mais o desvio padrão durante

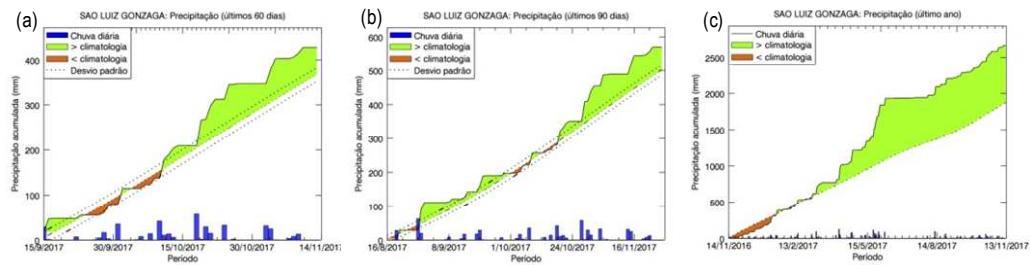


## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

meados da primavera (Fig. 5a,b). Já na análise do último ano (Fig. 5c), a precipitação em outono foi significativamente acima da climatologia e manteve-se neste patamar.

Figura 5 – Como na Fig. 4, mas para os últimos 60 e 90 dias, e 1 ano em São Luiz Gonzaga.



A Figura 6 mostra os últimos três anos, na qual o acumulado interanual apresenta-se acima da climatologia, sendo São Luiz Gonzaga e Cruz Alta os maiores valores, enquanto Iraí mostrou a precipitação levemente acima, comparada aos demais. Interessante observar que, o período do final de 2014 até 2015 abrange um período sob influência do fenômeno El Niño forte e em seguida, um La Niña fraco no segundo semestre de 2016. Em 2017, houve neutralidade. Nota-se que o resultado do El Niño Forte e a precipitação ocorrida em 2017 são responsáveis pelo acumulado acima da climatologia, sobressaindo-se sobre os períodos neutros e La Niña fraco.

Figura 6 – Como na Fig. 4, mas para os 3 últimos anos.

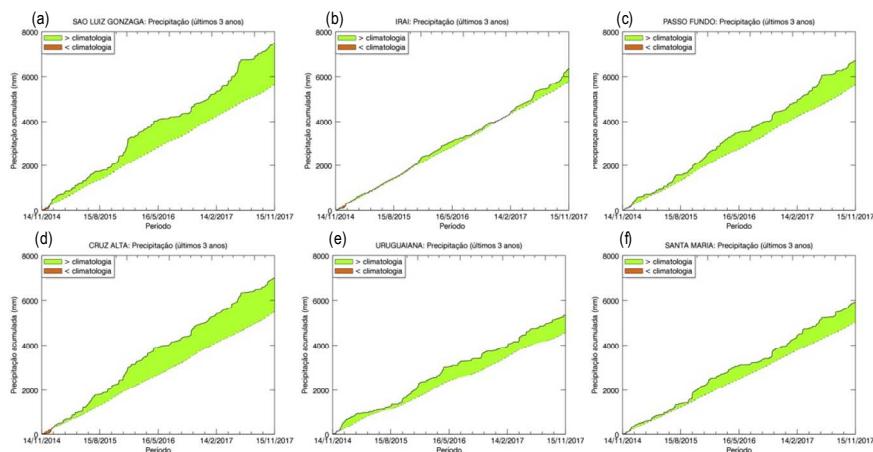
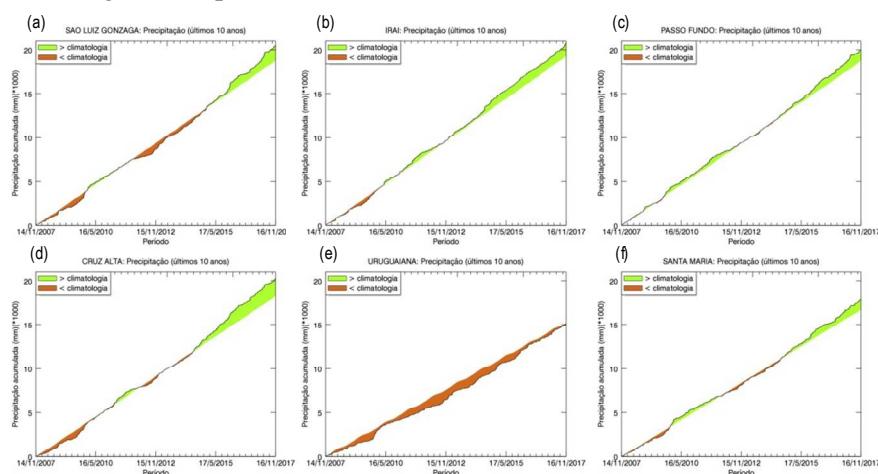


Figura 7 – Como na Fig. 4, mas para os 10 últimos anos.





## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

O acumulado dos últimos 10 anos demonstra oscilações abaixo (~ 2007 a 2009; ~ 2012 a 2014) e acima (~ 2010 a 2011; ~ 2015 até o presente) da climatologia, sendo o período mais recente consideravelmente mais evidente sinal positivo (Figura 7). Isso é notado para os locais analisados, exceto Uruguaiana, embora o período de 2015 adiante nota-se uma recuperação da precipitação ficando próxima a climatologia. O período de 2007 a 2009 houve um La Nina de moderado a fraco, enquanto que 2012 a 2014 houve predomínio de neutralidade. Em 2009/2010 ocorreu um breve El Nino moderado seguido de um La Nina moderado (2010-2012). Desta maneira, no período acima da climatologia de 2010 a 2011 se considerado qualitativamente a influência deste fenômeno climático, esteve relativamente defasada, ou seja, fora de fase. Por outro lado, de 2015 a diante evidencia-se relação de ocorrência do El Nino forte e o relevante acumulado acima da climatologia.

### 4 Conclusões

Neste estudo analisou-se e revisou-se a climatologia da precipitação diária na mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul para fins de monitoramento contínuo e assim contribuir para diversos setores dos arranjos produtivos regionais sendo eles econômicos, ambientais e gerenciais. O método para obtenção de uma climatologia diária com o intuito de monitorar e tratar de forma adequada a alta variabilidade da precipitação, em contraponto a simples média aritmética dos dados diários, que é corrompida pela variabilidade hidrológica natural, influenciada inclusive pelos episódios extremos eventuais. O monitoramento da precipitação mostrou-se eficaz e flexível para análise e acompanhamento de diversos períodos de interesse e para ser estendido para outros locais de estudo. Ressalva-se apenas a sensibilidade do método para chuvas significativas ou breves estiagens no início da análise que podem acarretar uma alteração no padrão de acumulado acima ou abaixo da climatologia, sendo dependente da característica de ocorrência da precipitação. Entretanto, um padrão da variabilidade sazonal anômalo é persistente e permanece para as escalas de tempo acima de 30 dias como analisadas neste estudo. Desta feita, caracteriza-se consistentemente o período de monitoramento em análise.

### Referências

- CAVALCANTI IFA, FERREIRA NJ, JUSTI DA SILVA MGA, SILVA DIAS MAF, editores. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos; 2009.
- CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Climatology of South American cold fronts**. In: VII ICSHMO 2003, Wellington, New Zealand.
- EMATER, 2017: **E. Assistência Técnica e Extensão Rural**. emater.tche.br em 15/11/2017.
- MUZA, M. N., CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B., 2009: **Intraseasonal and interannual variability of extreme rainfall in the southeastern South America and Western South Atlantic Ocean during the austral summer**. J. Climate, V. 22, n.7, 1682-1699.
- SELUCHI, M., SAULO, A. C., NICOLINI, M., & SATYAMURTY, P.. **The northwestern Argentinean low: A study of two typical events**. M.W.R. v. 131, n. 10, p. 2361-2378, 2003.
- SINCLAIR, M.R. **A climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere**. Monthly Weather Review, v. 123, p. 1601-1619, 1995.
- NOGUÉS-PAEGLE, J., E K. C. MO, 1997: **Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer**. M.W.R,125, 279-291.
- WALLACE J.M., P.V. HOBBS, 2006. **Atmospheric science: an introductory survey**. Ensevier.
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the Atmospheric Sciences**. New York: Academic Press, 1995.
- WMO, doc **WCDP N°.10** wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/series.php em 15/09/2017.
- WORLDCLIM, 2017. **WorldClim** worldclim.org em 15/09/2017.