

Variabilidade hidroclimática da Bacia Hidrográfica do Rio Negro: um estudo de caso para a porção brasileira

Hydroclimatic variability on the Rio Negro Watershed: a case study at Brazilian area

Guilherme Goergen, Jônatan Dupont Tatsch, Felipe Raphael Theodorovitz Mendoza, Roilan Hernández Valdés, Carolina Kannenberg, André Parcianello, Fabíola Valente e Nathalie Tissot Boiaski

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

guilherme.goergen@gmail.com; jdtatsch@gmail.com; lipetheo.mendoza@hotmail.com; ; roylanhv@gmail.com; carolinakannenberg@gmail.com; decofog@hotmail.com; fabiola_krolina@hotmail.com; ntboiaski@gmail.com;

Resumo

Neste trabalho realizou-se a caracterização hidroclimatológica do trecho superior da Bacia do Rio Negro, localizado na porção brasileira. Para isso foram utilizados dados de precipitação e vazão fluvial provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA) do período de 1995 a 2014, coletados em diferentes pontos no entorno da bacia hidrográfica. A partir da análise dos dados, pode-se identificar que a média anual da precipitação sobre a bacia varia entre 1440 e 1480mm. A vazão média anual foi de aproximadamente 538,7mm, o que corresponde a um coeficiente de escoamento de 38%. As séries de precipitação e vazão acumuladas mostraram que, a partir de meados do ano de 2004, houve uma significativa redução da vazão acumulada, ocasionada provavelmente pelo aumento na demanda hídrica para irrigação agrícola devido aos menores volumes de precipitação. O coeficiente de escoamento pré-2005 mostrou uma oscilação interanual entre 36% e 42%, após 2005 o coeficiente de escoamento diminuiu sistematicamente de 45% para 35%. Esta redução sugere um aumento na captação de água para irrigação que conseqüentemente favorece a maior evapotranspiração das culturas num período com precipitação anual levemente menor (2005-2014) em comparação ao período prévio (1995-2004).

Palavras-chave: regime hidroclimático, coeficiente de escoamento, bacia hidrográfica do Rio Negro.

Abstract

In this article we carried out a hydroclimatological characterization of the upper reaches of the Rio Negro Basin, located in the Brazilian portion. We used rainfall and streamflow data from the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) and the Agência Nacional de Águas (ANA) in the 1995-2014 period, collected at different points surrounding the watershed. From the data analysis, we can identify that the average annual precipitation over the basin varies between 1440 and 1480mm. The annual average streamflow was approximately 538,7mm, corresponding to a runoff coefficient of 38%. The accumulated rainfall and streamflow series showed that, as of mid-year 2004, there was a significant reduction of the accumulated streamflow, probably caused by an increase in water demand for agricultural irrigation due to lower volumes of rainfall. Pre-2005 runoff coefficient showed an interannual oscillation between 36% and 42%, after 2005 the runoff coefficient systematically decreased from 45% to 35%. This reduction suggests an increase in the extraction of water for irrigation which consequently favors greater crop evapotranspiration in a period with slightly lower annual precipitation (2005-2014) compared to the previous period (1995-2004).

Keywords: hydroclimatic patterns, runoff coefficient, Rio Negro watershed.

1 Introdução

O Rio Negro constitui uma bacia hidrográfica transfronteiriça, com suas nascentes localizadas em território brasileiro e o restante de sua área estendendo-se sobre o Uruguai até sua foz no Rio Uruguai. A área brasileira destaca-se por ter grande importância para as atividades agrícolas as quais consequentemente determinam a disponibilidade e qualidade hídrica a jusante. A bacia hidrográfica do Rio Negro (BHRN) está sujeita a extremos climáticos como estiagens prolongadas e enchentes, em particular nos anos de 2005, 2009-2010, 2012 e 2015. No trecho superior da bacia localizado no Brasil a elevada demanda hídrica para irrigação compromete a disponibilidade hídrica, ocasionando no período de safra a intermitência do rio (Ravanello e Pante, 2013).

A escassez de dados e o uso intensivo da água para irrigação torna obscura a disponibilidade hídrica da região. O entendimento sobre o regime hidrológico e os fatores que condicionam sua variabilidade é fundamental para a gestão e o planejamento dos recursos hídricos. A caracterização das variações espaciais e temporais dos regimes de precipitação e vazão é o primeiro passo para mitigação de extremos hidrológicos.

Há décadas a região de Bagé, RS, principal cidade inserida na região da bacia hidrográfica, sofre com racionamentos prolongados de água para o consumo humano e limitações na irrigação de lavouras agrícolas, principalmente o cultivo de arroz. Várias medidas dos órgãos públicos vêm sendo tomadas no sentido de atenuar os efeitos desses problemas. Entre eles, o fortalecimento do Comitê da BHRN, um plano de estudos sobre as características hidrológicas da bacia e, de forma concreta, a construção de uma nova barragem (Barragem da Arvorezinha) próxima ao município.

A vazão máxima é uma variável chave para o controle de inundações e dimensionamento de obras hidráulicas. Por outro lado, a vazão mínima é importante não só para a conservação e preservação dos ecossistemas, mas também para determinar diretrizes dos pedidos de outorga de direito de uso dos recursos hídricos (TUCCI, 2001).

O objetivo desse artigo é caracterizar o regime hidroclimático do trecho superior da bacia hidrográfica do Rio Negro definido a montante da fronteira com o Uruguai até as nascentes na região da campanha gaúcha.

2 Materiais e métodos

A caracterização hidroclimática da BHRN foi realizada através de análises da distribuição espacial e temporal, da variabilidade interanual da relação entre a chuva e vazão (coeficiente de escoamento - CE) e as tendências nos regimes de precipitação e vazão.

O CE foi determinado a partir da razão entre as séries de vazão (Q) e precipitação ($Prec$), conforme a Eq. (1).

$$CE = Q/Prec. \quad (1)$$

Os dados diários de precipitação foram interpolados para a região da bacia do Rio Negro, utilizando o método de ponderação pelo inverso da distância (Kurtzman et al., 2009). As séries temporais anuais foram divididas em dois períodos de acordo a mudança detectada no coeficiente de escoamento e a curva de permanência (Vogel e Fennessey, 1994) foi calculada para cada período.

Os totais mensais foram correlacionados com o índice oceânico mensal de El Niño (ONI, 2015). A correlação cruzada no tempo das séries de anomalias normalizadas também foi calculada para identificar se há uma defasagem relação entre as variáveis.

Na tentativa de distinguir os efeitos da variabilidade climática natural, como o fenômeno de grande escala El Niño que explica grande parte da variabilidade interanual da precipitação no RS, e os efeitos das atividades humanas (irrigação), buscou-se identificar períodos das séries em que a conexão o El Niño fosse mais evidente. Uma forma de identificar períodos de persistência ou predomínio de anomalias positivas ou negativas é por meio da anomalia acumulada (ou caminho aleatório do termo em inglês *random walk*, Tsonis et al. (2003)). Esse índice cumulativo descreve a sequência de eventos anômalos no tempo em uma dada região e é influenciado pela magnitude e a persistência dos desvios das anomalias, dessa forma refletindo a dependência de complexas relações com o sistema climático (Mann et al., 1998).

Num dado intervalo, se as anomalias de precipitação mensal são positivas (negativas) e mais frequentes que as anomalias negativas (positivas), a anomalia acumulada correspondente exibirá uma inclinação, ou tendência, positiva (negativa) naquele intervalo de tempo. Assim variações temporais da tendência na anomalia acumulada são importantes indicações de mudanças no regime das anomalias de precipitação.

Assim foi possível identificar períodos de mudanças no regime de precipitação e vazão simultâneas às mudanças de regime do ONI. Períodos em que as anomalias acumuladas de precipitação ou vazão exibem uma tendência diferente (oposta ou estacionária) sugere que o padrão de variação das anomalias não está relacionado ao fenômeno El Niño. Nesses períodos de desconexão entre as anomalias acumuladas há maior probabilidade de que outros fenômenos ou processos afetem a variabilidade da chuva e da vazão.

2.1 Dados

O trecho brasileiro da BHRN é escasso em termos de dados (Ravanello e Pante, 2013). Para tentar suprir essa

escassez foram utilizados dados históricos de precipitação e vazão do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HidroWeb - ANA), e do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A lista dos dados meteorológicos utilizados consta na Tabela 1.

Os dados de vazão foram obtidos do único posto fluviométrico, Estância do Espantoso (código 79400000 - ANA), localizado na região do trecho superior da BHRN, numa área rural do município de Bagé ($-54^{\circ}17'40''$, $-31^{\circ}32'20''$, altitude de 100m). A estação foi instalada em 1984. No período de 1988 a 1994 há a maior falha nos registros de vazão. O cruzamento dos períodos de dados disponíveis de chuva e vazão mostrou que o período de dados simultâneos e com menos quantidade de falhas é de janeiro de 1995 a dezembro de 2014, o qual foi selecionado para a análise.

2.2 Região de estudo

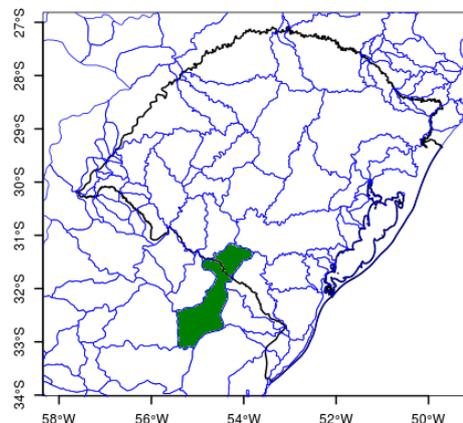
A região de estudo é o trecho superior da BHRN Figura 1. A bacia está localizada a sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, e abrange os municípios de Bagé, Aceguá, Hulha Negra, Candiota e Dom Pedrito.

O rio Negro tem aproximadamente 850km de extensão e área de drenagem 69.000km² (incluindo ambas as partes brasileira e uruguaia), dos quais aproximadamente 3.000km² se localizam em território brasileiro. A área do trecho superior da BHRN foi delimitada a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDET) do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, Farr et al. (2007)) com resolução horizontal de 90 m, utilizando técnicas de geoprocessamento bem estabelecidas (Jenson e Domingue, 1988) e definindo o ponto exutório da bacia no mesmo ponto de localização da estação fluviométrica da ANA (Estância do Espantoso). A área da bacia resultante foi de 1180km².

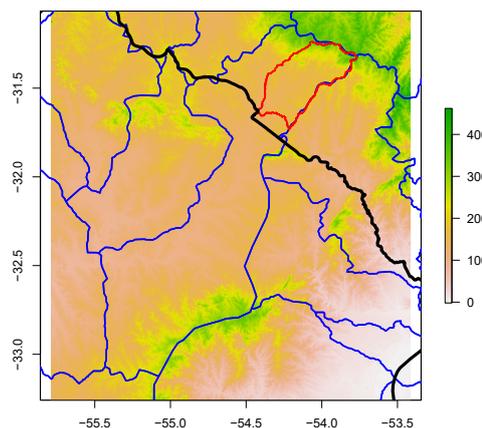
3 Resultados e discussão

A variabilidade da chuva média anual para o período de 1995-2014 é pequena (40mm), de um mínimo de 1440 (leste da bacia) a 1480 mm/ano (oeste da bacia) (Figura 2). A média anual da precipitação acumulada sobre a bacia é de 1459 mm/ano, 95 mm abaixo da média climatológica do estado para o período de 1961-1990 (1554 mm/ano, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2009)).

Na Figura 3 pode-se visualizar a série anual da precipitação e vazão média sobre bacia. A partir deste gráfico podemos constatar que não há, nas últimas duas décadas, clara evidência de tendência linear robusta indicando apenas aumento ou diminuição da precipitação



(a)



(b)

Figura 1: (a) Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Negro (sombreada em verde). (b) Trecho brasileiro da Bacia Hidrográfica do Rio Negro definido a partir do posto fluviométrico Estância do Espantoso da ANA

Tabela 1: Lista das estações com dados obtidos

Código	Instituição	Localidade	Latitude	Longitude	Altitude(m)
83953	INMET	Santana do Livramento	-30°49'48"	-55°36'00"	328,00
83964	INMET	Encruzilhada do Sul	-30°31'59"	-52°31'00"	427,75
83980	INMET	Bagé	-31°19'60"	-54°06'00"	242,31
83985	INMET	Pelotas	-31°46'48"	-52°24'36"	13,00
A827	INMET	Bagé	-31°19'59"	-54°00'00"	230,00
3154001	ANA	Bagé	-31°18'17"	-54°07'11"	230,00
3154006	ANA	Bagé-Est. do Espantoso	-31°32'20"	-54°17'41"	100,00
3154008	ANA	Dom Pedrito-Serrilhada	-31°26'15"	-54°42'42"	—

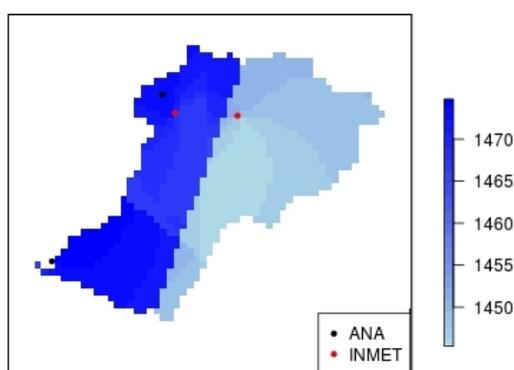


Figura 2: Campo espacial da precipitação média anual (mm) sobre a BHRN para o período de 1995 a 2014.

média anual. Entretanto nota-se que a precipitação média no período pré-2005 (1615 mm) foi levemente maior que no período pós-2005 (1302 mm). O ano de 2002 foi o mais chuvoso, com 2539 mm/ano. Eliminando-se esse ano da série a diferença relativa no nível médio da precipitação anual entre os dois períodos passa de -20% para -14%.

A variabilidade interanual da precipitação explica 78% (coeficiente de determinação) da variabilidade da vazão anual. Entretanto, a redução da vazão anual entre os dois períodos (pré-2005 e pós-2005) foi de 47% (-307 mm), o que em termos relativos representa mais que o dobro da queda observada na precipitação anual.

A Figura 4 mostra as séries diárias da precipitação e vazão acumuladas (em mm) desde 1995. A precipitação acumulada segue uma tendência quase linear para todo o período. A vazão acumulada aumenta linearmente, mas com uma taxa relativamente menor que a da precipitação no período até 2005. A partir de então, a vazão acumulada se distancia da série de precipitação

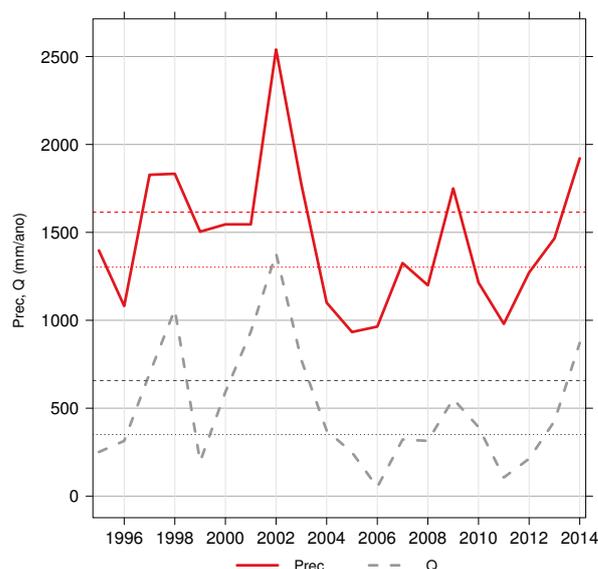


Figura 3: Séries anuais no período de 1995 a 2014 da precipitação (Prec) média no trecho brasileiro da BHRN e da vazão (Q) observada no posto fluviométrico Estância do Espantoso da ANA. Linhas tracejadas indicam a média no período 1995-2004 e as linhas pontilhadas a média no período de 2005-2014. Ambas as séries em mm/ano.

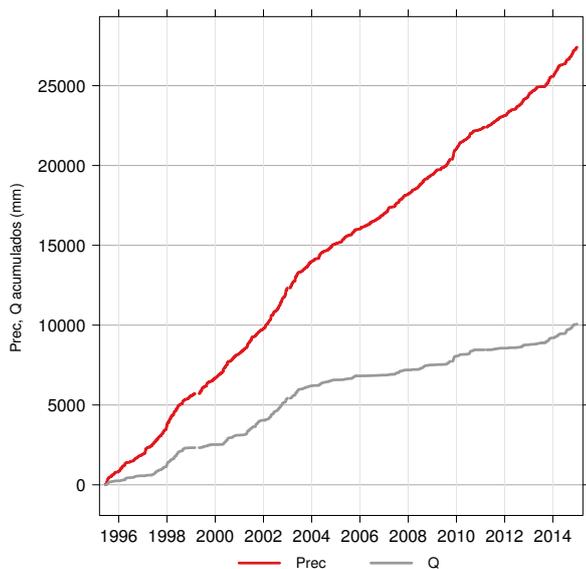


Figura 4: Séries acumuladas diárias no período de 1995 a 2014 da precipitação (Prec) média no trecho brasileiro da BHRN e da vazão (Q) observada no posto fluviométrico Estância do Espantoso da ANA. Ambas as séries em mm.

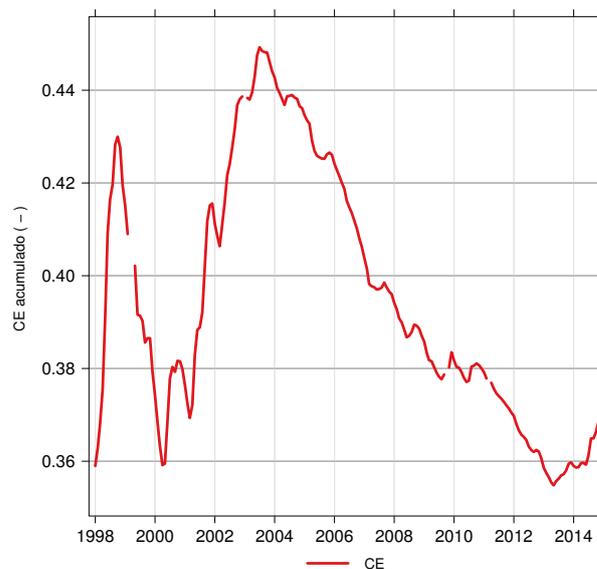


Figura 5: Séries diárias do coeficiente de escoamento (CE) acumulado (-) para o período de 1998 a 2014.

acumulada, devido a sua menor taxa crescimento. O coeficiente de escoamento acumulado (Figura 5), determinado pela razão entre as séries da Figura 4, evidencia mais claramente o decréscimo persistente entre 2004 e 2014.

A redução da vazão ocorreu para todos os períodos de permanência (Figura 6), mas em maior proporção para períodos abaixo da vazão mediana (ou acima de 50% do tempo). As vazões associadas as permanências de 10% (q10) e 90% (q90) do tempo são indicadas na parte inferior do gráfico em preto e vermelho, respectivamente. Nota-se a expressiva redução da q90, que diminuiu de 0,54 para 0,09m³/s do período pré-2005 para pós-2005.

A redução significativa na vazão acumulada a partir de 2005 sugere uma mudança no regime hidrológico da bacia não explicado apenas pela variabilidade interanual da precipitação. Parte dessa mudança pode decorrer de outros fatores, como o aumento da captação de água para irrigação, o que potencialmente aumenta a evapotranspiração nas culturas irrigadas e outras mudanças de uso do solo. A magnitude desse efeito depende da quantidade e frequência das captações cuja demanda é maior no período de safra do arroz irrigado. O período de semeadura coincide com a primavera quando a relação entre o El Niño é mais forte.

A relação entre as anomalias mensais normalizadas (de precipitação e vazão) com o ONI é mostrada na Figura 7. O intenso Evento de El Niño de 1998 é um

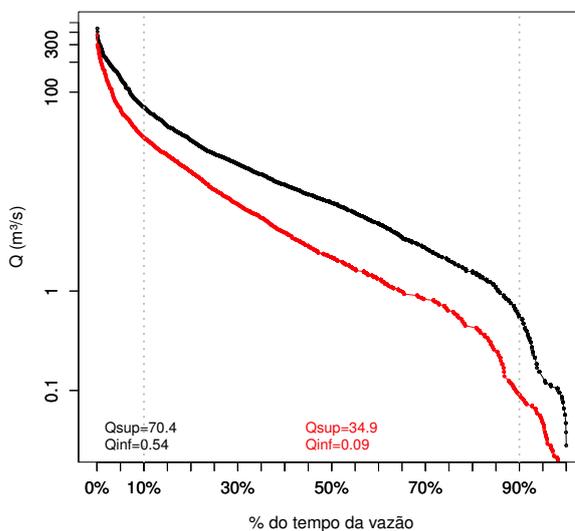


Figura 6: Curva de permanência da vazão observada no posto fluviométrico Estância do Espantoso, para os períodos de 1995-2004 (linha preta) e de 2005-2014 (linha vermelha). Linhas tracejadas correspondem os valores das vazões de referência q10 e q90. Qsup (Qinf) representa o valor do limite superior (inferior) da vazão de permanência em 10% (90%) do tempo.

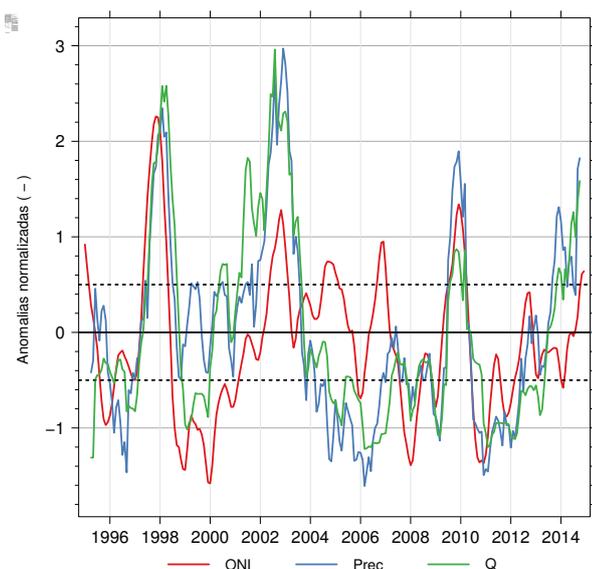


Figura 7: Séries das médias móveis (janela de 9 meses) das anomalias mensais padronizadas da precipitação, vazão e o índice oceânico de El Niño (ONI). Desvios acima (abaixo) de 0,5 são identificados pela linha pontilhada.

caso ilustrativo dessa correlação evidente entre a chuva e o ONI. Em geral, a variação da precipitação e da vazão mensal segue o padrão de variação do ONI quando este último apresenta valores acima de 0,5 ou abaixo de -0,5. A correlação entre o ONI e precipitação (vazão) mensal foi de 0,5 (0,49); sendo para defasagem de 1 mês (2 meses) entre as séries a correlação máxima: 0,52 (0,53). Ou seja, através do ONI explica-se em torno de 52% (53%) da variância da chuva (vazão) com antecedência de 1 mês (2 meses).

As séries das anomalias acumuladas de chuva, vazão e ONI (Figura 8) permitem identificar 3 períodos em que as mudanças no regime de precipitação e vazão não foram concorrentes com as mudanças de regime do ONI: (i) 2000-2002, (ii) 2004-2007 e (iii) 2013-2014. Nesses períodos as anomalias acumuladas de chuva e vazão exibiram tendências diferentes daquelas observadas para o ONI, o que sugere que o padrão de variação das anomalias não está totalmente relacionado ao fenômeno El Niño.

O período de desconexão entre a chuva e o ONI, de 2004 a 2007, coincide com aquele utilizado para dividir as séries em duas partes, baseado na redução significativa da vazão. Essa evidência, adicionado a incompatibilidade entre a magnitude de redução da chuva duas vezes menor que a da vazão, sugere que outras forçantes podem ter contribuído para a intensa redução na vazão naquele período. Entre as potenciais forçantes elenca-se o uso intensivo da água para irrigação (Ravanello e Pante, 2013) e outras mudanças de uso do solo.

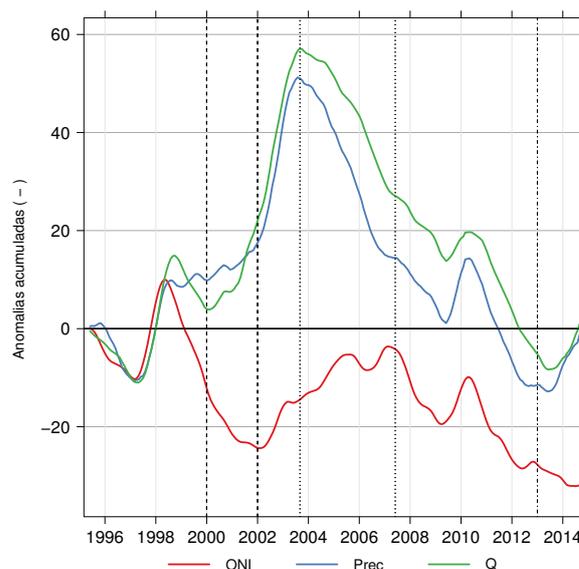


Figura 8: Séries acumuladas das médias móveis (janela de 9 meses) das anomalias mensais padronizadas da precipitação, vazão e o índice oceânico de El Niño (ONI).

Com a redução da chuva, há redução da umidade do ar, aumento do déficit da pressão de vapor que favorece o consumo hídrico das culturas irrigadas.

4 Considerações finais

A caracterização hidroclimatológica da bacia hidrográfica do Rio Negro – RS é extremamente importante para o planejamento do uso de recursos hídricos, devido principalmente aos eventos de racionamentos prolongados ocorridos nos últimos anos e às limitações impostas à irrigação de lavouras agrícolas.

A média anual da precipitação acumulada sobre a bacia é de 1.459 mm/ano e o coeficiente de escoamento é de 38%. Houve uma redução da precipitação anual de 20% do período 1995-2004 para 2005-2014, enquanto a vazão diminuiu 47% no mesmo período.

O ONI explica 52% (53%) da variância da chuva (vazão) mensal com antecedência de 1 mês (2 meses). A análise das anomalias acumuladas de chuva e vazão identificou períodos de desconexão entre a chuva e o ONI, entre eles o período de 2004 a 2007, a partir de quando se observou uma redução significativa da vazão.

Esses resultados reforçam que outras forçantes podem ter contribuído para essa redução na vazão. Entre as potenciais forçantes elenca-se o uso intensivo da água para irrigação (Ravanello e Pante, 2013) e outras mudanças de uso do solo que estão relacionadas ao aumento da evapotranspiração.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPERGS (Proj. 1988-2551/13-3), do CNPQ (Proj. 461130/2014-9) e da Unipampa, assim como ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pelos dados cedidos.

Referências

- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2).
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009). *Normas Climatológicas do Brasil - Período 1961-1990*. Brasil, URL www.inmet.gov.br, acesso em 31/07/2015.
- Jenson, S. K., Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593–1600.
- Kurtzman, D., Navon, S., Morin, E. (2009). Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: Spatial patterns of preferred interpolators. *Hydrological Processes*, 23(23), 3281–3291.
- Mann, M. E., Bradley, R. S., Hughes, M. K. (1998). Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392(6678), 779–787.
- ONI (2015). Oceanic niño index. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml, acesso em 20/08/2015.
- Ravanello, M. M., Pante, A. R. (2013). Outorga de direito de uso de recursos hídricos em bacia carente de dados – Rio Negro-RS. Em: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, Brasil.
- Tsonis, A. A., Hunt, A. G., Elsner, J. B. (2003). On the relation between enso and global climate change. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 84(3-4), 229–242.
- TUCCI, C. E. M. (2001). *Regionalização de vazões*, 2º edn. Hidrologia: Ciência e Aplicação, ARBH, Porto Alegre, RS.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M. (1994). Flow-duration curves. i: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 485–504.