

Correlações entre índices extremos de temperatura e índices de grande escala climáticos e oceânicos para a região do baixo rio Colorado

Correlations between indices of temperature extremes and indices of large-scale weather and ocean to the lower Colorado river region

Fabiane Regina da Cunha Dantas Araújo¹, Carlos Antonio Costa Santos²,
Francisco das Chagas Araujo Nascimento³

^{1,3}Professor(a) adjunto (a), Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, Brasil

²Professor adjunto,,Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

Resumo

Este estudo objetiva correlacionar índices de extremos climáticos dependentes de temperatura com anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico, tais como Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), Pacífico - América do Norte (PNA), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 na região da Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Colorado (BHBRC) nos EUA durante os anos de 1970 a 2009 e com isso investigar possíveis alterações climáticas na região. Os dados foram obtidos de estações meteorológicas situadas na BHBRC. Utilizou-se o software RClindex para o cálculo dos índices extremos de temperatura anuais (DV, DG, NT, DF, TXx, TNx, TXn, TNN e ATD). Os resultados das correlações dos índices de temperatura com as anomalias de TSM observadas, neste estudo, indicaram maior contribuição da PDO, da AMO e do PNA sobre a região da BHBRC. Estas anomalias positivas de TSM apresentaram correlações negativas com os dias frios, os dias gelados e com a ATD indicando a diminuição destes índices e, positivamente com as temperaturas mínimas indicando o aumento das mesmas na BHBRC.

Palavras-chave: RClindex, Mudanças Climáticas, BHBRC.

Abstract

This study aims correlate indices of climate extremes of temperature dependent with temperature of the sea surface anomalies and teleconnections of the Atlantic and Pacific oceans, such as the Pacific Decadal Oscillation (PDO) , the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) , the Pacific - North America (PNA) Niño 1 +2 , Niño 3 , Niño 3.4 and Niño 4 region of the Basin of the Lower Colorado River (BHBRC) in the USA during the years 1970 to 2009 to investigate it possible climate change in the region. The data were obtained from weather stations located in BHBRC . We used the software RClindex for the calculation of annual temperature extremes indices (DV , DG , NT , DF , Txx , tnx , TXN , TNN and ATD) . The results of the correlations of the indices with temperature TSS anomalies observed in this study indicated a greater contribution of PDO , the AMO and the PNA region on the BHBRC . These positive TSS anomalies were negatively correlated with the cold days , cold day and the ATD indicating the decline in these rates and positively with minimum temperatures indicating an increase of the same BHBRC .

Keywords: RClindex, Climate Changes, BHBRC.

1. Introdução

O aquecimento global vem sendo um dos maiores paradigmas científicos nos últimos anos. Com isso o debate em torno dessa questão e suas possíveis consequências têm se intensificado, principalmente nos países desenvolvidos. Esses fenômenos extremos têm dado sinais que algo incomum está acontecendo na natureza, provocando mudanças climáticas terrestres que causam uma série de alterações no meio ambiente e diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Em 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) divulgou que grande parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos provém de atividades antrópicas por meio de emissão de gases do efeito estufa, dentre eles o CO₂ que é produzido pela queima de combustíveis fósseis.

Os fatores que podem modificar o clima do ponto de vista regional, segundo Santos (2006), são o desmatamento e a degradação ambiental que contribuem para alterações no sistema global, enquanto que, do ponto de vista local, a temperatura do ar e a precipitação pluvial podem auxiliar na detecção de alterações climáticas.

É possível identificar mudanças no clima de um determinado local, a partir das tendências de temperatura do ar e precipitação fazendo uma análise dos chamados “Índices de Detecção de Mudanças Climáticas”. Estes índices criados pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) permitem monitorar e detectar possíveis modificações climáticas que auxiliados por ferramentas, como os Modelos de Circulação Geral (MCGs) são capazes de projetar o clima de diversas regiões do globo (ZHANG; YANG, 2004).

Diante disto, diversos estudos têm sido realizados com a finalidade de investigar mudanças ocorridas no clima. Wang e Yan (2009) analisaram tendências de seis índices de precipitação na China durante os anos de 1961 a 2007 com base em observações diárias de 587 estações utilizando o método de Mann-Kendall. Os resultados evidenciaram que os extremos de precipitação analisados apresentaram comportamentos sazonais diferentes, como por exemplo, na região sul do país, o índice R90p aumentou no inverno, porém diminuiu no Outono e, no norte, aumentou na primavera, porém diminuiu no verão. Santos et al. (2010) analisaram tendências anuais de 20 índices extremos de temperatura e precipitação no Estado de Utah - EUA durante os anos de 1930 a 2006. Os índices indicaram um aumento na temperatura do ar durante o último século na região. Im et al. (2011) avaliaram tendências de índices extremos climáticos sobre a Coréia do Sul entre 1971 e 2010 utilizando temperaturas mínima e máxima e precipitação a partir de um modelo climático regional. Os índices baseados na temperatura mínima apresentaram resultados significantes, enquanto que os índices de intensidade e frequência da precipitação mostraram um aumento significativo. Kenawy et al. (2012) observaram índices extremos de temperatura

no nordeste da Espanha durante os anos de 1920 a 2006 com dados obtidos de 19 estações. Os resultados mais relevantes mostraram que, em geral, a média das temperaturas máximas e mínimas têm aumentado significativamente, principalmente a partir de 1960, ao contrário da amplitude térmica diária que apresentou variabilidade pouco significativa.

Além dos índices de extremos climáticos existem fatores externos que podem influenciar os diversos climas do planeta, como por exemplo, as anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico. Diante disso, este estudo objetiva correlacionar índices de extremos climáticos dependentes de temperatura com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), Pacífico - América do Norte (PNA), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 na região da Bacia do Baixo Rio Colorado nos EUA entre os anos de 1970 e 2009, com o intuito de investigar possíveis alterações climáticas na região.

2. Material e métodos

Os dados de temperatura foram obtidos de 81 estações meteorológicas distribuídas na região da Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Colorado (BHBRC), conforme Figura 1, compreendendo os estados americanos do Arizona, Califórnia, Nevada, parte sudoeste do Novo México e parte sudoeste de Utah nos anos de 1970 a 2009. O clima da região é desértico árido e varia muito em toda região. As temperaturas mais elevadas que ocorrem entre a primavera e o verão induzem o degelo das regiões montanhosas. A região do Baixo Rio Colorado é caracterizada por chuvas de verão, provocadas pelo sistema de monção atuante na América do Norte (BENKE; CUSHING, 2005).

O cálculo dos índices extremos de temperatura do ar foi obtido através do software Rclimdex desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA o qual é desenvolvido para linguagem computacional R e está disponível gratuitamente para download no website (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). Um pré-requisito para o cálculo dos índices é o controle de qualidade dos dados (Zhang & Yang, 2004). O controle de qualidade do Rclimdex procede-se da seguinte forma: Substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno que reconhece o R, bem como todos os valores que não são representativos por -99.9 que incluem quantidades de precipitação diárias menores que zero e temperatura máxima menor que a temperatura mínima diária.

Para o processamento dos dados, é necessário que os arquivos estejam em formato de texto ASCII, distribuídos em colunas organizadas na seguinte sequência: ano, mês, dia, precipitação em milímetros (mm), temperatura máxima e temperatura mínima em graus



Figura: Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Colorado, sendo a parte destacada a região de estudo (Fonte: Morrison et al., 1996).

Tabela 1

Índices	Nome do Indicador	Definição	Unidade
DV	Dias de Verão	Número máximo de dias anuais quando $T_X > 25^{\circ}\text{C}$	Dias
DG	Dias gelados	Número máximo de dias anuais quando $T_X < 0^{\circ}\text{C}$	Dias
NT	Noites tropicais	Número mínimo de dias quando $T_N > 20^{\circ}\text{C}$	Dias
DF	Dias frios	Número mínimo de dias quando $T_N < 0$	Dias
T_{Xx}	Máxima da temperatura máxima	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	$^{\circ}\text{C}$
T_{Nx}	Máxima da temperatura mínima	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	$^{\circ}\text{C}$
T_{Xn}	Mínima da temperatura máxima	Valor mínimo mensal da temperatura máxima	$^{\circ}\text{C}$
T_{Nn}	Mínima da temperatura mínima	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	$^{\circ}\text{C}$
ATD	Amplitude térmica diária	Diferença média mensal entre T_X e T_N	$^{\circ}\text{C}$

Celsius (°C). Vale ressaltar que os dados devem estar em ordem cronológica (CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, 2004).

Utilizou-se o RClimdex para calcular os seguintes índices de temperatura anuais (Tabela 1), conforme em Zhang & Yang (2004):

Após o processamento destes índices, os dados foram armazenados em arquivos que contêm informações anuais sobre cada um deles para serem correlacionados com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), Pacífico - América do Norte (PNA), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. Foram discutidas apenas as correlações que apresentaram significância estatística ao nível de 5% (obtidas pelo método de Pearson descrito por Filho & Junior (2009)). O método de correlação de Pearson (p) é uma medida de associação linear entre duas variáveis expressa pela fórmula:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \tag{1}$$

A significância foi obtida pelo teste t-Student aplicada a uma série que apresenta N graus de liberdade, correspondente aos anos da série histórica de dados analisados.

3. Resultados e discussões

A Tabela 2 mostra as correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões dos oceanos Atlântico e Pacífico, sendo os valores em destaque relativos ao nível de significância

estatística de 5%. A finalidade desta análise foi investigar possíveis influências destes fenômenos sobre a Bacia do Baixo Rio Colorado.

Analisaram-se as seguintes anomalias: Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), o Pacífico - América do Norte (PNA), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. Atualmente, a PDO e a AMO estão em uma fase fria que deve continuar até 2025, retornando a uma fase quente com pico por volta de 2040. Neste estudo discutiu-se apenas as correlações que apresentaram significância estatística ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) obtidas pelo método de Pearson e cujos valores estão destacados na tabela 2.

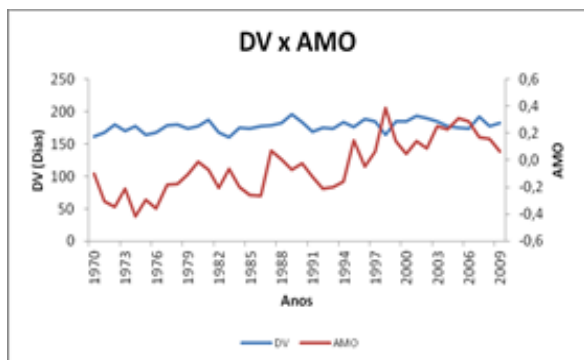
Os índices de temperatura DG, DF e TNn, mostraram correlações estatisticamente significantes com a PDO. Todos os índices de temperatura, com exceção do índice TXn, apresentaram correlação com significância estatística com a AMO. Já o padrão PNA mostrou influência sobre os índices DG, DF, TNn e ATD. O Niño 3.4 influenciou apenas o índice DF, enquanto que o Niño 4 atuou sobre os índices DF e ATD.

Estes resultados mostraram que, os extremos de temperatura analisados para a região do Baixo Rio Colorado podem ser explicados por estas anomalias de TSM. De acordo com Blakemore e Thomas (2007), McCabe et al. (2009) e Hurkmans et al. (2009) a PDO, a AMO, o PNA e padrões de Niño tem efeitos significativos sobre o clima dos estados Unidos e têm influenciado a temperatura na região, concordando com os resultados obtidos nesse estudo. O impacto das anomalias de TSM e teleconexões na América do Norte foram investigados por Latif e Barnett (1994) e Bond e Harrinson (2000).

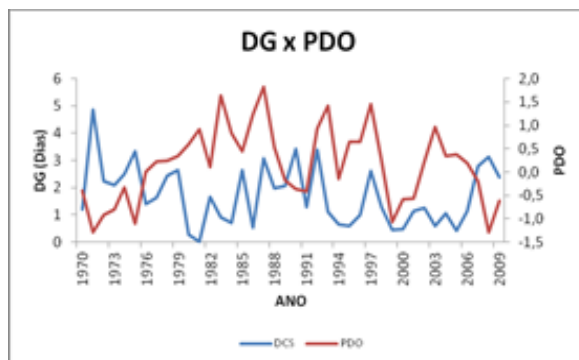
A Figura 2 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, l, m, n, o, p, q, r, s) mostra a variabilidade temporal dos índices de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico no Baixo Rio Colorado cujas correlações foram apresentadas na Tabela 2. A Figura 2a representa

Tabela 2: Correlações entre os índices extremos de temperatura e as anomalias de TSM e teleconexões para a região do Baixo Rio Colorado.

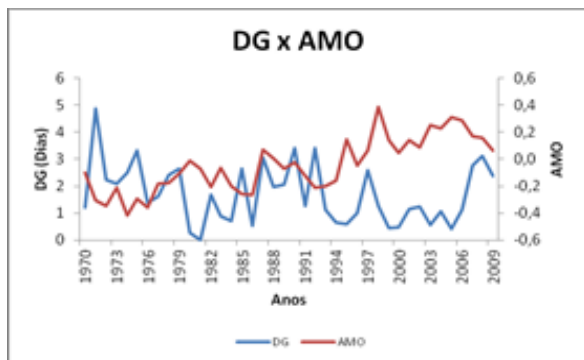
Índices				Nino		Nino	
	PDO	AMO	PNA	1+2	Nino 3	3.4	Nino 4
DV	0,00	0,28	-0,05	-0,19	-0,08	0,00	0,14
DG	-0,31	-0,32	-0,28	-0,01	-0,08	-0,10	-0,19
NT	-0,07	0,65	0,15	-0,01	0,04	0,05	0,18
DF	-0,41	-0,40	-0,41	-0,02	-0,18	-0,27	-0,40
TXx	-0,14	0,46	0,08	0,18	0,11	0,08	0,12
TXn	0,08	0,05	0,20	0,02	-0,01	-0,08	-0,08
TNx	0,07	0,50	0,19	0,11	0,13	0,12	0,20
TNn	0,31	0,37	0,41	0,19	0,22	0,20	0,22
ATD	-0,23	-0,32	-0,38	-0,18	-0,26	-0,26	-0,30



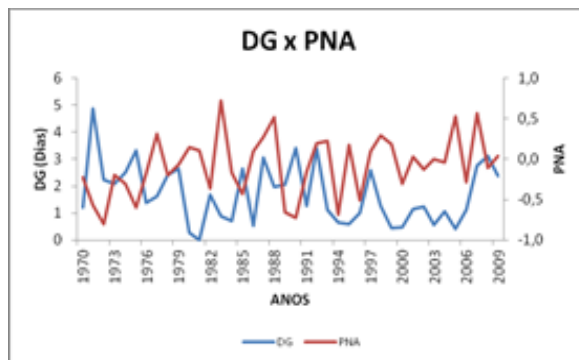
a)



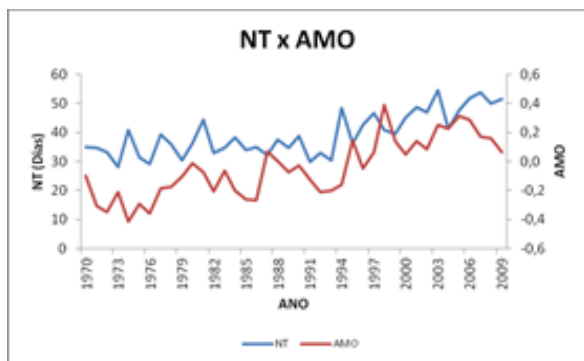
b)



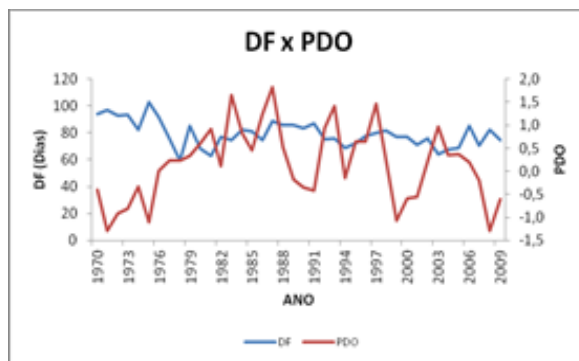
c)



d)



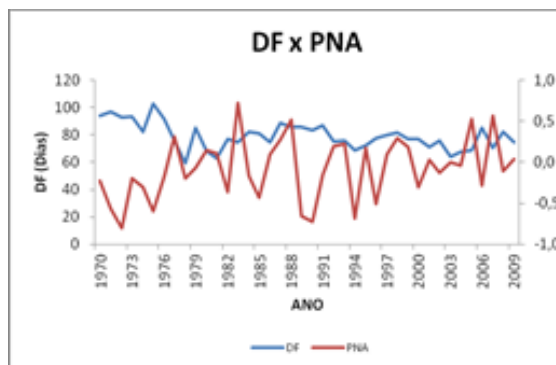
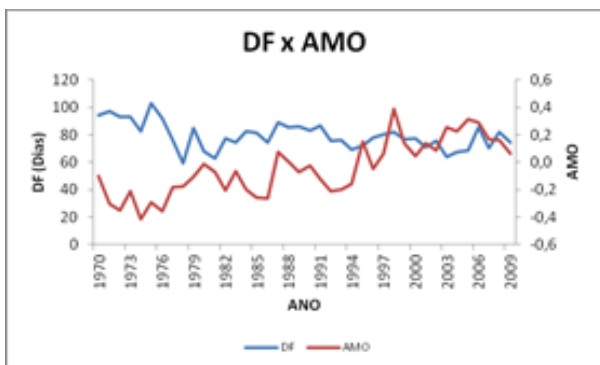
e)



f)

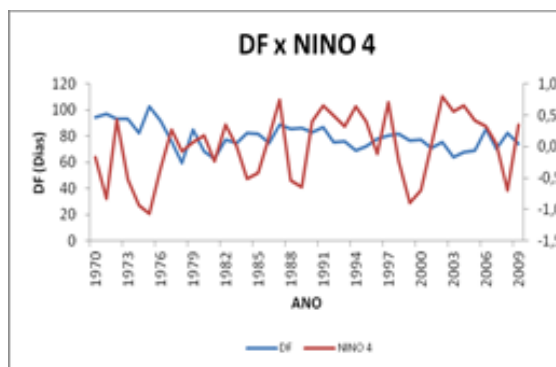
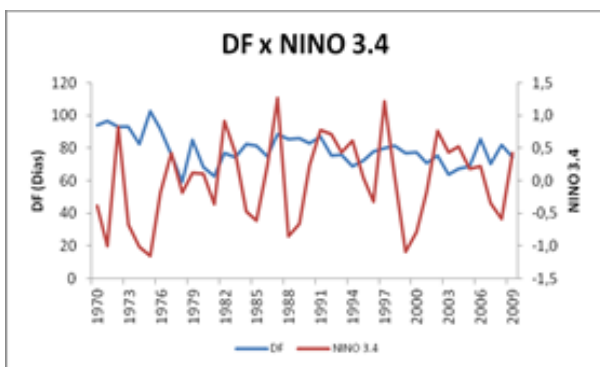
Figura 2: Variabilidade temporal dos índices extremos de temperatura e das anomalias de TSM e teleconexões do Atlântico e Pacífico para a região do Baixo Rio Colorado que apresentaram correlação significativa. a) DV e AMO, b) DG e PDO, c) DG e AMO d) DG e PNA, e) NT e AMO, f) DF e PDO g) DF e AMO h) DF e PNA i) DF e NIÑO 3.4 j) DF e NIÑO 4. l) TXx e AMO, m) TNx e AMO, n) TNn e PDO, o) TNn e AMO, p) TNn e PNA q) ATD e AMO r) ATD e PNA e s) ATD e NIÑO 4.

Continua...



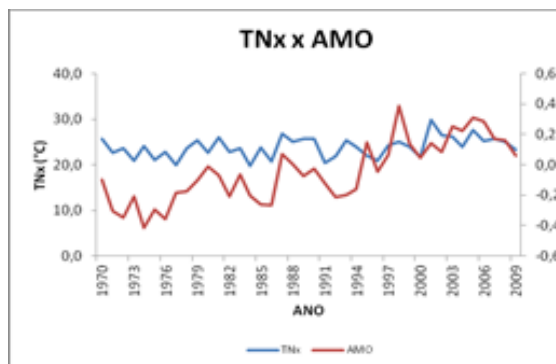
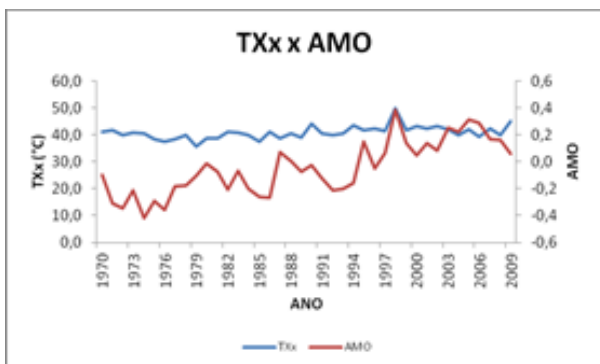
g)

h)



i)

j)

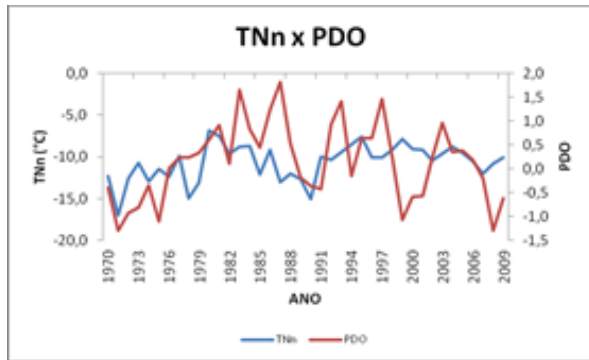


l)

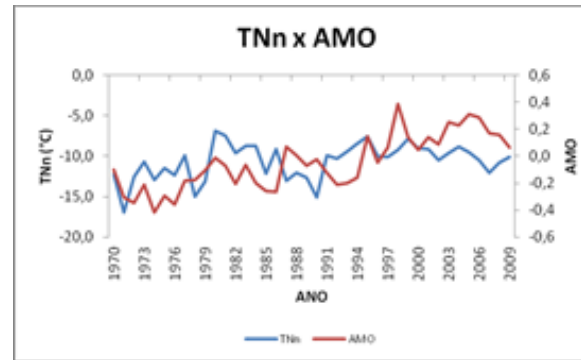
m)

Figura 2: continuação...

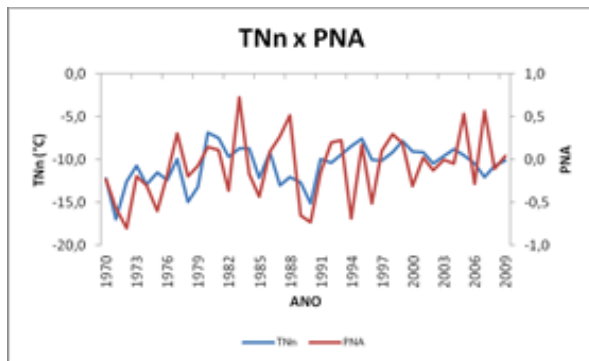
Continua...



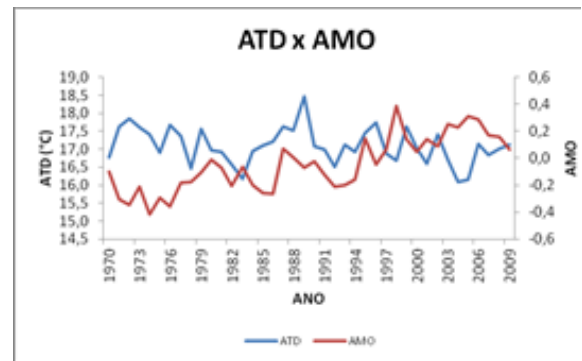
n)



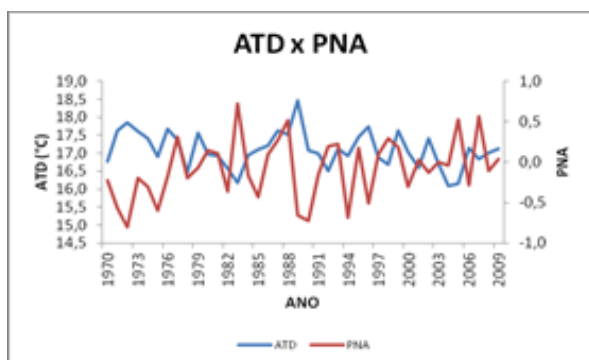
o)



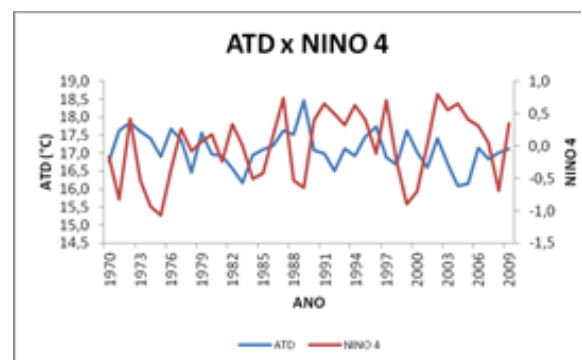
p)



q)



r)



s)

Figura 2: continuação...

a variabilidade temporal do índice DV com a AMO. Observou-se, com isso, uma correlação positiva entre os mesmos, indicando que um aumento nesta anomalia de TSM positiva torna os dias mais quentes. Já nas Figuras 2b, 2c e 2d observou-se a variabilidade temporal do índice DG com as anomalias PDO, AMO e PNA, mostrando correlações negativas deste índice com as respectivas anomalias TSM. Isto indica que um aumento destas anomalias positivas provoca diminuição dos dias gelados na região. A Figura 2e mostra a variabilidade temporal do índice NT com a AMO onde nota-se uma correlação positiva deste índice com a anomalia de TSM, indicando que o aumento desta anomalia positiva torna as noites mais quentes. A variabilidade temporal do índice DF (Figuras 2f a 2g) evidenciou correlações negativas com todas as anomalias de TSM analisadas, com exceção do Niño 1+2 e 3. Com isso, pode-se notar que o aumento destas anomalias positivas causa uma diminuição dos dias frios. A Figura 2l mostra a variabilidade do índice TXx com a AMO. Observou-se, contudo, uma correlação positiva deste índice com esta anomalia evidenciando que o aumento da anomalia positiva AMO influencia em um aumento do valor máximo da temperatura máxima anual. O índice TNx e a AMO, cuja a variabilidade temporal é mostrada na Figura 2m, se correlacionaram positivamente, mostrando que um aumento na AMO positiva contribui para o aumento do valor máximo da temperatura mínima. A variabilidade temporal do índice TNn com as anomalias PDO, AMO e PNA são mostradas nas Figuras 2n, 2o e 2p, evidenciando correlações positivas entre os mesmos. Isto indica que um aumento nas anomalias positivas de TSM provoca o aumento das temperaturas mínimas. As Figuras 2q a 2s mostram a variabilidade do índice ATD com a AMO, PNA e Niño 4. Estas anomalias em fase positiva se correlacionaram com o índice negativamente o que evidencia que o aumento destas anomalias positivas diminui a diferença média entre as temperaturas máximas e mínimas. Os efeitos das anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico analisada sobre o Baixo Rio Colorado corroboram com os analisados por Blakemore e Thomas (2007) e Hurkmans et al. (2009).

Assim, a influência das TSM's na BHBRC associada com padrões de circulação atmosférica que atuam no sudoeste dos EUA evidenciam alterações na temperatura que podem causar impactos na região, como episódios de seca de longo prazo (PRADO, 2010).

4 Conclusões

Diante do exposto, os resultados encontrados neste estudo são de fundamental importância uma vez que possibilitam a detecção e análise de possíveis modificações climáticas na região. As correlações dos índices de temperatura com as anomalias de TSM observadas sobre a região da bacia do Baixo Rio Colorado indicaram maior contribuição das anomalias PDO, AMO e PNA.

Os índices de temperatura DG, DF e TNn, mostraram correlações estatisticamente significantes com a PDO. Todos os índices de temperatura exceto o índice TXn apresentaram correlação com significância estatística com a AMO, enquanto que, o padrão PNA mostrou influência sobre os índices DG, DF, TNn e ATD. O Niño 3.4 influenciou apenas o índice DF, enquanto que o Niño 4 atuou sobre os índices DF e ATD. Por fim, evidenciou-se que, as anomalias positivas de TSM observadas, em sua maior parte, apresentaram correlações negativas com os dias frios, os dias gelados e com a ATD indicando a diminuição destes índices e, positivamente com as temperaturas mínimas indicando o aumento das mesmas na BHBRC.

Referências

- BLAKEMORE e THOMAS. Climatic Fluctuations and forecasting of streamflow in the lower Colorado River Basin. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, n. 6, p. 1550-1569, 2007.
- BENKE, A. C.; CUSHING, C. E. *Rivers of North America*, Elsevier Press, p. 1-18, 2005.
- BOND, N. A.; HARRISON, D. E. The Pacific decadal oscillation, air-sea interaction and central North Pacific winter atmospheric regimes. *Geophysical Research Letters*, v. 27, n. 5, p. 731-734, 2000.
- CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY. RCLimdex (0.9). User Manual, 25p., 2004.
- FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- HURKMANS, R. et al. Effects of Climate Variability on Water Storage in the Colorado River Basin. *American Meteorological Society*, v. 10, p. 1257-1270, 2009.
- IM, E. S.; JUNG, I. W.; BAE, D. H. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology*, v. 31, p. 72-86, 2011.
- KENAWY, A.; MORENO, J. I. L.; SERRANO, S. M. V. Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): Linkage to atmospheric circulation. *Atmospheric Research*, v. 106, p. 159-180, 2012.

LATIF, M.; BARNETT, T. P. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, v. 266, p. 634-637, 1994.

MCCABE, G. J.; BETANCOURT, J. L.; HIDALGO, H. G. Associations of decadal to multidecadal sea-surface temperature variability with Upper Colorado River flow. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, p. 183-192, 2007.

MORRISON, J. I.; POSTEL, S. L.; GLEICK, P. H. The Sustainable Use of Water in the Lower Colorado River Basin. Pacific Institute for studies in development, environment, and security, 1996.

PRADO, L. F. Oscilação interdecadal do Pacífico e seus impactos no regime de precipitação no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado — São Paulo, 2010. 133f.: il.

SANTOS, C. A. C. Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba. Dissertação de Mestrado — Campina Grande, 2006. 98f.: il.

SANTOS, C. A. C. et al. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *International Journal of Climatology*, Published online in Wiley Inter Science. (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.2205, 2010.

WANG, Y.; YAN, Z. Trends in Seasonal Precipitation over China during 1961–2007. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, v. 2, n. 3, p. 165-171, 2009.

ZHANG, X., YANG, F. RCLimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p, 2004.