

A INFLUÊNCIA DAS PALEOTEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR NA PRECIPITAÇÃO SOBRE O NORDESTE BRASILEIRO DURANTE O HOLOCENO

**Felipe Viana Pimentel¹; Alexandre Araújo Costa²; Tyhago Aragão Dias¹;
Francisco Franklin Sousa Rios¹; Vanessa Araújo de Lima¹.
felipimentel@gmail.com**

¹- Universidade Estadual do Ceará - UECE;

²- Prof. Dr. Titular do Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas.

Universidade Estadual do Ceará – Av. Paranjana, 1700 – Fortaleza-CE, Brasil.

Palavras-chave: Holoceno, Temperatura da Superfície do Mar, Nordeste Brasileiro.

1. INTRODUÇÃO

Vários autores já apontaram que, no clima presente, a variabilidade interanual da circulação atmosférica e da precipitação sobre o norte do Nordeste Brasileiro (NEB) está intrinsecamente ligada à interação oceano-atmosfera (MOURA E SHUKLA, 1981, HANSTENRATH, 1984, HANSTENRATH E HELLER, 1997). De fato, condições de Gradiente Inter-hemisférico (GIH) positivo sobre o Atlântico (bacia tropical norte anormalmente aquecida e bacia tropical sul anormalmente resfriada) e/ou El Niño via de regra determinam precipitação significativamente abaixo da média sobre a região; do contrário, quando da ocorrência de um GIH negativo e/ou La Niña, ocorrem comumente precipitações acima da média climatológica. Isso se dá em função de os padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) serem fundamentais na organização da convecção em grande escala em geral e, em particular, no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico.

Diversas questões, no entanto, têm sido recentemente levantadas acerca da conjunção entre a distribuição das TSMs nos oceanos tropicais e outros condicionantes climáticos, como o Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) (ZHOU E LAU, 1998), no estabelecimento da variabilidade do clima sobre o NEB. Assim, é fundamental conhecermos os limites da variabilidade natural do clima sobre a região, com particular ênfase no período recente de relativa estabilidade climática (Holoceno), para compreender que mecanismos são mais sensíveis às mudanças climáticas antropogênicas e que retroalimentações no sistema climático são mais importantes para o clima da região.

Como no presente existe um forte controle dos oceanos tropicais para o clima do NEB e o Holoceno mantém essa relativa estabilidade climática, há motivos para se acreditar que parte desse controle tenha prevalecido ou pelo menos se mantido importante durante os últimos 10 ka AP (mil anos antes do presente).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho, foram analisados dados de reconstruções climáticas de Paleotemperatura da Superfície do Mar (PTSM) a partir de sedimentos coletados em colunas de coral (*Coral Cores*) extraídos de 12 sítios ao longo dos Oceanos Tropicais do Atlântico e Pacífico conforme descrito na Tabela 1. Esses dados estão disponíveis no site do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, a partir de onde foram selecionadas as séries que se enquadravam no período estudado com resolução temporal adequada. Dados da TSM média mensal em grade global de 2°x2° para o período de 1854 a 2010 foram obtidos junto ao *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS)*, também vinculado à *NOAA*, sendo utilizados os pontos mais próximos aos sítios de coral, com o intuito de determinar relações estatísticas entre a precipitação sobre o NEB e a TSM desses locais. Por fim, para representar a precipitação, foram obtidos dados observacionais do volume de precipitação anual sobre 5 cidades do estado do Ceará (Aracati, Caucaia, Iguatu, Sobral e Tauá) durante os últimos 96 anos (1913-2009, série conjunta SUDENE-FUNCEME) junto ao *website* da *Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME)*. Estas foram escolhidas em função da longa duração e continuidade da série.

Essas bases de dados permitiram o cálculo de correlações para o clima atual, bem como a construção de um modelo de regressão linear para a precipitação como função das TSMs, que foi, em seguida, usado para estimar a paleoprecipitação sobre o estado do Ceará.

3. RESULTADOS

De posse dos dados de TSM dos sítios de *Coral Core* realizou-se uma interpolação dos dados para que possuíssem uma resolução temporal idêntica e, em seguida, determinou-se as correlações entre a TSM do presente (do *ICOADS*) com a precipitação sobre as cinco cidades para um período consonante a ambos (1913-2009). Estas correlações são mostradas na Tabela 2, destacando-se aqueles com maiores valores de significância.

Tabela 1. Coordenadas geográficas e referências dos sítios de *Coral Core* selecionados junto ao *NOAA*.

N°	Nome	Latitude	Longitude	Autor
01	Golfo da Guinéa	2°30'07"N	9° 23' 41"E	Weldeab <i>et al.</i> 2007
02	Cariaco	10°42'00"N	64°56'30"W	Lea <i>et al.</i> 2003
03	Caribe	12°05'00"N	61°15'00"W	Mueller <i>et al.</i> 1998
04	Costa da Namíbia	17°09'30"S	11°00'30"E	Kim <i>et al.</i> 2003
05	Costa da Maurítânia	20°45'00"N	18°35'00"E	deMenocal <i>et al.</i> 2001
06	Filipinas	6°18'00"N	125°49'48"E	Sttot <i>et al.</i> 2004
07	Indonésia	5°00'41"S	133°26'41"E	Sttot <i>et al.</i> 2004
08	Mar do Timor	10°35'31"S	125° 23'17"E	Sttot <i>et al.</i> 2004
09	Pacífico Equatorial Leste	0°01'30"N	86°27'48"W	Kienast <i>et al.</i> 2006
10	Costa da Califórnia	25°12'00"N	126°42'00"W	Barron <i>et al.</i> 2006
11	Costa Rica	8°12'20"N	84°07'19"W	Leduc <i>et al.</i> 2007
12	Mar Oriental da China	27°49'12"N	126°58'88"E	Sun <i>et al.</i> 2005

Tabela 2. Correlações calculadas entre TSM dos pontos estudados e a Precipitação para os últimos 97 anos. Valores em destaque (acima de 0,368 em módulo) apresentam significância superior a 99%.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Aracati	-0,414	-0,377	-0,312	-0,479	-0,676	-0,521	-0,423	-0,401	-0,817	-0,672	-0,565	-0,672
Caucaia	0,739	0,217	0,222	0,648	0,260	0,574	0,657	0,595	0,382	0,195	0,370	0,574
Iguatu	0,669	0,261	0,222	0,583	0,265	0,556	0,621	0,593	0,307	0,227	0,376	0,544
Sobral	-0,598	-0,782	-0,782	-0,718	-0,810	-0,801	-0,706	-0,733	-0,803	-0,821	-0,837	-0,804
Tauá	-0,452	-0,482	-0,460	-0,588	-0,687	-0,627	-0,515	-0,469	-0,770	-0,625	-0,600	-0,594

Dados de PTSM dos sítios com maiores correlações para o clima atual em relação a cada uma das cinco cidades foram então utilizados para construir um modelo de regressão linear múltipla para a precipitação em função da temperatura nesses sítios. O modelo de regressão segue uma equação simples do tipo:

$$P = P_o + a_1.T_1 + a_2.T_2 + a_3.T_3 + \dots + a_n.T_n \quad (I)$$

em que P representa a precipitação a ser reconstruída, P_o o termo independente da regressão linear, T_i refere-se a anomalia da temperatura do i -ésimo sitio de coral e a_i o coeficiente da regressão linear múltipla nos dados sítios.

A Figura 1 mostra a estimativa da paleoprecipitação encontrada através do modelo de regressão linear múltipla, suavizada por meio de uma média móvel de 100 anos para as cinco cidades do estado do Ceará estudadas e uma média das reconstruções que, a grosso modo, representa uma climatologia para todo o estado do Ceará.

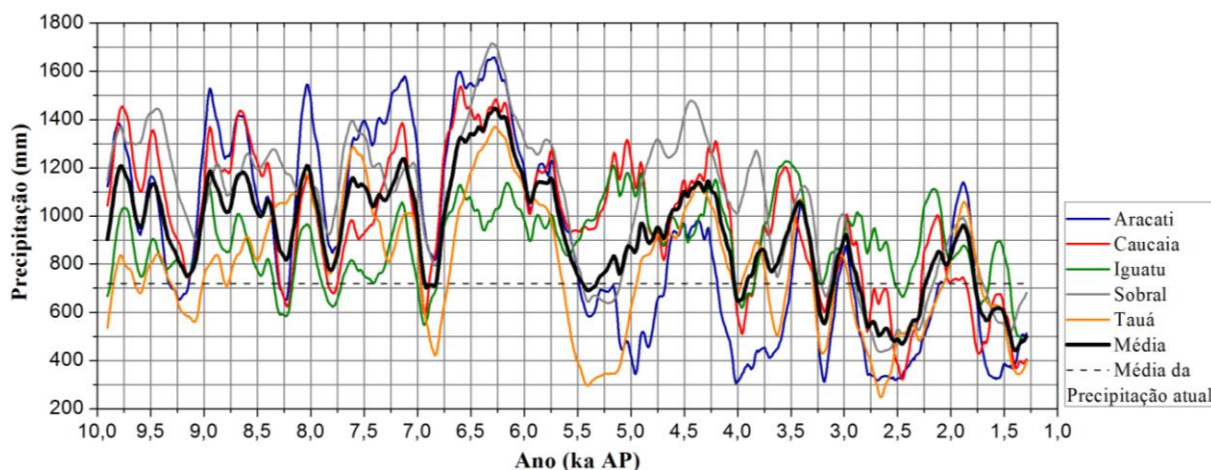


Figura 1. Reconstrução da Precipitação obtida através do modelo de regressão linear múltipla para as cinco cidades estudadas, uma média das reconstruções e a média atual da precipitação sobre o Ceará.

Ressaltamos que, infelizmente, não havia dados de PTSM para os anos mais recentes em parte significativa dos sítios (a maioria apresenta falta de registros entre 300 e 1000 anos). Além disso, um dos principais sítios para essa regressão, o Pacífico Equatorial Leste, que melhor representa a evolução dos eventos de El Niño durante o período consequentemente afetando os índices de precipitação sobre o NEB, tem seu último registro há 1,2 ka AP. Também foram retirados, em função da média móvel, os 100 últimos e os 100 primeiros anos

após o cálculo desta. Daí, a reconstrução da precipitação sobre as cidades do Ceará se deu entre 1,3 a 9,9 ka AP baseado nos índices de PTSM dos sítios estudados.

Para todas as cidades, os resultados sugerem a predominância de um clima mais úmido que o atual sobre a região durante a parte inicial do Holoceno com seu máximo durante o Holoceno Médio (HM) há aproximadamente 6,3 ka, com estimativa de precipitações equivalentes até ao dobro das atuais. Após esse período, houve uma gradativa redução da precipitação, chegando a dois mínimos que sugerem períodos bastante secos (o primeiro entre 2,3 e 2,8 ka e o segundo já ao fim da reconstrução há aproximadamente 1,5 ka).

É importante, para fins de verificação da reconstrução, que seus valores sejam estendidos até o presente ou próximo disso, fato que não ocorre por não haverem valores dos testemunhos paleoclimáticos de coral nos sítios em questão para os últimos séculos. Todavia, com o auxílio de dados em alta resolução do $\delta^{18}O$ da **FN1** em Apodi - RN (até então inéditos) que fazem parte de um detalhamento dos registros publicados por Cruz *et al.* 2009, é possível concluir a reconstrução, baseado na correlação entre os dados de isótopo estável do oxigênio e a reconstrução da Paleoprecipitação para o mesmo período (entre 1,2 e 3 ka AP) cujo valor foi de -0,208 com significância superior a 90%. A junção do dado médio mostrado na Figura 1 com os dados de $\delta^{18}O$ é mostrada na Figura 2.

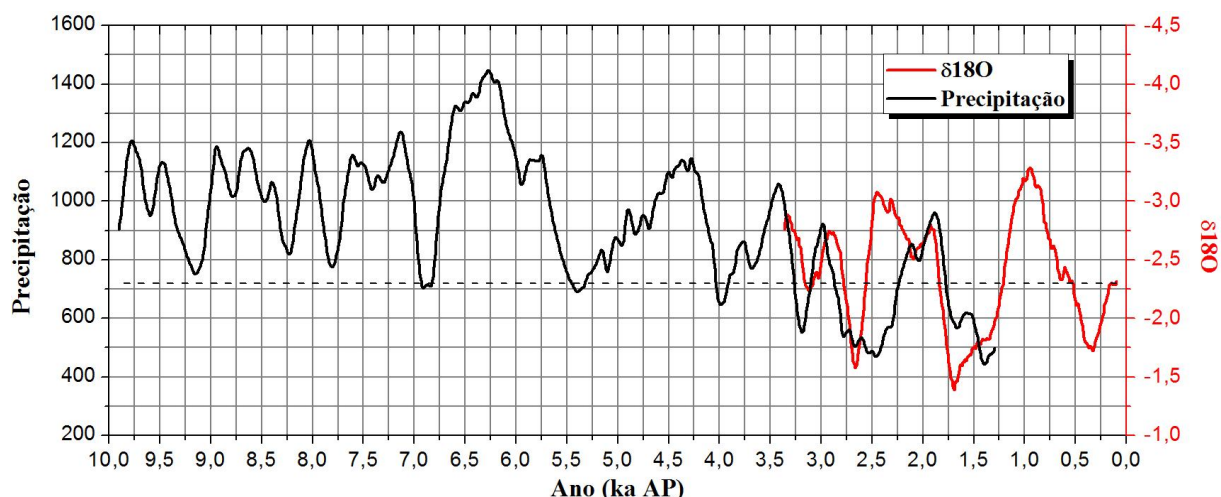


Figura 2. Gráfico apresentando a reconstrução para os últimos 1,2 ka através da relação entre a precipitação e o $\delta^{18}O$, calibrado e coincidindo ao final com a média atual.

4. CONCLUSÕES

Sendo o $\delta^{18}O$ um dos marcadores isotópicos que melhor demonstram a variabilidade da precipitação sobre uma região, vemos claramente que o modelo representa bem pela correlação demonstrada na seção anterior entre o período reconstruído e os dados da **FN1** entre o período equivalente a ambos. Ainda em relação aos dados de $\delta^{18}O$.

Trabalhos anteriores (CRUZ *et al.*, 2009) sugerem que, de fato, o semi-árido nordestino atravessou um período mais úmido que o corrente durante meados do Holoceno. Estes autores, porém, não conseguiram identificar uma vinculação direta entre este fato e a

TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico, argumentando que mudanças na resposta ao sistema de monções da América do Sul seriam responsáveis pelas alterações climáticas da região, que tendeu a um ambiente mais seco após o período citado. Por outro lado, Cane (2004) sugere que, durante a porção média do Holoceno, o fenômeno El Niño esteve menos atuante do que no presente. Isto sugere que, se a teleconexão entre as duas bacias (CAZES e ROBERTSON, 2003) tiver se mantido durante todo o Holoceno, uma configuração de dipolo mais favorável ao deslocamento austral da ZCIT pode ter prevalecido no Holoceno médio. A sobreposição de um El Niño enfraquecido com um dipolo predominantemente negativo são, a princípio, coerentes com taxas de precipitação maiores durante o HM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pelo financiamento através do projeto CONBINE (Convecção no Nordeste Brasileiro: Interações em Múltiplas Escalas, Processo 62.0057/2008-4) e pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor. Os dados do ICOADS são disponibilizados pela *Physical Sciences Division* (PSD) vinculada à NOAA/OAR/ESRL através do *website* <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.html>. Os dados de paleo-TSM são disponibilizados pelo *National climate data center* (NCDC), também vinculado à NOAA, através do *website* <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleocean.html>. Os dados de precipitação sobre o estado do Ceará são disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) através do *website*

<http://www.funceme.br/index.php/areas/acudes-e-rios/precipitacao-media>.

Um agradecimento em especial ao prof. Dr. Francisco William da Cruz Júnior por disponibilizar os dados que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Cane, A. M., 2004. The evolution of El Niño, past and future. *Earth and Planetary Science Letters*. v. 230. p. 227 – 240.
- Cazes-Boezio, G., Robertson A.W., Mechoso C.R., 2003. Seasonal dependence of ENSO teleconnections over South America and relationships with precipitation in Uruguay. *Journal of Climate*, v. 16, pp. 1159–1176.
- Cruz, F. W., Vuille, M., Burns, S. J., Wang, X., Cheng, H., Werner, M., Edwards, R. L., Marmann, I., Auler, A. S., Nguyen, H., 2009. Orbitally driven east–west antiphasing of South American precipitation. *Nature Geoscience*. DOI: 10.1038/NGEO 444.
- Hastenrath, S., 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Monthly Weather Review*. v. 112, p. 1097 – 1107.
- Hastenrath, S., Heller, L., 1977. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quat. Journal. Roy. Met. Soc.*, 103:77-92.
- Moura, A. D., Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiment with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38(12), p.2653-2675.
- Zhou, J., Lau, K. M., 1997. Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate*. v. 11, p. 1020 – 1040.