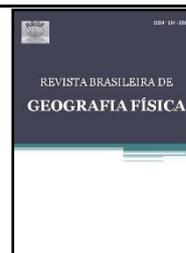




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Projeção Climática da Frequência de Eventos de Precipitação Intensa no Nordeste do Brasil: resultados preliminares

Matheus de Mendonça Andrade<sup>1</sup>; Kellen Carla Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Ciências & Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, [matheusand9@hotmail.com](mailto:matheusand9@hotmail.com). <sup>2</sup>Profª. Doutora efetiva, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/RN - Brasil, [kellenlima@ect.ufrn.br](mailto:kellenlima@ect.ufrn.br).

Artigo recebido em 31/07/2013 e aceito em 05/08/2013

### RESUMO

As frequências dos Eventos de Precipitação Intensa (EPI) em duas sub-regiões, norte e sul, do Nordeste do Brasil (NEB) são investigadas a partir do modelo Eta. Observou-se que a sub-região norte possui, em média, a maior frequência de EPI e a sub-região sul possui menor variabilidade. Os anos de extremos de precipitação (muitos ou poucos) estiveram relacionados a anos de El Niño. Não se encontrou estrita relação entre anos de La Niña e anos com maiores frequências de EPIs. Na comparação dos resultados dos dados observados de EPI com as simulações do modelo Eta, foram mais confiáveis as distribuições mensais em relação às anuais. As previsões para o futuro do modelo Eta no norte do Nordeste demonstraram tendência a aumento de frequência de EPIs e no sul do Nordeste, maior instabilidade na frequência.

**Palavras-chave:** Chuvas extremas, Eta, climas passado, presente e futuro.

### Climatic projection of frequency of intense rainfall events in Northeastern Brazil: preliminar results

### ABSTRACT

The frequency of Heavy Rainfall Events (HRE) in two sub-regions, north and south of Northeast Brazil (NEB) from the Eta model are investigated. It was observed that the sub-region north has, on average, higher incidence of HRE and southern sub-region has less variability. Years of extreme precipitation (many or few) were related to El Niño years. There was no strict relationship between La Niña years and years with higher frequencies of HRE. Comparing the results of the observed data of HRE with the Eta model simulations were more reliable monthly distributions with respect to annual. Predictions for the future of Eta model in north of Northeast Brazil, showed a tendency to increase the frequency of HRE and in south of Northeast, greater instability in frequency.

**Keywords:** Extreme rainfalls, Eta, past, present and future climates

\* E-mail para correspondência:  
[matheusand9@hotmail.com](mailto:matheusand9@hotmail.com) (Andrade, M. de M.).

## Introdução

Eventos extremos de precipitação e seca no Nordeste Brasileiro (NEB) causam sérios prejuízos sociais e econômicos pois milhares de pessoas são desalojadas de suas residências e, além disso, há também perdas irreparáveis de cultivos agrícolas decorrentes destes extremos. Segundo dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), fortes pancadas de chuvas ocorridas na Bahia, no início de março de 2008, foram responsáveis por 102 solicitações de atendimento devido às chuvas, 15 ocorrências de alagamento, 22 ameaças de deslizamento de terra, além do registro de 36 deslizamentos de terra e duas árvores caídas na capital do estado. Segundo informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nas cidades de Cruzeta (RN), Campina Grande (PB) e Triunfo (PE), entre os dias 18 e 24 de março do mesmo ano, houve registro de alagamentos, transbordamento de barragens e inundação de casas devido à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), calor e umidade, assim causando elevada precipitação. Por outro lado, a seca que castiga o NEB desde o ano de 2011 até o início de 2013 é a pior dos últimos 50 anos, causando danos dos mais variados níveis como, por exemplo, nas lavouras da região, além da diminuição na oferta de empregos, isso sem levar em conta as enormes perdas de cabeças de gado. Tais fatores somados com a realidade comum da

pobreza no NEB e a falta de estrutura política e social resultam em efeitos alarmantes e de grande relevância.

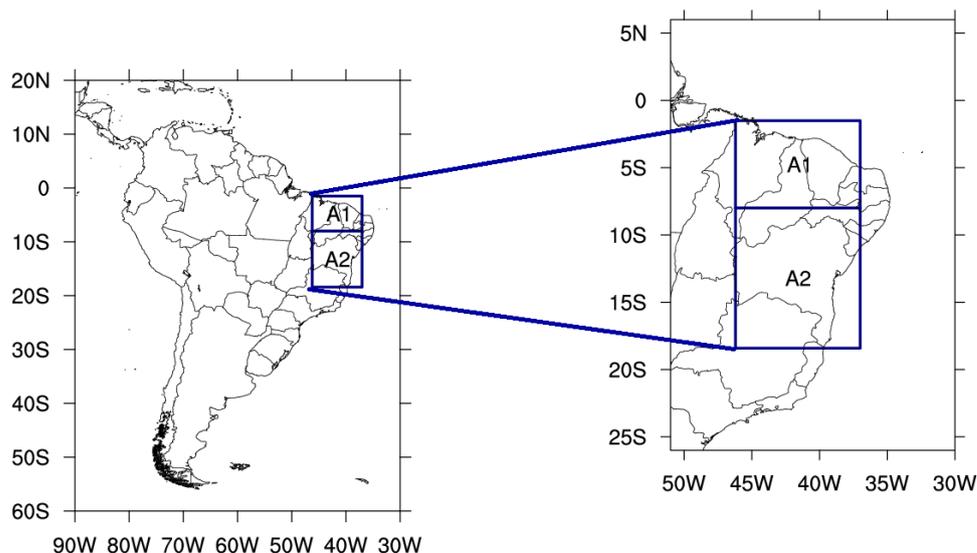
São diversos os sistemas atmosféricos atuam sobre essa região. Segundo Reboita et al. (2010), estes são: (ZCIT), convecção por aquecimento radiativo da superfície, complexos convectivos de mesoescala tropicais, ventos alísios, circulação de brisa, linhas de instabilidade, ondas de leste, atividade convectiva da Amazônia, vórtice ciclônico de altos níveis tropicais, frentes e alta subtropical do Atlântico Sul. Dentre todos esses sistemas, o de grande escala com maior relevância para o norte do NEB é a ZCIT, associada à convergência de umidade. Os mesmos autores propõem que, para o leste e o sul do NEB, os principais sistemas causadores de chuvas são incursões de sistemas frontais associados à convergência dos alísios, além das brisas. Anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) também estão relacionadas aos eventos de seca e chuva no NEB, assim como mostrado por Uvo (1998) e Cavalcanti (2012). Segundo Moura e Shukla (1981), a ocorrência simultânea de variação anômala positiva na TSM no oceano Atlântico Norte junto com uma anomalia negativa no Atlântico Sul está normalmente associada às anomalias negativas de chuvas no NEB. Cavalcanti (2012) também mostrou que em anos de El Niño, o NEB caracteriza-se por redução na precipitação. Ao contrário disso, períodos de La Niña são causadores de anos chuvosos nessa região (MOLION, 2002)

Considerando o exposto anteriormente, neste artigo pretende-se analisar de maneira preliminar a caracterização da frequência dos Eventos de Precipitação Intensa (EPI) referentes aos climas do passado, presente e futuro para os setores norte e sul do NEB a partir do modelo regional Eta.

### Material e Métodos

A área de estudo referiu-se ao NEB, a qual foi dividida em duas sub-regiões: norte (1,5°S – 8°S; 37°W – 46,2°W) e sul (8°S – 18,4°S; 37°W – 46,2°W), conforme mostrado na Figura 1. Para as análises foram utilizados conjuntos de dados de precipitação diária de observações do National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA) e de simulações climáticas do modelo regional Eta. O dado observado de precipitação utilizado nesse artigo foi oriundo de Liebmann e Allured (2005) que criaram um conjunto de dados em ponto de grade a partir de um conjunto de estações de superfície sobre a América do Sul. A resolução espacial é de 1° de latitude × 1° de longitude, disponíveis diariamente a partir de 1940 até o presente. O download dos dados pode ser

feito no endereço: <[http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.south\\_america\\_precip.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.south_america_precip.html)>. As simulações do Eta foram originárias do projeto CLARIS-LPB cujas configurações são apresentadas na Tabela 1. O propósito do projeto CLARIS foi criar grupos de trabalho entre instituições Europeias e Sul-Americanas para análise dos possíveis impactos de mudanças climáticas na América do Sul. O CLARIS iniciou em outubro de 2008 e, após três anos de pesquisa, resultados consideráveis foram obtidos, os quais levaram os coordenadores do projeto a lançar novas metas de estudo, com enfoque em agricultura e hidrologia na Bacia do Rio da Prata. O projeto é coordenado pelo *Institut de Recherche pour Le Développement*, sede em Paris, e tem envolvimento com 20 institutos de pesquisas de dez países (FAPESC, 2010). No Brasil, participam do projeto o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal do Paraná e a Universidade Federal de Santa Catarina. Com colaboradores do mundo inteiro, como Argentinos, Uruguaios, Franceses, Italianos, Suecos, Chilenos, etc.



**Figura 1** – Subdivisões das áreas de estudo sobre o NEB: área 1 (norte do NEB – A1) e área 2 (sul do NEB – A2).

**Tabela 1** - Descrição das configurações do modelo regional Eta referente aos climas do passado, presente e futuro.

<b>Modelo regional Eta</b>			
	<b>Passado</b>	<b>Presente</b>	<b>Futuro</b>
Domínio	AS	AS	AS
Tamanho da grade	123×245×38	123×245×38	113×243×38
Resolução horizontal	50×50 km	50×50 km	50×50 km
Tipo de grade	lat/lon	lat/lon	lat/lon
Condições de contorno iniciais e laterais	EraInterim	EraInterim	EraInterim
Tamanho da grade pós-processamento	140×156×20	140×156×20	144×157×20
Período de spin up	Jan-Dez 1960	Jan-Dez 1989	Jan-Dez 2079
Nudging	Não	Não	Não
Período	1961-1979	1990-2008	2080-2098

Para cada sub-região do NEB (norte e sul) os EPI foram identificados por intermédio da Técnica dos Quantis (WILKS, 1995) em séries de chuvas diárias de simulações numéricas com o modelo regional Eta. Um EPI foi definido como um dia em que a  $PRP \geq Q_{0,99}$ , isto é, apenas a chuva diária na categoria mais alta (1%) foi

considerada para selecionar um EPI. Uma vez identificado os quantis, então foi realizada a soma da quantidade de pontos de grade para cada dia do mês em questão. Posteriormente, foi calculada a média destes pontos para cada mês. Finalmente, um EPI foi considerado quando a quantidade total de pontos de grade foi maior que a média climatológica do mês.

## Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a distribuição anual da frequência de EPI (Eventos de Precipitação Intensa) para os dados observados (climas do passado (1961-1979) e presente (1990-2008)) e simulações com o modelo regional Eta para climas do passado (1961-1979), presente (1990-2008) e futuro (2080-2098). Na média, as maiores frequências de EPI (observados e simulados) são verificadas na área 1. Nesta, pode-se observar, em média, uma maior frequência de EPI na área 1 do que na área 2 para os valores simulados. Podemos observar que as simulações dão mais próximas das observações para a área 2. Essa situação pode ser devida ao fato desta área ter ocorrência de sistemas atmosféricos subtropicais, os quais são melhores simulados pelos modelos atmosféricos. Ao verificarmos os anos 1968, 1969, 1973, 1977, 1994, 2000, 2002 e 2003 (referentes aos valores 5, 8, 9, 11, 13, 14 e 17 do eixo horizontal do gráfico) relativos às simulações na Figura 2b e comparando com as ocorrências de EN e LN divulgadas na página do CPTEC/INPE, tais valores correspondem a anos de EN, com exceção do ano 2000 que foi de LN. Por meio da análise dos dados simulados da Figura 2, também se pode interpretar que as projeções para o futuro indicam que a quantidade de EPI tende a aumentar no norte do NEB, através da qual se espera um grande número de precipitações intensas principalmente nos anos de 2080, 2083 e 2092. Posteriormente, as avaliações

quantitativas do modelo serão realizadas para averiguar tal resultado.

Ao analisarmos as frequências de EPI acima da média na área 1 para valores observados (Figura 2a) percebe-se que alguns anos estão acima da média (linha preta contínua), os anos apontados por setas azuis e vermelhas, os quais ao compararmos com as ocorrências de eventos EN e LN, observa-se uma relação entre os eventos de EN e anos com maiores frequências de EPI, conforme pode ser visto na Tabela 2.

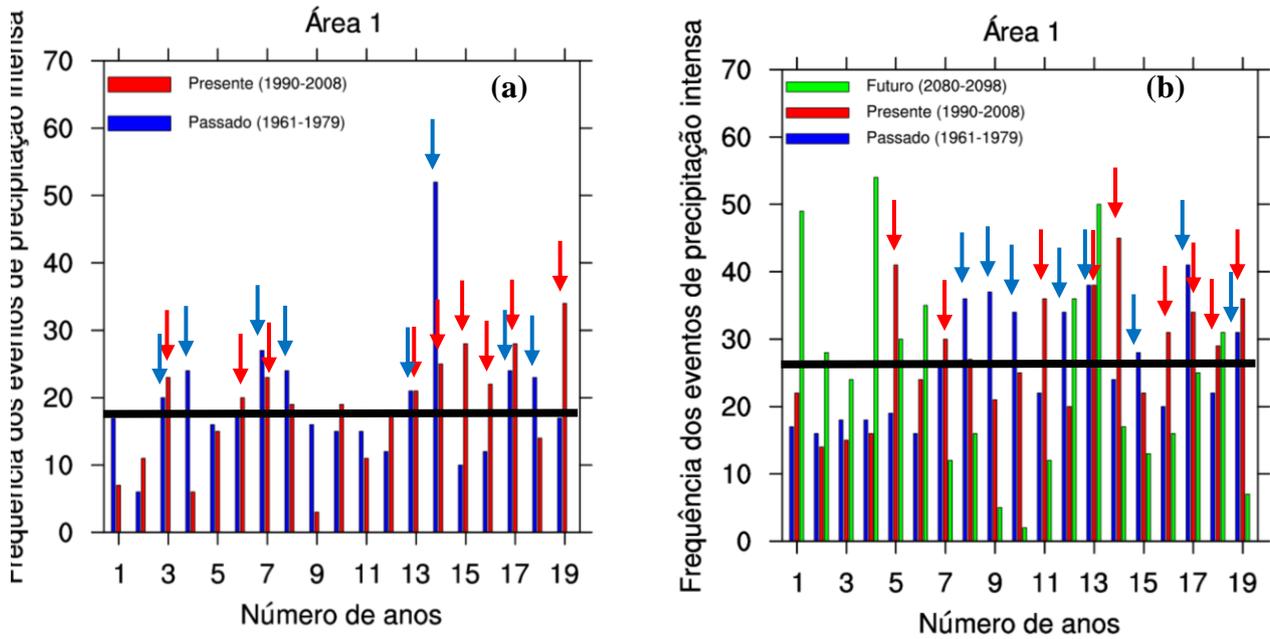
Nas Tabelas 2 e 3 observa-se que existe uma maior relação entre anos de atuação de EN e maiores frequências de EPI do que em relação a eventos LN. Para os valores observados da área 1, aproximadamente 63% dos anos de EPIs acima da média foram de EN para valores do passado e 77% para o presente, enquanto que os eventos de LN corresponderam a apenas 37% para o passado e 33% para o presente. Para uma mesma análise da área 2, as porcentagens para o passado são 70% (EN) + 40% (LN) e para o presente, 78% (EN) + 22% (LN). A soma das porcentagens de EPIs acima da média do passado da área 2 extrapolou 100%. Isso ocorreu porque a análise é anual, e durante esse período, pode ocorrer eventos EN e LN conjuntos, como ocorreu para o ano de 1973.

Em um total de 38 anos analisados das Figuras 2a e 3, 17 dos anos da área 1 foram de EPIs acima da média. Tal valor corresponde a aproximadamente, para as áreas 1 e 2, respectivamente, 44% e 50% do total, dos

quais 70% e 73% são de possibilidade de ocorrência de EN e 35% e 21% são de ocorrência de LN. Houve essa extrapolação de porcentagem para a área 1, pois nos anos de 1973 e 1995 ocorreram eventos de ambos os tipos.

A partir dessas análises, observa-se que anos de LN estão pouco relacionados com anos de baixa frequência de EPI, e para isso, pode-se inferir que tais anos são caracterizados por melhor distribuição das chuvas ao longo dos dias, de modo a não ser algo notável nas Figuras 2 e 3. O inverso ocorre para anos de EN, que estão mais relacionados com frequências de EPI acima da média. Esses são os mesmos resultados obtidos por Grimm e Tedeschi (2009), as quais afirmam que episódios de EN e LN provocam anomalias atmosféricas, influenciando significativamente na frequência dos eventos extremos de precipitação. Segundo as mesmas, o maior impacto nas frequências de eventos extremos na estação chuvosa do NEB ocorre em março.

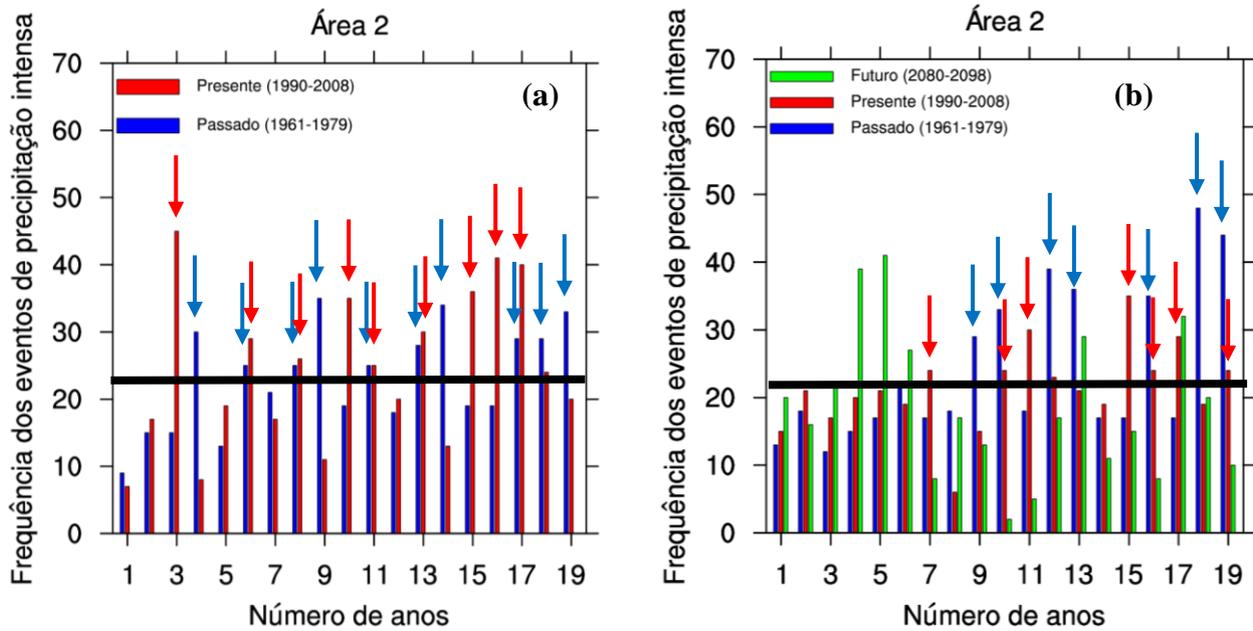
A Figura 3 apresenta a distribuição anual do número de EPI para a área 2, ou seja, o sul do NEB. Ao compararmos esta figura com a anterior, percebe-se que os valores simulados estão, em sua maioria, melhores distribuídos em valores próximos a 20 EPI. Ao compararmos a frequência dos anos acima da média simulados como 1972, 1973, 1976, 1978, 1979 e 2004 da Figura 3b, todos eles foram de ocorrências de EN. Por isso, assim como ocorre para o setor norte do NEB, o mesmo ocorre também para o setor sul. É possível observar que nos primeiros cinco anos os valores estão mais próximos à média, no entanto com o decorrer do tempo há um aumento na frequência de EPI no clima do passado, principalmente, a partir de 1969. O mesmo também ocorre para o presente a partir de 2000. As projeções para o futuro da área 2 indicam maior variabilidade nessa frequência de EPI a partir da previsão de 41 extremos (o máximo valor do futuro no gráfico) em 2084 e 2 eventos em 2089. Estas são projeções que serão analisadas de maneira mais aprofundada em estudos posteriores.



**Figura 2** - Distribuição anual da frequência de eventos de precipitação intensa a partir de (a) dados observados e (b) simulações com o modelo regional Eta para a área 1 (norte do NEB) referente aos períodos do passado (1961-1979), do presente (1990-2008) e do futuro (2080-2098). As setas vermelhas indicam anos com ocorrências de El Niño e as azuis são referentes aos anos com La Niña. A linha preta significa a média dos EPI.

**Tabela 2** – Análise dos valores observados acima da média das frequências de eventos de precipitação intensa em comparação com dados do CPTEC/INPE correspondente aos últimos anos de ocorrências de eventos El Niño e La Niña relativos aos períodos passado e presente da área 1.

	Valores acima da média no gráfico	Anos correspondentes	Anos com ocorrência de eventos El Niño	Anos com ocorrência de eventos La Niña
<b>Passado</b>	3/4/7/8/13/14/	1963/1964/1967/1968/	1963/1968/1973/1977/	1964/1973/1974
	17/18	1973/1974/1977/1978	1978	
<b>Presente</b>	3/6/7/13/14/15/	1992/1995/1996/2002/	1992/1995/2002/2003/	1995/1996/2008
	16/17/19	2003/2004/2005/2006/2008	2004/2005/2006	



**Figura 3** - Distribuição anual da frequência de eventos de precipitação intensa a partir de (a) dados observados e (b) simulações com o modelo regional Eta para a área 2 (sul do NEB) referente aos períodos do passado (1961-1979), do presente (1990-2008) e do futuro (2080-2098). As setas vermelhas indicam anos com ocorrências de El Niño e as azuis são referentes aos anos com La Niña.

**Tabela 3** – Valores observados acima da média das frequências de eventos de precipitação intensa em comparação com dados do CPTEC correspondente aos últimos anos de ocorrências de eventos de El Niño e La Niña relativos aos períodos passado e presente da área 2.

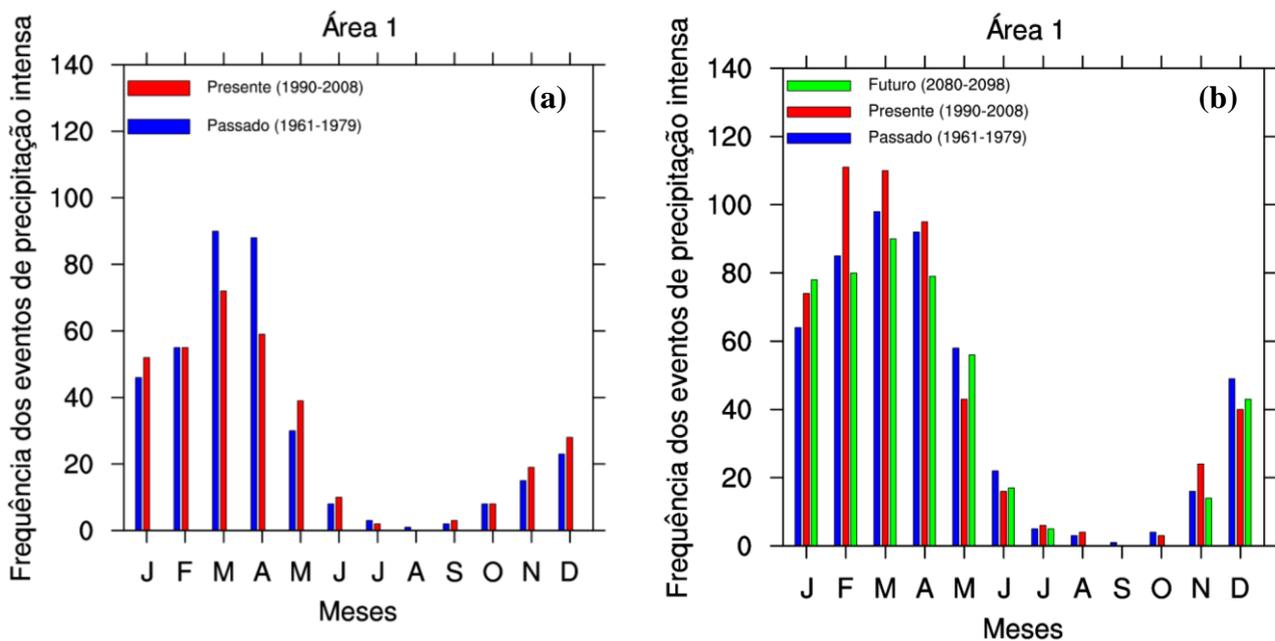
	Valores acima da média no gráfico	Anos correspondentes aos valores do gráfico	Anos com ocorrência de eventos do tipo El Niño	Anos com ocorrência de eventos do tipo La Niña
Passado	4/6/8/9/11/13/14/17/18/19	1964/1966/1968/1969/1971/1973/1974/1977/1978/1979	1966/1968/1969/1973/1977/1978/1979	1964/1973/1971/1974
Presente	3/6/8/10/11/13/15/16/17	1992/1995/1997/1999/2000/2002/2004/2005/2006	1992/1995/1997/2002/2004/2005/2006	1995/2000

A distribuição sazonal é apresentada nas Figuras 4 e 5, para as áreas 1 e 2, respectivamente. Por meio da inferência dos

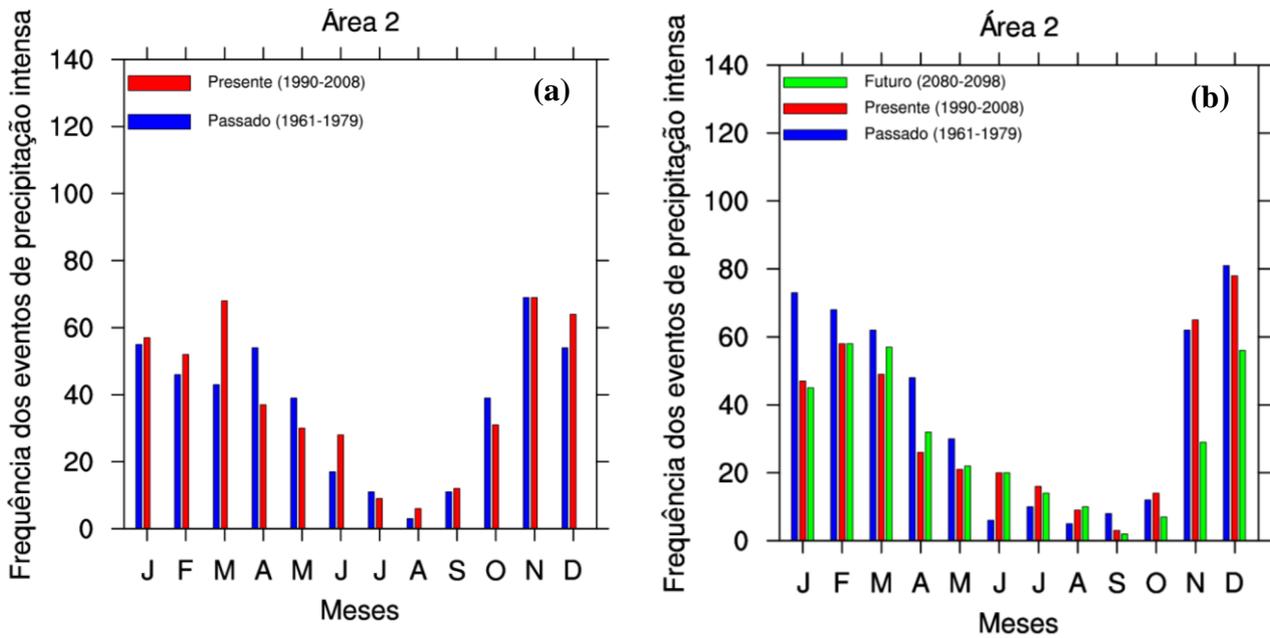
dados simulados, observa-se, principalmente na área 1, que o primeiro semestre do ano possui um total pluviométrico maior do que a

segunda metade. Para a mesma área, pode-se notar também que os meses de fevereiro e março possuem um maior número de EPI, enquanto que o inverso ocorre para os meses de agosto e setembro. Segundo Molion e Oliveira (2002), o principal mecanismo causador de chuvas no norte do NEB é a

ZCIT, a qual migra para sua posição mais ao sul durante os meses de março e abril e seu período mais chuvoso está entre os meses de fevereiro e maio, o que pode explicar a grande quantidade de valores de EPI acima da média nesse período.



**Figura 4** - Distribuição mensal da frequência de eventos de precipitação intensa a partir de (a) dados observados e (b) simulações com o modelo regional Eta para a área 1 (norte do NEB) referente aos períodos do passado (1961-1979), do presente (1990-2008) e do futuro (2080-2098).



**Figura 5** - Distribuição mensal da frequência de eventos de precipitação intensa a partir de (a) dados observados e (b) simulações com o modelo regional Eta para a área 2 (sul do NEB) referente aos períodos do passado (1961-1979), do presente (1990-2008) e do futuro (2080-2098).

Em comparação com a área 1, a área 2 apresenta valores mais bem distribuídos para os períodos do ano, apesar de se verificar alguns meses de pouca frequência de EPI e outros de maior. Essa área também possui, em média, um menor total de EPI durante o ano, apesar de seus meses, que se pode inferir, de menor frequência, possuírem um maior total em relação aos mesmos meses da área 1. Ao compararmos os dados observados e as simulações percebe-se que elas apresentam variações mais suaves, principalmente para a área 1 devido à maior facilidade de percepção da sazonalidade da frequência de precipitações extremas no decorrer do ano. Nos resultados observados, principalmente na

Figura 4a, percebe-se um maior variabilidade nos dados.

Em geral, os resultados das simulações mensais do modelo regional Eta são bastante satisfatórios, pois são próximos dos valores observados apesar de se perceber algumas imperfeições relativamente baixas do modelo por superestimar de certa forma as frequências dos valores observados, o que é mais perceptível na Figura 4b, relativa à área 1. Ao observarmos os meses que mostram maior frequência de EPI na área 1, março e agosto, para as Figuras 4 e 5, confirma-se o que foi dito anteriormente com relação à superestimativa do modelo regional Eta segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação dos valores observados e simulados pelo modelo regional Eta para os meses de março e agosto dos climas do passado e do presente.

		Março		Agosto	
		Observado	Simulado	Observado	Simulado
Área 1	Passado	90	98	1	3
	Presente	72	110	0	4
Área 2	Passado	43	62	3	5
	Presente	68	49	6	9

Segundo Molion e Bernardo (2002), um dos principais sistemas causadores de chuvas no sul do NEB é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual se desloca para latitudes entre 12°S e 15°S causando um grande volume de chuvas acima da média nessa área entre os meses de novembro a março, sistema que pode estar associado aos resultados encontrados para a área 2. Esse sistema é um dos principais causadores de chuvas normais ou intermitentes no país e pode até provocar também condições de seca. Tais variações podem ser causadas por vários fatores, tais como frentes frias, por sistemas de grande escala como EN ou LN, pela TSM dentre outros. Durante os primeiros meses do ano, esse sistema é o principal causador de chuvas no setor sul do NEB.

O aumento na frequência dos EPI a partir de novembro pode ser sido ocasionado pela atuação de frentes frias que chegam até latitudes tropicais entre os meses de novembro a março. A massa de ar frio, ao atingir o NEB, por ter uma maior densidade devido à menor temperatura em relação ao ar

quente, a massa de ar frio penetra por baixo da quente, fazendo com que a quente se eleve e forme nuvens devido à umidade e, por conseguinte, as chuvas (OLIVEIRA, 1986). Um estudo realizado por Moscati e Gan (2006) revelou que, após o estudo de 21 eventos de chuva extrema ocorridos na área similar à área 2 desse trabalho, o principal mecanismo causador de chuva é a aproximação de sistemas frontais, os quais favoreceram às condições para chuva extrema.

Na região norte do NEB, outro fator que deve ser considerado na análise dos resultados são as anomalias de TSM. Segundo o estudo realizado por Brabo e Mello (1993), quando ocorrem anomalias positivas de TSM durante períodos de déficits de chuvas no norte do NEB (área 1) na estação chuvosa, elas estão relacionadas também à escassez de chuvas da pré-estação da região e segundo os mesmos, tais eventos ocorrem principalmente durante anos de EN.

Além disso, no estudo realizado por Sousa et al. (1994) observou-se forte

correlação entre eventos EM e LN e as anomalias de TSM no Atlântico em algumas áreas do norte do Brasil e no litoral da área 1. Em acordo com o que foi exposto por Brabo e Mello (1993), o estudo defende que eventos LN juntamente com dipolo negativo estão associados com fortes anomalias positivas de precipitação sobre essas áreas. O inverso ocorre em anos de atuação de eventos EN juntamente com o dipolo positivo de anomalias de TSM, nos quais estão relacionados com redução dos totais pluviométricos da área. Vale ressaltar que, o estudo realizado por Brabo e Mello (1993) abrangeu a região correspondente à área 1 deste estudo, e Sousa et al. (1994) correspondeu uma parcela da área 1 e uma área não descrita aqui, o leste da Amazônia e litoral norte brasileiro (Macapá-AP, Belém-PA). A relevância desse estudo para o assunto foi por também abranger a área de São Luís-MA, situada na área 1.

Nesse estudo (Sousa et al. (1994)), também foi mostrado que existe certa relação entre os oceanos Atlântico Norte, Sul e Pacífico, nos quais, quando existe anomalia negativa de TSM no Pacífico e Atlântico Norte juntamente com anomalia positiva no Atlântico Sul, há certa correlação entre esses episódios e excesso de chuvas nas áreas anteriormente citadas (Leste da Amazônia e Litoral Norte Brasileiro), o que incita as mesmas consequências para áreas do setor norte do NEB.

Além disso, segundo Moura e Kayano (1986), existe uma relação entre os eventos que ocorrem em certas áreas do globo e o NEB. Segundo os autores, existe uma correlação entre os períodos de seca no norte do NEB e na África Ocidental e o inverso ocorre na área das Guianas. Com isso, seus estudos indicaram que o desvio da variabilidade pluviométrica no norte do NEB e nas Guianas esteve relacionado com a ZCIT, a qual se posiciona mais ao sul durante os anos chuvosos. A partir disso observa-se que os eventos de seca ou de chuvas que ocorrem no norte do NEB não são isolados, mas também ocorrem em outras áreas do globo.

Apesar de alguns estudos indicarem que anos de déficits de precipitação pelo menos no NEB estão associados a eventos de EN, Alves e Repelli (1992) defenderam que não existe uma grande correlação entre esses acontecimentos, ou seja, a partir de eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul) estudados, não existe predomínio em anos de estiagem ao comparar com anos chuvosos. Tal argumento, em parte, vai de acordo com os resultados aqui obtidos, pois observa-se que ao comparar anos de ocorrências de El Niño, percebe-se uma certa correlação com anos de maiores frequências de EPI.

Isso não significa necessariamente que um ano de EN seja um ano chuvoso, mas um ano de grandes desvios de totais pluviométricos, o que significa chuvas menos distribuídas e isso não é de grande interesse principalmente econômico, já que essa área

seja em grande parte de predominância agrícola, a falta de chuvas durante um longo período com uma pequena ocorrência de pancadas de chuvas traz grandes prejuízos às lavouras.

Nas estimativas para o futuro exibidas nas Figuras 2 a 5, pode-se observar que, os EPI apresentarão um maior desvio de frequência nos acontecimentos, em alguns anos, de modo a superar os recordes dos anos analisados para o passado e presente. Tal fator é perceptível para uma análise dos totais anuais da área 1, o que não ocorre plenamente para a área 2, que apesar de possuir altas frequências para o futuro, estas não ultrapassam os valores do presente.

A partir dessa análise, pode-se observar que a distribuição da frequência dos EPI da área 1 poderá ser diferente da área 2 no futuro. Vários fatores podem causar essa modificação, como por exemplo as possíveis mudanças climáticas que ocorrem atualmente no globo. Outro fator que também pode estar relacionado a essa mudança é uma possível fragilidade dos mecanismos às mudanças climáticas dos mecanismos causadores de chuvas no norte do NEB, de modo que elas afetem sua atuação.

Além disso, o que também pode causar essa mudança pode estar relacionado aos erros de previsão do modelo regional Eta. Segundo Tippet e Silva (1999), os erros de previsão estão relacionados com as imperfeições do modelo e as diferenças entre as condições iniciais e o estado atual da atmosfera.

A partir das frequências dos totais mensais de EPI, pode-se observar uma variação quanto ao futuro, que é diferente em ambas as áreas estudadas. Na Figura 4, que representa a área 1, não se percebe tão claramente uma variação nas frequências mensais, exceto nos meses de fevereiro a abril, os que apresentam as maiores frequências de todo o ano, nos quais as previsões para o futuro demonstram uma queda gradativa começando do período passado, reduzindo no presente e por fim, terminando no futuro. A partir disso, pode-se prever uma melhor distribuição dos totais pluviométricos da região, ou seja, menores frequências de EPI, caso as chuvas ultrapassem com menor frequência a média de precipitação no futuro. Pode haver também um aumento nos totais de precipitação da área causando um aumento da média de precipitação e simultânea permanência na frequência de extremos de precipitação de modo que a média de precipitação cresça e os totais ultrapassem com menos frequência a média.

Na Figura 5, correspondente às frequências mensais da área 2, percebe-se uma pequena tendência das frequências a um nivelamento, pois nos meses com maior frequência de extremos de precipitação, os valores para o futuro tendem a reduzir nos meses com maior frequência de chuvas acima da média. O inverso ocorre mais notavelmente no mês de agosto, no qual o

futuro provavelmente apresentará maiores frequências.

A área que apresenta menor variação sazonal das frequências é a área 2. Talvez, em um futuro além dos anos representados, haja uma frequência de eventos extremos de precipitação melhor distribuída, nos quais as frequências mensais de EPI sejam mais aproximadas. Isso pode ocorrer devido a uma distribuição regular de chuvas no sul do NEB, de modo que a sazonalidade dos mecanismos causadores de chuvas na região venham a extinguir. Essa é apenas uma das alternativas dentre muitas outras que podem ocasionar essa possível tendência à regularidade.

## Conclusões

A análise da distribuição dos EPI mostrou que existem outros fatores bem diferentes a serem observados apesar de se notar que a área 2 (Figura 3) apresentou valores de precipitação inferiores a quando comparada com a área 1. Por sua vez, a área 1 teve um comportamento mais imprevisível quanto à frequência de EPI, pois alguns de seus valores estão bem espaçados da média, a qual diferentemente da figura 3, seus valores são melhor distribuídos ao longo do tempo apesar de um relativo aumento na frequência nos últimos anos do passado e do presente.

Os eventos relacionados aos mecanismos na área 1 foram anomalias de TSM relacionadas a anos de El Niño e La Niña principalmente no leste dessa área. Segundo Sousa et al. (1994), a ocorrência de

eventos La Niña juntamente com dipolo negativo de anomalias de TSM estão bastante associados com um aumento nos índices pluviométricos da área 1. Apesar disso, não há um crescimento notável na frequência dos eventos extremos de precipitação durante anos de La Niña.

Por intermédio da análise das duas sub-regiões, norte e sul, do NEB em sua distribuição mensal, pôde-se observar que ambas as áreas apresentaram uma sazonalidade bem marcante quanto à distribuição da frequência de chuvas intensas.

De certa forma, o presente estudo agrega nova informação sobre os EPI na região do NEB que constantemente sofre com problemas relacionados à precipitação seja por excesso ou por falta dela. Sabe-se que esses eventos extremos são responsáveis por perdas tanto do ponto de vista social quanto econômico. E o fato de apresentarem estudos destes eventos focando nessa região ajuda na melhor compreensão da dinâmica envolvida com os EPI.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela concessão da bolsa de iniciação científica, ao Projeto CLARIS-LPB pelos dados e ao Guilherme Martins pelo suporte e apoio na geração das figuras usando o *NCAR Command Language* (NCL).

## Referências

- Alves, J.M.B.; Repelli, C.A.; Mello, N.S. 1992. A pré-estação chuvosa do setor norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 8, n. 1, p. 22-30.
- Brabo, J.M.; Repelli, C.A.; Mello, N.S. 1993. A pré-estação chuvosa do setor norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.8, n.1, p.22-30.
- Cavalcanti, I.F.A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: a review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, n.118, v. 118, p. 27–40.
- Chaves, R.; Cavalcanti, I. 2000. Eventos extremos de precipitação sobre o Sul de Nordeste. XI. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro.
- Liebmann, B.; Allured, D. 2005. Daily precipitation grids for South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 86, p. 1567-1570.
- Molion L.C. B.; Oliveira, B.S. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10.
- Moscatti, M.C.L.; Gan, M.A. 2006. Uso de índices climáticos para identificar eventos de chuva extrema no interior semi-árido sul do Nordeste do Brasil (NEB). XIV Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis/SC.
- Moura, A.D.; Kayano, M.T. 1986. A distribuição da precipitação para os anos extremos do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, n. 1, p. 1-9.
- Moura, A. D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 12, p.2653-2675.
- Oliveira, A. S. 1986. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE-4008-TDL/239, 134 p.
- Reboita, M. S.; Gan, M.A; Rocha, R.P.; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185-204.

Sousa, J.R.A.; Almeida, R.M.B.; Rolim, P.A.M. 1994. Influência do dipolo do Atlântico nas precipitações do leste da Amazônia/Litoral Norte Brasileiro (Macapá-AP, Belém-PA e São Luís-MA). VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte/MG.

Tippett, M.K.; Silva, A. 1999. Model error estimation for the CPTEC Eta model. *Revista Climanálise*.

Uvo, C.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S.E.; Kushnir, Y. 1998. The Relationships between tropical pacific and atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, v. 11, p. 551-562.

Wilks, D. S. 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. New York: Academic Press.