

Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM

Carlos Antonio Costa dos SANTOS¹, Prakki SATYAMURTY², Edilanê Mendes dos SANTOS³

RESUMO

Foram estudadas tendências nos índices de extremos climáticos baseados em dados de precipitação para três estações localizadas em Manaus e na região circunvizinha para o período de 1971-2007. Baseado nos resultados obtidos pode ser observado que houve aumento da precipitação total anual sobre a região estudada. A estação localizada na zona urbana de Manaus (INMET) teve aumento, com significância estatística, dos eventos de precipitação iguais ou superiores a 50 mm (R50mm), na precipitação máxima acumulada em cinco dias consecutivos (Rx5day) e nos dias úmidos (R95p), indicando que Manaus poderá sofrer com o aumento das chuvas extremas. Aumento das anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Equatorial leva a um aumento dos dias consecutivos secos e diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a bacia amazônica. As anomalias positivas de TSM no Oceano Atlântico Sul induz o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento da precipitação sobre a região de Manaus. Os resultados obtidos aqui têm potencial para possíveis previsões das características da precipitação em Manaus.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, El Niño, Temperatura da Superfície do Mar, TNAI, TSAI.

Trends of extreme climatic indices for Manaus - AM region

ABSTRACT

Trends in the extreme climate indices based on precipitation data at three stations in and around the city of Manaus for the period 1971-2007 are studied. Based on the results obtained it can be observed that there was an increase of the annual total precipitation in the area studied. At the station located in the city of Manaus (INMET), the frequency of precipitation events with 50 mm (R50mm) or more, the amount precipitation in five consecutive days (Rx5day) and the number of wet days (R95p), showed an increase, with statistical significance, indicating that Manaus may suffer with the increase of the extreme rainfall events. An increase in the positive SST anomalies in the Equatorial Pacific Ocean induce an increase of the consecutive dry days and decrease of the extreme rainfall events and, consequently, in the total precipitation in the Amazon basin. The positive SST anomalies in the South Atlantic Ocean induce the displacement of ITCZ to the south of Equator causing an increase of the precipitation in the Manaus region. The results obtained here have potential for possible prediction of precipitation characteristics at Manaus.

KEYWORDS: Precipitation, El Niño, Sea Surface Temperature, TNAI, TSAI.

¹ Universidade Federal de Campina Grande, UACA, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58109-970 - Campina Grande, PB – Brasil. Fone/fax: 83 21011202, E-mail: carlos@dca.ufcg.edu.br; carlostorm@gmail.com;

² Universidade do Estado do Amazonas, CESTU, Avenida Djalma Batista 3578, Flores. CEP 69077-000, Manaus, AM – Brasil. E-mail: saty.prakki@gmail.com;

³ Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Avenida André Araújo, 2936, Aleixo, CEP 69060-001 Manaus, AM, Brasil. E-mail: edilanemendes@bol.com.br.

INTRODUÇÃO

Estudos recentes apontam que o aquecimento global trará impactos potencialmente catastróficos para a Amazônia, ao passo que a manutenção da floresta amazônica oferece uma das opções mais valiosas e de baixo custo para mitigar as mudanças climáticas (Fearnside 2009). Sabe-se que o fenômeno de El Niño - Oscilação Sul (ENOS), causado por oscilações da temperatura da superfície da água no Oceano Pacífico, assim como, as oscilações da temperatura no Oceano Atlântico podem trazer impactos sobre a Amazônia, tais como secas e incêndios florestais. Tem sido observado também que as árvores amazônicas são sensíveis à ação do fogo e de estresse hídrico sob condições quentes e secas. Ademais, a água reciclada pela floresta fornece parte da chuva que mantém as condições climáticas apropriadas para floresta tropical, especialmente durante a estação seca (Fearnside 2009; Yoon e Zeng 2010).

O aquecimento global tem o potencial de causar altas taxas de evaporação e intensificar o transporte de grandes quantidades de vapor de água na atmosfera, provavelmente acelerando o ciclo hidrológico global (Zhang *et al.* 2010). Uma das mais significativas consequências do aquecimento global poderá ser um aumento na magnitude e frequência dos extremos de precipitação através do acréscimo dos níveis de umidade na atmosfera e/ou atividades convectivas de grande escala (Shouraseni e Robert 2004).

Nas últimas décadas, as mudanças nos extremos climáticos têm atraído a atenção mundial porque os eventos climáticos extremos impactam os sistemas naturais e humanos mais que seus valores médios (Aguilar *et al.* 2009). A infra-estrutura social (abastecimento de água, por exemplo) é mais sensível aos eventos extremos. De acordo com o IPCC (2007), as mudanças na distribuição de plantas e animais selvagens, extinções induzidas pelo clima, mudanças na fenologia e na diversidade de espécies têm apresentado taxas de aumento.

Extremos de temperatura e precipitação têm sido estudados em escala global, nacional e regional. Em escala global, análises mais compreensivas dos extremos climáticos são discutidas no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC 2007). Na escala nacional e regional, têm sido desenvolvidos estudos das mudanças e seus impactos na Ásia, Pacífico Sul, Caribe, África, América do Sul e América do Norte. Existem marcantes consistências entre os resultados obtidos por estes estudos em termos de temperatura, mas menos coerência espacial nos extremos de precipitação (You *et al.* 2010; Santos *et al.* 2011). No final da década de 1990 vários *workshops* desenvolveram índices para analisar extremos climáticos. Com o objetivo de criar um conjunto de índices que poderiam ser calculados para uma variedade de climas e possibilitar a comparação entre regiões. Como resultados, 27 índices de mudanças climáticas,

derivados de dados diários de temperatura e precipitação, foram identificados (Zin *et al.* 2010).

O objetivo desse estudo é analisar as tendências dos índices de extremos climáticos, dependentes da precipitação pluvial diária, definidos pela Organização Meteorológica Mundial (Zhang e Yang 2004), para a cidade de Manaus-AM, assim como, analisar suas relações com as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico (ENOS) e Atlântico (Dipolo do Atlântico). Esse trabalho é de grande importância para a população da cidade de Manaus-AM, uma vez que alterações no clima poderão influenciar os setores sócio-econômicos e causar impactos ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados dados diários de precipitação pluvial, para o período de 1971 a 2007, obtidos do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia - EMBRAPA (2°52'S; 59°59'W) situado a 30 km ao norte da cidade de Manaus, da Reserva Florestal Ducke (2°55'S, 59°57'W), área de proteção ambiental pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, localizada a 25 km a nordeste da cidade de Manaus e da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (3°12'S, 59°95'W) (Figura 1). Dados das anomalias mensais de TSM nas regiões dos Oceanos Pacífico e Atlântico foram obtidos do *site* eletrônico do Climate Prediction Center (CPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Os onze índices de eventos climáticos extremos derivados de dados de precipitação, utilizados nessa pesquisa, juntamente com suas definições conforme o Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), estão mostrados na Tabela 1. Na avaliação da homogeneização dos dados e no cálculo dos índices foi utilizada a metodologia de Zhang *et al.* (2005) implementada no software RCLimdex

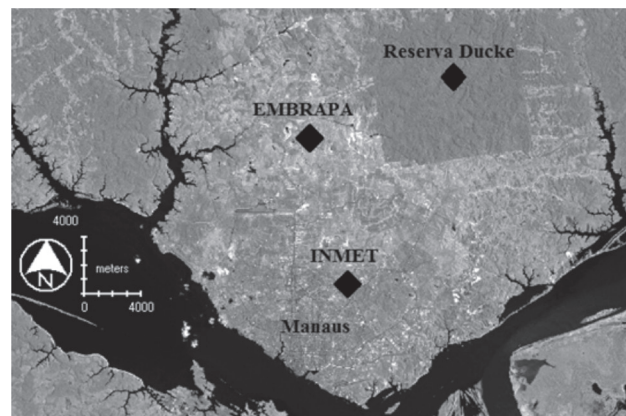


Figura 1 - Localização dos postos de coleta de dados de temperatura.

Tabela 1 - Definição dos índices de extremos climáticos baseados em dados de precipitação utilizados nesse estudo

Índices	Definição	Unidades
Rx1day	Máxima precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Máxima precipitação em 5 dias consecutivos	mm
SDII	Média anual da precipitação quando PRCP ≥ 1,0mm	mm
R10mm	Número de dias em um ano quando PRCP ≥ 10mm	dias
R20mm	Número de dias em um ano quando PRCP ≥ 20mm	dias
R50mm	Número de dias em um ano quando PRCP ≥ 50mm	dias
DCS	Máximo número de dias consecutivos secos com PRCP < 1mm	dias
DCU	Máximo número de dias consecutivos úmidos com PRCP ≥ 1mm	dias
R95p	Dias úmidos quando PRCP > 95p	mm
R99p	Dias extremamente úmidos quando PRCP > 99p	mm
PRCPTOT	Precipitação Total Anual quando (PRCP ≥ 1mm)	mm

1.9.0, desenvolvido e mantido pelos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço de Meteorologia do Canadá. O controle de qualidade foi identificar erros nos dados, conforme proposto por Alexander *et al.* (2006), e implementado por Viney e Bates (2004). O controle de qualidade dos dados é um pré-requisito para o cálculo dos índices. No RCLimdex obedece os seguintes procedimentos: 1) substitui todos os dados faltosos (codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R e 2) substitui todos os valores não aceitáveis por -99.9. Estes valores incluem, por exemplo, quantidades de precipitação diárias menores que zero e, b) temperatura máxima diária menor que a temperatura mínima diária. Adicionalmente, o controle de qualidade também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas. Os valores extremos são valores diários que se encontram fora de um intervalo definido pelo usuário. Atualmente, este intervalo se define como n vezes o desvio padrão do valor do dia, isto é, (média - $n \cdot \text{std}$, média + $n \cdot \text{std}$). Onde std representa o desvio padrão para o dia e n é uma entrada do usuário, nesse estudo foi aplicado $n = 4$, que é o padrão adotado mundialmente (Zhang *et al.* 2005). Como o objetivo geral da pesquisa é identificar possíveis mudanças climáticas para a região de Manaus utilizando os índices dependentes da precipitação pluvial, então, o controle de qualidade referente aos dados de temperatura não foi executado. Assim como, no período estudado não foram encontrados problemas no referido procedimento de controle de qualidade.

O software fornece, para todos os índices, dados estatísticos, tais como: tendência linear anual calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como os gráficos das

séries anuais. Nesse estudo só foram consideradas significativas as tendências, que apresentam nível de significância de 95% ($p < 0,05$), conforme mostrado na Tabela 2.

Estudos têm mostrado uma dependência entre a precipitação na Amazônia com as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical (Yoon e Zeng 2010). Logo, os índices de extremos climáticos anuais foram correlacionados com as anomalias anuais de TSM dos referidos oceanos. As anomalias anuais de TSM foram obtidas das áreas conhecidas por Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 (Menezes *et al.* 2008) no Oceano Pacífico Equatorial, e das regiões de Índice do Atlântico Tropical Norte - TNAI (Tropical North Atlantic Index) e de Índice do Atlântico Tropical Sul - TSAI (Tropical South Atlantic Index) (Menezes *et al.* 2008) no Oceano Atlântico Tropical, foram utilizados valores médios anuais representativos para essas áreas. Com o intuito de analisar o comportamento das anomalias anuais de TSM nos Oceanos e suas influências sobre os índices de extremos climáticos anuais para a cidade de Manaus-AM, foi utilizado o método de Pearson na obtenção da correlação entre as anomalias anuais de TSM, no período de 1971 a 2007, e os índices de extremos climáticos anuais obtidos. Os índices foram correlacionados individualmente com a anomalia de TSM de cada área estudada e as correlações, com significância estatística ao nível de 95%, estão apresentadas na Tabela 3. A significância estatística foi obtida através do teste *t-Student* aplicada a uma série que apresenta graus de liberdade (N) igual a 37, correspondentes aos 37 anos da série histórica de dados analisados.

Tabela 2 - Tendências anuais dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação para as três localidades estudadas.

ÍNDICES	EMBRAPA	DUCKE	INMET
Rx1day	0.425	0.089	0.76
Rx5day	0.304	0.23	1.459*
SDII	0.046*	0.046*	0.056*
R10mm	0.462*	0.294*	0.189
R20mm	0.294*	0.205*	0.088
R50mm	-0.005	0.018	0.082*
DCS	0.052	0.032	-0.231
DCU	-0.019	-0.027	0.007
R95p	2.778	1.515	6.324*
R99p	0.172	1.047	2.484
PRCPTOT	11.469*	7.423	7.671

* Indica que o valor da tendência é significativo ao nível de significância de 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colonização da Amazônia foi intensificada no período compreendido entre 1840 e 1910 culminando no rápido desenvolvimento urbano da cidade de Manaus. No entanto, somente a partir da implantação da Zona Franca de Manaus, na década de 1970, a cidade de Manaus apresentou um crescimento acelerado saindo de uma população de 284.000 habitantes em 1970, para 2.042.185 habitantes em 2009 (IBGE 2009). Esse crescimento levou a uma ocupação desordenada do espaço, apresentando hoje sérios problemas ambientais e sociais, entre eles estão o desmatamento e a construção de habitações em áreas de risco de desabamentos e inundações. Além disso, uma grande quantidade de gases de efeito estufa é emitida para a atmosfera, principalmente, pelo uso de veículos motorizados. Com isso, torna-se evidente a necessidade de estudar as tendências dos índices de extremos climáticos para a região de Manaus, uma vez que os mesmos podem ser utilizados como indicadores para prevenir ou mitigar desastres.

A Tabela 2 apresenta os valores das tendências anuais dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação para as três estações meteorológicas instaladas nas proximidades da zona urbana de Manaus (EMBRAPA e DUCKE) e na cidade de Manaus (INMET). Somente os valores destacados com o asterisco apresentam significância estatística ao nível de 95%. É possível identificar um aumento com significância estatística da precipitação total anual, representada pelo índice PRCPTOT (Figura 2a). Esse índice mostra um aumento de aproximadamente $11,5 \text{ mm ano}^{-1}$ quando calculados com os dados medidos na estação meteorológica da EMBRAPA e, um aumento da ordem de $7,4$ e $7,7 \text{ mm ano}^{-1}$, sem significância estatística, para as estações meteorológicas da Reserva Ducke e do INMET, respectivamente. Esses resultados indicam, mesmo com apenas uma estação apresentando significância estatística, um aumento predominante da precipitação total anual, o que pode trazer problemas para a população urbana de Manaus.

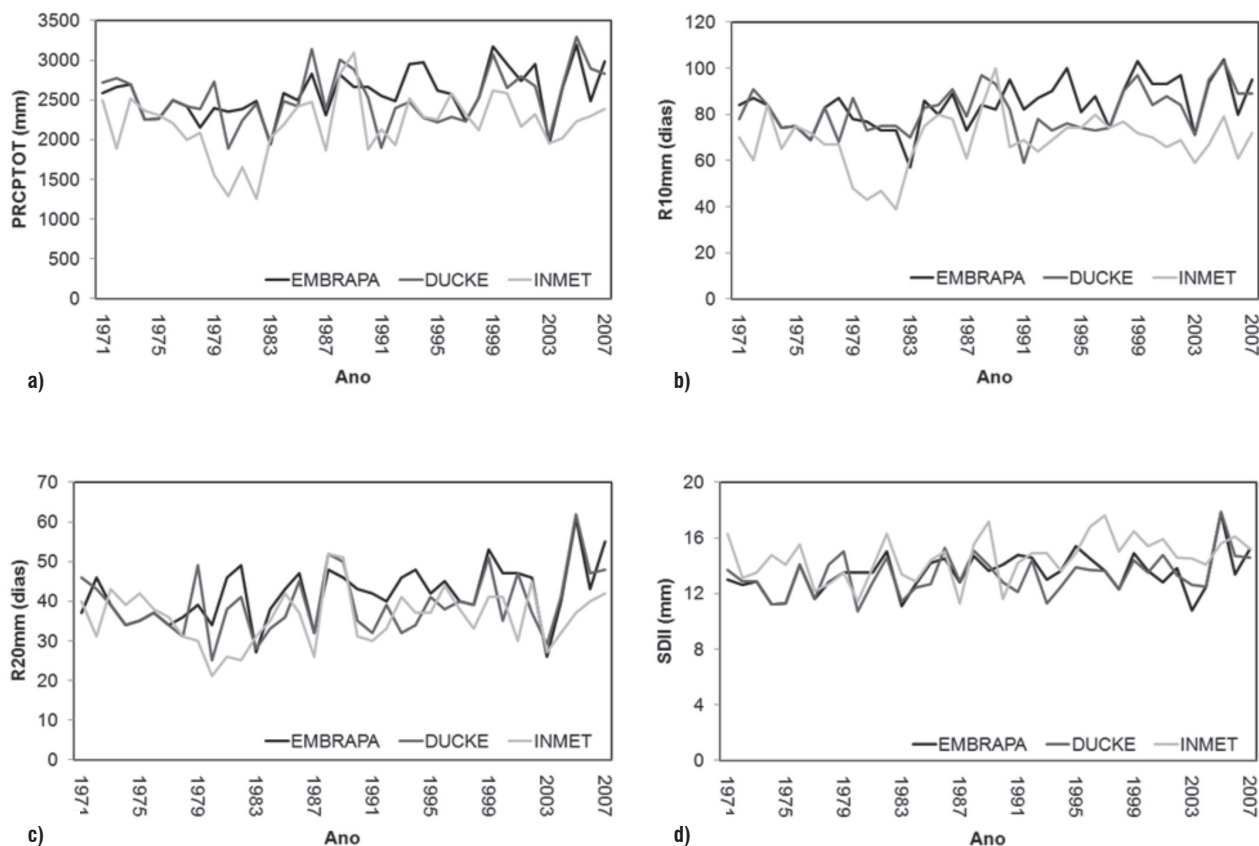


Figura 2 - Distribuição temporal dos índices R10mm (número de dias em um ano quando a precipitação é $\geq 10\text{mm}$), R20mm (número de dias em um ano quando a precipitação é $\geq 20\text{mm}$), SDII (média anual da precipitação) e PRCPTOT (precipitação total anual), para as três localidades estudadas (EMBRAPA, DUCKE e INMET) no período de 1971 a 2007.

Os índices que representam o número de dias no ano com precipitação superior a 10 mm e 20 mm (R10mm e R20mm), respectivamente, apresentaram aumento com significância estatística para as estações meteorológicas instaladas na EMBRAPA e na Reserva Ducke, e aumento sem significância estatística para a estação do INMET (Figuras 2b e 2c), indicando um aumento no número de dias no ano com precipitações igual ou superior aos referidos limiares (precipitações intensas). Precipitações dessas magnitudes ocasionam inundações e alagamentos em grandes centros urbanos, devido à impermeabilidade do solo com pavimentações ou similares levando a um maior escoamento das águas. O índice R50mm é o mais preocupante, pois representa o número de dias com precipitações iguais ou superiores a 50 mm. Observa-se um aumento com significância estatística desse índice registrado na estação do INMET que está localizada na zona urbana de Manaus. Caso tendências dessa magnitude sejam confirmadas, Manaus sofrerá com o aumento das chuvas extremas, o que pode levar a população às perdas materiais e/ou humanas. Pode ser observado que as outras duas localidades apresentam resultados contrastantes (tendências positivas e negativas) para esse índice, no entanto, não apresentam significâncias estatísticas.

A média anual da precipitação (SDII) apresentou tendência de aumento com significância estatística para as três estações meteorológicas (Figura 2d). No entanto, esse índice não dá um indicativo físico claro, pois, como ele é a razão entre a precipitação total acumulada nos dias úmidos e o número total de dias úmidos no ano, ele pode refletir o aumento na precipitação total anual, como também, uma diminuição do número de dias úmidos. Entretanto, como foi observado que a precipitação total anual apresentou aumento em todas as estações, pode ser conjecturado que esse índice poder indicar uma intensificação dos eventos chuvosos na cidade de Manaus apontando para futuros problemas sociais e econômicos, caso essa tendência de aumento se mantenha. Os índices Dias Consecutivos Secos (DCS) e Dias Consecutivos Úmidos (DCU) concordam com o SDII, pois o DCS apresenta tendência predominante de aumento e o DCU tendência de diminuição. No entanto, ambos os índices não apresentaram significância estatística e, assim, não podem ser associados de forma confiável com os índices discutidos anteriormente.

Os índices Precipitação Máxima Acumulada em 1 dia e em 5 dias consecutivos, Rx1day e Rx5day, respectivamente, mostram tendências predominantes de aumento para as três estações meteorológicas estudadas. No entanto, apenas o índice Rx5day, para a estação do INMET, apresenta tendência com significância estatística. Esse índice representa eventos chuvosos que podem trazer problemas para a população urbana de Manaus, haja vista que o aumento da precipitação acumulada em 5 dias consecutivos pode ser responsável por

alagamentos, deslizamentos de encostas e congestionamentos do trânsito numa cidade que tem alta densidade de automóveis nas ruas, entre outros danos.

Os índices que representam os dias úmidos e extremamente úmidos, R95p e R99p, respectivamente, mostram tendência predominante de aumento para a região estudada. Entretanto, apenas o R95p para a estação meteorológica do INMET apresentou tendência com significância estatística. Esses índices corroboram com os demais que indicam tendência de aumento na precipitação sobre a região estudada. Estudos utilizando modelagem, como o de Correia *et al.* (2007), têm previsto que o desflorestamento da Amazônia pode causar redução na precipitação. Entretanto, esse efeito ainda não é observado para a região de Manaus, conforme os resultados obtidos através dos índices de extremos climáticos analisados, concordando com os encontrados por Satyamurty *et al.* (2010). Os resultados aqui encontrados concordam com Haylock *et al.* (2006) que analisaram índices de extremos para algumas localidades da América do Sul, incluindo a estação meteorológica do INMET em Manaus.

A alta variabilidade da precipitação na Amazônia resulta em eventos de completa inundação da bacia amazônica a secas severas (por exemplo, a ocorrida no ano de 2005 e estudada por Marengo *et al.* 2008). As causas desses eventos têm sido relacionadas aos anômalos aquecimentos e resfriamentos das águas dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Haja vista que as TSMs são importantes para a manutenção do clima global, especialmente nos trópicos devido à atmosfera ser sensível às condições das superfícies oceânicas e continentais, que influencia grandemente a variabilidade do clima (Yoon e Zeng 2010). Kousky *et al.* (1984) e Ropelewski e Halpert (1987) mostraram que a precipitação na parte norte da Amazônia e Nordeste do Brasil muda significativamente dependendo da fase do fenômeno ENOS. Recentemente, tem sido documentado que as TSMs do Oceano Atlântico tem um papel na variabilidade do balanço hídrico sobre a América do Sul, influenciando na localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Ronchail *et al.* 2002). Nos últimos anos têm surgido mais evidências de que a influência do Atlântico poderia se estender até a Bacia Amazônica, e a inclusão das TSMs do Atlântico no estudo da Bacia Amazônica pode levar a uma melhor previsão das descargas dos rios sobre a parte mais ao sul da bacia. Assim sendo, é necessário se entender a conexão entre as precipitações na Amazônia e as TSMs do Atlântico, bem como a sua relação com a atividade do ENOS (Yoon e Zeng 2010)

A Tabela 3 apresenta as correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a região de Manaus e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. Pode-se verificar que as anomalias de TSM na região de Niño 4 apresentam correlação, com significância

Tabela 3 - Correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a região de Manaus e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico

	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4	TNAI	TSAI
DCS	0,386*	0,487*	0,443*	0,293*	0,032	-0,479*
DCU	-0,167	-0,193	-0,134	-0,101	-0,097	0,307*
R20mm	-0,365*	-0,399*	-0,384*	-0,260	0,069	0,254
Rx5day	-0,159	-0,207	-0,245	-0,237	-0,064	0,005
SDII	-0,175	-0,141	-0,125	-0,021	0,225	-0,017
PRCPTOT	-0,399*	-0,469*	-0,451*	-0,320*	-0,047	0,404*

* Indica que o valor do coeficiente de correlação é significativo ao nível de significância de 95% ($p < 0,05$).

estatística, com os índices DCS e PRCPTOT. Essa região tem correlação positiva com o índice DCS indicando que quando a TSM nessa região aumenta, se observa uma diminuição na precipitação da região amazônica, levando a um aumento do número de dias consecutivos secos. A referida região (Niño 4) tem correlação negativa com o PRCPTOT indicando que quando a TSM da região diminui (fenômeno La Niña) ocorre um aumento na precipitação total anual, mostrando que esses resultados além de apresentarem significâncias estatísticas são concordantes entre si. Correlações negativas foram encontradas para os demais índices, isto é, dias consecutivos chuvosos, número de dias com precipitação acima de 20 mm, o total de precipitação em 5 dias consecutivos, no entanto, não apresentaram significâncias estatísticas. Os resultados encontrados concordam com os obtidos por Yoon e Zeng (2010). As demais regiões de Niño, isto é, Niño 1+2, 3 e 3.4, também apresentam correlações com significâncias estatísticas com alguns índices, como DCS, R20mm e PRCPTOT. As correlações entre o DCS e as regiões de Niño 1+2, 3 e 3.4 são positivas indicando que essas regiões do Pacífico afetam, de forma direta, a distribuição dos dias consecutivos secos sobre a área de estudo, ou seja, um aumento das anomalias de TSM nessas regiões leva a um aumento dos dias consecutivos secos. As correlações estatisticamente significativas apresentadas entre os índices R20mm e PRCPTOT e as regiões de Niño 1+2, 3 e 3.4 são todas negativas, também indicando que um aumento nas TSMs dessas regiões leva a uma diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a bacia amazônica, conforme mostrado em Yoon e Zeng (2010).

O índice que representa as anomalias de TSM no Oceano Atlântico Norte (TNAI) não mostrou correlações com significância estatística com nenhum dos índices estudados. Entretanto, sabe-se que um aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte induz movimento subsidente sobre a bacia amazônica, resultando na diminuição das precipitações na região (Yoon e Zeng 2010), o que pode ser observado, mesmo sem significância estatística, pela correlação negativa entre o TNAI e os índices DCU, Rx5day e PRCPTOT. O

oposto pode ser visto na correlação entre o TNAI e os referidos índices, que apresentam correlações positivas (estatisticamente significativas) com DCU e PRCPTOT, indicando que o aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Sul induz o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento da precipitação sobre a região de Manaus. Isto sugere que a fonte de umidade para a região de Manaus esteja no Atlântico Tropical Sul.

A análise dos índices de extremos para a estação do INMET sugere que existem possíveis efeitos, provenientes da expansão urbana, na precipitação, pois foi observado aumento com significância estatística para os índices Rx5day, SDII, R50mm e R95p. Ademais, foi observada uma predominância do aumento, embora sem significância estatística, nos demais índices, com exceção do DCS. Pode-se dizer qualitativamente que o efeito de ilha de calor aumenta a temperatura da região urbana que está cercada de rios (lamina de água). Os movimentos verticais positivos sobre a área urbana devem ficar intensificados, causando um provável aumento de precipitação, principalmente na estação do INMET. Então, espera-se que ambos os parâmetros, temperatura e chuva, devem sofrer um aumento por causa da urbanização. Aumento de temperatura deve refletir tanto na temperatura mínima quanto na máxima. No entanto, nesse estudo não foi possível avaliar estes efeitos quantitativamente.

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados discutidos anteriormente pode ser observado que a análise dos índices anuais de extremos climáticos oriundos de dados de precipitação pluvial diária indica aumento da precipitação total anual sobre a região estudada. No entanto, apenas a estação da EMBRAPA apresentou tendência com significância estatística.

O número de dias no ano com precipitação superior a 10 mm e 20 mm aumentou nas estações da EMBRAPA e Reserva Ducke. Eventos de precipitação extrema, isto é, iguais ou superiores a 50 mm, assim como, a precipitação acumulada em um período de cinco dias consecutivos e o número de dias úmidos aumentaram sobre a zona urbana de Manaus. Precipitações dessas magnitudes podem ocasionar inundações e alagamentos em grandes centros urbanos, devido à impermeabilidade do solo com pavimentações ou similares levando a um maior escoamento superficial das águas. Se essa tendência for confirmada, Manaus poderá sofrer com um aumento de enxurradas, o que pode levar a população às perdas materiais e/ou humanas.

Foram constatados através das correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a região de Manaus e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico que aumento das anomalias positivas de TSM nessas regiões leva a um aumento dos dias consecutivos

secos e a uma diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a bacia amazônica. Foi diagnosticado também que, devido ao aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Sul, é induzido o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento da precipitação sobre a região de Manaus.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsas de pesquisa, produtividade e de Pós-Graduação aos autores; ao Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia - EMBRAPA, a Reserva Florestal Ducke, ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e ao Climate Prediction Center (CPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), por disponibilizarem os dados, assim como, aos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço de Meteorologia do Canadá, por disponibilizarem gratuitamente o software RCLimindex 1.9.0. Finalmente, os comentários dos revisores serviram para melhorar a discussão e as conclusões.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Aguilar, E.; Aziz Barry, A.; Brunet, M.; Ekang, L.; Fernandes, A.; Massoukina, M.; Mbah, J.; Mhanda, A.; do Nascimento, D.J.; Peterson, T.C.; Thamba Umba, O.; Tomou, M.; Zhang, X. 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research*, 114, d02115.
- Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A.M.G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, K.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M.; Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029=2005JD006290.
- Correia, F.W.S.; Alvala, R.C.S.; Manzi, A. 2007. O. Modeling the Impacts of Land Cover Change in Amazonia: A Regional Climate Model (RCM) simulation study. *Theoretical and Applied Climatology*, 11: 2217-2237.
- Fearnside, P.M. 2009. Global warming in Amazonia: Impacts and Mitigation. *Acta Amazonica*, 39: 1003 – 1012.
- Haylock, M.R.; Peterson, T.C.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y.M.T.; Baez, J.; Barros, V.R.; Berlato, M.A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Garcia, V.J.; Grimm, A.M.; Karoly, D.; Marengo, J.A.; Marino, M.B.; Moncunill, D.F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J.L.; Trebejo, I.; Vincent, L.A. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19: 1490-1512.
- IBGE, 2009. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao). Acesso em 12/12/2009.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- Kousky, V.E.; Cavalcanti, I.F.A.; Kayano, M.T. 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus A*, 36: 490–504.
- Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Tomasella, J.; Cardoso, M.F.; Oyama, M.D. 2008. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 1773–1778.
- Menezes, H.E.A.; Brito, J.I.B.; Santos, C.A.C.; Silva, L.L. 2008. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23: 152-161.
- Ropelewski, C.; Halpert, M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115: 1606–1626.
- Santos, C.A.C.; Neale, C.M.U.; Rao, T.V.R.; Silva, B.B. 2011. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *International Journal of Climatology*, 31: 1813 – 1822 (2011), DOI: 10.1002/joc.2205, 2011.
- Satyamurty, P.; Castro, A.A.; Tota, J.; Gularte, L.E.S.; Manzi, A.O. 2010. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 139–148.
- Shouraseni, S.R.; Robert, C.B.J.R. 2004. Trends in extreme daily precipitation indices in India. *International Journal of Climatology*, 24: 457–466.
- Viney, N.R.; Bates, B.C. 2004. It never rains on Sunday: The prevalence and implications of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. *International Journal of Climatology*, 24: 1171-1192.
- Yoon, J.H.; Zeng, N. 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics*, 34: 249 – 264.
- You, Q.; Kang, S.; Aguilar, E.; Pepin, N.; Flugel, W.; Yan, Y.; Xu, Y.; Zhang, Y.; Huang, J. 2010. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003. *Climate Dynamics*, 36:2399–2417 (2011), DOI: 10.1007/s00382-009-0735-0.
- Zhang, Q.; Xu, C.Y.; Zhang, Z.; Chen, X.; Han, Z. 2010. Precipitation extremes in a karst region: a case study in the Guizhou province, southwest China. *Theoretical and Applied Climatology*, 101: 53 – 65.
- Zhang, X.; Hegerl, G.; Zwiers, F.; Kenyon, J. 2005. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *Journal of Climate*, 18: 1641–1651.
- Zhang, X.; Yang, F. 2004. *RCLimDex (1.0) User Guide*. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada. 22p.
- Zin, W.Z.W.; Jamaludin, S.; Deni, S.M.; Jemain, A.A. 2010. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 303–314.

Recebido em: 14/04/2011

Aceito em: 21/07/2011

