



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Análise das tendências de temperatura do ar utilizando os Índices de Detecção de Mudanças Climáticas para o Estado do Pará**



Pâmela Lorena Ribeiro Ávila<sup>1</sup>, JoséIVALDO Barbosa de Brito<sup>2</sup>, Amanda Nascimento Pinheiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Meteorologia, Depto. de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande-PB, panloly@hotmail.com

<sup>2</sup> Meteorologista, Prof. Adjunto, Depto de Ciências Atmosférica, UFCG, Campina Grande-PB, ivaldo@dca.ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Mestre em Meteorologia, UFPA, Belém-PA, nanda\_tkr18@hotmail.com

**RESUMO:** Este estudo tem como objetivo estimar e analisar os índices de extremos climáticos para detecção e monitoramento de variabilidade e mudanças climáticas no Estado do Pará. Usando dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar das estações: Belém, Conceição do Araguaia, Itaituba, Soure, Cametá, Marabá, Óbidos, Porto de Moz e Monte Alegre do período de 1961 a 2013 obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a obtenção dos índices de monitoramento climático relacionados à temperatura utilizou-se o RCLimdex. As Máximas temperaturas Máxima (TXx) e Mínimas Temperaturas Máximas (TNx) apresentam comum acordo em relação ao aumento das temperaturas sobre as regiões sul e sudeste com valores máximos de 3,38°C/período e 3,9°C/período TXx e TNx respectivamente. Também observou-se tendência de aumento das tardes (TX90p) e noites quentes (TN90p) sobre o Estado. Portanto, conclui-se que as temperaturas máximas e mínimas no Pará aumentaram nos últimos anos e estes resultados podem estar relacionados aos fatores antrópicos, desflorestamento e aquecimento global antrópico, e naturais bem como de eventos locais e globais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Variabilidade Climática, Índices Climáticos, RCLimdex

**ABSTRACT:** This study aims to estimate and analyze the indexes of climatic extremes for detection and monitoring of climate variability and change in the state of Pará. Using daily data of rainfall and maximum temperature and minimum air of the stations: Belém, Conceição do Araguaia, Itaituba, Soure, Cametá, Marabá, Óbidos, Porto de Moz and Monte Alegre from 1961 to 2013 obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). For obtaining data of climatic indexes related to the temperature it was used the RCLimdex. The Maximum temperatures Maximum (TXx) and Minimum Temperature Maximum (TNx) presented agreement in relation to rising temperatures on the south and southeast regions with maximum values of 3.38°C/period and 3.9°C/period TXx and TNx respectively. Also observed trend of increasing of the afternoons (TX90p) and warm nights (TN90p) on the state. Therefore, it is concluded that the maximum and minimum temperatures in Pará increased in recent years and these results may be related to anthropic factors, deforestation and anthropic global warming, and naturals as well as local and global events.

**KEYWORDS:** Climate Variability, Climate Indexes, RCLimdex

## **INTRODUÇÃO**

Estudos recentes apontam que o aquecimento global trará impactos potencialmente catastróficos para a Amazônia, a 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 (Yoone Zeng 2011).

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 nos sistemas naturais e humanos mais que seus valores médios (Aguilar *et al.* 2009). A infraestrutura 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 (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 (Zinet *et al.* 2010).

O objetivo desse estudo é analisar as tendências dos índices de extremos climáticos, dependentes da temperatura do ar diária, definidos pela Organização Meteorológica Mundial para o Estado do Pará.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados para a elaboração deste trabalho são provenientes das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1961 a 2013. Foram utilizadas informações de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar. A figura 1 mostra a disposição espacial das estações meteorológicas utilizadas.

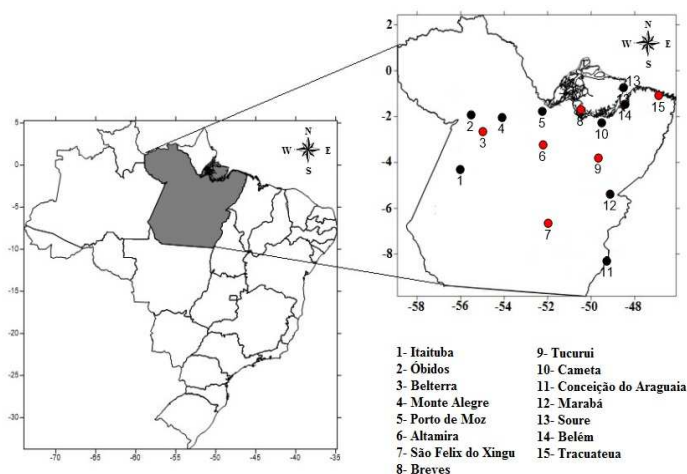


Figura 50. Área de estudo e a distribuição espacial dos postos pluviométricos do INMET contendo as postas utilizadas (bolinha preta) e os não utilizados (bolinha vermelha) por apresentarem a soma de dados faltosos ou duvidosos superior ou igual 25% do total de dados.

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

Os oito 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) encontram-se descritos em Zhang *et al.* 2005. Na avaliação da homogeneização dos dados e no cálculo dos índices foi utilizada a metodologia de Zhang *et al.* (2005) implementada no software RCLimindex 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 RCLimindex obedecem 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  $\text{std}$  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).

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% ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de detecção de mudanças climáticas foi a forma escolhida para avaliar as variações climáticas que vêm ocorrendo na área de estudo, nos últimos 52 anos. Os resultados alcançados através da obtenção e avaliação dos dados estão apresentados de forma especializada contendo informação das 9 estações.

Foram consideradas tendências estatisticamente significativas todas aquelas cujo valor- $p$  era inferior a 0,1. O valor- $p$  já é gerado automaticamente pelo RCLimDex, quando ele calcula os índices do ETCCDMI, e refere-se a estatística  $p$  do teste F de Fisher.

### ANÁLISE DOS ÍNDICES DE TEMPERATURA

Os mapas mostrando as tendências dos índices de mudanças climáticas relacionados às temperaturas máxima e mínima do ar são apresentados na Figura 2. Para a temperatura máxima diária em um ano (TXx) (Figura 2a) observa-se uma tendência de aumento estatisticamente significativa em toda parte do centro leste do Estado, já a tendência negativa ocorreu apenas na região do baixo Amazonas, e mesmo assim sem significância estatística. Por outro lado, a temperatura máxima diária em um ano (TXn) (Figura 2b) apresentou tendência de aumento estatisticamente significativa na região sudoeste. Portanto, de um modo geral, ocorreu um aumento das temperaturas máximas em quase todo o Estado do Pará. Com relação aos máximos valores das temperaturas mínimas diárias (TNx) (Figura 2c) observa-se tendência positiva dos TNx sobre todo o Pará, sendo que na parte centro-sul do Estado as tendências são estatisticamente significativas. As mínimas das temperaturas mínimas (TNn) também apresentaram tendências positivas sobre todo Estado (Figura 2d). Isto mostra que as temperaturas mínimas diárias no Pará aumentaram no período de 1961 a 2013. Estas mudanças nos índices de temperatura refletem uma crescente tendência em ambas as temperaturas máximas e mínimas, que são consistentes com os resultados de Marengo e Camargo (2007) para o sul do Brasil e Rusticucci



***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

e Barrucand (2004) para o norte da Argentina, Renom et al, (2011), Caesar et al, (2011), Zhang et al (2011) e King et al, (2012) para outras partes do globo.

Ao analisar as noites frias (TN10p) observa-se uma diminuição no número de dias com noites mais frias sobre quase todo Pará (Figura 2e), com redução de aproximadamente 1,5 dias/ano no sudoeste do Estado. Por outro lado, verifica-se uma aumento no número de noites quentes (TN90p) (Figura 2g) sobre todo Estado com as maiores tendências de aproximadamente 1,4 dias/ano no sudeste. Também foi observado tendência de aumento de tardes (dias) quentes (TX90p) em quase todo Pará (Figura 2h), enquanto o número de tardes menos quentes (dias frios TX10p) também apresentou tendência de aumento em quase todo o Estado (Figura 2f). Ressalta-se que resultados semelhantes foram obtidos para as outras partes do globo, como por exemplo, Santos et al (2010) para o estado de Utah nos Estados Unidos da América.

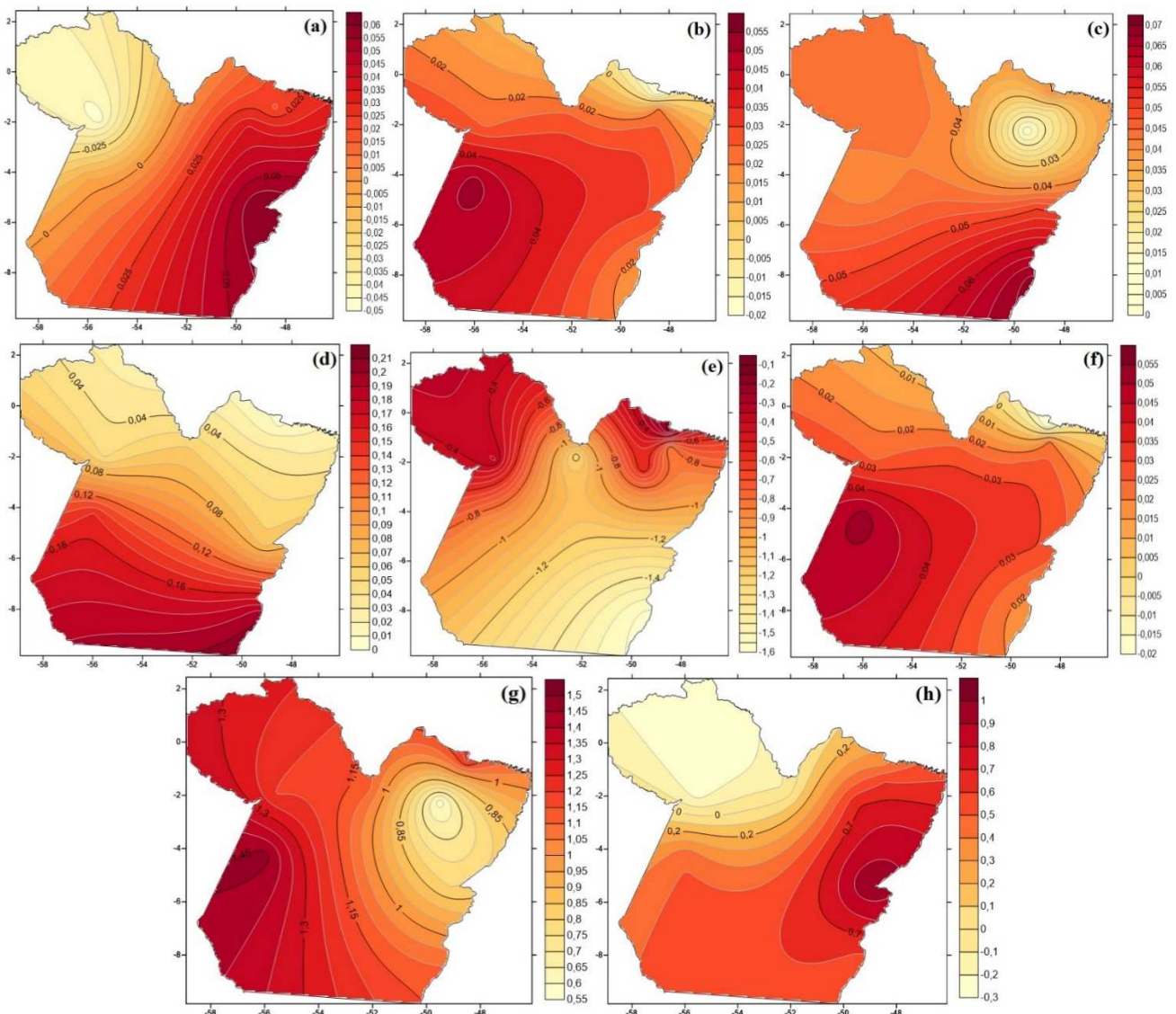


Figura 2 Comportamento espacial dos índices de temperatura: TXx – máximos valores das temperaturas máxima diária (a), TXn - mínimo das temperaturas máxima (b), TNx – máximos valores das temperaturas mínimas diária (c), TNn – mínimo das temperaturas mínimas (d), TN10p - noites frias (e), TX10p - dias frios (f), TN90p - noites quente (g), TX90p - dias quente (h).



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

É importante destacar que localmente ocorreram mudanças profundas nos ecossistemas amazônicos, como o avanço do desmatamento, a expansão agrícola e agropecuária, a construção de hidrelétricas e a exploração mineral.

Nobre et al. (1989) estudaram os impactos climáticos devido ao desmatamento e obtiveram um aumento da temperatura do ar de 1,3°C. Este aquecimento relativo da superfície de terra desmatada e do ar imediatamente acima é consistente com reduções na evapotranspiração e no fluxo de calor latente, uma vez que uma maior fração de energia radiativa está disponível para aquecer a superfície terrestre e o ar acima. Além disso, a redução no comprimento de rugosidade diminui a eficiência dos processos de troca turbulenta, contribuindo para um aumento de calor na superfície e na camada próxima à ela. No caso do balanço de energia à superfície (média espacial da área considerada) mostra que a radiação solar absorvida pela superfície é menor no caso desmatado (186 W.m<sup>-2</sup>) do que na área de floresta (204 W.m<sup>-2</sup>), devido às variações do albedo: aumentou de 12,5 % no caso floresta para 21,6 % no cenário pastagem.

Deste modo, caso a Floresta Amazônica fosse totalmente desmatada, contribuiria numa retroalimentação significativa para intensificar o efeito estufa, tanto por liberação de carbono da biomassa da floresta (Huntingford et al., 2004) como por liberação de carbono do solo (Huntingford et al., 2004).

## CONCLUSÕES

Com relação aos índices de temperatura do ar verificaram-se tendências de aumento tanto das temperaturas mínimas como das máximas. Portanto, pode-se concluir que a temperatura do ar no Pará aumentou nos cinquenta anos. Também é possível conjecturar que o aumento da temperatura do ar no Pará é decorrente de fatores antrópicos, desflorestamento e aquecimento global antrópico, e naturais bem como de eventos locais e globais.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. **Journal of Geophysical Research**, 114, d02115. 2009.

CAESAR, J.; ALEXANDER, L. V.; TREWIN, B.; TSE-RING, K.; SORANY, L.; VUNIYAYAWA, V.; KEOSAVANG, N.; SHIMANA, A.; HTAY, M. M.; KARMACHARYA, J.; Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 791–801. 2011.

HUNTINGFORD, C.; HARRIS, P.O.; GEDNEY, N.; COX, P.M.; BETTS, R.A.; MARENGO, J.A.; GASH, J.H.C. Using a GCM analogue model to investigate the potential for Amazonian forest dieback. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 78, p. 177-185. 2004.

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.

KING, A. D.; ALEXANDER, L. V.; DONATA, M. G.. The efficacy of using gridded data to examine extreme rainfall characteristics: a case study for Australia. **International Journal of Climatology**. v. 33, p. 2376-2387. 2012.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



MARENGO, J; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**. v. 28, p. 893–904. 2007. DOI:10.1002/joc.1584.

NOBRE, C.A.; SHUKLA, J.; SELLERS, P.J. Impactos climáticos do desmatamento da Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, 4(9), 44 - 55, 1989.

RENOM, M., RUSTICUCCI, M., BARREIRO, M. Multidecadal changes in the relationship between extreme temperature events in Uruguay and the general atmospheric circulation. **Climate Dynamics**, v. 37, p. 2471-2480. 2011.

RUSTICUCCI, M; BARRUCAND, M. Observed trends and changes in temperature extremes in Argentina. **Journal of Climate**. v. 17, p. 4099–4107. 2004.

SANTOS, C.A.C.; NEALE, C.M.U.; RAO, T.V.R.; SILVA, B.B. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. **International Journal of Climatology**, 31: 1813-1822 2011.

SHOURASENI, S.R.; ROBERT, C.B.J.R. Trends in extreme daily precipitation indices in India. **International Journal of Climatology**, 24: 457–466. 2004.

VINEY, N.R.; BATES, B.C. 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**, 2004.

YOU, Q.; KANG, S.; AGUILAR, E.; PEPIN, N.; FLUGEL, W.; YAN, Y.; XU, Y.; ZHANG, Y.; HUANG, J. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003. **Climate Dynamics**, 36:2399–2417. 2010. (2011), DOI: 10.1007/s00382-009-0735-0.

ZHANG, Q.; XU, C.Y.; ZHANG, Z.; CHEN, X.; HAN, Z. Precipitation extremes in a karst region: a case study in the Guizhou province, southwest China. **Theoretical and Applied Climatology**, 101: 53 – 65. 2010.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C.; JONES, P.; KLEIN TNK, A.; PETERSON, T.; TREWIN, B.; ZWIERS.; F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **Climate Change**, v. 2, p. 851–870. 2011. DOI: 10.1002/wcc.147.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS, F.; KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, 18: 1641–1651. 2005.

ZIN, W.Z.W.; JAMALUDIN, S.; DENI, S.M.; JEMAIN, A.A. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. **Theoretical and Applied Climatology**, 99: 303–314. 2010.