

**Mudanças climáticas e tendências do regime pluviométrico do Recife**

**Climate change and trends of the rainfall of the city of Recife**

**Cambio climático y tendencias del régimen de lluvias de Recife**

Recebido: 17/01/2020 | Revisado: 27/01/2020 | Aceito: 18/02/2020 | Publicado: 06/03/2020

**Lucas Ravellys Pyrrho de Alcântara**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7259-8510>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [ravellyspyrrho@gmail.com](mailto:ravellyspyrrho@gmail.com)

**Maria Eduarda Rodrigues da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8231-3841>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [eduarda\\_3499@windowslive.com](mailto:eduarda_3499@windowslive.com)

**Severino Martins dos Santos Neto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2940-2129>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [martinsdsn@gmail.com](mailto:martinsdsn@gmail.com)

**Fernandha Batista Lafayette**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3874-0568>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [fernandha.batista@gmail.com](mailto:fernandha.batista@gmail.com)

**Artur Paiva Coutinho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0644-0037>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [arthur.coutinho@yahoo.com.br](mailto:arthur.coutinho@yahoo.com.br)

**Suzana Maria Gico Lima Montenegro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2520-5761>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [suzanam.ufpe@gmail.com](mailto:suzanam.ufpe@gmail.com)

**Antonio Celso Dantas Antonino**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4120-9404>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [acdantonino@gmail.com](mailto:acdantonino@gmail.com)

## Resumo

Pauta de grandes discussões, as recentes mudanças climáticas mostram o impacto e a magnitude das ações antrópicas no meio natural. A amplitude dos impactos causados pelas mudanças não reflete apenas nos grandes desastres ocasionados por eventos extremos, mas também no âmbito econômico e social. Essas alterações desencadeiam um desequilíbrio nos ecossistemas, bem como na configuração climática e em regimes hidrológicos. Por conseguinte, este estudo objetiva avaliar as mudanças climáticas hidrológicas da cidade de Recife. Para isto foram utilizadas quatro estações pluviométricas localizadas no município de Recife-PE. As tendências dos dados pluviométricos foram avaliadas pelos métodos de Mann-Kendall, sequencial Mann-Kendall e Sen's Slope. Segundo o teste sequencial Mann-Kendall, houve um período de acréscimo significativo da atividade pluviométrica que pode ter sua ocorrência relacionada a eventos extremos na região. Desta forma os resultados expressam uma redução não significativa nos padrões pluviométricos em Recife.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Precipitação; Análise de tendências; Mann-Kendall.

## Abstract

Subject of major discussions, recent climate changes show the impact and magnitude of anthropic actions in the natural environment. The magnitude of the impacts caused by the changes reflects not only the major disasters caused by extreme events, but also the economic and social spheres, as these changes trigger an imbalance in ecosystems, as well as in climate configuration and hydrological regimes. Therefore, this study aims to analyze the transformations of rainfall over time by detecting trends in time series of hydrological data. The trends and fluctuations of the climatological variables, referring to the precipitation series obtained from 4 rainfall seasons located in Recife-PE, were analyzed by the Mann-Kendall test. According to the Mann-Kendall sequential test, there was a period of significant increase in rainfall that may have its occurrence related to extreme events in the region. Thus the results express a non-significant reduction in rainfall patterns in Recife.

**Keywords:** Climate change; Precipitation; Trend analysis; Mann-Kendall.

## Resumen

Tema de grandes discusiones, los recientes cambios climáticos muestran el impacto y la magnitud de las acciones antrópicas en el medio ambiente. La magnitud de los impactos causados por los cambios no solo refleja los grandes desastres causados por eventos extremos,

sino también en las esferas económica y social, ya que estos cambios desencadenan un desequilibrio en los ecosistemas, así como en la configuración climática y los regímenes hidrológicos. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo analizar las transformaciones de la lluvia a lo largo del tiempo mediante la detección de tendencias en series temporales de datos hidrológicos. Lo método de Mann-Kendall analizó las tendencias y fluctuaciones de las variables climatológicas, en referencia a las series de precipitación obtenidas de 4 estaciones de lluvia ubicadas en Recife-PE. Según lo método secuencial de Mann-Kendall, hubo un período de aumento significativo en la precipitación que puede tener su ocurrencia relacionada con eventos extremos en la región. Por lo tanto, los resultados expresan una reducción no significativa en los patrones de lluvia en Recife.

**Palabras clave:** Cambio climático; Precipitación; Análisis de tendências; Mann-Kendall.

## 1. Introdução

A ocorrência de eventos extremos incompatíveis com determinadas regiões e com a época do ano demonstra os efeitos devastadores das mudanças climáticas ao redor do mundo que, além do perceptível e monitorado aquecimento global, provocam situações críticas em escala mundial, como furacões na América, ondas de calor na Europa, secas na África e enchentes na Ásia.

A indiscutível realidade do aumento progressivo da temperatura no planeta tem sido acompanhada desde 1880, quando começaram as medições, entretanto, destaca-se que a atual década registra os anos mais quentes da história, trazendo de reflexões a estudos aprofundados referentes ao tema, objetivando estabilizar, evitar ou reduzir os riscos aos quais a população está submetida, especialmente no que se refere aos direitos humanos, incluindo direitos a vida, saúde, alimentação, moradia e água.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), define o termo mudanças climáticas como sendo uma certa mudança no clima, que pode ser identificada por mudanças na média e/ou variação de suas propriedades, e que persiste por um período prolongado, geralmente por décadas. A mudança climática pode ser devida a várias razões como: processos naturais do próprio planeta ou de forças externas, de mudanças antropogênicas que podem modificar a composição da atmosfera ou o uso da terra (UNISDR, 2009).

Nesse sentido, os padrões de precipitação são diretamente afetados pela mudança na temperatura média global, que está fortemente relacionada ao aumento de gases na atmosfera,

tais como: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (IPCC, 2013). Aumentos nos volumes totais de chuvas, assim como suas intensidades, podem causar fortes impactos nos sistemas de drenagem urbana. Segundo a equação de Clausius-Clapeyron, o aumento da temperatura média global também deve aumentar a pressão de vapor saturada da atmosfera, fazendo com que a atmosfera tenha sua capacidade de reter a água baixada, provocando precipitações mais intensas (Phillip, 2011). Marengo et al. (2013) indicam que eventos extremos de precipitação devem se tornar mais frequentes e intensos no Brasil.

No Brasil, que acompanha a tendência mundial, é perceptível que a grande maioria das cidades apresentam elevado grau de vulnerabilidade e ausência de políticas públicas voltadas ao enfrentamento da crise ambiental existente e futura, não sendo, assim, preparada estruturalmente para vivenciar ocorrências como o deslizamento de terras na região serrana do Rio de Janeiro (2011), que provocou 506 mortes, e as enchentes que devastaram 42 municípios da zona da mata de Pernambuco (2010) para os quais foram decretados Estado de Calamidade para 12 municípios e Situação de emergência para os demais.

No que se refere ainda ao Estado de Pernambuco, são observadas as ocorrências dos extremos hidrológicos através de cheias na zona da mata (2010, 2011 e 2017), e na capital pernambucana como ocorre frequentemente, e das secas recorrentes não só no famoso Sertão pernambucano, mas também no Agreste, cuja base da economia gira em torno da bacia leiteira e do polo de confecções, onde as estiagens severas dos últimos sete anos tem, inclusive, prejudicado sobremaneira a produção e levado à cenários mais difíceis do que se observa no semiárido. Ainda segundo Alcântara et al. (2019) o aumento da seca na região Agreste do estado de Pernambuco esta diretamente correlacionada com a ação antrópica na região. Lima et al. (2011) também observaram mudanças significativas no regime pluviométrico em algumas localidades do semiárido baiano.

Nesse contexto, torna-se imprescindível que o poder público conjuntamente com a sociedade civil planeje ações voltadas à resiliência climática, busque uma economia neutra em carbono e altere, a curto e médio prazo, o cenário de fracasso das iniciativas para mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas, a fim de enfrentar os incrementos ou decréscimos a serem inferidos pela previsão pluviométrica da região. Na atualidade muito se tem discutido sobre as mudanças climáticas, tendo inúmeros alertas sobre as problemáticas decorrentes do aquecimento global e das previsões para o futuro da espécie humana, seu sistema de produção e condições de vida no planeta terra (Jabbour & Santos, 2009).

A magnitude dos impactos que essas mudanças acarretam é bastante intensa e complexa, chegando a interferir não só nos eventos hidrológicos e climáticos, mas também

em aspectos voltados à i) produção de energia - de acordo com Bartos e Chester (2015) - devido à incidência de episódios de calor e seca extrema; ii) produção de alimentos, pois haverá alteração da quantidade de água no solo o que influencia diretamente a disponibilidade de água para as culturas agrícolas, afetando o desenvolvimento dessas e aumentando a necessidade de irrigação (Streck & Alberto, 2006); e iii) à saúde da população, pois haverá novos riscos para a saúde humana (Dong et al., 2015) aumentando de 2,5 bilhões para 3,5 bilhões o número de pessoas vivendo em zonas de risco de contrair enfermidade, através da pulverização das doenças frequentes nas regiões tropicais levando a outras regiões distantes (Cedeplar/Fiocruz, 2008).

Nesse sentido, a Cedeplar/Fiocruz (2008) apontou ainda para uma projeção em que a região do semiárido brasileiro seria a mais afetada pelas mudanças climáticas no país, ocorrendo diminuição da frequência de chuvas, empobrecimento dos solos e redução da diversidade biológica da vegetação, tornando algumas áreas inabitáveis e elevando os gastos públicos com saúde e assistência social.

Sabendo-se que o próprio processo de urbanização e o aumento no grau de impermeabilização decorrente causam sensações de desconforto, ocasionadas pelas ilhas de calor. Esses efeitos são tratados como locais, e não globais, mas são de fundamental importância que sejam observados e monitorados, a fim de se verificar as tendências climáticas da região.

Se atualmente o semiárido brasileiro enfrenta uma estiagem de 6 anos, a partir de 2012, as previsões climáticas para região apontam para o agravamento da escassez, associadas a profundas alterações no regime pluviométrico e ao aquecimento atmosférico, que tendem a impactar a evapotranspiração, o escoamento superficial, a recarga subterrânea, e o armazenamento de água. (Montenegro, 2017)

Ferreira et al. (2016) verificaram o provável impacto das mudanças climáticas para a fruticultura de Pernambuco, constatando futuramente para o ano de 2050 drástica redução do potencial de produção da fruticultura no Estado. Considerou-se nesse estudo um aumento de 1°C na temperatura média mensal do ar, e uma redução na precipitação de 5% em comparação com média histórica da última normal climatológica (1961-1990).

Nessa conjuntura, observa-se que o cenário de ocorrência de extremos hidrológicos (cheias e secas) pode ser agravado com os efeitos das mudanças climáticas no estado de Pernambuco, o que deve ser encarado de forma planejada e integrada pelos diversos atores da sociedade civil, devendo essa preparação ser liderada pelo poder público. Desse modo, este estudo tem por finalidade utilizar os testes de Mann-Kendall, Sen's Slope e SQ-MK para

realizar análises de tendência dos dados pluviométricos a fim de avaliar as alterações climáticas hidrológicas do município de Recife.

## 2. Metodologia

### Área de estudo

A cidade do Recife localiza-se na região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 08° 04' 03" de latitude S e 34° 55' 00" de longitude W, é banhada a leste pelo Atlântico Sul e possui uma vasta rede de drenagem constituída por 5 principais rios e 99 canais, numa área de 218,50 km<sup>2</sup>. O município possui uma população da ordem de 1.537.700 habitantes, conforme IBGE (2010). Para fins do estudo aqui proposto, foram utilizadas séries de quatro estações pluviométricas: Curado, Afogados, Várzea e Alto da Brasileira, conforme Figura 1. As variáveis analisadas foram a precipitações totais mensais, a precipitação máxima diária anual (PMDA) e a precipitação total anual maior que 1, 10, 20 e 30 mm ( $P > 1\text{mm}$ ;  $P > 10\text{ mm}$ ;  $P > 20\text{ mm}$ ; e  $P > 30\text{ mm}$ , respectivamente).

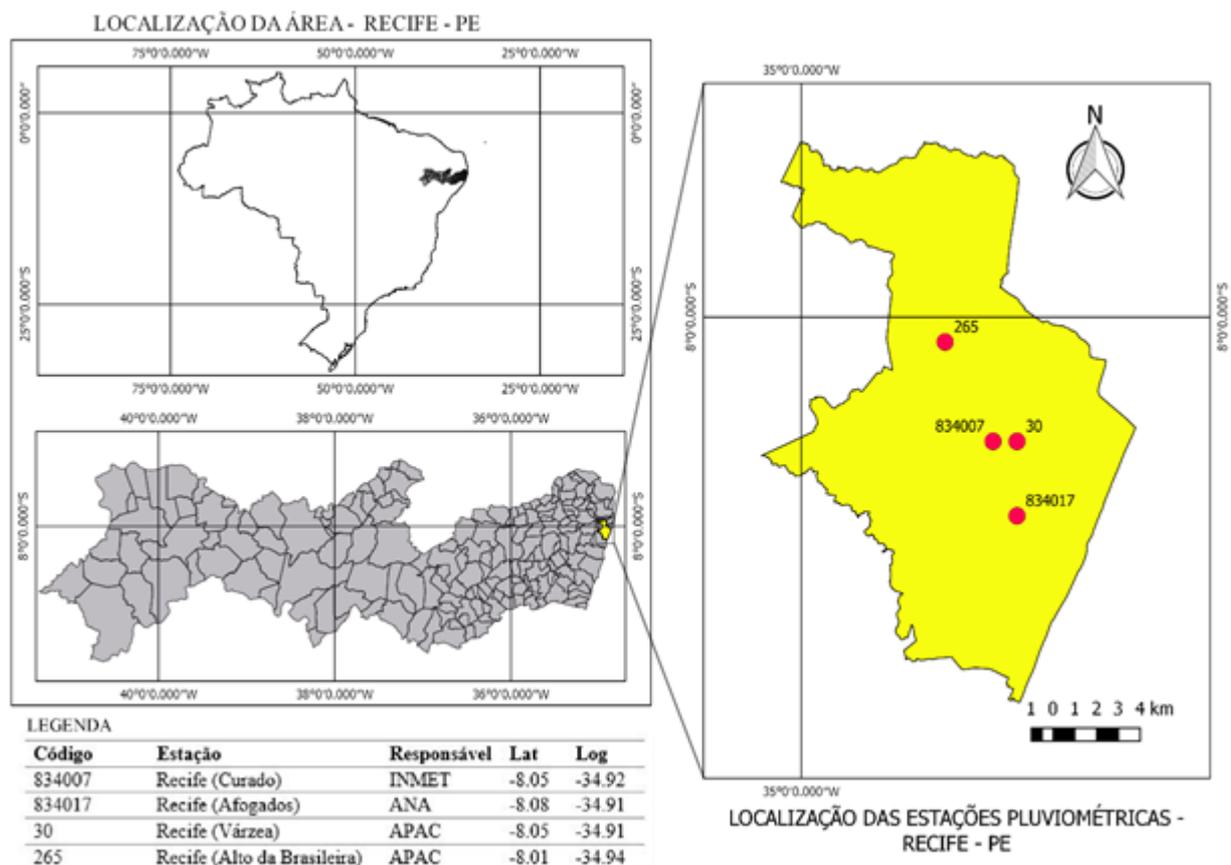


Figura 1. Localização das estações pluviométricas na área de estudo.

## Metodologia Mann-Kendall

O Teste de Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um teste de hipótese sequencial e não-paramétrico, utilizado para determinar se a série analisada de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por tratar-se de um método não paramétrico, este não requer distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Devido a isso, ele é frequentemente empregado para a detecção de tendências, por exemplo, em séries temporais hidrológicas. O teste MK é calculado utilizando-se das seguintes equações:

$$\text{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

A variável estatística S é calculada a partir do somatório dos sinais (sign) da diferença, par a par, de todos valores da série (xi) em relação aos valores que a eles são futuros (xj), expressa nas equações abaixo:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sign} (X_j - X_k) \quad (2)$$

$$\text{Sign}(X_j - X_k) = \begin{cases} -1 \text{ se } (X_j - X_k) < 0 \\ 0 \text{ se } (X_j - X_k) = 0 \\ +1 \text{ se } (X_j - X_k) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Segundo Kendall (1948) a estatística ‘S’ é normalmente distribuída com média e esperança E (S) equivalentes à zero para séries de dados maiores que 10 anos (n>10). Neste caso calcula-se a variância da seguinte maneira:

$$\text{Var}(S) = \frac{n * (n - 1) * (2 * n + 5) - \sum t * (t - 1) * (2 * t + 5)}{18} \quad (4)$$

Sendo n é o número de termos; e t é o número de termos iguais.

Adotando-se o nível de significância 5%, utilizado por Moraes et al. (1995), Back (2001) e Marengo et al. (2007), de acordo com Blain (2010) significa dizer que quando o valor absoluto da equação 1 (MK) for inferior a 1,96  $H_0$  deve ser rejeitada. Os valores positivos de MK indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

O coeficiente  $\tau$  mede a magnitude da relação entre x e y. A correlação de Tau de Kendall pode ser obtida por:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (5)$$

A determinação do ano que marca o início de uma mudança de tendência significativa é realizada com o uso do teste sequencial de Mann-Kendall (SQ-MK), onde é demonstrada a flutuação da tendência ao longo do tempo (Bari; et al.,2016). Este teste utiliza uma série progressiva ( $u(t)$ ) e uma série oposta a essa ( $u'(t)$ ). Caso estas séries cruzem o valor limite significativo adotado (95% no presente estudo), aquele ponto é considerado como sendo de mudança significativa. O ponto em que as duas séries cruzam é denominado como início da tendência (Nasri; Modarres, 2009).

### 3. Resultados e Discussão

As estatísticas da análise Mann-Kendall são apresentadas na Figura 2. As variáveis analisadas foram os meses do ano, a precipitação máxima diária anual (PMDA) e a precipitação total anual maior que 1, 10, 20 e 30 mm ( $P > 1\text{mm}$ ;  $P > 10\text{ mm}$ ;  $P > 20\text{ mm}$ ; e  $P > 30\text{ mm}$ , respectivamente). Para a análise, serão consideradas significativas as tendências cujo módulo do MK seja maior que 1,96, ou seja, significativo a 95%. O relacionamento medido da tendência com tempo pelo valor de Tau em todas as análises foi insignificante.

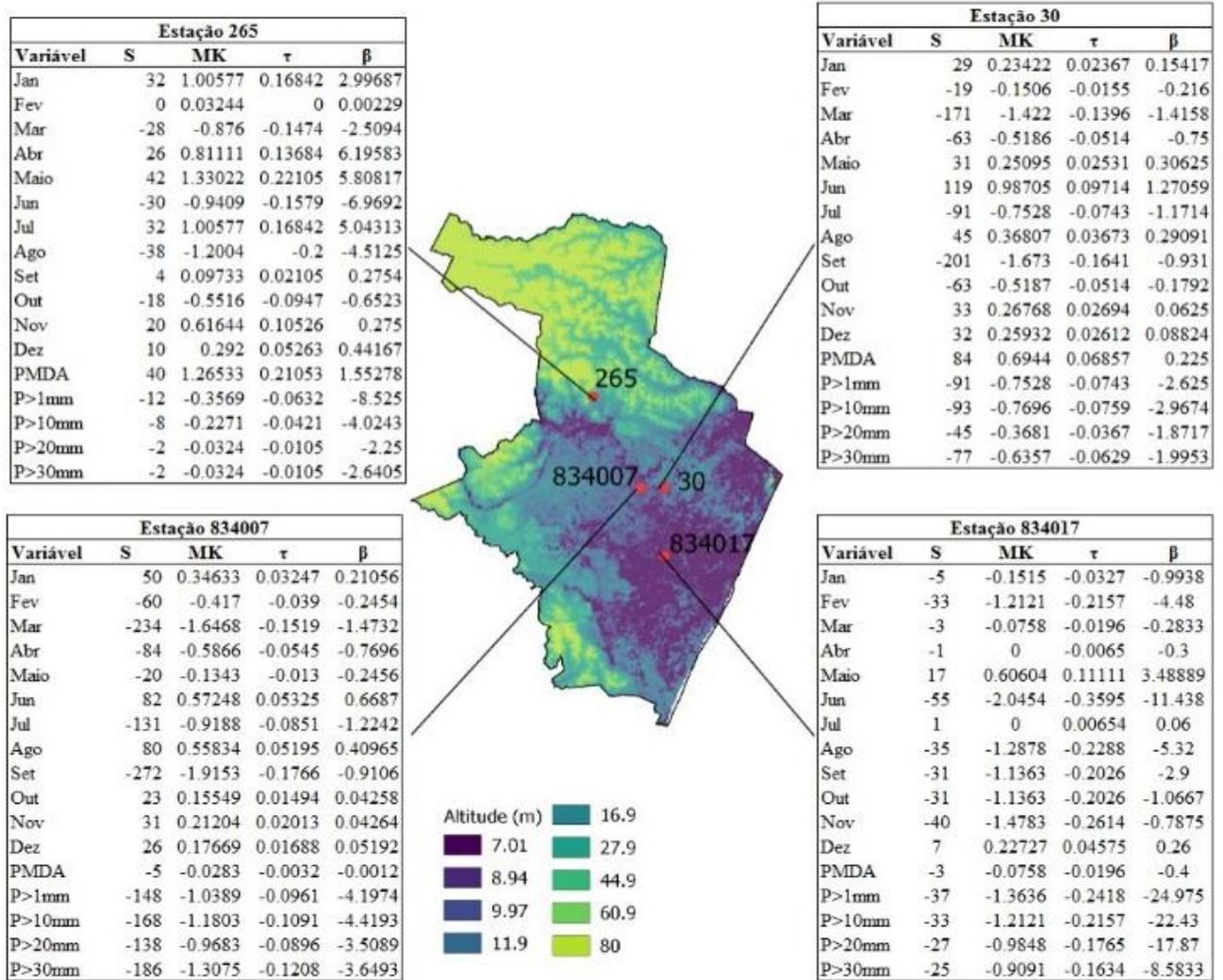


Figura 2. Detalhes da análise estatística de Mann-Kendall

Na estação Alta da brasileira (265) é possível identificar uma tendência não significativa positiva para os meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, julho, setembro, novembro e dezembro, e negativa para os meses de março, junho, agosto e outubro. A precipitação total anual para os níveis analisados (maior que 1, 10, 20 e 30 mm) indicaram uma tendência negativa (não significativa) enquanto que a PMDA indicou um crescimento positivo (também não significativo, porém com uma maior significância que os outros), isso nos indica um aumento nos picos de chuva isolados. O maior valor de mudança da chuva (indicado por  $\beta$ ) foi para precipitações maiores que 10 mm, sendo essa de natureza negativa, enquanto que nos meses de novembro e dezembro foram encontrados valores tão próximos à zero podendo considerar a mudança no comportamento das chuvas como constantes.

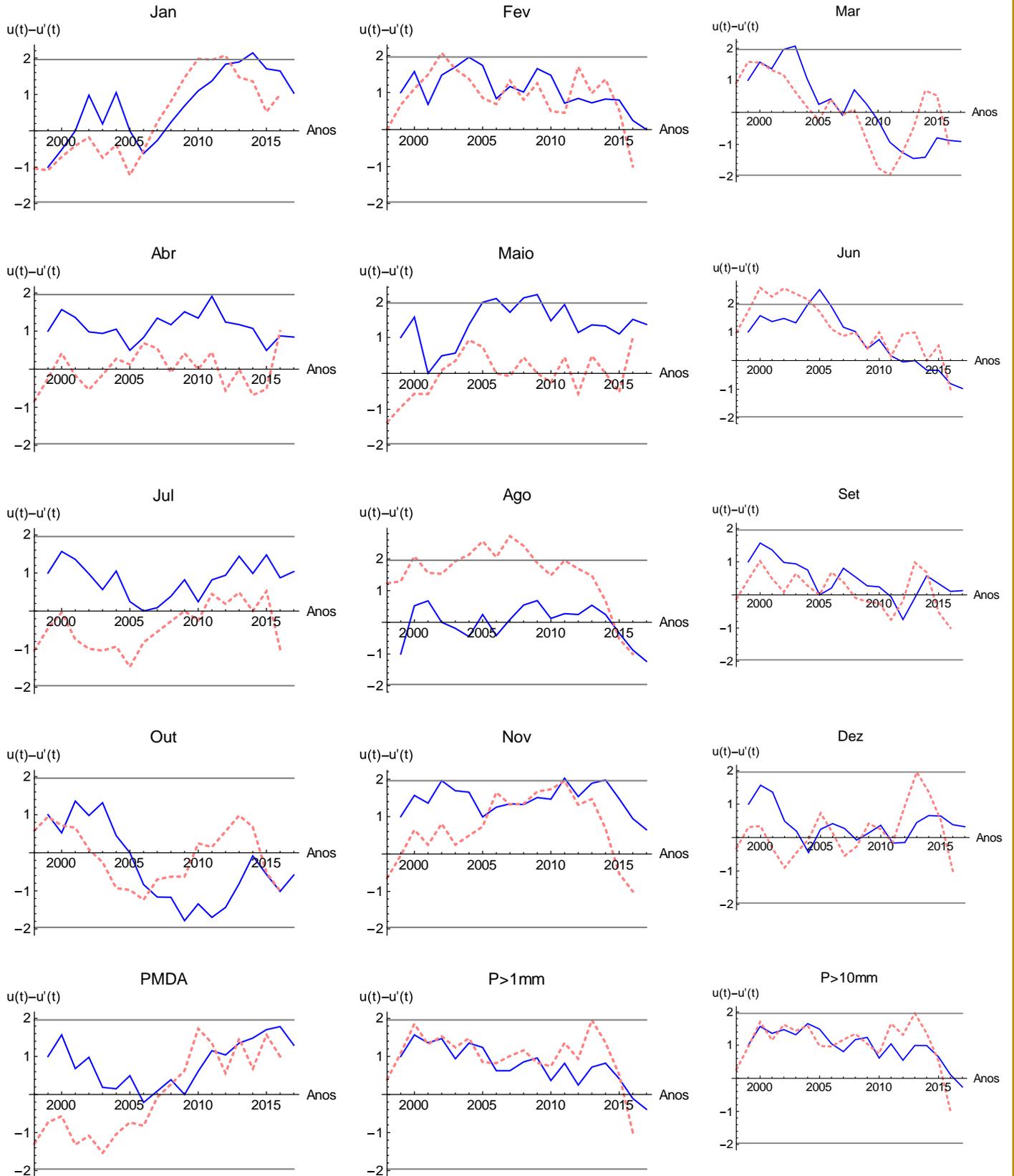
Na estação da Várzea (30) é possível identificar uma tendência não significativa positiva para os meses de janeiro, maio, junho, agosto, novembro e dezembro, e negativa para

os meses de fevereiro, março, abril, julho, setembro e outubro. A precipitação total anual para os níveis analisados (maior que 1, 10, 20 e 30 mm) indicaram uma tendência negativa (não significativa) enquanto que a PMDA indicou um crescimento positivo (também não significativo). O maior valor de mudança da chuva (indicado por  $\beta$ ) foi para precipitações maiores que 1, 10, 20 e 30 mm, sendo essas de natureza negativa, enquanto que nos meses de novembro e dezembro foram encontrados valores tão próximos à zero podendo considerar a mudança nas chuvas como imutáveis.

Na estação do Curado (834007) é possível identificar uma tendência não significativa positiva nos meses de janeiro, junho, agosto, outubro, novembro e dezembro, e negativa nos meses de fevereiro, março, abril, maio, julho e setembro. A precipitação total anual para os níveis analisados (maior que 1, 10, 20 e 30 mm) e a PMDA indicaram uma tendência negativa (não significativa). O maior valor de mudança da chuva (indicado por  $\beta$ ) foi para precipitações maiores que 1, 10, 20 e 30 mm, sendo essas de natureza negativa, enquanto que nos meses de outubro, novembro e dezembro e a PMDA foram encontrados valores tão próximos à zero podendo considerar o efeito nas chuvas como inalteráveis.

Na estação dos Afogados (834017) podemos perceber que existe uma tendência significativa negativa para o mês de junho, que obteve MK igual a -2,0454. As outras variáveis não apresentaram tendências significativas (sejam elas positivas ou negativas) para o limite de confiança de 95%. Os meses de maio e dezembro apresentaram tendências positivas (não significativas), os meses de abril e julho não apresentaram nenhuma tendência (seja positiva ou negativa), e os outros meses apresentaram tendências negativas (não significativas). A precipitação total anual para os níveis analisados (maior que 1, 10, 20 e 30 mm) e a PMDA indicaram uma tendência negativa (não significativa). O maior valor de mudança da chuva (indicado por  $\beta$ ) foi para precipitações maiores que 1, 10, 20 e 30 mm e o mês de Junho, do qual indica um decréscimo de 11,44 mm/ano.

Os resultados para o teste SQ-MK das variáveis analisadas na estação Alta da brasileira (265) são apresentados na Figura 3. Vários pontos de mudança não significativa foram observados nos meses analisados, com exceção dos meses de abril, maio, julho e agosto dos quais as estatísticas de  $u(t)$  e  $u'(t)$  permaneceram quase paralelas indicando a ausência de mudanças abruptas. O mês de janeiro apresentou uma tendência de crescimento não significativa enquanto que os meses de março e junho demonstraram um decréscimo não significativo. As precipitações totais anuais para os níveis analisados demonstraram diversos pontos de modificação e obtiveram estatísticas de  $u(t)$  e  $u'(t)$  bem semelhantes entre si. A PMDA não apresentou mudança significativa no período observado.



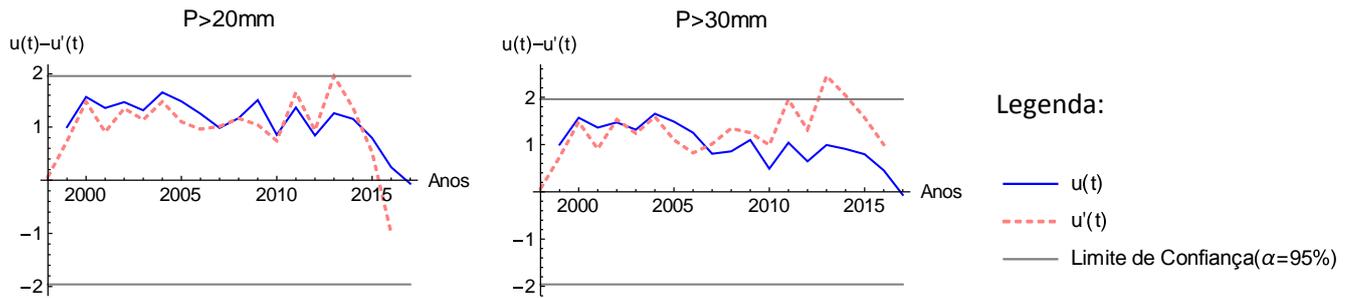
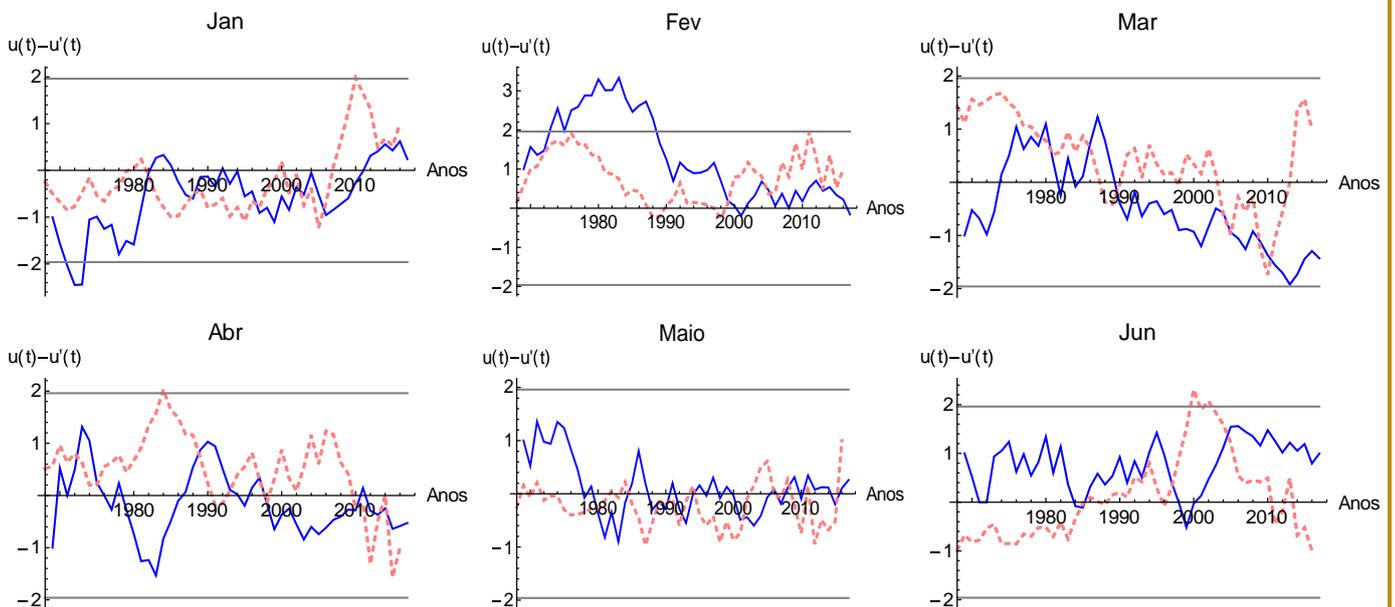


Figura 3. O teste SQ-MK para a estação Alta da brasileira (265). As Linhas retas horizontais cinzas indicam o limite inferior e o limite superior do intervalo de confiança de 95%.

Os resultados para o teste sequencial de SQ-MK das variáveis analisadas na estação da Várzea (30) são mostrados na Figura 4. Em todos os meses foram detectados diversos pontos de mudança, os meses de março e setembro demonstraram uma tendência negativa sem significância. O mês de fevereiro demonstrou uma tendência positiva significativa em 1973 voltando ao normal em 1990. As precipitações totais anuais para os níveis analisados demonstraram diversos pontos de mudança e obtiveram estatísticas de  $u(t)$  e  $u'(t)$  bem semelhantes entre si. A PMDA inicialmente apresentou uma tendência negativa, no entanto, a partir de 1980 ela demonstrou um crescimento não significativo.



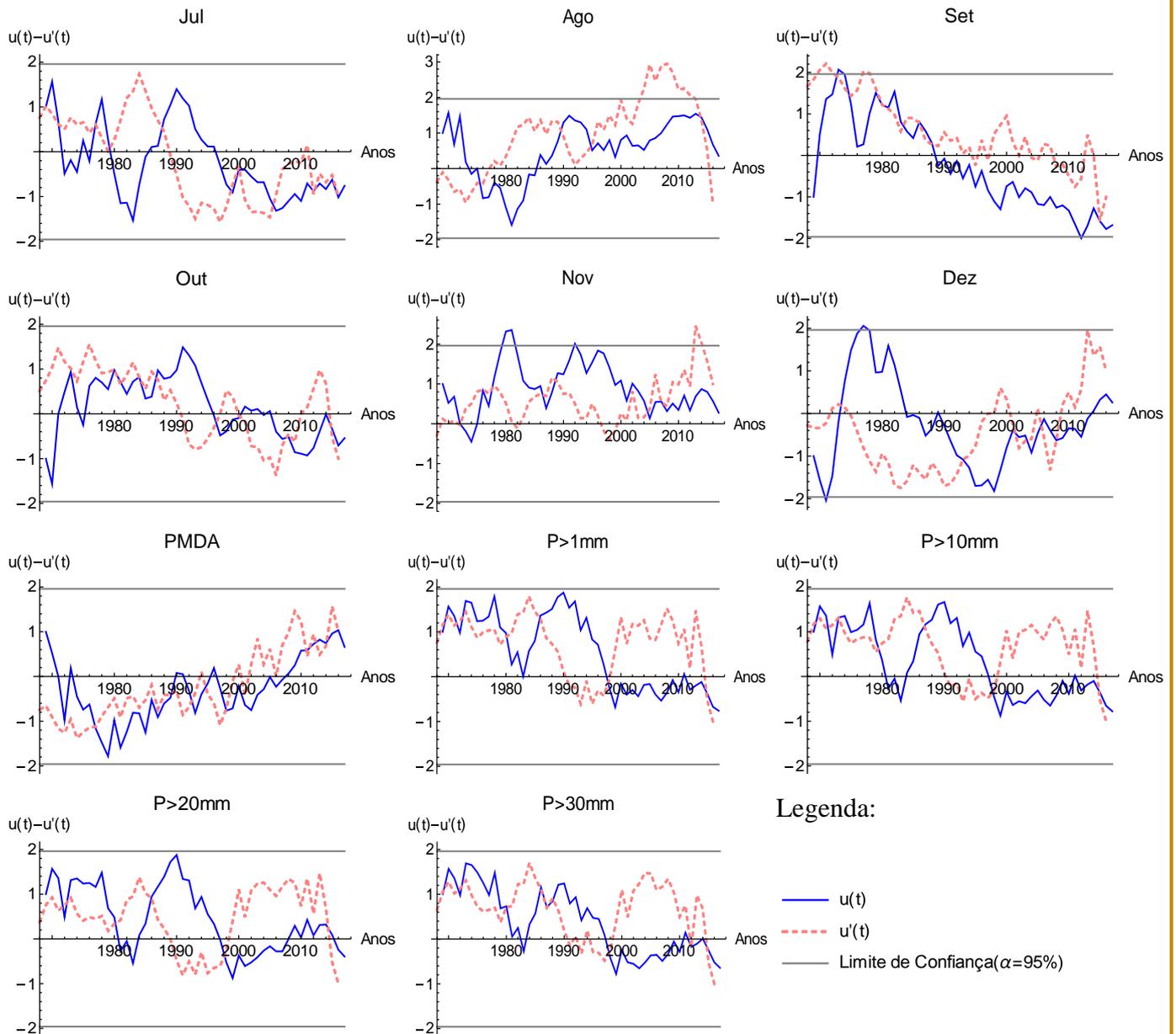
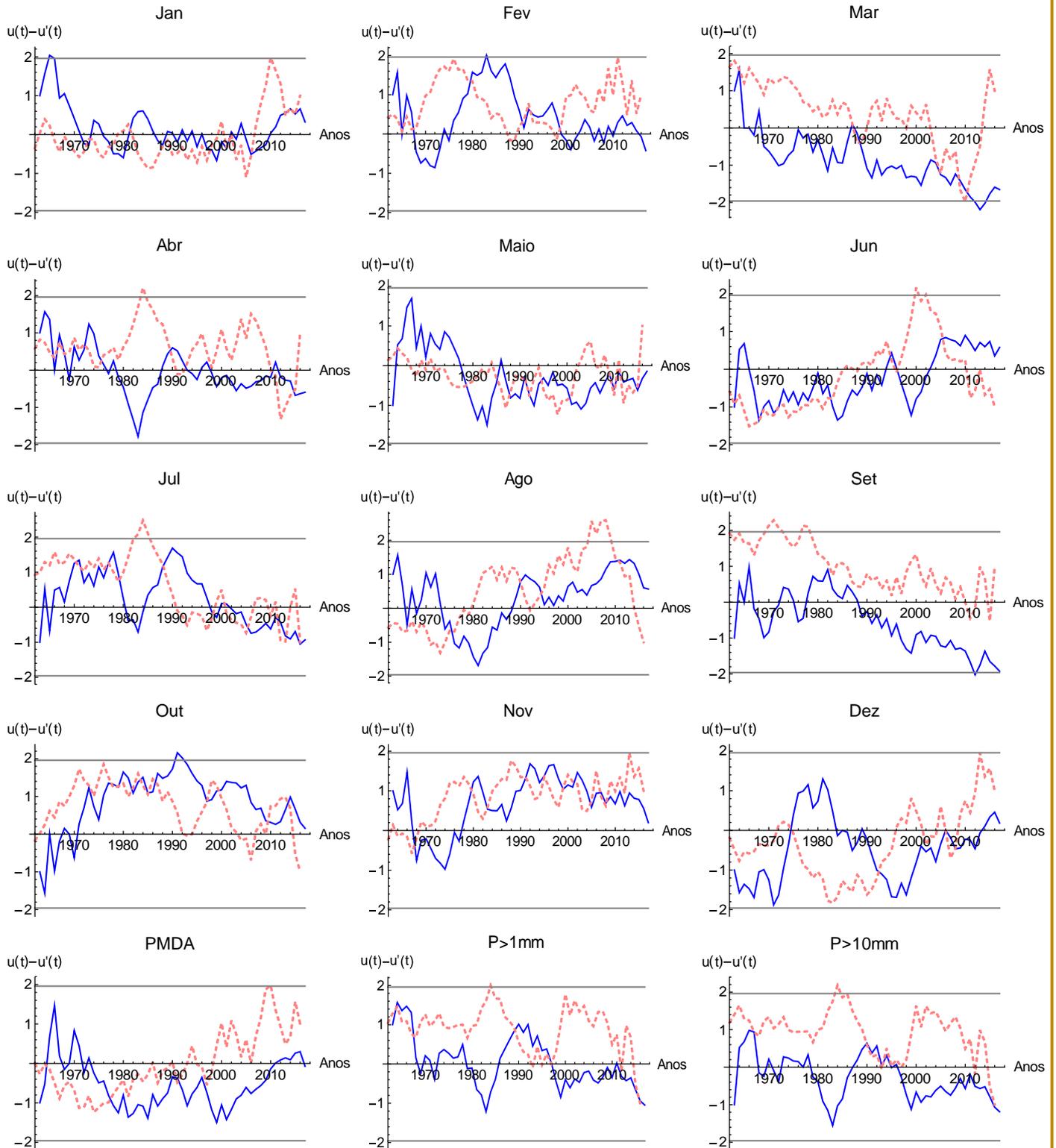


Figura 4. O teste SQ-MK para a estação da Várzea (30). As Linhas retas horizontais cinzas indicam o limite inferior e o limite superior do intervalo de confiança de 95%.

Os resultados para o teste SQ-MK das variáveis analisadas na estação do Curado (834007) são mostrados na Figura 5. Vários pontos de mudança não significativa foram observados nos meses analisados, com exceção do mês de setembro do qual as estatísticas  $u(t)$  e  $u'(t)$  permaneceram quase paralelas indicando a ausência de mudanças abruptas. O mês de março apresentou um decréscimo negativo que se tornou significativo em 2011, porém voltou a crescer no ano seguinte. De modo semelhante, o mês de outubro teve um crescimento que se tornou significativo em 1991 e retornou ao normal em 1992. As precipitações totais anuais para os níveis analisados demonstraram diversos pontos de mudança e obtiveram

estatísticas de  $u(t)$  e  $u'(t)$  bem semelhantes entre si. A PMDA não apresentou mudança significativa no período observado.



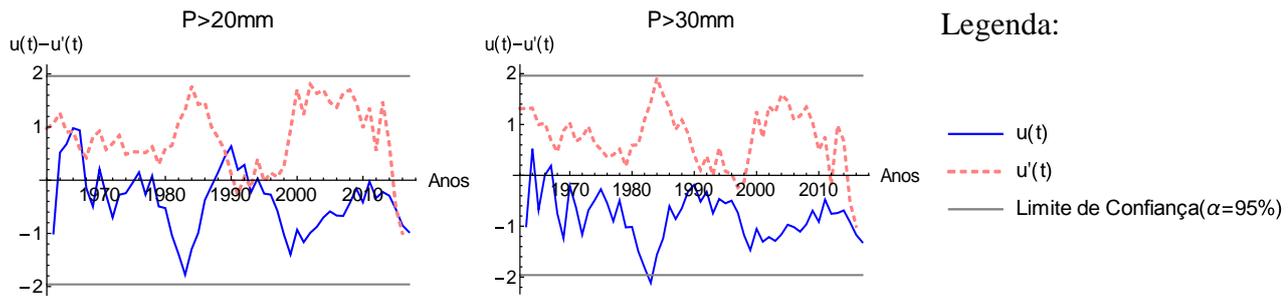
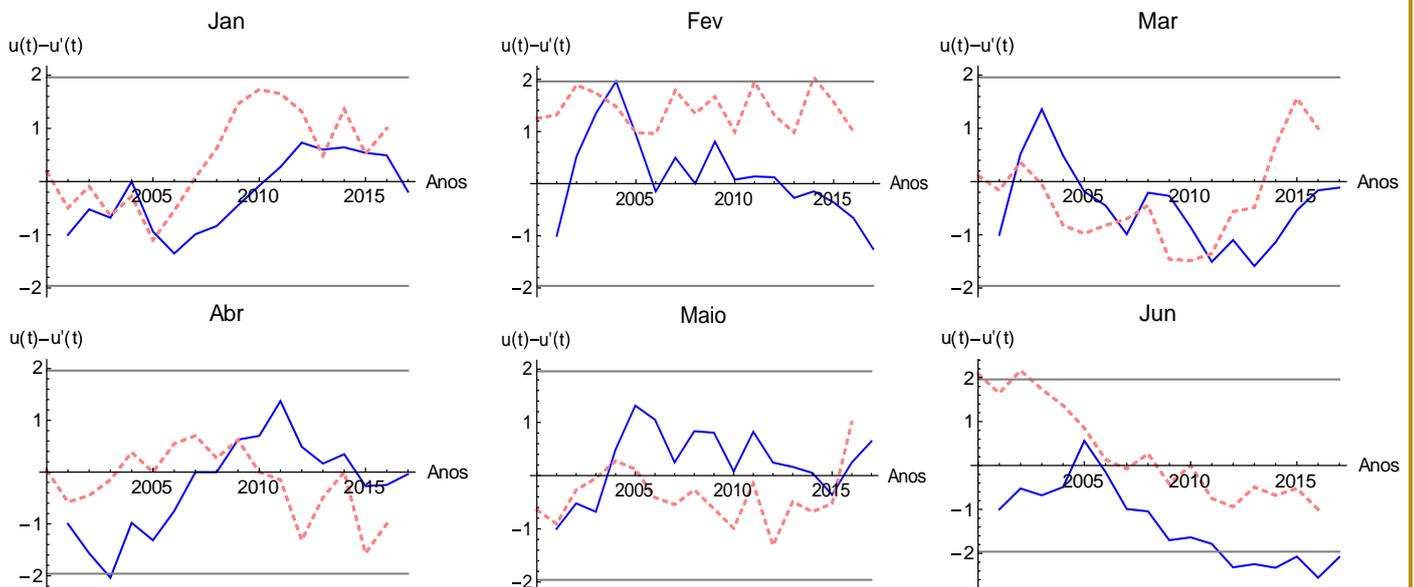


Figura 5. O teste SQ-MK para a estação do Curado (834007). As Linhas retas horizontais cinzas indicam o limite inferior e o limite superior do intervalo de confiança de 95%.

Os resultados para o teste SQ-MK das variáveis analisadas na estação dos Afogados (834017) são mostrados na Figura 6. As séries estatísticas  $u(t)$  e  $u'(t)$  apresentaram-se paralelas nos meses de junho, agosto, outubro e novembro e nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, julho, setembro e dezembro. É possível notar vários pontos de mudanças não significativos. Como visto na estatística de Mann-Kendall (MK) o mês de junho obteve uma tendência negativa, e pelo comportamento do teste SQ-MK, pode-se afirmar que essa mudança foi iniciada no ano de 2005. Em geral, as precipitações totais anuais para os níveis analisados demonstraram estatísticas de  $u(t)$  e  $u'(t)$  bem semelhantes entre si, adquirindo diversos pontos de mudança com exceção da  $P > 10$  mm que deteve as funções do SQ-MK paralelas. A PMDA não apresentou mudança significativa no período observado.



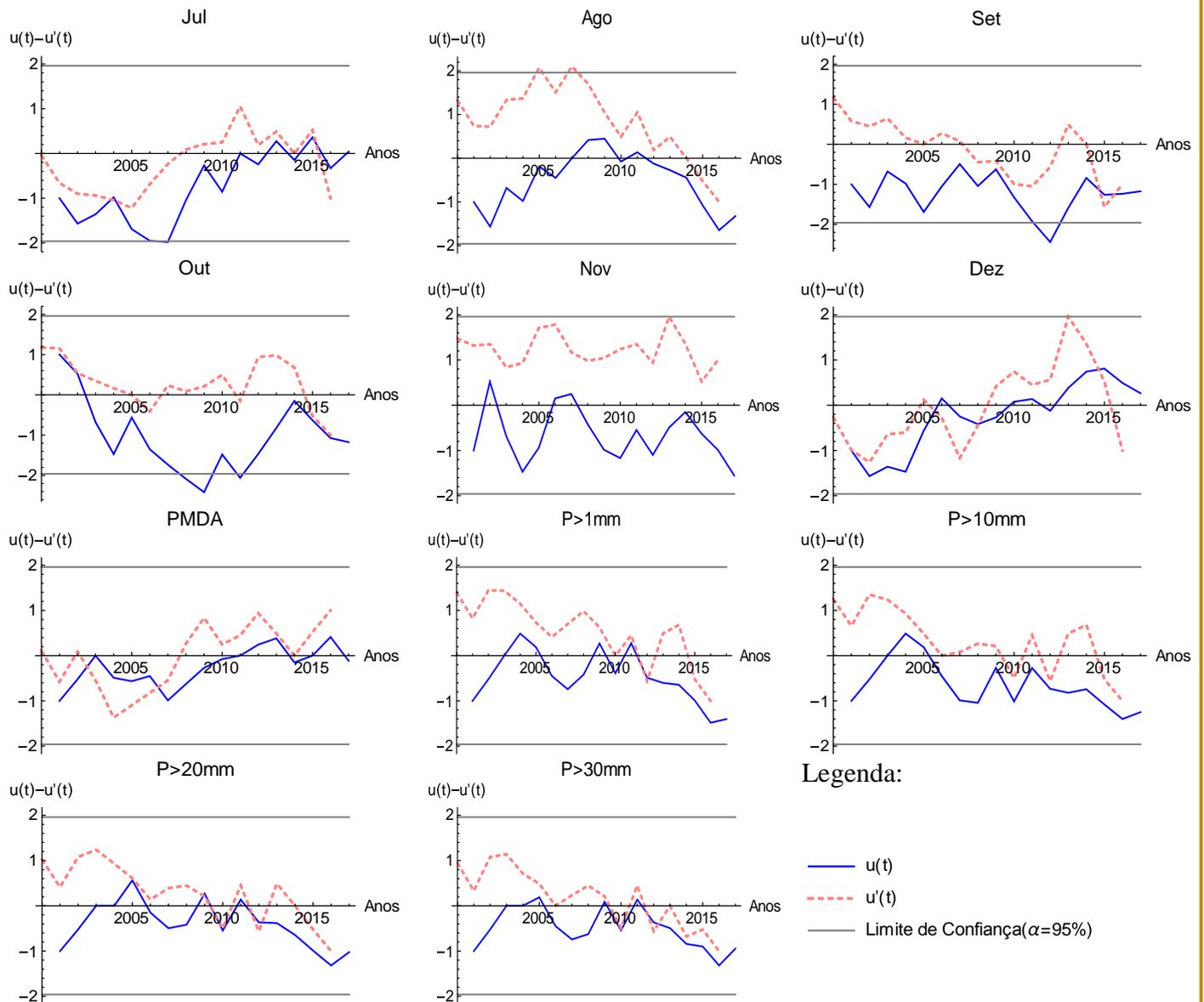


Figura 6. O teste SQ-MK para a estação dos Afogados (834017). As Linhas retas horizontais cinzas indicam o limite inferior e o limite superior do intervalo de confiança de 95%.

No geral o estudo detectou tendências não significativas (sejam elas positivas ou negativas), com o limite de confiança de 95%, para a maioria dos dados analisados. Este resultado concorda com os obtidos por Moncunill (2006) que identificou uma tendência negativa na precipitação para o Estado do Ceará, em sua pesquisa que utilizou 32 estações pluviométricas para o período de 1974 a 2003, em que encontrou tendência negativa em 27 das 32 localidades analisadas. Ao utilizar Mann-Kendall, Lima et al. (2011) também obtiveram tendências negativas não significativas na maioria das localidades pertencentes ao semiárido da Bahia. O mesmo ocorreu com Lopes & Silva (2013) no semiárido do Ceará. Lacerda et al., (2009), em estudo realizado no Estado de Pernambuco para a bacia

hidrográfica do Rio Pajeú, também identificou tendência de diminuição das chuvas anuais em todas as localidades estudadas para o período de 1965 a 2004. Carvalho et al., (2020), concluiu que reduções de precipitação anual total e número de dias chuvosos são observados no nordeste do Brasil corroborando o fato de que as tendências de diminuição são sobressalentes.

#### **4. Conclusões**

O teste não paramétrico de Mann-Kendall demonstrou haver uma tendência positiva significativa para a estação da Várzea (30) no mês de fevereiro em 1973 voltando ao normal em 1990. Na estação do Curado (834007) o mês de março apresentou um decréscimo que se tornou significativo em 2011, porém voltou a crescer no ano seguinte. De modo semelhante, o mês de outubro teve um crescimento que se tornou significativo em 1991 e retornou ao normal em 1992. Na estação dos Afogados (834017) podemos perceber que existe uma tendência significativa negativa para o mês de junho. O parâmetro Sen's Slope ( $\beta$ ) também mostra um decaimento nas atividades pluviométricas. Desta forma observa-se que, segundo o teste SQ-MK, houve um período de acréscimo significativo da atividade pluviométrica que pode ter sua ocorrência relacionada a eventos extremos na região. No sentido mais amplo os resultados expressam uma redução não significativa nos padrões pluviométricos em Recife.

#### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi desenvolvido com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo N° 465764/2014- 2, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), processo N° 88887.136369/2017-00, da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), processo: APQ-0498-3.07/17, por meio do projeto “Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC)” e ao projeto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) intitulado “Mudanças Climáticas- Fase 2”.

#### **Referências**

Alcântara, L.R.P.; Costa, I.R. de A.; Barros, V.H. de O.; Santos Neto, S.M.; Coutinho, A.P.; Antonino, A.C.D. (2019). Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress* V. 04 N. 02 130-139.

Asfaw, A.; Simane, B.; Hassen, A.; Bantider, A. (2018). Variability and tome series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*. p. 29-41.

Assis, J.; Lacerda, F. F.; Sobral, M. C. (2012). Análise de detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 320-331.

Back, a. J. (2001). Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 5, p. 717-726.

Bari, S. H.; Rahman, M. T. U.; Hoque, M. A.H.; (2016). Hussain, M. M. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. *Atmospheric Research*. v.16, p. 148–158.

Bartos, M. D.; Chester, M. V. (2015). Impacts of climate change on electric power supply in the Western United State. *Nature Climate Change*. Recuperado em 23 outubro 2019 em <https://www.nature.com/articles/nclimate2648>.

Blain, G. C. (2010). Detecção de tendências monótonas em séries mensais de Precipitação pluvial do estado de São Paulo. *Bragantia, Campinas*, v. 69, n. 4, p1027-1033.

Carvalho, A. A. D., Montenegro, A. A. D. A., Silva, H. P. D., Lopes, I., de Moraes, J. E., & da Silva, T. G. (2020). Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n.1, p15-23.

Cedeplar/Fiocruz. (2008). Mudanças Climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Relatório de Pesquisa. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG.

Dong, W. et al. (2015). New climate and socio-economic scenarios for assessing global human health challenges due to heat risks. *climatic Change*. Dordrecht, v. 130, n. 4, p. 505-518.

Ferreira, P. S. et al. (2016). Mudanças climáticas e a geopotencialidade à fruticultura em municípios de Pernambuco: subsídios à agricultura familiar. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v. 26, n. 46, p.522-544.

Intergovernmental panel on climate change – IPCC. (2013). Summary for policymakers: climate change 2013: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 33 p.

Jabbour, C. J. C.; Santos, F. C. A. (2009). Sob os ventos da mudança climática: desafios, oportunidades e o papel da função produção no contexto do aquecimento global. *Gestão e Produção*, São Carlos. v. 16, n. 1, p. 111-120.

Kendall, M.G. (1948). *Rank Correlation Methods*, primeira edição. ed. C. Griffin.

Lacerda, F. F.; Dias, H.; Assad, E. D.; Santos, A. De. A. (2009). Detecção de Sinais de Mudanças Climáticas para Algumas Localidades do Sertão do Pajeú - PE. In: XVI CBA- Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte. *Mudanças Climáticas, Recursos Hídricos e Energia para uma Agricultura Sustentável*, 2009a.

Lima, j. R. A.; neves, d. J. D.; de Araújo, l. E.; Azevedo, p. V. (2011). Identificação de tendências climáticas no estado da Bahia. *Revista de Geografia*, v. 28, n. 3, p. 172-187.

Lopes, J. R. F.; Silva, D. F. (2013). Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. *Revista de Geografia*, v. 30, n. 3, p. 192-208.

Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econ. J. Econ. Soc.* v. 13, p. 245–259.

Moraes, J. M.; Pellegrino, G.; Ballester, M. V.; Martinelli, L. A.; Victoria, R. L. (1995). Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. *Anais...* Recife: Associação Brasileira de Hídricos, pp. 27-32.

Marengo, J. A.; Schaeffer, R.; Pinto, H. S.; Zee, D. M. W. (2013). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro: FBD, 76 p.

Marengo, J.; Nobre, C.; Raigoza, D.; Valverde, M.; Pishnichenko, I.A.; Oliveira, J.C.M. (2007). Boletim do Projeto: uso de cenários de mudanças climáticas regionais em estudos de vulnerabilidade e adaptação no Brasil e na América do Sul (GOF-UK-CPTEC), 2007. Recuperado em 1º de dezembro em: [www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas)>.

Moncunill, D. F. (2006). The rainfall trend over Ceara and its implications. In: 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu -PR. P. 315-323.

Montenegro, A. A. de A. (2017). Escassez hídrica, mudanças climáticas e hidrologia social em comunidades rurais do semiárido: experiências nos Vales do Ipanema e do Ipojuca, Pernambuco. In: Galvêncio, J. D.; Oliveira, V. S. de O.; Souza, W. M. Mudança climática, sociedade, cidade e meio ambiente. Recife: Editora UFPE, p.171-190.

Nasri, M.; Modarres, R. (2009). Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. Int. J. Climatol. v. 29, p. 1430–1438.

Partal, T.; Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Process, v.20, p. 2011 – 2026.

Phillip, R.; Anton, B.; Steen, P. V. D. (2011). Kit de Treinamento SWITCH: gestão integrada das águas na cidade do futuro. Módulo 1. Planejamento estratégico: preparando-se para o futuro. 1. ed. São Paulo: ICLEI Brasil, 53 p.

Streck, Nereu Augusto, & Alberto, Cleber Maus. (2006). Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. Ciência Rural, 36(2), 424-433. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200011>

Yue, S.; Pilon, P.J.; Phinney, B.; Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Process, v.16, p.1807-1829.

<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1095>

United nations international strategy for disaster reduction – UNISDR. (2009). Terminology on disaster risk reduction. Geneva.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Lucas Ravellys Pyrrho de Alcântara – 25%

Maria Eduarda Rodrigues da Silva – 25%

Severino Martins dos Santos Neto – 10%

Fernandha Batista Lafayette – 10%

Artur Paiva Coutinho – 10%

Suzana Maria Gico Lima Montenegro – 10%

Antonio Celso Dantas Antonino – 10%