

XX SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DA
REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TOCANTINS ARAGUAIA (RHTA)
NO PERÍODO DE 1977 – 2006

*Artur Sales de Abreu Vieira¹; Glauber Epifanio Loureiro²; Júnior Hiroyuki Ishihara³;
Irlane Quaresma da Silva⁴; Carlos Eduardo de Sousa Aguiar⁵; Heitor Capela Sanjad⁶;
Antonio Jorge Silva Araujo Junior⁷; Ana Beatriz Bastos Gomes⁸; Germana Mescal
Bittencourt⁹; Ana Carolina Assmar Correia de Lima¹⁰:*

RESUMO

A precipitação pluviométrica é um fenômeno descontínuo, logo é muito variável no espaço e no tempo, principalmente em regiões tropicais, se fazendo necessária a compreensão de sua distribuição e variabilidade. Para tanto, é imprescindível analisar tanto os fatores atmosféricos, estáticos, dinâmicos e topográficos, quanto suas alterações ao longo de toda a série analisada. Neste sentido, o trabalho objetiva estudar a variabilidade da precipitação pluvial da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia em um período de 30 anos (1977-2006), avaliando o comportamento espacial e temporal através da elaboração de mapas de isoietas. Os dados pluviométricos foram obtidos no HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Os parâmetros estatísticos utilizados foram: média, desvio padrão, coeficiente de variação e o método hidrológico Sen's Test.

Palavras-chave: Precipitação. Variabilidade. Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR RAINFALL OF THE
HYDROGRAPHIC REGION TOCANTINS ARAGUAIA THE
PERIOD 1977 TO 2006

ABSTRACT

Rainfall is a discontinuous phenomenon, so it's highly variable in space and time, especially in tropical regions, making necessary to understand its distribution and variability. To achieve this, it's essential to analyze atmospheric, static and dynamic factors, so as their topographical changes throughout the series analyzed. In this sense, this work aims to study the rainfall variability of Hydrographic Region of Tocantins-Araguaia in a period of 30 years (1977-2006), evaluating the spatial and temporal behavior through drawing of isohyets maps. The rainfall data were obtained in HidroWeb - Hydrological Information System of the National Water Agency. The statistical parameters used were: mean, standard deviation, coefficient of variation and hydrological method Sen's Test.

Keywords: Precipitation. Variability. Hydrographic Region of Tocantins-Araguaia.

¹ Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará. E-mail: artur.abreu.ufpa@hotmail.com
Endereço: Universidade Federal do Pará - Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Caixa postal 479. – Brasil

² Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Engenheiro Ambiental.

³ Mestre pelo PPGEC da Universidade Federal do Pará em Recursos Hídricos. Engenheiro Sanitarista.

⁴ Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

⁵ Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

⁶ Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

⁷ Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

⁸ Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

⁹ Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará, Dra. Professora adjunta da Universidade federal do Pará.

¹⁰ Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

1 – INTRODUÇÃO

A precipitação é uma importante variável meteorológica para os estudos climáticos, em particular para caracterização das diversas regiões do Brasil, referentes a consequências de enchentes, deslizamento de terra, escassez, entre outros. Para tanto, o planejamento, projetos e pesquisas em recursos hídricos requerem informações hidrológicas precisas, reduzindo a possibilidade de falha de projetos, bem como o risco econômico que surge de informações inadequadas.

Segundo Tucci (1993) a precipitação é o elemento atmosférico de maior variabilidade (desvios anuais). O aumento da taxa de impermeabilização do solo urbano, a construções de edifícios e casas, a constante remoção de áreas verdes, entre outras criações de ambiente modificado pelo homem, implica em problemas ambientais advindos da ocorrência de chuvas intensas.

Em regiões tropicais, como o caso da região hidrográfica analisada, a agricultura assume o papel de principal atividade humana, a qual está mais intrinsecamente relacionada com o consumo de água e parâmetros climáticos. Curry (1952), afirma que a análise geográfica do clima voltada para a organização do espaço agrícola, se faz necessária. Desta forma, tanto a radiação global quanto os principais elementos do clima passam a ser considerados como agentes econômicos e, portanto, intervenientes na produção e rentabilidade (SANT'ANNA NETO, 1998).

A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA) está localizada no ecótono Amazônia-Cerrado, quase que totalmente no perímetro do conhecido "arco do desmatamento" da Amazônia Legal, zona de fronteira agropecuária e madeireira, que exige enorme esforço de prevenção, controle e combate aos desmatamentos e incêndios. Este antropismo pouco controlado é alarmante, pois neste ecótono encontra-se a maior concentração de florestas decíduais e semidecíduais do Brasil, estando com cerca de 60% de sua área desmatada e/ou queimada (IBAMA, 2002; in ARRUDA, 2005).

Neste trabalho foram analisados dados de pluviosidade temporal e espacial, com um total de 150 estações meteorológicas distribuídas temporalmente no período de 1977 a 2006. Destas, 130 estão totalmente inseridas nos limites da região hidrográfica, enquanto as outras 20 estão distribuídas próximas a região, de maneira a corroborar na menor margem de erro na interpolação das isolinhas de chuva no mapa.

Na RHTA, as estações hidrológicas são preferencialmente instaladas para atender os projetos hidráulicos, principalmente a geração de energia elétrica. Logo, o estudo dos impactos adversos de chuva desempenha um papel de grande importância no conhecimento climatológico da região.

O conhecimento espaço-temporal da variabilidade pluvial em uma bacia hidrográfica permite, além da disponibilidade de dados para o zoneamento agrícola, abastecimento público, análise de impactos ambientais, processos erosivos, apontando possíveis áreas que apresentem maior suscetibilidade a esses processos, evitando desta forma o assoreamento de rios e nascentes (Dziubate, 2010).

Portanto, o objetivo da pesquisa é analisar temporal e espacialmente a variabilidade da precipitação pluviométrica na RHTA, em um período de 30 anos (1977 - 2006), com o intuito de detectar os padrões predominantes de distribuição pluvial existente.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Localização e caracterização da área de estudo

A RHTA localiza-se entre os paralelos sul 0° 30' e 18° 05' e os meridianos de longitude oeste 45° 45' e 56° 20' (Figura 01). Seu rio principal (Araguaia) possui comprimento de aproximadamente 2600 km, seguido pelo rio Tocantins com quase 1900 km de extensão, ambos com direção sul-norte. A superfície de drenagem da RHTA é de aproximadamente 918.273km² (aproximadamente 11% do território nacional) e grande parte situa-se na Região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, e daí, para jusante, adentra na Região Norte até a sua foz na Baía da Ilha de Marajó. A RHTA apresenta uma população próxima de 8 milhões de habitantes, dos quais 75% correspondem a população urbana (IBGE, 2008). As principais cidades são: Belém - PA; Imperatriz - MA; Marabá - PA; Palmas - TO; e Araguaína - TO, totalizando 409 municípios, dos quais 385 (94%) têm sua sede inserida na região (ANA, 2009).

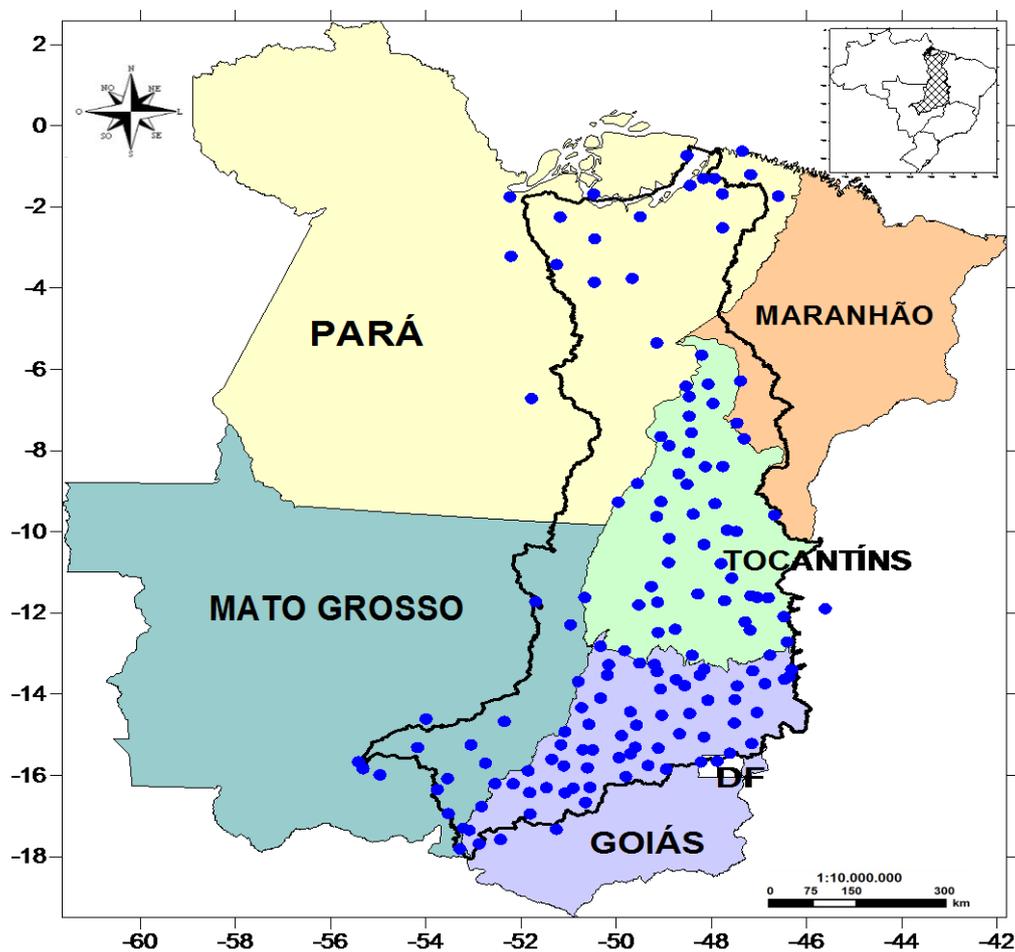


Figura 01: Localização das estações pluviométricas na RHTA.

A região estudada foi escolhida tendo em vista a enorme importância estratégica de suas águas (com ênfase em suas chuvas) para o país como um todo, seja no tocante a manutenção e gerenciamento dos volumes de reserva para geração de energia hidroelétrica (UHE de Tucuruí, Lajeado, entre outras PCH's), na produção de alimentos (agricultura e pecuária), ou na exploração de enormes riquezas naturais, como minérios e produtos florestais.

2.2 - Desenvolvimento

Os dados utilizados estão disponíveis no HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. O estudo da rede pluviométrica em questão está inserida nos limites e proximidades da RHTA, objeto deste trabalho, na qual estão em operação ou desativadas. Para análise da rede pluviométrica consideraram-se apenas as estações em pleno funcionamento. Foram analisados dados de pluviosidade a partir de informações de 150 estações meteorológicas distribuídas temporalmente no período de 1977 a 2006, e distribuídas espacialmente conforme a Figura 01.

Os valores gerados através da estatística descritiva são representados através de gráficos elaborados no programa *Excel*. As cartas de isoietas foram elaboradas a partir do *software Surfer*, versão 8.0. Na discussão dos resultados estão apresentados a análise espaço-temporal da RHTA através da altitude, desvio padrão, coeficiente de variação e média das precipitações pluviais no intervalo interdecenal (períodos de 10 anos), além do teste de Sen que foi utilizado para obtenção da estimativa de tendência da precipitação.

Segundo Press *et al* (1989), as técnicas estatísticas mais utilizadas para a análise de tendência de séries hidrológicas são o teste de Mann-Kendall com o método de Sen e o de Regressão Linear, como afirmam Alexandre; Baptista; Naghettini (2010). O teste de Mann-Kendall tem sido usado amplamente em estudos de tendência hidrológicas (Marengo *et al*, 1995).

Contudo, o teste de Mann-Kendall permite indicar apenas a tendência de uma série, não fornecendo qualquer estimativa da magnitude de tal tendência. Assim, utiliza-se um procedimento simples desenvolvido por Sen (1968), na qual a inclinação das tendências pode ser obtida a partir do cálculo das inclinações estimadas, dividindo-se os valores dos dados no tempo, com o tempo referente a precipitação, como mostra a equação 1:

$$N' = n(n-1)/2 \quad \text{e} \quad S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (1)$$

Sendo,

x_j e x_i - são os valores dos dados no tempo j e i , respectivamente, onde $j > i$;

N' - é o número de pares de dados em que $j > i$. A mediana desses

N' valores de S_e é o valor estimado da inclinação de Sen's.

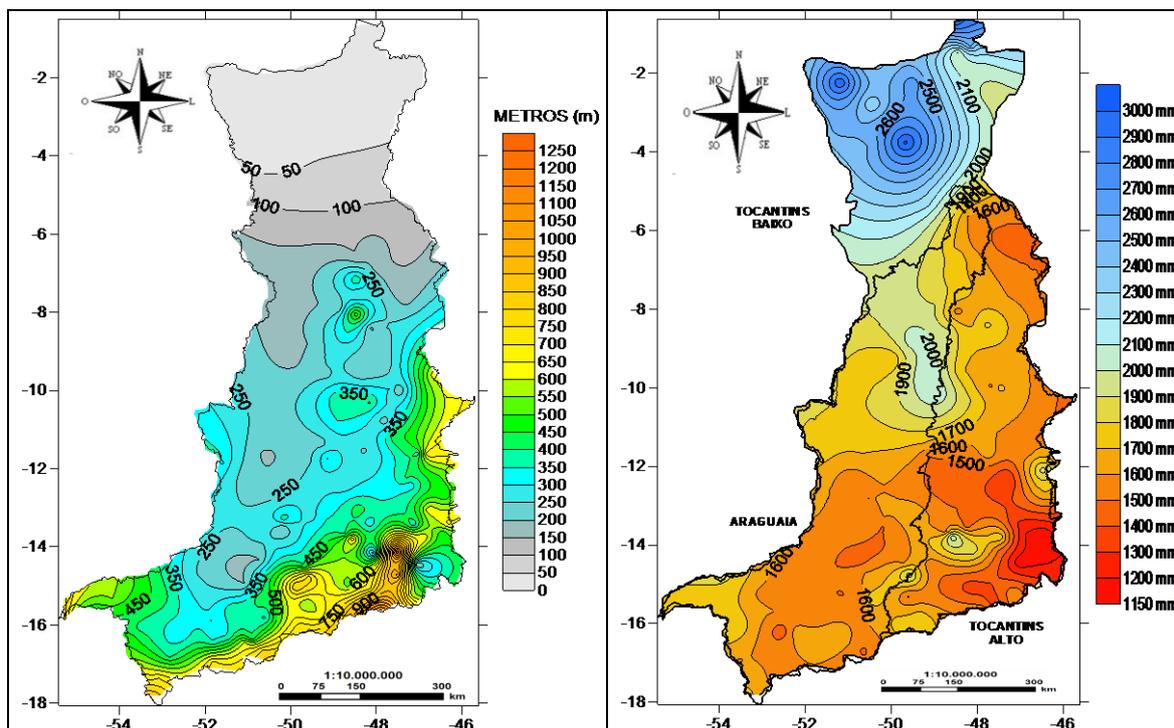
S_e - é o valor estimado da inclinação de Sen's.

3 – RESULTADOS

As grandes atividades agrícolas irrigadas, realizadas sem os devidos cuidados ambientais, alteram a quantidade de água à jusante e promovem o assoreamento e a contaminação por resíduos (agroquímicos, por exemplo).

De acordo com as altitudes nas respectivas estações pluviométricas, pode-se observar que a variação topográfica na RHTA é bem marcada, com valores superiores a 1200 m, de montante, na parte sul. À jusante, os valores não ultrapassam 50m, conforme mostra a Figura 02.

Na Figura 03, os valores constatados foram obtidos através da média do período apresentado, identificando-se uma variação da precipitação pluvial entre 1149,36 mm à montante até 3026,40 mm, à jusante.



Figuras 02 e 03: Altitude (m) da RHTA.; Média da precipitação (mm) na RHTA no período de 1977-2006.

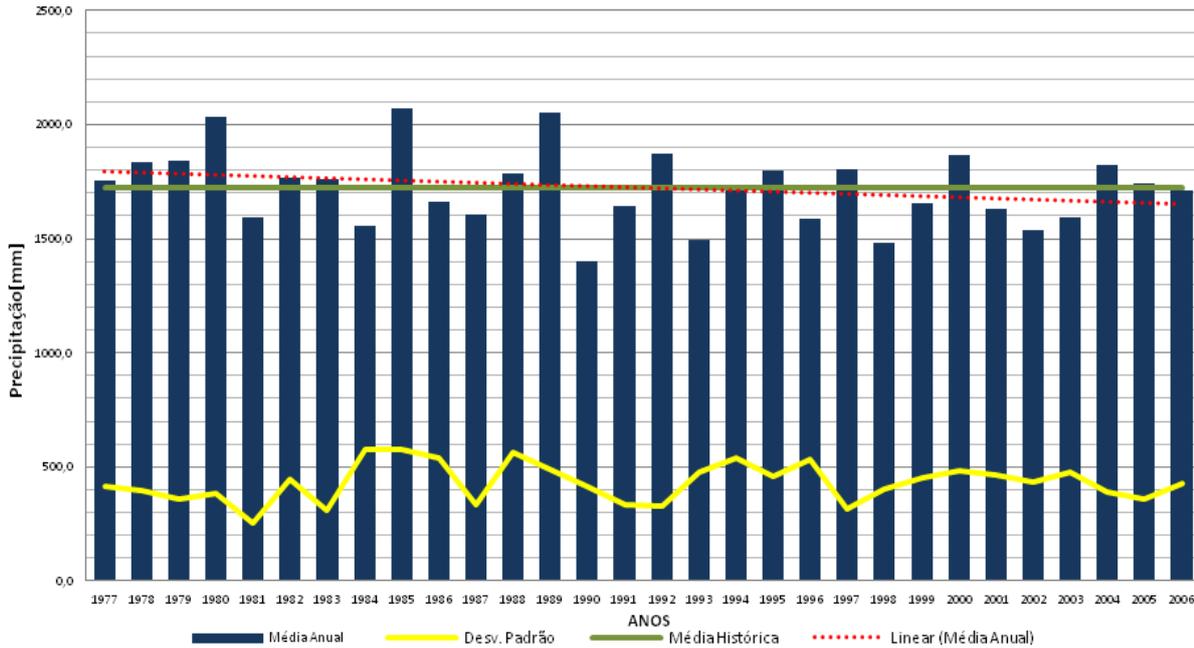
A obtenção da declividade de uma bacia hidrográfica pode ser feita por meio de amostragem estatística das declividades normais às curvas de nível em um grande número de pontos localizados aleatoriamente no mapa topográfico. Portanto, para definição do mapa topográfico foi utilizado dados das altitudes das estações pluviométricas obtidos no HidroWeb/ANA que estão inseridas nos limites ou próximas da bacia objeto deste trabalho. Com isso, observa-se um acentuado declive, possibilitando a geração de energia elétrica (UHE's e PCH's) ao longo dessa região hidrográfica.

A distribuição e o total das precipitações ocorrem devido, quase que exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, o que torna o efeito da topografia pouco significativo (FGV; MMA; ANEEL, 1998). Ou seja, não há significativa influência na precipitação devido a orografia dessa região.

A distribuição tempo-espacial das chuvas revela uma zona mais úmida na subdivisão Tocantins-Baixo, cuja precipitação varia de 2000 mm até 3026,40 mm. Na subdivisão Araguaia, sudoeste goiano e, portanto, na região da nascente do rio Araguaia, as isoietas diminuem de 2000 mm para cerca de 1500 mm. Na sub-região correspondente ao Tocantins-Alto as precipitações decrescem, no sentido oeste-leste, de 2000 mm para 1150 mm.

De acordo com os dados coletados no HidroWeb/ANA, apresentados no Gráfico 01, é possível entender o comportamento pluviométrico neste período (1977-2006) analisando a variabilidade temporal dessa série na região.

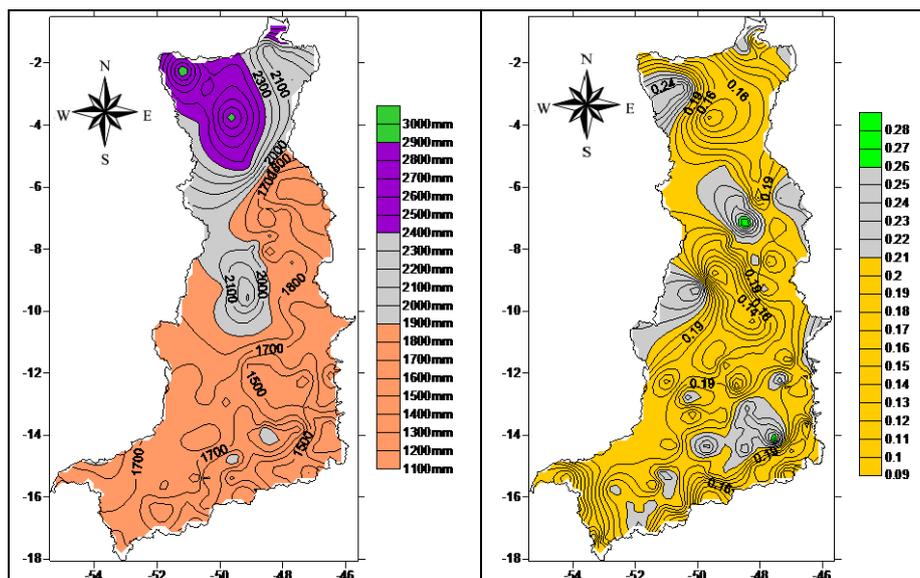
Gráfico 01 – Comportamento pluviométrico da RHTA no período de 1966-2007.



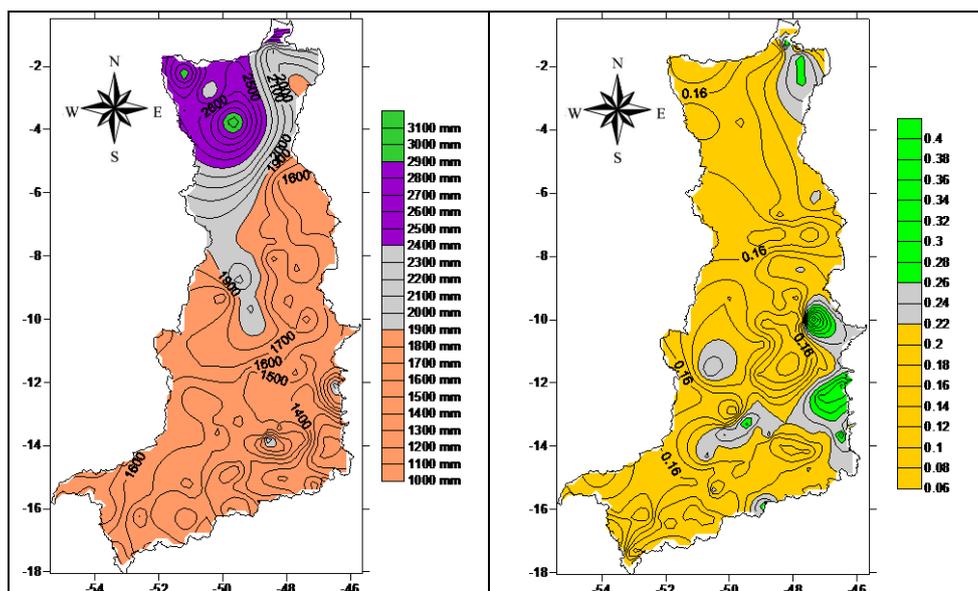
Verifica-se que a média pluvial é elevada durante o período correspondendo a 1723,1 mm/ano. Isto é um pouco abaixo da média nacional que é de aproximadamente 1.797 mm/ano, segundo ANA (2007c). O desvio padrão observado não é homogêneo durante o período, o que corrobora com a dinâmica de variabilidade do fenômeno estudado.

No entanto, ao verificarmos a tendência da pluviosidade (linha de tendência) é evidente que vem havendo certa diminuição durante o período, indicando que, com o passar dos anos, a RHTA poderá sofrer com sérias consequências devido a diminuição do volume de águas pluviais em relação a demanda cada vez maior.

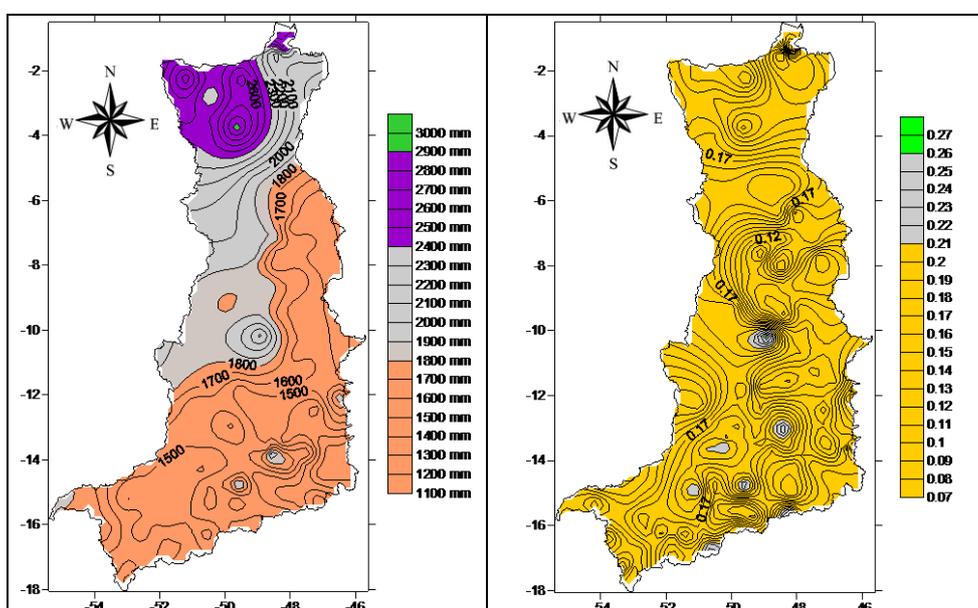
Objetivando analisar os mapas de médias e coeficientes de variação nos intervalos interdecenais para visualizar como vem sendo o comportamento tempo-espacial das chuvas foram elaborados os mapas apresentados nas Figuras 04, 05, 06, 07 e 08.



Figuras 04 e 05: Média da precipitação no período 1977-2006.; Coef. Variação da precipitação no período 1977-2006.



Figuras 06 e 07: Média da precipitação no período 1987-2006.; Coef. Variação da precipitação no período 1987-2006.



Figuras 08 e 09: Média da precipitação no período 1997-2006.; Coef. Variação da precipitação no período 1997-2006.

Tabela 01 – Análise de Tendência - Estimativa do Método de Sen para a RHTA.

Período	1977-2006	1987-2006	1997-2006	1977-2006
Sen's Test (mm)	- 13,03	-2,07	7,76	-3,80

3 – CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a variabilidade pluviométrica na RHTA. Foram feitas análises estatísticas em um período de 30 anos a partir de mapas de isoietas subdivididos em intervalos interdecenais. Concluiu-se que, ao longo de todo o período estudado houve oscilações da variabilidade pluviométrica na região, apresentando de forma

geral um decréscimo de precipitação de 3,80 mm. Conforme observado nos mapas de isoietas, a RHTA possui uma razoável variabilidade das chuvas no espaço-tempo. Os mapas de isoietas apresentam a variabilidade pluviométrica no espaço, com destaque para o período de 1977 à 2006, que variaram entre 1149,36 mm e 3026,40 mm de intensidade pluviométrica.

Verificou-se ainda: a) Quanto ao volume da precipitação na RHTA o maior índice pluviométrico foi no município de Tucuruí-PA com média pluviométrica 3026,4 mm/ano e mínima de 1149,4 mm/ano no município de Flores de Goiás-GO; b) No período de 1997-2006 houve grande variabilidade volumétrica, com média pluviométrica 2068,5 mm no ano de 1985 e mínima de 1403,7 em 1990; c) No período de 1997-2006 houve grande variabilidade, com máxima de 37% no ano de 1984 e mínima de 16% no ano de 1981; d) Há um decréscimo da variação pluviométrica no sentido Sul – Norte da RHTA, com acentuada diferença entre as regiões Tocantins-Alto e Tocantins-Baixo, sendo a região Araguaia a que apresenta maior modificação no período.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. (2006). **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília: MMA, 132 p.
- ARRUDA, M.B. **Representatividade ecológica com base na biogeografia de biomas e ecorregiões continentais do Brasil o caso do bioma cerrado**. 2005. 178p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d. [c.1983]. **Histórico. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE)**, Brasília, DF. 28 p.
- CURRY, L., 1952. **Climate and economic life: a new approach**. *The Geographical Review*, 42 (3): 367-383.
- DZIUBATE, Elielton Rocha. **Análise da Pluviosidade na Escala Mensal e Sazonal na Bacia do Rio Xambrê - PR**. 2010. Relatório de Iniciação Científica-PIBIC – UTFPR, Campo Mourão.
- FGV – Fundação Getúlio Vargas; MMA – Ministério do Meio Ambiente; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Bacia do Tocantins**. 1998. 1 CD.
- IBAMA. 2005. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/projetosCerrado.htm>> Acesso em 03.set.2012.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Mapas Base dos municípios do Estado do Pará. Escalas variadas. Inédito. _____. Dados populacionais por Município. Disponível em: www.ibge.gov.br Acesso em: 08 dez. 2011.
- MARENGO, J., **Variations and change in South American streamflow**. *Clim. Change*, 1905.
- SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e a organização do espaço**. *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 16, n. 1, p. 119- 131,1998.
- Sen, P.K. (1968). **“Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau”**. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- TUCCI, C.E.M. 1993. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 952p