

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DA REDE PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA E SUA OTIMIZAÇÃO

*Glauber Epifanio Loureiro*¹; *Artur Sales de Abreu Vieira*²; *Harry Kinsey de Sousa Miranda*³;
*Antonio Jorge Silva Araujo Junior*⁴; *Heitor Capela Sanjad*⁵; *Germana Cavalcante Menescal*⁶;
*Lindemberg Lima Fernandes*⁷;

Resumo – Este trabalho apresenta uma avaliação da rede de pluviômetros na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia por meio do número de pluviômetros instalados e sua densidade pluviométrica para cada bioma predominante na região hidrográfica. Foram utilizadas as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e a exatidão desejada segundo os principais objetivos para análise da rede e sua otimização. A rede pluviométrica investigada apresentou-se reprovada de acordo com as recomendações da OMM e o baixo coeficiente de variação espacial das estações indica que não há necessidade de instalação de mais estações pluviométricas na área de estudo.

Abstract – This work presents an evaluation of the pluviometers systems in the Tocantins-Araguaia Hydrographic Region by the number of installed pluviometers and your density pluviometric for their respective biomes that predominate in hydrographic region. The recommendations were used of the World Meteorological Organization (WMO) and the desired accuracy according to the principal objectives for analysis of the pluviometers systems and your optimization. The investigated pluviometric systems presented him reprovod and the coefficient of spatial variation of the stations indicates what does not have installation necessity more stations in accordance with the recommendations of the WMO and the lower part pluviometric in the study area.

Palavras-Chave – Rede pluviométrica, Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, Organização Meteorológica Mundial.

¹ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Engenheiro Ambiental. E-mail: epfania@ufpa.br. Endereço: Universidade Federal do Pará - Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Caixa postal 479. - Brasil - Tel: (91) 3201-7328

² Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

³ Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará (2004). Especialista em Segurança do Trabalho (2010).

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 Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará (2000). Mestrado em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (2003). Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (2008).

⁷ Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará (1995). Mestrado em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (2000). Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará (2005).

1 - INTRODUÇÃO

O planejamento, projetos e pesquisas em recursos hídricos requerem informações hidrológicas precisas. São principalmente fundamentadas sobre informações obtidas das redes hidrológicas. Ter dados hidrológicos suficientes e precisos não só reduz as possibilidades de falha do projeto, mas também o risco econômico que surge de informações inadequadas. Fazer projetos normalmente requer um conjunto de dados em uma longa base de tempo para determinar a variabilidade de um fenômeno por exemplo. Com uma densidade da rede adequada e distribuição das estações, com larga base de dados, as incertezas em modelos hidrológicos é reduzida significativamente, bem como maximizar o valor de dados implica em minimizar o custo operacional (LLAMAS, 1993). Então é prudente que uma rede hidrológica seja programada e projetada cientificamente de tal maneira a fim de produzir com fidelidade as informações hidrológicas designadas de acordo com a realidade por meio da otimização do número das estações com as suas localizações para obter as máximas informações com o menor custo.

Na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA), as estações hidrológicas são preferencialmente instaladas para atender os projetos hidráulicos, principalmente a geração de energia elétrica. Logo, os critérios para um projeto de rede hidrológica nunca deveriam estar em número ótimo, na qual o máximo de informações é obtido, pois considera apenas projetos econômicos e não as interações tanto em espaço quanto em tempo.

Para tanto o trabalho tem o objetivo de analisar a configuração da rede pluviométrica da RHTA promovendo o seu diagnóstico e a sua adequabilidade para que possa criar subsídios para o gerenciamento adequado dos seus recursos hídricos.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Localização e caracterização da área de estudo

A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA) localiza-se entre os paralelos sul 0° 30' e 18° 05' e os meridianos de longitude oeste 45° 45' e 56° 20' (Figura 1). Sua configuração é alongada, com sentido Sul-Norte, seguindo a direção predominante dos cursos d'água principais, os rios Tocantins e o Araguaia, que se unem na parte setentrional da região, a partir de onde é denominado apenas de rio Tocantins, que segue até desaguar na Baía da Ilha de Marajó. A área total da RHTA é de 918.822 km², abrangendo parte das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Ocupa 11% do território nacional, incluindo áreas dos Estados de Goiás (21,4% da RHTA), Mato Grosso (14,7%), Tocantins (30,2%), Pará (30,3%), Maranhão (3,3%) e o Distrito Federal (0,1%), totalizando 409 municípios, dos quais 385 (94%) têm sua sede inserida na região (ANA, 2009).

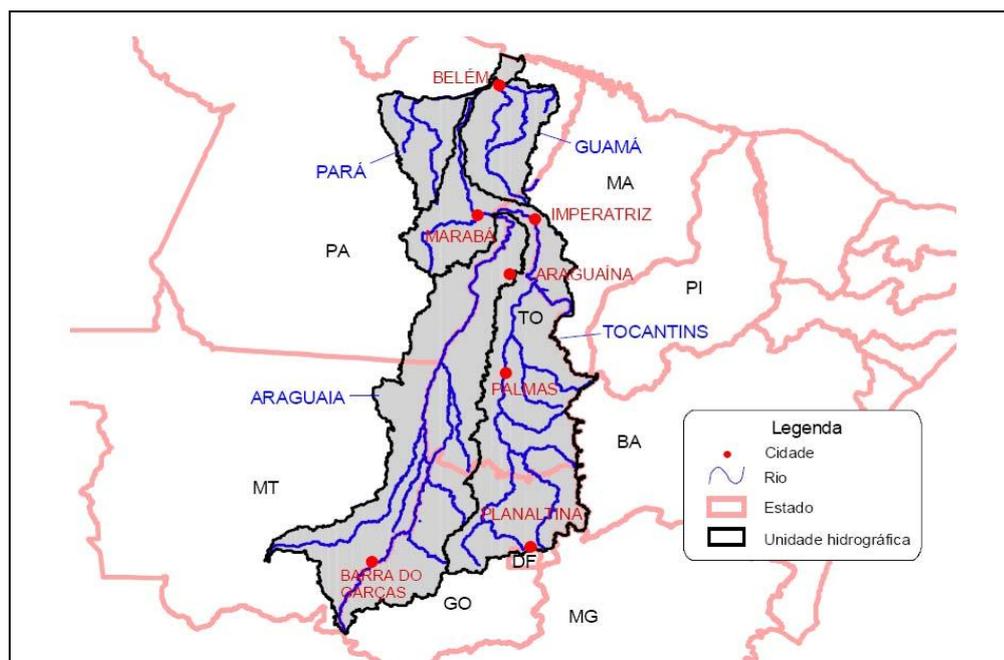


Figura 1. Região Hidrográfica, estados e as principais cidades
 Fonte: ANA, 2006

A Região em estudo 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 dos volumes de reservação para geração de energia hidroelétrica (UHE de Tucuruí, Lajeado, entre outras), na produção de alimentos (agricultura e pecuária), na exploração de enormes riquezas naturais como minérios e produtos florestais.

2.2 - Base de dados

O levantamento das estações pluviométricas utilizadas para a pesquisa foram obtidos no HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas que estão inseridas nos limites da bacia objeto deste trabalho até o ano de 2009, na qual estão em operação ou desativadas. Para análise da rede pluviométrica será considerada apenas as estações em operação.

2.3 - Análise rede pluviométrica e otimização

Com intuito de analisar a densidade pluviométrica da rede sobre a RHTA, foram efetuadas três aplicações dos modelos publicados pela OMM (Organização Meteorológica Mundial). Estes apresentam regras gerais pra recomendações dos limites adequados às densidades pluviométricas mínimas na qual vem sendo revisada pela necessidade vigente nos países na obtenção de melhores resultados em informação hidrológica.

2.3.1 Recomendações nº 168 da OMM (procedimento original) WMO (1984) – Baseada nos limites de densidades para uma rede mínima recomendados em quatro categorias regionais diferentes (Tabela 1), a RHTA se enquadrou na primeira divisão, considerando-se uma região plana de zona tropical. Para esta categoria foi recomendado como limite superior para uma rede mínima, o intervalo de 600 a 900 km² para cada estação pluviométrica. Conhecido o valor da área da bacia e o total de estações, será possível determinar a densidade pluviométrica e compará-la aos limites recomendados.

Tabela 1 – Densidade mínima recomendada de estações pluviométricas conforme as unidades fisiográficas (Modelo Original)

Característica Fisiográfica	Limite das normas para uma rede mínima (km² por estação)	Limite das normas admissíveis em circunstâncias difíceis (km² por estação)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais.	600 – 900	900 – 3.000
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais.	100 – 250	250 – 1.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa.	25	-
Zonas áridas e polares	1.500 – 10.000	-

2.3.2 Recomendações nº 168 da OMM (procedimento revisado) WMO (1994) – visando melhorar o procedimento anterior pela melhor exatidão dos limites de densidades pluviométricas para uma rede mínima, a OMM revisou para sete unidades fisiográficas diferentes (Tabela 2). Para sua aplicação, observou-se a necessidade de dividir a RHTA de acordo com suas características fisiográficas em duas partes. As unidades de Planícies e Interiores / Áreas Íngremes e Onduladas, enquadram-se essas duas partes segundo os intervalos mínimos permitidos, respectivamente a 575 e 575 Km² por estação. A determinação da divisão das duas áreas foi fundamentada pelo Mapa de Biomas do IBGE, que enquadra a RHTA em Bioma Amazônico (Unidade de Planície e Interiores) e Bioma Cerrado (Áreas Íngremes e Onduladas). Conhecidos os valores das áreas das partes do Bioma Amazônico e Cerrado e o número de estações instaladas nessas partes, novamente foi aplicado o conceito de densidade da rede, na qual os resultados deverão ser comparados aos recomendados pela OMM.

Tabela 2 – Densidade mínima recomendada de estações pluviométricas conforme as unidades fisiográficas (Modelo Revisado).

Unidade Fisiográfica	Densidade mínima por estação (Área em km ² por estação)	
	Sem registrador	Com registrador
Áreas Costeiras	900	9.000
Áreas Montanhosas	250	2.500
Planícies e Interiores	575	5.750
Áreas Íngremes / Onduladas	575	5.750
Pequenas Ilhas	25	250
Zonas Urbanas	-	10 – 20
Zonas Polares e Áridas	10.000	100.000

2.3.3 Recomendações nº15 da OMM, disponível em WMO (1965) - A OMM divulgou um modelo que permitiu avaliar a rede pluviométrica de vários países de condições físicas e socioeconômicas diferentes, por meio do conhecimento individual das populações e das redes pluviométricas em operação (LLAMAS,1993).

O modelo constou de um gráfico cartesiano em escalas logarítmicas, cujas variáveis relacionaram os números de pluviômetros em operação em cada país, para áreas de 1.000 km², e as respectivas densidades demográficas. As ocorrências desses pares ordenados nos campos delimitados no referido gráfico identificam os países cujas redes pluviométricas atendiam as suas condições socioeconômicas, representadas pelas densidades demográficas na linha de abscissas e os números de pluviômetros das suas redes na linha de ordenadas. Pôde-se com isto considerar o crescimento populacional como um indicador para densidade da rede que se deve estabelecer e garantir assim as condições necessárias ao desenvolvimento socioeconômico dos países, no que venha a depender da geração de informações hidrológicas.

A quantificação das densidades demográficas do Bioma Amazônico e Cerrado recorreu a população dos 2 Biomas envolvidos, (Relatório Síntese: Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia, ANA, 2009) conforme Tabela 3 a seguir e demonstrados na figura 2.

Tabela 3 – Densidades demográficas dos Biomas Amazônico e Cerrado

Partes (Bioma)	Área (km ²)	População (hab.)	Densidade demográfica (hab./km ²)
Amazônico	321.587,7	3.794.098	11,8
Cerrado	597.234,3	3.394.470	5,68
Total	918.822	7.188.568	7,72

A determinação das coordenadas considerou 100 estações em operação no Bioma Amazônico em uma área de 321.587,7 km², ou 0,31 estações/1.000 km² para uma densidade de 11,8 hab/km². No Bioma do Cerrado, contém 225 estações em operação numa área de 597.234,3, ou 0,38 estações/1.000 km², para uma densidade de demográfica de 5,68 hab/km². Com base nesses valores

foi possível organizar os pares ordenados e plotá-los no gráfico para que suas ocorrências permitam uma avaliação da rede em operação existente.

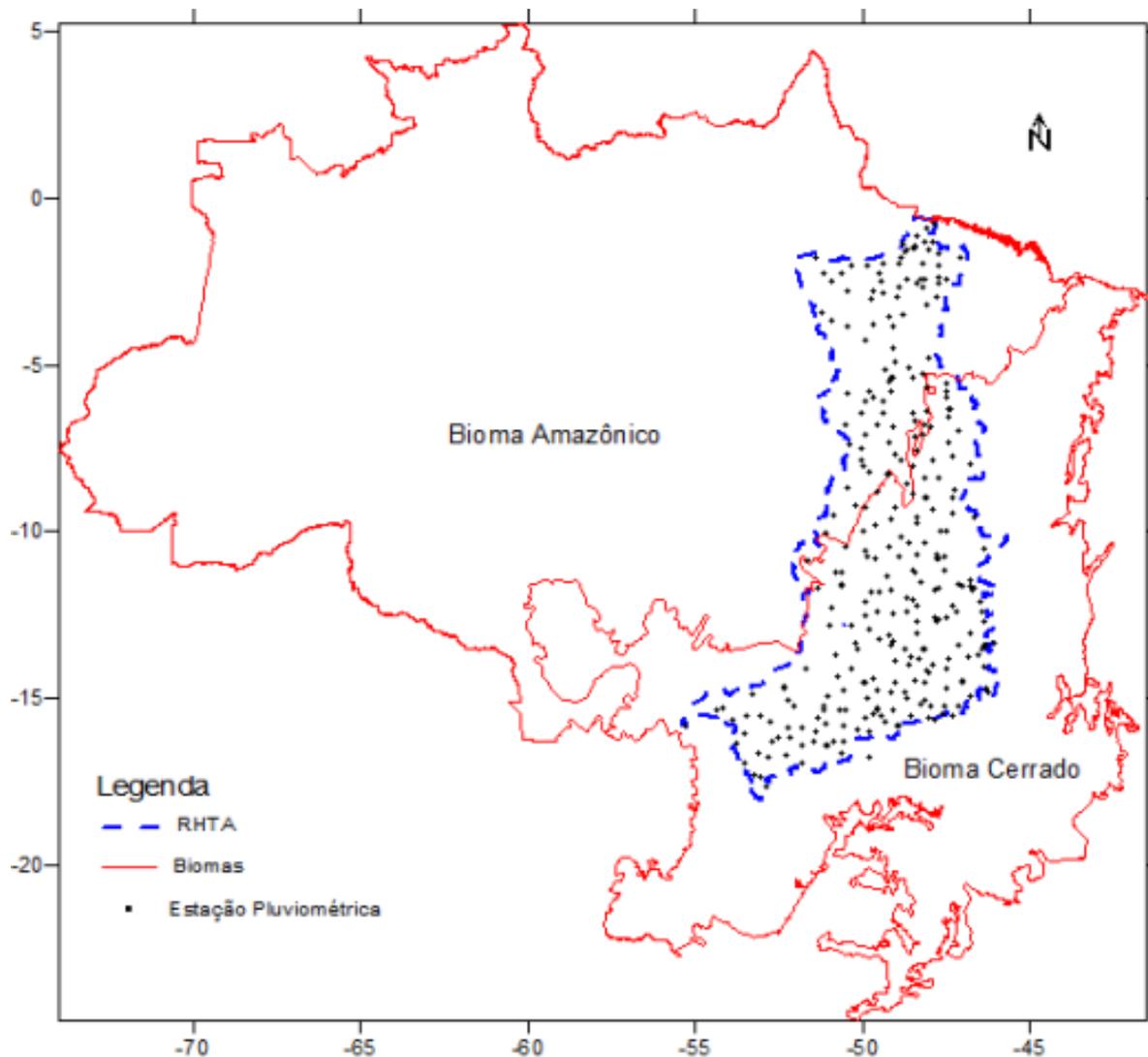


Figura 2 – Localização das Estações Pluviométricas em operação da RHTA inseridas nos Biomas Amazônico e Cerrado.

Para otimização desejada, segundo o critério utilizado para avaliar os volumes hídricos em determinado tempo em função dos usos múltiplos da água, necessita-se de um número de estações pluviométricas adequadas com certa exatidão pela altura média das precipitações sobre uma região (LLAMAS, 1993). Quando a altura da chuva é calculada por meio de uma simples média aritmética, se obtém o número de ótimo de pluviômetros (N) para uma bacia pela seguinte expressão:

$$N = \left(\frac{Cv}{p} \right)^2, \quad (1)$$

Onde:

N é o número de pluviômetros; p é o percentual de erro admissível e C_v é o coeficiente de variação espacial. Este obtido pela razão matemática entre o desvio padrão e a média das precipitações em cada estação pluviométrica e cada ano de observação no período de 1977 a 2006.

Na estimativa ideal para a bacia será adotado uma exatidão de 5% a 10%, partindo do conhecimento da média, desvio padrão e do coeficiente espacial das estações que estejam em operação (LLAMAS, 1993).

RESULTADOS

Das 396 estações pluviométricas cadastradas, 325 se encontram em operação e 71 foram extintas ou inativas. Na aplicação das Recomendações da OMM n° 168, WMO (1984), o resultado da densidade obtido foi igual a 2.827,14 Km²/estação, totalmente fora do intervalo de 600 a 900 Km²/estação, onde a OMM permitiu encaixar esse valor, segundo as características fisiográficas pertinentes à área total da RHTA, conforme a Tabela 1.

O aspecto negativo de aplicação do método é considerar apenas o número de estações e a área da bacia, de modo a fazer uma avaliação geral da situação. Isso implica num grau de incerteza, uma vez que a distancia entre as estações é importante para determinar as correlações e interpolações entre as estações. Conhece-se que alguns tipos de chuvas acontecem em pequenas áreas, como exemplo, as chuvas convectivas bem comuns na região amazônica.

Visando melhorar a exatidão dos intervalos recomendados, a OMM n° 168 (1994) desmembrou a divisão hidrográfica para um número maior de opções de enquadramento, de modo que os resultados das avaliações respondessem com mais fidelidade (Tabela 4) (Figura 2). Nesta recomendação as densidades pluviométricas assumiram os seguintes valores: 3.092,19 Km²/estação para Bioma Amazônico e 2.654,37 Km²/estação para Bioma Cerrado, conforme tabela 5. Observou-se que ambas excederam com folga os limites de 575 Km²/estação, recomendados pela OMM. Assim o método não pode garantir eficiência de uma rede, tendo como necessidade a regularidade da distribuição espacial da rede como indicador, além de desconsiderar as distâncias, esta versão se mostrou ser mais aperfeiçoada por permitir um maior numero de regiões individualizadas.

Tabela 4 – Quantidades de Pluviômetros e densidades pluviométricas dos Biomas Amazônico e Cerrado

Partes (Bioma)	Área (km ²)	Nº de medidores em operação	Densidades pluviométricas (km ² /estação)
Amazônico	321.587,7	100	3.092,19
Cerrado	597.234,3	225	2.654,37
Total	918.822	325	2827,14

Na aplicação das Recomendações da OMM nº15, (WMO, 1982), o objetivo foi analisar a eficiência da rede específica, definida para a RHTA, confrontando o crescimento populacional da bacia compatibilizado com seu desenvolvimento econômico (LLAMAS, 1993).

A figura 3 representa o gráfico de Langbein e as densidades relativas para o Bioma Amazônico e Cerrado. Quando estes são submetidos à plotagem, ocupam no gráfico um campo de ocorrência não razoável, ou melhor, muito abaixo do limite recomendável. O Bioma do Cerrado apesar de ocorrer entre as linhas que delimitam a densidades relativas de 10% e 50%, não estão inseridas no limite considerado razoável. O Bioma Amazônico ocorreu abaixo da densidade relativa dos 10%. Levando em consideração que o levantamento populacional é referente ao Censo no ano 2000, nota-se que para as condições atuais a realidade é ainda mais carente.

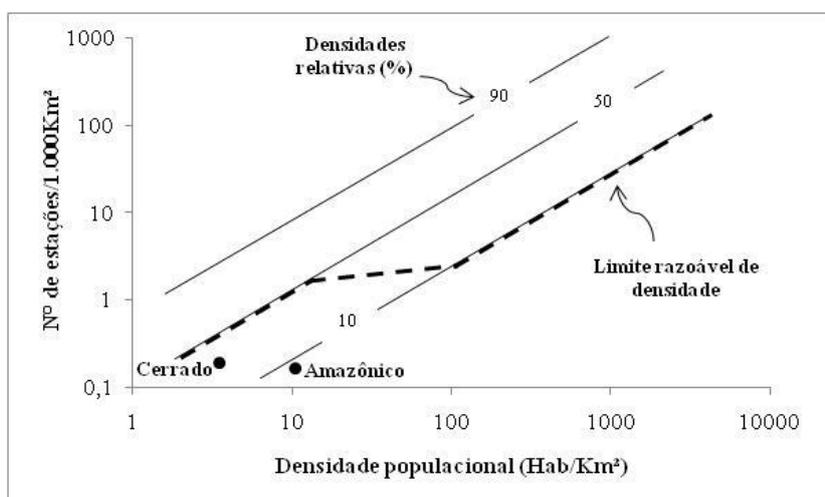


Figura 3 - Densidades relativas da rede pluviométrica nos Biomas Amazônico e Cerrado

Para determinação do número de pluviômetros segundo a exatidão desejada, consideraram-se os dados pluviométricos das estações em operação (325), resultando em uma precipitação média igual a 1.646,5mm; desvio padrão de 179,26 e coeficiente de variação 21,5%.

Aplicando a equação 1, verificou-se a exatidão correspondente de 1,19%. O que satisfaz a região em número de estações.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Para instalação e operação eficaz de uma rede deve-se observar não só a sua instalação, mas também sua distribuição espacial e comportamento do seu regime pluviométrico. Apesar de a RHTA apresentar uma elevada densidade de estações sendo reprovada de acordo com as recomendações da OMM, a mesma por apresentar um baixo coeficiente de variação espacial das estações indica que não há necessidade de instalação de mais estações pluviométricas. O resultado da aplicação das recomendações da OMM para densidades mínimas pode ser considerado compatível com a determinação do número de pluviômetros obtidos pelo critério (LLAMAS, 1993), na exatidão desejada segundo os objetivos principais para os biomas estudados.

BIBLIOGRAFIA

ANA – Agência Nacional de Águas. (2006). Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Brasília: MMA, 132 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2009). Relatório Síntese: Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia. Brasília: ANA, 204 p.

Llamas, J. (1993). Hidrologia General. Principio y Aplicaciones. Universidade Del Pais Basco. 190 p.

WMO (1982). Concepts and Techniques in Hydrological Network Design. Nº 580, Geneva – Suíça, pp. 16 – 24.

WMO (1984). Guia de Practicas Hidrológicas. V1, Aquisicion y Proceso de Datos, 4º edição, Nº 168, Genebra – Suíça, V1 p3-1, pp. 3-20.

WMO (1994). Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, forecasting and other Applications. 5º edicion, Nº 168, Geneva – Suíça, Cap. 20, 259 p.