

## Uso de modelagem e de geoprocessamento para a análise da relação demanda urbana/disponibilidade hídrica no Maranhão – Estudo de caso: A bacia hidrográfica do rio Munin

Denilson da Silva Bezerra<sup>1</sup>  
Elói Lennon Dalla Nora<sup>1</sup>  
Silvana Amaral<sup>1</sup>  
José Guilherme Martins dos Santos<sup>1</sup>  
Elenice Oliveira Caridade<sup>2</sup>  
Eliana Rodrigues Sousa<sup>2</sup>  
Miquéias Oliveira Sousa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{denilson.bezerra, eloi.dallanora}@igbp.inpe.br, guilherme.martins@inpe.br,  
silvana@dpi.inpe.br

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA  
CEP 65030 - 005 - São Luis - MA, Brasil  
{eleniceoc, helianasousa}@gmail.com, miqueias.j@bol.com.br

**Abstract.** The Maranhão presents great hydric potential represented by 12 hydrographic basins that have perennial rivers the whole year, in addition, availability of good rainfall, thereby being, the only state in the northeast not to be part of the semiarid. However, the mentioned State presents serious management problems and hydric infrastructure, fact that causes several negatives impacts for the quality of life of the population, on everything if it be taken into account the low social indicators presented by Maranhão, beyond the difficulties that it has to implement the National Policy of Hydric Resources in its territory. Thus, this study aims at performing an analysis of the demand / water availability. For that is used to Munin River Basin as a case study, and softwares' geographical information system (SPRING 5.1.5 of INPE) and modeling (TerraME RC5/INPE), aiming at an assessment of water potential of the area study in relation to anthropogenic demands in a time interval from 2005 to 2105. The results obtained through of adopted model indicate a critical situation for the average course of Munin still in 2008. In conclusion therefore, that despite of limitations of the model used, this simulations can be constituted as an auxiliary tool for decision-making processes regarding water and its uses.

**Keywords:** simulation, geographical information system, impact, population, hydric resources.

### 1. Introdução

A qualidade, disponibilidade e acessibilidade da população a um bem essencial como água são fundamentais ao respeito à dignidade da vida humana e garanti-las deve ser uma prioridade em termos de políticas públicas para o combate a pobreza e melhoria da qualidade de vida da população Reymão e Saber (2009). Analisar os dilemas hídricos apenas no enfoque de escassez, ou seja, em relação à ausência de água é uma vertente simplista e que não atende ao pressuposto dos usos múltiplos<sup>1</sup> das águas previsto na Lei Federal 9443/97 (IV, Art. 1).

Para que a premissa dos usos múltiplos seja devidamente contemplada, assim como, para que eventuais situações de escassez hídrica possam ser gerenciadas de forma democrática e descentralizada, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabeleceu através da “Lei das Águas” (Lei 9443/97), que a gestão de recursos hídricos tem como única unidade de planejamento a bacia hidrográfica e a necessidade da formação dos Comitês para a mesma. Quanto aos Comitês de bacias hidrográficas, cabe ressaltar que este ente colegiado possibilita

---

<sup>1</sup> Refere-se tanto a usos consultivos, ou seja, que demandam a retirada de água (ex.: água para irrigação), como aqueles que não necessitam da retirada de água (ex.: água utilizada para o lazer).

participação de toda a população da bacia, através de seus diversos atores sociais (ONGs, por exemplo) e não apenas por representantes do poder público.

O Maranhão apresenta um conjunto de 12 bacias hidrográficas e rios que se caracterizam por ser perene o ano inteiro, ou seja, inexistente um cenário de seca, por esta característica, o Maranhão é o único Estado do Nordeste que não faz parte do semiárido brasileiro, Alagoas (2008). No entanto, este Estado não faz a gestão adequada de suas águas, como por exemplo, não possui nenhum Comitê de bacia hidrográfica, o que acaba por refletir na qualidade de vida da população.

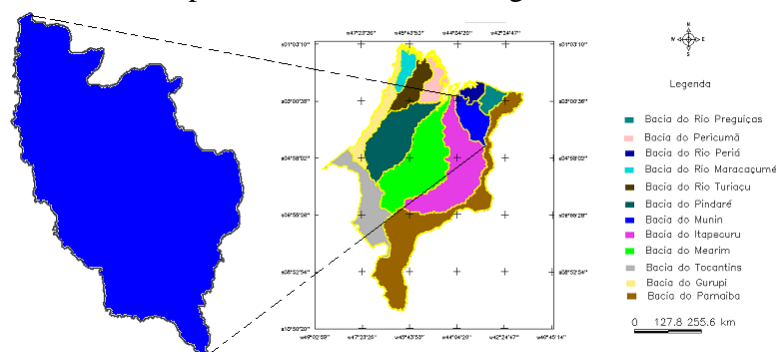
Uma forma de contribuir para o estudo da viabilidade hídrica de uma região é avaliar a relação entre a oferta, pertinentes às condições das bacias, e a demanda da população residente. Desta forma, o uso de geoprocessamento e de modelos pode se constituir em uma ferramenta de avaliação muito forte no auxílio à tomada de decisões no tocante a temática de acesso a água, pois permitem descrever tanto característica de uso e ocupação do solo espacialmente distribuído em uma bacia, assim como, também, podem simular a tendência de uso da água Silva (2005).

Este trabalho tem por objetivo estudar a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Munin, um exemplo de cenário hídrico do Maranhão, com uso de um modelo simplificado e empírico de uso dos recursos. Baseado na relação da demanda urbana e a disponibilidade (atual e futura) de água, e desenvolvido em ambiente de sistema de informação geográfica (TerraME-RC5 e SPRING 5.1.5), o modelo possibilita a reflexão sobre medidas mitigadoras para dilemas hídricos e sociais da área analisada.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 - Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Munin é uma bacia dita genuinamente maranhense por ter suas nascentes e foz localizadas dentro da área do Maranhão, possui área de 19.503,5 Km<sup>2</sup> e 664, 47 km de perímetro. A bacia do rio Munin é uma das 12 principais bacias hidrográficas que existem no Maranhão, como pode ser observado na Figura 1.



**FIGURA 1 – Localização da bacia do Munin**

**FONTE:** Adaptado MARANHÃO (2000)

Apenas 16 municípios, dos 26 que compõem a bacia, possuem suas sedes dentro da área de drenagem. Por isso, este trabalho limita-se aos municípios de: Axixá, Cachoeira Grande, Icatú, Morros, Presidentes Juscelino e Presidente Vargas (Baixo Curso), Anapurus, Belágua, Chapadinha, Mata Roma, Nina Rodrigues, Urbano Santos, São Benedito do Rio Preto e Vargem Grande (Médio Curso) e Afonso Cunha e Buriti (Alto Curso)

### 2.2 – Fontes dos Dados

Para a presente pesquisa foram utilizados dados socioeconômicos (IDH-M, intensidade de pobreza e % de pessoas que residem em moradias com água encanada) oriundos do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Também foram utilizados dados geográficos referentes ao limite da bacia sob análise, formas de uso e ocupação do solo, hidrografia, sua subdivisão em cursos (alto, médio e baixo curso) e os municípios que a compõe, estes são oriundos do Zoneamento Ecológico Econômico-ZEE/MA (disponível em <http://www.zee.ma.gov.br/html/cart1.html>) e do Laboratório de geoprocessamento da Universidade Estadual do Maranhão. Dados do tamanho inicial da população urbana (para o ano de 2005) residente na bacia foram obtidos através do site do Atlas do Nordeste da Agência Nacional de Águas ([http://atlas\\_nordeste.ana.gov.br/atlas\\_nordeste/ma.aspx](http://atlas_nordeste.ana.gov.br/atlas_nordeste/ma.aspx)).

### 2.3 – Modelo de consumo urbano de água para a bacia do Munin

Para a presente pesquisa, foi adotado um modelo de consumo de água por parte da população urbana que se estende com o aumento da população no período adotado (2005 a 2105) em relação à vazão média do Munin. O modelo possui três módulos, a saber:

1. Modulo 1 – Crescimento populacional médio por curso da bacia (alto, médio e baixo curso), adotando-se a taxa de crescimento para a região nordeste referente ao período 2001/2005 (1,36%), segundo IBGE. Sendo utilizada a equação  $Q_n = Q_o * (1 + r)^t$ , onde  $Q_n$  e  $Q_o$  correspondem população urbana no final e no começo do período considerado (respectivamente),  $r$  taxa média de crescimento geométrico,  $t$  corresponde ao número de anos do período analisado (CARVALHO et al 2008).
2. Modulo 2 – Estimativa da demanda populacional por água, onde foi realizada uma parametrização levando-se em consideração as estimativas da Agência Nacional das Águas (ANA), referente aos anos de 2005, 2015 e 2025. Sendo possível encontrar equações que descrevessem a relação entre número da população urbana ( $x$ ) e a demanda por água ( $y$ ). As equações são: Baixo curso ( $y = 0,0025x + 0,8216$ ), Médio curso ( $y = 0,0026x + 0,13$ ) e Alto curso ( $y = 0,0029x + 2,9007$ ).
3. Modulo 3 – Critério de pressão sobre os recursos hídricos (CPRH), este índice foi efetivado com intuito de mensurar a pressão da população urbana sobre os recursos hídricos, a formula é  $CPRH = [Demanda\ média\ por\ curso\ (m^3/s) / Vazão\ média\ (m^3/s)\ do\ Munin] \times 100$ . Segundo a ANA, quando o valor do CPRH ultrapassar o limiar dos 20%, o sistema de abastecimento de água entra em colapso e precisa de grandes investimentos para sua reabilitação (Tabela 1).

**TABELA 1:** Critérios para análise do grau de pressão sobre os recursos hídricos

<i>Demanda (D) / Vazão (Q) média X 100</i>	<i>Situação</i>
D/Q < 5%	Água considerada um bem livre, com pouca atividade de gerenciamento sendo praticada
5% ≤ D/Q ≤ 10%	Situação ainda confortável, com necessidade de gerenciamento para solução de abastecimentos locais
10% < D/Q ≤ 20%	Atividade de gerenciamento indispensável, com investimentos médios
D/Q > 20%	Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos

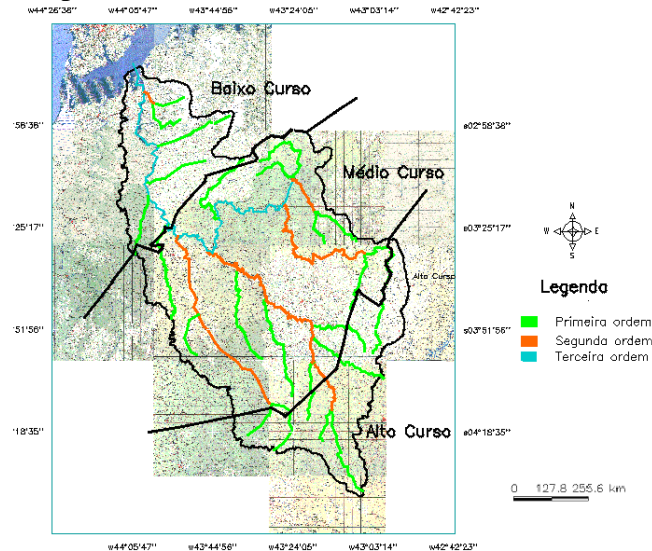
**Fonte:** Agência Nacional de Águas/Atlas do Nordeste<sup>2</sup>

Cabe mencionar que o modelo descrito acima, foi implementado em linguagem LUA (para mais detalhes acessar <http://www.lua.org/about.html>) e para isso, foi utilizado o software TerraME RC5. Já para montagem do banco de dados e elaboração de mapas, foi utilizado o SPRING 5.1.5, ambos os softwares são desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

<sup>2</sup> Disponível no site [http://atlas\\_nordeste.ana.gov.br/atlas\\_nordeste/ma.aspx](http://atlas_nordeste.ana.gov.br/atlas_nordeste/ma.aspx)

### 3. Resultados e Discussões

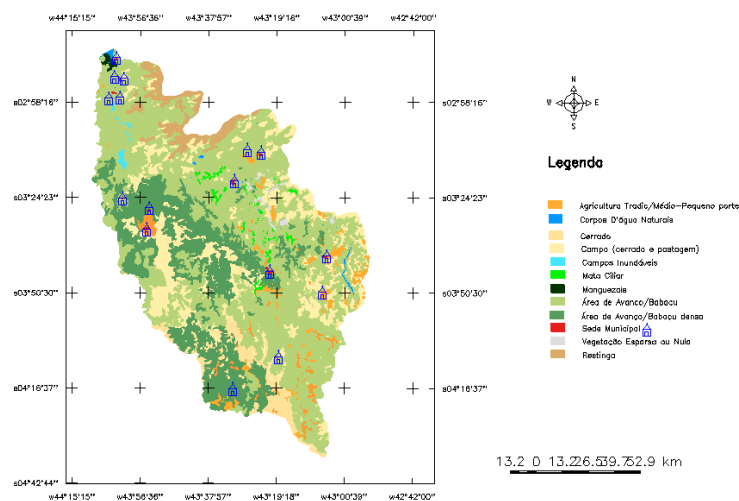
A bacia do rio Munin, tem por disponibilidade hídrica uma vazão média de 184,1 m<sup>3</sup>/s Maranhão (2000), e área de drenagem com hidrografia de 3<sup>a</sup> ordem, conforme pode ser observado na Figura 2. Ao se subdividir a bacia em baixo, médio e alto curso, é possível verificar o padrão dos principais tributários em toda a extensão.



**FIGURA 2** – Hierarquia de drenagem dos principais tributários do rio Munin

A bacia do rio Munin possui tributários de primeira, de segunda e de terceira ordem<sup>3</sup>, com as extensões de 813,05 Km, 334,84 Km e 233,22 Km, respectivamente. A análise da hidrografia é importante por possibilitar a identificação da área de ocorrência das principais nascentes, assim como, também, no entendimento do potencial hídrico de uma bacia.

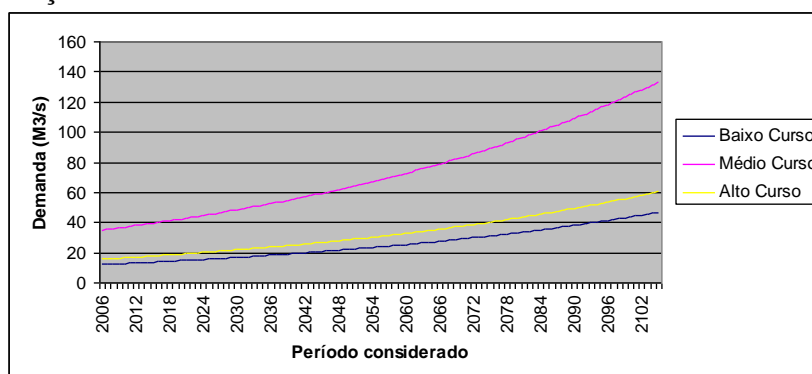
Outro modo de analisar o potencial hídrico de uma bacia é avaliar suas formas de uso e ocupação do solo, pois a análise de tal padrão pode permitir verificar o grau de impermeabilização do solo, assim como, os usos que podem impactar os recursos hídricos. As principais formas de uso e ocupação do solo (para o ano de 2004) da bacia do rio Munin são do contexto rural conforme pode ser observado na Figura 3.



**FIGURA 3** – Formas de uso/ocupação do solo (2004) da bacia do rio Munin.

<sup>3</sup> Tributários de primeira ordem são aqueles que não recebem influencia de nenhum outro, já os de segunda ordem, recebem influencia de pelo menos dois tributários de primeira ordem e assim por diante.

Com relação ao padrão de consumo, ou seja, da demanda hídrica existente no Munin, A Figura 4 apresenta uma projeção de consumo médio<sup>4</sup> de água para o baixo, médio e alto curso em relação à população urbana.

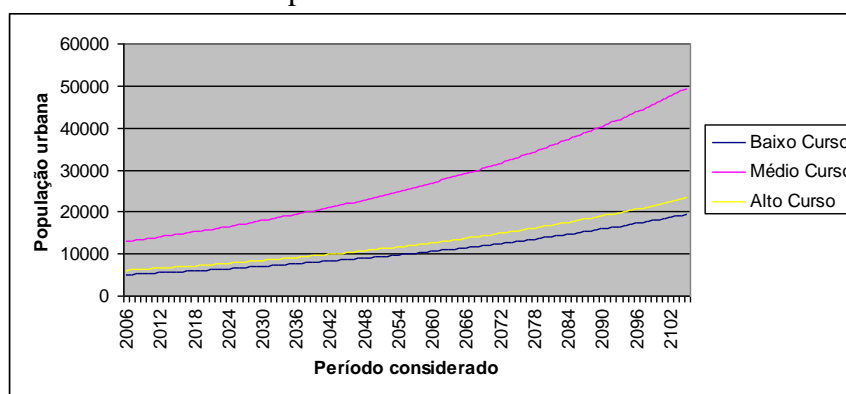


**FIGURA 4** – Simulação da demanda média por água nos três cursos da bacia do rio Munin

A Figura 4 ilustra a dinâmica de demanda por água da população urbana no Munin do início ao fim do século, tendo por base valores médios do baixo, médio e alto curso. A região do médio curso apresenta a maior demanda por água, tendo por base o modelo adotado, cujos valores variam de aproximadamente 35,1 m<sup>3</sup>/s (2006) a 133,54 m<sup>3</sup>/s (2105). Por sua vez, o baixo e alto curso apresentam um padrão de demanda semelhante caracterizado por valores próximos dos 20 m<sup>3</sup>/s (em 2006) e em torno de 40 m<sup>3</sup>/s (2105).

Quanto à projeção de aumento da população urbana na bacia analisada, a Figura 5 apresenta os valores médios para o contingente urbano nos três cursos do Munin. Observa-se que a região do médio curso valores mais expressivos para as projeções populacionais, com a estimativa de 12.979 pessoas na área (para 2006) e de aproximadamente 49.436 (em 2105).

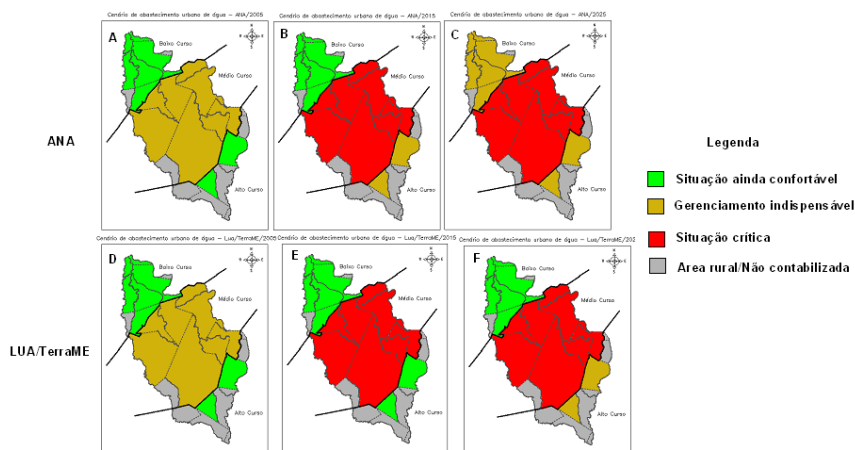
No baixo e alto curso, a estimativa populacional urbana no início da simulação (2006) foi de 5.122 pessoas (baixo curso) e de 6.118 pessoas para o alto curso. No final simulação (2105) a população urbana do baixo curso apresentou um contingente médio de 19.508 pessoas e para o alto curso de 23.303 pessoas.



**FIGURA 5** – Simulação do aumento médio da população urbana nos três cursos da bacia do rio Munin

Através da análise das Figuras 4 e 5 é marcante a pressão antrópica sobre o potencial hídrico da bacia. Desta forma, para caracterizar o grau de impacto, a Figura 6 apresenta simulações de pressão de recursos hídricos para o rio Munin tendo por base dados oriundos do modelo da Agência Nacional das Águas (ANA) e do modelo utilizado na presente pesquisa para os anos de 2005, 2015 e 2025, relacionados à vazão média do corpo hídrico analisado.

<sup>4</sup> No presente estudo, os resultados referentes aos cursos do Munin são apresentados em termos da média dos municípios que os compõem, para que dessa forma, possam ser confrontados com a vazão média do Munin.



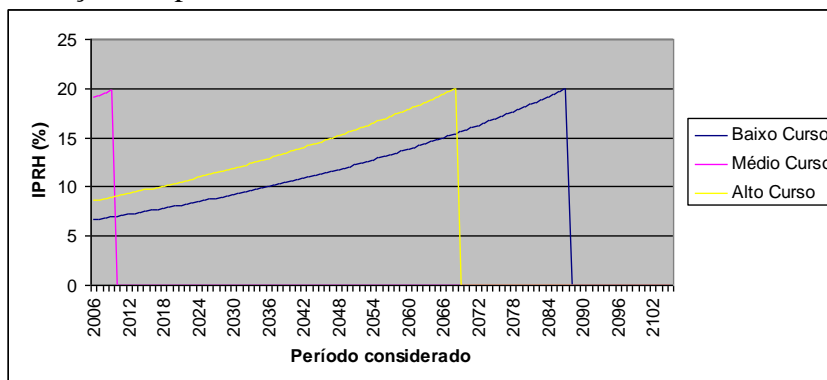
**FIGURA 6** – Cenários da relação demanda/oferta hídrica para os três cursos da bacia do Munin para os anos 2005, 2015 e 2025. Segundo modelo da ANA e do modelo proposto.

Na Figura 6, os cenários “A”, “B” e “C” correspondem a valores médios do Índice de Pressão sobre os Recursos Hídricos (CPRH) para os anos de 2005, 2015 e 2025 (respectivamente), segundos valores de demanda por água provenientes do Atlas do Nordeste da ANA em relação à vazão média do Munin (184,1 m<sup>3</sup>/s).

O médio curso apresentou os maiores valores para CPRH de toda a bacia, estes são da ordem de 18,52%, 22,35% e 24,52% para os anos de 2005, 2015 e 2025, respectivamente. Estes resultados indicam que o médio curso terá a maior demanda por água, sendo classificado como de situação crítica a partir do ano 2015. Já os valores do baixo curso para os anos de 2005, 2015 e 2025 (nesta ordem), são de 6,52%, 8,88% e 10,42%; e para o alto curso, os valores são de 8,40%, 10,57% e 11,79%.

Os resultados obtidos a partir do modelo proposto, correspondem aos cenários “D”, “E” e “F”, para 2005, 2015 e 2025, respectivamente, na Figura 6. Os resultados foram comparáveis aos da ANA. Diferem, contudo, quanto à classificação para o baixo curso que permaneceu na categoria de água como um bem livre para os três períodos adotados e o alto curso no ano 2015 que também apresentou-se na mesma categoria. Essa diferenciação pode ser explicada através da taxa de crescimento geométrica adotada no modelo proposto na presente pesquisa que foi de 1,36%.

Outra questão importante para a gestão do recurso é saber o momento (o ano) em que o serviço de abastecimento de cada curso da bacia pode se caracterizar como em um estágio de colapso, ou seja, na categoria de “situação crítica”. Para isso a Figura 7 apresenta o ponto de colapso estimado, tendo por base valores médios do CPRH para os cursos do rio Munin levando em consideração um período de 2005 a 2105.



**FIGURA 7** – Projeção da relação demanda/oferta hídrica para os três cursos da bacia do Munin segundo modelo proposto. Simulação do início ao final do século.

O médio curso do rio Munin novamente se destaca em relação aos demais, uma vez que em 2008 o cenário foi classificado como de situação crítica. Alto e o baixo curso apresentaram cenários mais confortáveis, em que o modelo estimou uma situação crítica apenas em 2069, para o alto curso, somente em 2088 para o baixo curso.

A previsão de uma situação de abastecimento crítica para o médio curso do Munin ainda no ano de 2008 reflete a deficiência de gestão e da infraestrutura hídrica de todo o Maranhão<sup>5</sup>. Segundo o último Censo (2000), dos Estados que compõe a região nordeste, o Maranhão apresentou o pior desempenho quanto ao abastecimento de água, com apenas 38,83% dos domicílios sendo abastecidos com água encanada.

Segundo Bezerra et al (2008), o estado do Maranhão apresenta sérios problemas quanto ao serviço de abastecimento, estes são representados principalmente pela perda de água tratada, dificuldades econômicas e de infraestrutura enfrentadas pela Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA) e também por alguns SAAE's (Serviço Autônomo de Água e Esgoto).

A título de comparação, a Tabela 2 apresenta dados referentes a valores médios de IDH-M, índice de pobreza e percentual de pessoas que são abastecidas com água encanada em suas residências, segundo os censos de 1991/2000, para o Brasil, região nordeste, Maranhão, assim como, também para a bacia objeto do presente estudo e seus respectivos cursos.

**TABELA 2** – Valores de IDH-M, Intensidade de pobreza<sup>6</sup> e percentual de pessoas com água encanada em suas residências segundo censo de 1991/2000, média do Nordeste, Maranhão e área de estudo.

<i>Área Considerada</i>	<i>IDH-M - 1991</i>	<i>IDH-M - 2000</i>	<i>Intensidade de pobreza - 1991</i>	<i>Intensidade de pobreza - 2000</i>	<i>% pessoas com água encanada - 1991</i>	<i>% pessoas com água encanada - 2000</i>
Brasil	0,66	0,74	48,35	48,92	59,33	71,13
Nordeste	0,58	0,68	54,51	53,95	45,29	59,52
Maranhão	0,54	0,64	56,52	56,66	24,74	32,83
Bacia Munin	0,46	0,55	64,13	66,22	6,22	11,01
Alto curso	0,44	0,56	57,22	60,70	4,44	8,78
Médio curso	0,46	0,55	63,93	66,99	7,32	13,93
Baixo curso	0,46	0,55	66,70	67,03	5,34	7,87

**Fonte:** Adaptado IBGE/censo 1991-2000 e PNUD/BRASIL

Os indicadores socioeconômicos de IDH-M e percentagem de água encanada para a bacia do rio Munin (Tabela 2) estão abaixo da média do Brasil, do Maranhão e do Nordeste. Contudo, sua margem de intensidade de pobreza está bem acima destes para os dois últimos censos realizados. Realidade esta que demonstra o alto grau de fragilidade social que a população do rio Munin se encontra. Cabe ressaltar que os valores de intensidade de pobreza para os cursos do Munin apresentaram um aumento durante o tempo considerado, sendo o destaque novamente para o médio curso que passou de 63,93 em 1991 para 66,99 no ano de 2000.

<sup>5</sup> A companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA) enfrenta sérios problemas financeiros, inexistência de Comitês de bacias hidrográficas no Estado, órgão ambiental do Estado não dispõe de equipamentos e recursos humanos classificados para trabalhar questões hídricas como a outorga, etc.

<sup>6</sup> Segundo o PNUD/BRASIL, a intensidade de pobreza representa a distância que separa a renda domiciliar per capita média dos indivíduos pobres (ou seja, dos indivíduos com renda domiciliar per capita inferior à linha de pobreza de R\$ 75,50) do valor da linha de pobreza, medida em termos de percentual do valor dessa linha de pobreza.

#### 4. Conclusões

O modelo proposto, apesar de simplificado, permitiu observar cenários de aumento da demanda hídrica sobre o potencial hídrico da bacia do rio Munin. Deve-se, contudo ter em conta que apenas o aumento da população urbana (da demanda), simulada através do crescimento geométrico foi considerado para avaliar o efeito sobre a vazão média (a oferta).

Mesmo assim, através dos resultados obtidos foi marcante a constatação do maior grau de vulnerabilidade para os oito municípios que correspondem ao médio curso para a relação demanda por água “vs” potencial hídrico da bacia. Isso porque, o médio curso, segundo o modelo adotado, apresenta-se como em situação crítica já no ano de 2008. Além disso, cabe ressaltar também os péssimos valores para os indicadores socioeconômicos apresentados para a região do médio curso. Fato que evidencia também um severo cenário de exclusão socioambiental, que pode ser refletido no serviço de abastecimento de água.

Dessa forma, o uso de modelos voltados para a gestão de recursos hídricos pode ser uma ferramenta de auxílio muito importante no processo de tomada de decisão, ainda mais se for trabalhado de forma conjunta com técnicas de análise espacial.

#### Referências Bibliográficas

Alagoas – Secretaria de meio ambiente e recursos hídricos/superintendência de infraestrutura hídrica. **Plano estadual: programa água doce**. Jan/2009 a Dez/2010. 2008, 74p.

Bezerra, D. S.; Da Silva Junior, M. G. & Costa da Silva, L. J. Análise espacial do abastecimento de água dos municípios da zona costeira do Maranhão, nordeste do Brasil. ISSN - 0102 -4337 (impresso), ISSN -1982-6421 (online). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 21: p. 63 – 74, 2008.

Carvalho, J. A. M. **Introdução a alguns conceitos básicos e medidas em demografia**/José Alberto Magno de Carvalho, Diana Oya Sawyer, Roberto do Nascimento Rodrigues. 2ª ed, ver. – São Paulo: ABEP, 1994, reimpr. 1998. 60 p.

Maranhão – **Atlas do Maranhão**/Gerência de planejamento e desenvolvimento econômico, Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO/UEMA). São Luis: GEPLAN. 2000, 36 p.

Reymão, A. E. e Saber, B. A. Acesso a água tratada e a insuficiência de renda: duas dimensões do problema da pobreza no nordeste brasileiro sob a óptica dos objetivos de desenvolvimento do milênio. **Revista Iberoamericana de Economia Ecológica**. v. 12: p. 1-15, 2009.

Silva, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas passíveis de riscos de inundação e erosão**. Relatório Técnico. CNPq-CTHIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos, 2005, 15 p.