

ASPECTOS DA DISPONIBILIDADE E DOS USOS DA ÁGUA NA BACIA DO RIO BACANGA/ ILHA DO MARANHÃO (I. DE SÃO LUÍS) - MA.

Cristiano J. da C. Coelho¹
Eduardo Damázio²

RESUMO

A ilha do Maranhão tem sofrido com sérios problemas de falta de água para diferentes usos. Isso ocorre principalmente devido a crescente demanda por água, decorrente do intenso crescimento populacional, industrialização e aumento no número de estabelecimentos comerciais. Assim a bacia do rio Bacanga localizada na ilha do Maranhão (I. São Luís), com 23,7% da população da Ilha, contribui com 18% da totalidade de água disponibilizada para a mesma. Por isso foi escolhida para a realização deste estudo, que teve como objetivo, evidenciar cenários de sustentabilidade hídrica. Os quais permitiram estabelecer a potencialidade, a disponibilidade e a demanda de água, além de identificar e analisar os processos e ou intervenções, responsáveis pela redução da disponibilidade de água nessa área, tornando mais simples e objetivo o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na área da bacia.

Palavras-chave: sustentabilidade hídrica; potencialidade, disponibilidade e demanda de água; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

ASPECTS OF THE AVAILABILITY AND THE USES OF THE WATER IN THE BASIN OF RIO BACANGA/ISLAND OF THE MARANHÃO (I. OF SÃO LUÍS) - MA.

The island of Maranhão has suffered with serious problems of shortage of water for different uses. This occurs mainly due to the increasing demand for water, decurrent of the intense population growth, industrialization and increase in the number of commercial establishments. Thus basin of river Bacanga located in island of Maranhão (I. São.Luís), with 23,7% of the population of the Island, contributes with 18% of the total of hydric availability for the same one. Therefore it was chosen for the accomplishment of this study, that had as objective, to evidence scenes of hidric sustentability. Which had allowed to establish the potentiality, the availability and the demand of water, besides identifying and analyzing the processes and / or interventions, responsible for the reduction of the water availability in this area, becoming more simple and objective the planning and the management of the hidric resources in the area of the basin.

Keywords: hydric sustentability; water potentiality, availability and demand; management of hydric resources.

INTRODUÇÃO

O Estado do Maranhão ocupa uma posição confortável com relação ao potencial hídrico. Segundo Maranhão (2002) esta situação privilegiada, se deve à influência da Amazônia Oriental, na qual a floresta oferece uma grande contribuição em umidade para a atmosfera auxiliando no processo de for-

mação de nuvens, favorecendo, dessa forma, os elevados índices de precipitação que incidem de forma cíclica e sazonal sobre o território do Estado, destacando-se a região do Gurupi, no extremo noroeste, onde os totais anuais podem alcançar e superar os 2.500 mm. No entanto, é importante mencionar que a região sudeste, na área da microrregião da Chapada das Mangabeiras, na qual se encontram as nascen-

¹ Departamento de Oceanografia e Liminologia-DEOLI. Universidade Federal do Maranhão. Campus Universitário de Bacanga. Av. dos Portugueses, S/N- CEP 65085-580 São Luís-MA. Email:crisjcc3000@yahoo.com.br

² Departamento de Oceanografia e Liminologia-DEOLI. Universidade Federal do Maranhão. Campus Universitário de Bacanga. Av. dos Portugueses, S/N- CEP 65085-580 São Luís-MA

tes dos rios Parnaíba e Itapecuru, na área da divisa com o estado do Piauí, os totais pluviométricos anuais alcançam apenas 1.000 mm, ou seja, menos da metade do que chove do setor oeste.

No entanto, em contraposição ao elevado potencial hídrico, o Estado do Maranhão apresenta sérios problemas de disponibilidade hídrica. Esses problemas de disponibilidade ocorrem devido a uma série de fatores como: as diferenças entre as regiões geográficas; o crescimento populacional; a expansão urbano-industrial; a expansão agrícola; os altos custos para a captação e adução dessa água até os domicílios, estabelecimentos comerciais, indústrias além de outros usos; bem como ao uso de tecnologias e produtos cada vez mais caros para realizar o tratamento.

Na Ilha do Maranhão (I. de São Luís), obedecendo ao que se observa para o estado, são reconhecidos sérios problemas relacionados com a disponibilidade hídrica. Os problemas da ilha são mais complexos do que os considerados para outras regiões do Estado, uma vez que este setor do território estadual concentra a maior parcela da população do Estado e, devido à insuficiência das reservas superficiais de água, resta a exploração excessiva das águas subterrâneas, a exploração de pequenos corpos de água da ilha; e a exploração do rio Itapecuru, no continente (fora dos limites da Ilha), para suprir a demanda de água potável da Ilha.

Assim destaca-se a bacia do rio Bacanga com 23,7% da população da ilha como sendo uma contribuinte muito importante para o abastecimento de água do município de São Luís. De acordo com CAEMA (2003) isso representa cerca de 18% do total da água disponibilizada para atender a população urbana.

Desta forma, esta bacia foi eleita como objeto deste estudo, por considerarmos que a disponibilidade hídrica nesta área está sendo afetada pelo crescimento populacional, pela urbanização e pela industrialização, o que pode comprometer severamente a oferta de água para o abastecimento de alguns setores da população assentados na área da bacia e em parte da cidade de São Luís em um curto horizonte de tempo.

Portanto, este trabalho se propõe a evidenciar um cenário que permita estabelecer a disponibilidade e a demanda de água para a área da bacia do rio Bacanga, como contribuição para o planejamento e a gestão em condições sustentáveis dos recursos

hídricos na área da bacia e da Ilha do Maranhão.

a) Localização da Área

A Ilha do Maranhão (I. de São Luís) está localizada aproximadamente entre as coordenadas de 02° 24' 09" e 02° 46' 13" S e 44° 01' 20" e 44° 29' 47" W de Greenwich, encontrando como limites a oeste a baía de São Marcos; a leste a baía de São José; ao sul o Estreito dos Mosquitos e ao norte o Oceano Atlântico. Na ilha, existem quatro municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. No espaço da ilha, a bacia do rio Bacanga, com uma superfície da ordem de 11.030,00 ha, ocupa a porção Noroeste, fazendo parte do município de São Luís com situação definida pelas coordenadas 2° 32' 26" e 2° 38' 07" S e 44° 16' 00" e 44° 19' 16" W. Limites: ao norte, a baía de São Marcos; ao sul, o tabuleiro central da ilha na região do Tirirical; a leste, o divisor de águas que separa as bacias dos rios Anil, Paciência e Tibirí e a oeste, pelo divisor de águas que separa a bacia do Bacanga da bacia Litorânea oeste (Figura 1).

b) Cenário Ideal de Sustentabilidade Hídrica

Para elaboração dos cenários de sustentabilidade hídrica, foram utilizados os indicadores de sustentabilidade hídrica propostos por Godim Filho (1994):

1) *Potencialidade hídrica (Qp)* - Volume de água apresentado pelo escoamento médio anual passível de ocorrer, sem interferência humana, abrangendo a soma dos escoamentos de superfície e subterrâneos;

2) *Disponibilidade Hídrica (Qo)* - Parcela das potencialidades hídricas ativadas pela ação do homem, por meio de barragens, poços e outros meios de captação de água, para adequar as ofertas às necessidades ou demandas. Considera-se como disponibilidade máxima factível a que corresponde ao nível de ativação de 80% da disponibilidade potencial;

3) *Demandas Hídricas (Qd)* - Volumes de água que devem satisfazer a determinados usuários, sejam eles consuntivos ou não;

4) *Índice de ativação da potencialidade (IAP)* - Representa o nível de ativação do potencial hídrico da região hidrográfica obtido pela relação: Qo/Qp . Varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais

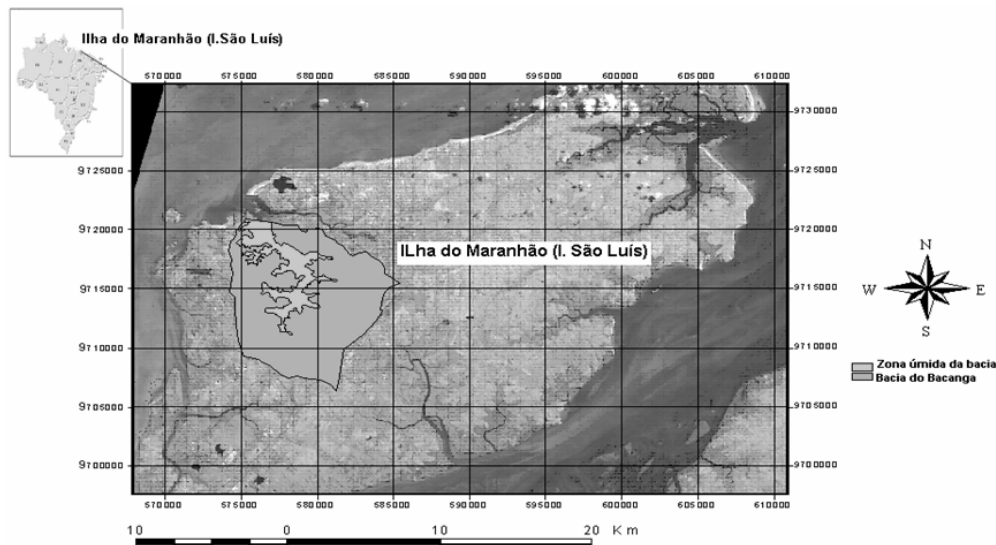


Figura 1. Localização da bacia do rio Bacanga.

ativados foram os recursos potenciais da região hidrográfica.

5) *Índice de utilização da disponibilidade (IUD)* - Representa o grau de utilização a disponibilidade e é obtido pela relação: Q_d / Q_o . Quando o seu valor é menor que a unidade, significa dizer que a disponibilidade está sendo suficiente para satisfazer a demanda e, quando é maior que a unidade, significa que a disponibilidade não está sendo suficiente para atender à demanda, existindo uma demanda reprimida;

6) *Índice de utilização da potencialidade (IUP)* - Representa o grau de utilização do potencial dado pela relação Q_d / Q_p . Quanto mais próximo for o seu valor de 0,8 mais próxima, estará a unidade de planejamento de atingir o limite máximo da utilização do seu potencial;

Portanto, o cenário ideal de sustentabilidade dos recursos hídricos para a Bacia do Bacanga é descrito através da relação: *Demanda < Disponibilidade < Potencialidade*

Então, os padrões de sustentabilidade segundo Godim Filho (1994) indicam:

$IAP < 0,8$ (Limitação de ordem física)

$IUD < 1,0$ (Disponibilidade excedente sobre a demanda)

$IUP < 0,8$ ($IUP = IAP \times IUD$) (Quanto mais próximo for o seu valor de 0,8 mais próxima estará a Bacia Hidrográfica de atingir o limite máximo da utilização do seu potencial hídrico).

b.1) Potencialidade Hídrica

A potencialidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Bacanga, foi obtida pelo somatório do Escoamento superficial com o Escoamento subterrâneo anual para a bacia.

Potencialidade Hídrica = (Escoamento superficial) + (Escoamento Subterrâneo)

b.1.1) Escoamento Superficial

O cálculo do escoamento superficial foi baseado na metodologia de hidrologia aplicada a pequenas bacias hidrográficas, proposta por Alcântara & Santos (2002), baseada nas precipitações médias mensais da Ilha de São Luís, disponibilizadas pela UEMA (2004).

Para a aplicação desta metodologia utilizou-se um fotomosaico georeferenciado da bacia do rio Bacanga para sistema UTM, datum horizontal sad69, com escala de 1:15.000, baseado em fotos aéreas feitas pela AEROCONSULT em 2000-2001. Uma Imagem de satélite SPOT para Ilha do Maranhão com o mesmo sistema de projeção cartográfica e datum horizontal do fotomosaico, com resolução espacial de 20m. E ainda utilizaram-se curvas de nível com intervalos de 5 m (metros) para a bacia do Bacanga, baseadas na topografia presente nas cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) de 1976. Esses dados foram utilizados no software

AutoDeskMap2004 para a delimitação e cálculo da área da bacia e de suas microbacias, assim como para a divisão das microbacias em unidades de paisagem, onde se realizou também o cálculo das áreas dessas unidades de paisagem.

Com o software ArcView 3.2 foram montados os mapas temáticos, sendo um mapa das microbacias, e o de uso e ocupação do solo, de fundamental importância para os cálculos hidrológicos.

Cada microbacia foi dividida nas seguintes unidades de paisagem: área urbanizada; área semi-urbana; solo exposto; áreas de capoeira; vegetação densa (vegetação de médio e grande porte). Os cálculos hidrológicos realizados para a obtenção do Escoamento superficial foram realizados por unidades de paisagem e por microbacia. Esse cálculo foi baseado no volume total de água gerado em uma bacia pelo evento da precipitação, descontando as perdas para a infiltração, interceptação e evapotranspiração encontrando dessa maneira o escoamento superficial. (Figura 2) e (Figura 3)

b.1.2) Escoamento subterrâneo

Para os cálculos de Escoamento subterrâneo utilizou-se a Lei de Darcy. Essa lei afirma que a velocidade de um fluido em um meio poroso é proporcional ao gradiente hidráulico.

(I). Equação de Darcy $q(m^3/s) = K(m/s) \cdot A(m^2) \cdot i(adimensional)$

Onde:

q = Escoamento subterrâneo (m^3/s)

K = Condutividade Hidráulica média do meio de fluxo(m/s)

A = Área lateral de escoamento (m^2)

i = Gradiente Hidráulico médio (adimensional)

Para que a aplicação desta lei fosse possível neste trabalho, foram necessários dados como: coordenadas geográficas para sistema UTM e datum horizontal Sad69, nível estático e cotas altimétricas de nove poços tubulares Profundos da CAEMA (Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão) distribuídos aleatoriamente pela bacia do Bacanga e dados sobre a hidrogeologia da mesma. Esses dados de níveis estáticos dos poços tubulares profundos só serviram para este trabalho, pois não existem em São Luís poços em aquíferos confinados (poços artesianos), isso ocorre em virtude da hidrogeologia local.

Os níveis estáticos e as coordenadas dos poços foram obtidos nas fichas técnicas dos poços da ilha por zonas, cordialmente cedidos pela CAEMA. Já as cotas altimétricas dos poços foram obtidas atra-

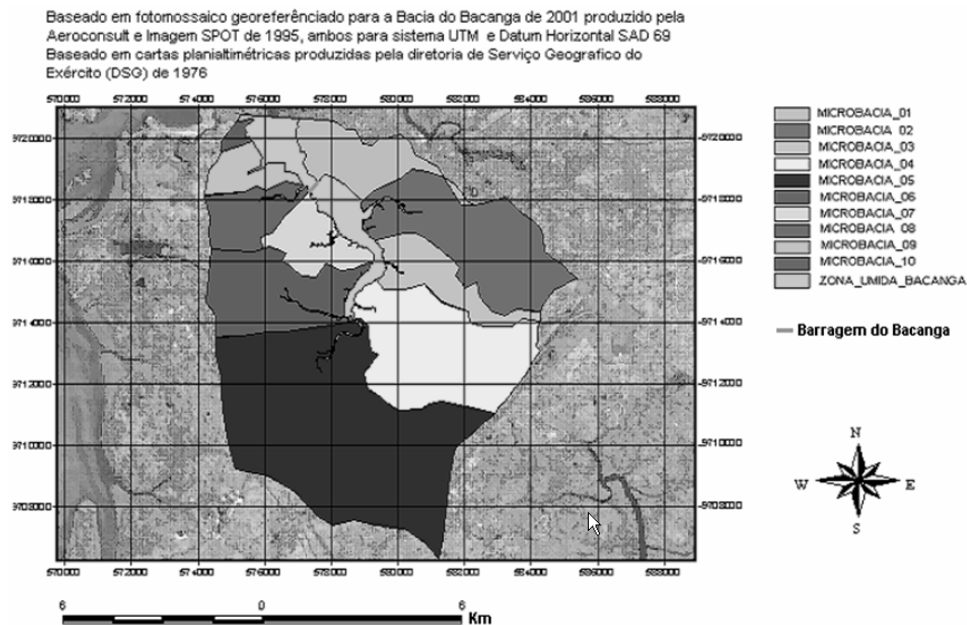


Figura 2. Microbacias da bacia do rio Bacanga.

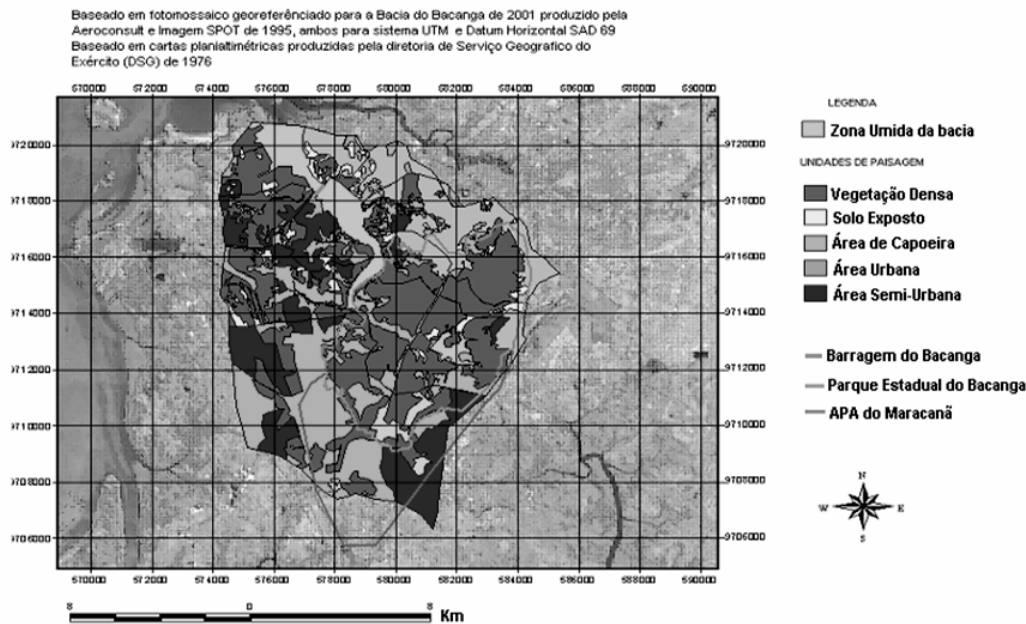


Figura 3. Unidades de Paisagem reconhecidas para a bacia do rio Bacanga.

vés da plotagem dos poços nas no mapa de curva de nível.

Para a obtenção da Condutividade Hidráulica média do meio de fluxo para a Bacia do Bacanga, utilizou-se uma referência de Morris & Johnson (1967) *apud* Tucci (2001) que apresenta a condutividade média para diferentes tipos de materiais, constituintes do solo.

Na obtenção da área lateral de escoamento, foi necessário determinar o comprimento em metros no sentido montante-jusante da bacia do Bacanga obtido no software AutoDeskMap 2004 e utilizar os dados obtidos através dos estudos hidrogeológicos existentes na ilha de espessura média da zona saturada, Desta forma a área lateral equivale a seguinte equação:

$$(II). \text{Equação Área Lateral } A = L(m).e(m)$$

Onde:

A = Área lateral de escoamento (m^2)

L = Comprimento da Bacia no sentido montante-jusante (m)

e = Espessura média do sistema aquífero da Bacia (m)

O gradiente Hidráulico foi obtido pela diferença entre os níveis estáticos de dois poços (em

módulo) divididos pela distância (calculadas no AutoDeskMap 2004) entre esses poços.

$$(III). \text{Equação do gradiente Hidráulico } i \text{ (adimensional)} = Dh \text{ (m)/}l \text{ (m)}$$

Onde:

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

Dh = Variação do Nível Piezométrico entre dois poços da Bacia em módulo(m)

l = Distância entre os dois poços(m)

Para obter a média do gradiente hidráulico para a bacia do Bacanga, calculou-se o gradiente para 18 diferentes combinações entre os poços. Desta maneira através do cálculo de média simples dos gradientes obtidos para as combinações de poços foi determinado o gradiente hidráulico médio para a Bacia.

b.1.3) Volume de água armazenada no Sistema Aquífero da Bacia

O cálculo do volume de água armazenado no sistema aquífero da bacia do Bacanga foi obtido pelo produto entre área da bacia, espessura do sistema aquífero e porosidade média deste sistema. O volu-

me foi obtido segundo a equação abaixo:

(IV). Equação do volume do aquífero $V(m^3) = A(m^2) \cdot E(m) \cdot p(\text{adimensional})$

Onde:

V = Volume da Zona Saturada (Sistema Aquífero) (m^3)

A = Área da Bacia do Bacanga (m^2)

E = Espessura média do Sistema Aquífero da Bacia (m)

p = porosidade média do Sistema Aquífero (adimensional)

A área da bacia foi determinada no software AutoDeskMap 2004 e a porosidade média para a bacia foi obtida por referências propostas por Morris & Johnson (1967) *apud* Tucci (2001) que apresentam a porosidade para diferentes materiais constituintes do solo.

b.1.4) Cálculo do Potencial Hídrico

O potencial hídrico da bacia foi então obtido pelo somatório do escoamento superficial anual com o escoamento subterrâneo anual, sendo demonstrado pela seguinte expressão:

(V). Equação do Potencial Hídrico *Potencial Hídrico* (m^3/ano) = $ES(m^3/\text{ano}) + q(m^3/\text{ano})$

Onde:

ES = Escoamento superficial (m^3/ano)

q = Escoamento subterrâneo (m^3/ano)

b.2) Disponibilidade Hídrica

Para determinar a disponibilidade total da bacia do rio Bacanga, foram considerados os dados, de vazão total dos subsistemas de abastecimento presentes na bacia do Bacanga (Sacavém superficial e subterrâneo e poços tubulares diversos). Esses dados foram extraídos de estudos realizados pela Companhia de águas e Esgotos do Maranhão CAEMA (2001) e de fichas técnicas de poços da Ilha por zona que apresentaram dados de vazão dos subsistemas presentes na área de estudo. A unidade de medida foi a mesma utilizada para o cálculo da potencialidade hídrica (m^3/ano).

b.3) Patamar de Estresse Hídrico

A partir da disponibilidade hídrica anual e a população para o respectivo ano foi obtido o patamar específico de estresse hídrico para a Bacia. De acordo com o Quadro 1, proposto por Beekman (1999)

Volume Disponível per Capita ($m^3/\text{hab.ano}$)	Situação
> 1.700	Somente ocasionalmente tenderá a sofrer problemas de falta d'água.
1.000 – 1.700	O estresse hídrico é periódico e regular.
500 – 1.000	Nesses níveis a limitação na disponibilidade começa a afetar o desenvolvimento econômico, o bem estar e a saúde (Crônica escassez).
< 500	Situação que corresponde a escassez absoluta

Quadro 1. Patamar específico de estresse hídrico, segundo Beekman (1999).

Considerando a disponibilidade, utilizaram-se os patamares de estresse hídrico, propostos por Beekman (1999), que são baseados nas necessidades mínimas per capita para manter uma qualidade de vida adequada em regiões moderadamente desenvolvidas situadas em zonas áridas. A definição de estresse hídrico parte do pressuposto de que 100 litros diários (36,5 m³/ano) representam o requisito mínimo para suprir as necessidades domésticas e manutenção de um nível adequado de saúde.

b.4) Demanda Hídrica

Na determinação dessa variável foram consideradas as demandas: Populacional, Ecológica (Segundo Sousa, 1998, é a quantidade de água mínima necessária para a manutenção da vida aquática nos rios) e Industrial. Onde a demanda Hídrica anual é o somatório de todas as demandas acima mencionadas.

Para determinar a demanda hídrica da população na área da bacia foram utilizados os Coeficientes de demanda propostos no PLIRHINE (Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil, elaborado em 1980, pela SUDENE). Quanto à demanda hídrica industrial e a Demanda Ecológica, foram utilizadas as percentagens específicas respectivamente em relação à demanda Urbana e ao Escoamento Superficial. (Tabela 1)

Para os cálculos de demanda populacional foram obtidas informações sobre a população da bacia do Bacanga a partir do censo demográfico urbano a nível municipal e por setores censitários Statcart IBGE (2000), e a partir de dados da Caema (2003), que realizou estudos populacionais fazendo a projeção potencial, exponencial, linear, logarítmica e logística, com suas respectivas taxas médias anuais

de crescimento geométrico para a Ilha de São Luís com horizonte até o ano de 2030.

A partir do censo Statcart IBGE (2000) obteve-se a população da bacia do rio Bacanga no ano de 2000. Para isso utilizaram-se dados dos setores censitários em formato de arquivo SHAPE encontrados no Statcart IBGE (2000) e com o software ARCVIEW 3.2, realizou-se a intersecção destes dados com a área da bacia obtendo dessa maneira a população da bacia para o ano de 2000. (Figura 4)

Em posse da população da bacia no ano de 2000 e com as taxas de crescimento geométrico para diferentes tipos de projeções obtidas para a ilha de São Luís foi possível estimar a população da bacia através da fórmula para o cálculo da taxa de crescimento geométrico, encontrada na metodologia para estimar populações municipais utilizada pelo IBGE (2004), veja a equação a seguir:

$$(VI). \text{Equação Crescimento geométrico } P_n = P_o \cdot (1+r)^t$$

Onde:

P_n= População Final (habitantes)

P_o= População Inicial (habitantes)

r= Taxa de crescimento geométrico (porcentagem)

t= Tempo (anos)

b.5) Índice de ativação da Potencialidade (IAP)

Esse índice foi obtido através da razão entre a Disponibilidade Hídrica Anual com a Potencialidade Hídrica anual na Bacia do Bacanga. Este índice varia entre 0(zero) e 1(um), e quando mais próximo de 1(um), mais ativada será a potencialidade na área.

b.6) Índice de Utilização da disponibilidade (IUD)

Tabela 1. Coeficientes para o cálculo da Demanda Hídrica.

Coeficientes de Demanda Hídrica		
Tamanho da População	Coeficiente de demanda	
	(l/hab/dia)	(m ³ /hab/dia)
População ≤ 5.000	145	0,145
5.000 < População ≤ 10.000	185	0,185
10.000 < População ≤ 20.000	230	0,23
(20.000 < População ≤ 100.000)	270	0,27
(100.000 < População ≤ 500.000)	330	0,33
(População ≥ 500.000)	460	0,46
Demanda Industrial(DI) = 25% da Demanda Urbana		
Demanda Ecológica(DE) = 10% do Escoamento Superficial		

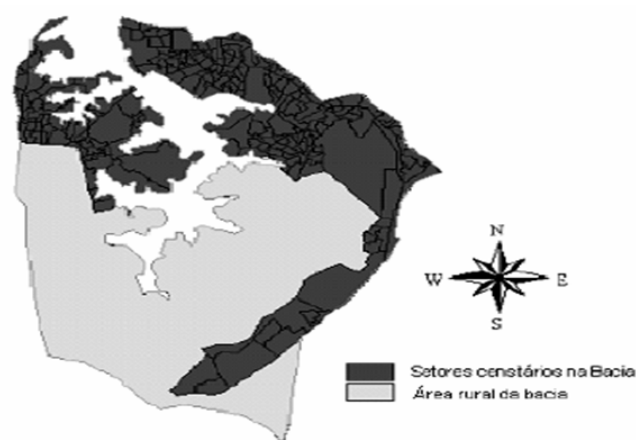


Figura 4. Setores censitários localizados na Bacia do Bacanga.

Esse índice foi obtido pela razão entre a demanda hídrica anual (soma de todas as demandas, populacional, industrial) em m^3/ano , com a disponibilidade hídrica anual em m^3/ano . Quando o seu valor é menor que 1 (um), significa dizer que a disponibilidade está sendo suficiente para satisfazer a demanda na Bacia e, quando é maior que a unidade, significa que a disponibilidade não está sendo suficiente para atender a essa demanda, existindo uma demanda reprimida.

b.7) Índice de Utilização da Potencialidade (IUP)

Esse índice foi o resultado da razão entre a demanda hídrica anual (soma de todas as demandas, populacional, industrial e ecológica) em m^3/ano com a Potencialidade hídrica anual em m^3/ano . Quanto mais próximo for o seu valor de 0,8 (oito décimos) mais próxima, estará a bacia hidrográfica de atingir o limite máximo da utilização do seu potencial hídrico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Potencial Hídrico e disponibilidade Hídrica

De acordo com a tabela 2 podemos afirmar que o potencial hídrico da bacia é muito grande e que é capaz de suprir as necessidades da própria bacia e de outras bacias de forma sustentável. Como podemos observar, o que é disponibilizado anualmente pela bacia (18% do total para a Ilha de São Luís) representa apenas 8,5% do potencial hídrico. Evidencia-se, portanto, que a maior parcela desta água disponibilizada $11,5 hm^3/ano$ provém dos recursos subterrâneos e apenas $5,7 hm^3/ano$ provém da superfície. Dessa forma temos um paradoxo a maior parcela do que é disponibilizado provém da menor parcela do potencial hídrico, o escoamento subterrâneo com $26,1 hm^3/ano$ e a menor parcela do que é disponibilizado provém da maior parcela do potencial, o escoamento superficial, com $175,5 hm^3/ano$.

b) Patamar de Estresse Hídrico

Tabela 2. Resultados dos indicadores e variáveis hidrológicas para a bacia.

Indicadores e variáveis hidrológicas	m^3/ano
Escoamento Superficial na Bacia do Bacanga (m^3/ano)	175.460.697
Escoamento Subterrâneo na Bacia do Bacanga (m^3/ano)	26.076.325
Potencial Hídrico na Bacia do Bacanga (m^3/ano)	201.537.022
Disponibilidade Hídrica Superficial na Bacia do Bacanga (m^3/ano)	5.676.480
Disponibilidade Hídrica Subterrânea na Bacia do Bacanga (m^3/ano)	11.463.336
Disponibilidade Hídrica Total da Bacia do Bacanga (m^3/ano)	17.139.816
Volume total de água armazenada nos aquíferos da Bacia (m^3/ano)	1.707.995.500

Com base na Disponibilidade Hídrica obtida ($17,1 \text{ hm}^3/\text{ano}$) e levando-se em consideração os patamares de estresse hídrico propostos por Beekmam (1999), obteve-se um volume disponível per capita de $58 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$ (Levando-se em consideração somente o volume disponibilizado pela bacia e a população da bacia em 2005 estimada com uma projeção logística em 294.000 habitantes), o que representa um patamar extremamente baixo, que vem decrescendo ao longo dos anos, dessa forma se considerássemos apenas a água produzida na bacia, a mesma seria enquadrada em uma situação de escassez absoluta de água. No entanto a bacia utiliza outros subsistemas de abastecimento localizados fora dos limites da bacia para atender a sua demanda.

É importante considerar que a maior parte da água produzida na bacia do bacanga é disponibilizada para outras bacias, o que agrava a situação de demanda reprimida na bacia do rio Bacanga.

c) Demanda Hídrica

De acordo com o Escoamento Superficial, e os coeficientes propostos na tabela 1 foi obtida uma Demanda Ecológica de $17,5 \text{ hm}^3/\text{ano}$ para a bacia. Essa demanda foi utilizada para a determinação do IUP.

As demandas foram determinadas em função de duas situações admitidas para o crescimento populacional: exponencial (para a calibração do modelo de Sustentabilidade Hídrica sob condições extremas de crescimento populacional), e Logístico (para a calibração do modelo de Sustentabilidade Hídrica sob condições normais de crescimento populacional) (Tabelas 3 e 4). Assim:

- Para as duas situações admitidas: crescimento populacional exponencial, e crescimento populacional logístico. O IAP apresenta um valor constante baixo (0,0850), o que indica a possibilidade de aumentar a disponibilidade hídrica atual na área da bacia.
- Os valores de IUP assumem de certa forma

Tabela 3. Evolução populacional e dos Índices (IAP, IUD e IUP) sob uma projeção exponencial para a bacia do bacanga. (E Exp= População sob projeção exponencial; DP= Demanda Populacional; DT= Demanda Total).

Ano	E Exp	DP(m ³ /dia)	DT (m ³ /ano)	IAP	IUD	IUP
2005	321.226	106.005	65.910.720,59	0,0850	2,8218	0,3270
2006	335.103	110.584	68.000.073,51	0,0850	2,9437	0,3374
2007	349.580	115.361	70.179.686,47	0,0850	3,0708	0,3482
2008	364.682	120.345	72.453.458,72	0,0850	3,2035	0,3595
2009	380.436	125.544	74.825.457,92	0,0850	3,3419	0,3713
2010	396.871	130.967	77.299.927,49	0,0850	3,4863	0,3836
2011	414.016	136.625	79.881.294,15	0,0850	3,6369	0,3964
2012	431.901	142.527	82.574.175,85	0,0850	3,7940	0,4097
2013	450.559	148.685	85.383.390,03	0,0850	3,9579	0,4237
2014	470.023	155.108	88.313.962,27	0,0850	4,1289	0,4382
2015	490.328	161.808	91.371.135,23	0,0850	4,3072	0,4534
2016	511.511	235.295	124.899.348,02	0,0850	6,2634	0,6197
2017	533.608	245.460	129.537.009,64	0,0850	6,5340	0,6427
2018	556.660	256.063	134.375.018,25	0,0850	6,8162	0,6668
2019	580.707	267.125	139.422.028,83	0,0850	7,1107	0,6918
2020	605.794	278.665	144.687.070,26	0,0850	7,4179	0,7179
2021	631.964	290.704	150.179.561,49	0,0850	7,7383	0,7452
2022	659.265	303.262	155.909.328,33	0,0850	8,0726	0,7736
2023	687.745	316.363	161.886.621,10	0,0850	8,4214	0,8033
2024	717.456	330.030	168.122.132,92	0,0850	8,7852	0,8342
2025	748.450	344.287	174.627.018,86	0,0850	9,1647	0,8665
2026	780.783	359.160	181.412.915,86	0,0850	9,5606	0,9001
2027	814.513	374.676	188.491.963,61	0,0850	9,9736	0,9353
2028	849.700	390.862	195.876.826,23	0,0850	10,4045	0,9719
2029	886.407	407.747	203.580.714,91	0,0850	10,8539	1,0101
2030	924.700	425.362	211.617.411,59	0,0850	11,3228	1,0500

Tabela 4. Evolução populacional e dos Índices (IAP, IUD e IUP) sob uma projeção exponencial para a bacia do bacanga. (E Exp= População sob projeção exponencial; DP= Demanda Populacional; DT= Demanda Total).

Ano	E.Logist	DP(m ³ /dia)	DT (m ³ /ano)	IAP	IUD	IUP
2005	294.509	97.188	61.888.093,35	0,0850	2,5871	0,3071
2006	301.018	99.336	62.868.052,08	0,0850	2,6443	0,3119
2007	307.369	101.432	63.824.345,90	0,0850	2,7000	0,3167
2008	313.578	103.481	64.759.167,08	0,0850	2,7546	0,3213
2009	319.599	105.468	65.665.658,55	0,0850	2,8075	0,3258
2010	325.447	107.398	66.546.247,03	0,0850	2,8589	0,3302
2011	331.110	109.266	67.398.850,11	0,0850	2,9086	0,3344
2012	336.607	111.080	68.226.406,27	0,0850	2,9569	0,3385
2013	341.925	112.835	69.027.155,59	0,0850	3,0036	0,3425
2014	347.054	114.528	69.799.371,88	0,0850	3,0487	0,3463
2015	351.982	116.154	70.541.368,77	0,0850	3,0919	0,3500
2016	356.734	117.722	71.256.805,30	0,0850	3,1337	0,3536
2017	361.300	119.229	71.944.302,72	0,0850	3,1738	0,3570
2018	365.672	120.672	72.602.521,34	0,0850	3,2122	0,3602
2019	369.840	122.047	73.230.164,89	0,0850	3,2488	0,3634
2020	373.835	123.365	73.831.553,12	0,0850	3,2839	0,3663
2021	377.648	124.624	74.405.665,05	0,0850	3,3174	0,3692
2022	381.311	125.833	74.957.203,12	0,0850	3,3496	0,3719
2023	384.781	126.978	75.479.644,44	0,0850	3,3801	0,3745
2024	388.090	128.070	75.977.873,18	0,0850	3,4091	0,3770
2025	391.234	129.107	76.451.170,79	0,0850	3,4367	0,3793
2026	394.246	130.101	76.904.740,06	0,0850	3,4632	0,3816
2027	397.085	131.038	77.332.122,49	0,0850	3,4881	0,3837
2028	399.785	131.929	77.738.667,65	0,0850	3,5119	0,3857
2029	402.343	132.773	78.123.900,28	0,0850	3,5343	0,3876
2030	404.757	133.570	78.487.367,26	0,0850	3,5555	0,3894

comportamentos distintos para as situações admitidas. Para a situação de crescimento populacional exponencial podemos observar uma tendência de atingir o limite de utilização das potencialidades em 2023, uma vez que os valores são maiores que 0,8. Para a situação de crescimento logístico, os valores encontrados nos mostram que a bacia não atinge seu limite dentro do nosso horizonte de estudo.

- Os valores altos de IUD (maiores que 1) em ambas as situações examinadas revelam uma demanda reprimida, isto é, a disponibilidade hídrica não está sendo suficiente para atender a demanda estabelecida para a área da bacia. E ainda o IUD sob crescimento exponencial, estabeleceria um cenário de caos no abastecimento local.

CONCLUSÃO

A bacia do rio Bacanga é responsável atualmente, por uma produção (Disponibilidade Hídrica) de 17,1 hm³/ano, o que representa uma contribuição de cerca de 18% de toda água disponibilizada para o abastecimento público da população da cidade de São Luís.

O planejamento da distribuição de água potável para atender a população de São Luís, definido e praticado pela CAEMA (Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão), determina que a água na Bacia, atenda basicamente residências situadas em setores, que em sua maior parte, não fazem parte da mesma.

As relações estabelecidas entre as variáveis intrínsecas, como: Disponibilidade Hídrica, Demanda Hídrica estabelecida e Distribuição de água produzida, mostram que o balanço obtido, configura atualmente um quadro de sub-aproveitamento dos recursos hídricos (principalmente os superficiais), para atender aos usos múltiplos estabelecidos pela população assentada na área da bacia;

No entanto, devemos considerar o crescimento progressivo da população que ocupa a área da bacia com conseqüente expansão da ocupação e uso do solo, que se processa de forma desordenada por toda área, o que vem contribuindo para o aumento da compactação do solo e assoreamento dos corpos de água de superfície, além da contaminação

das coleções de águas de superfície e dos aquíferos contribuindo, desta forma, com uma demanda reprimida. A relação do sub-aproveitamento de água com a demanda reprimida que ocorre na bacia se dá principalmente devido às dificuldades encontradas para disponibilizar esse excesso de água produzido e de conduzir água de outros subsistemas de abastecimento para a população da Bacia do Bacanga.

Dessa forma, são possíveis responsáveis pela condição atual de demanda reprimida e de insuficiência de água disponibilizada, para a bacia os seguintes aspectos :

- O crescimento da demanda por água relacionada ao crescimento da população assentada na área da bacia;
- O crescimento da ocupação, uso e parcelamento do solo relacionado ao crescimento da população assentada na área da bacia. Especialmente a ocupação indevida de setores das Unidades de Conservação que conservam os mananciais;
- A poluição e contaminação física, química e biológica das águas superficiais e subterrâneas;
- O aumento dos processos de erosão e assoreamento das bacias e dos reservatórios, reduzindo a vida útil dos mesmos (ex: Batatã);
- A exploração excessiva dos recursos hídricos na área da bacia para atender ao abastecimento de populações assentadas em setores da cidade de São Luís, localizados fora da área da bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E.H., SANTOS, M.C.F.V. 2002. Metodologia para estudos básicos em hidrologia aplicados a pequenas bacias hidrográficas- UFMA, São Luís.
- BEEKMAN, G.B. 1999. Gerenciamento integrado dos recursos hídricos, IICA, Brasília, 64p.
- BEREZUK, A. G.; et al. Água Subterrânea: uma questão a ser debatida e quantificada. LIN, S. D. Groundwater. In: LEE, C.C. & LIN, S. D. 2000. Handbook of environmental engineering calculations. New York: McGraw-Hill, 1223 – 1261.p
- BRASIL. 1980. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-Sudene (1980)- Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil (PLIRHINE) Fase I. Recife, Sudene, (Vários volumes).
- CAEMA. 2001. Ampliação do Sistema Produtor do Itapecuru: EIA-RIMA. Volume I. São Luís.
- CAEMA. 2003. Plano Diretor de Abastecimento de Água da Ilha de São Luís: Estudo da Ocupação na Região a Ser Atendida. 1º relatório. 3ª ed. Volume único. São Luís.
- CAEMA. 2005. Fichas técnicas dos poços da Ilha por zonas. São Luís.
- GONDIM FILHO, J. G. C. 1994. Sustentabilidade do desenvolvimento do semi-árido sob o ponto de vista dos recursos hídricos. Brasília: SEPLAN-PR, 102P. (Projeto ARIDAS).
- IBGE. 2004. Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050-Revisão 2004 (Metodologia e Resultados)- Estimativas anuais e Mensais da População do Brasil e das Unidades da Federação: 1980-2020 (Metodologia)-Estimativas das Populações Municipais (Metodologia), Rio de Janeiro, 84p.
- LABOHIDRO. 1994. Estudo do Plâncton (fito e zooplâncton) e de Fatores Físicos e Químicos na Região Estuarina das Rios Anil e Bacanga, São Luís, UFMA, 89p.
- LABOHIDRO. 1998. Diagnóstico Ambiental do Estuário do Rio Bacanga, Ilha de São Luís-MA: Caracterização química e biológica (Relatório Final jan-dez/97), São Luís, UFMA, 122p.
- LABOHIDRO. 1999. Diagnóstico Ambiental do Estuário do Rio Bacanga, Ilha de São Luís-MA: Caracterização química e biológica (Relatório DO 1º termo aditivo Out/98-agosto/99), São Luís, UFMA, 57p.
- MARANHÃO. 2002. Atlas do Maranhão, São Luís: GEPLAN/LABGEO-UEMA.
- PIDU. 1995. Plano Integrado de Desenvolvimento Urbano de São Luís-PIDU, São Luís: Prefeitura municipal de São Luís,
- SEMATUR\CVRD. 1992. Plano de Manejo do Parque Estadual do Bacanga, São Luís-MA.

SOUSA, S. B. 1998. Sustentabilidade Hídrica da Ilha do Maranhão. IN: Pesquisa em Foco, São Luís: UEMA/PPGE, v.6, n.7, p.143-158, jan./jun.

STATCART IBGE. 2000. Base de Informações por Setor Censitário. formato CD-ROM, Brasília: IBGE.

TUCCI, C. E. M. 2001. Hidrologia: ciência e Aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS:ABRH.

TUCCI, C. E. M., et al. 2003. Previsão de Vazões com base na previsão climática. Distrito Federal: Dupligráfica, 184p.