

ASPECTOS FÍSICOS E SOCIAIS DA GEOGRAFIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA MUNICIPAL NO BRASIL

**GUSTAVO CASONI DA ROCHA¹; RODRIGO M. SÁNCHEZ-ROMÁN²; MARCOS
VINICIUS FOLEGATTI¹ e JANE SIQUEIRA LINO¹**

1LEB/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418, Piracicaba, SP. Fone (19) 3447-8533. E-mail(s): casoni-darocha@gmail.com; mvfolega@esalq.usp.br; janesiqueiralino@gmail.com

2FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3711-7100. E-mail: rmsroman@fca.unesp.br

1 RESUMO

Na gestão dos recursos hídricos, índices funcionam como ferramentas de avaliação das condições ambientais de uma região, geralmente simplificando e quantificando as informações disponíveis. Dois dos índices mais citados na literatura são: Índice de Pobreza de Água (IPA) e de Falkenmark, o primeiro é composto por uma série de variáveis socioambientais e o segundo é uma relação simples de disponibilidade hídrica por pessoa. Neste trabalho, buscou-se associar a simplicidade do índice de Falkenmark com aspectos sociais do IPA. Para tanto, foi utilizado o Índice de Desenvolvimento Humano (ONU), banco de dados de pluviosidade e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas para a espacialização dos dados e confecção dos mapas. Os resultados são apresentados em figuras que mostram a situação em nível nacional, apreciando-se que as regiões Nordeste e Sudeste são as mais vulneráveis no Brasil, entretanto os municípios nesta situação na região Nordeste são mais vulneráveis pelo IDH-M mais baixo que nas demais regiões.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, índice de Falkenmark, índice de pobreza de água, índice de desenvolvimento humano

ROCHA, G. C. da; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; LINO, J. S.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS IN MAPPING WATER AVAILABILITY PER MUNICIPALITY IN THE COUNTRY

2 ABSTRACT

In managing water resources, indexes are used to simplify and quantify available information as well as report the characteristics of a region under study. These indexes may be extremely demanding concerning information required, or very simple, and the water poverty index and Falkenmark index are examples of both extreme situations, respectively. Searching for an index that considers regional and local complexities and information available in developing countries, a new index was developed to evaluate the population accessibility to water resources. This new index combines the Human Development Index and Falkenmark Index and geographic information systems. The results are presented in figures which show the

situation at national level, highlighting that the Northeast and Southeast regions are the most vulnerable in Brazil.

Keywords: water resource management, water use, Falkenmark index, water poverty index, human development index, Brazil.

3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de metodologias que auxiliem a identificação de áreas prioritárias para ações de conservação dos recursos hídricos se faz necessária dada situação crítica da disponibilidade hídrica no mundo atualmente.

Na Gestão de Recursos Hídricos, utilizando-se características observáveis e mensuráveis, de modo criterioso, podem ser tomadas decisões mais acertadas. Neste sentido, a função de indicadores é importante para simplificar informações, quantificar e comunicar situações (MARANHÃO, 2007). O conhecimento de aspectos físicos da região é fundamental para a gestão dos recursos hídricos (SOUZA ET AL., 2012) bem como utilização de ferramentas de simulações de cenários futuros para planejamento a longo prazo, como executado por Sánchez-Román et al. (2012).

Para tanto, os elementos componentes de indicadores devem convergir e compreender a dinâmica social das localidades, como qualidade de vida, níveis de renda e outros. Uma análise somente ambiental ou física pode chegar a conclusões inconsistentes e não ter uma função de indicador, que é de representar uma situação real da forma mais abrangente possível com os dados disponíveis.

A ONU estima que o ser humano demande ao redor de 100 L/dia para satisfazer suas necessidades de consumo e higiene (BEEKMAN, 1999), quantidade relativamente baixa se comparado dados de disponibilidade hídrica por pessoa. Entretanto, mesmo para estas necessidades básicas, as redes de distribuição de água no Brasil ainda são falhas, como mostram os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, com problemas tanto na distribuição como no tratamento dos efluentes (IBGE, 2000). No Brasil, uma grande porcentagem dos municípios não tem sequer rede coletora de esgoto (Figura 1), diluindo dejetos diretamente nos corpos hídricos, causando um sério dano à sua qualidade.

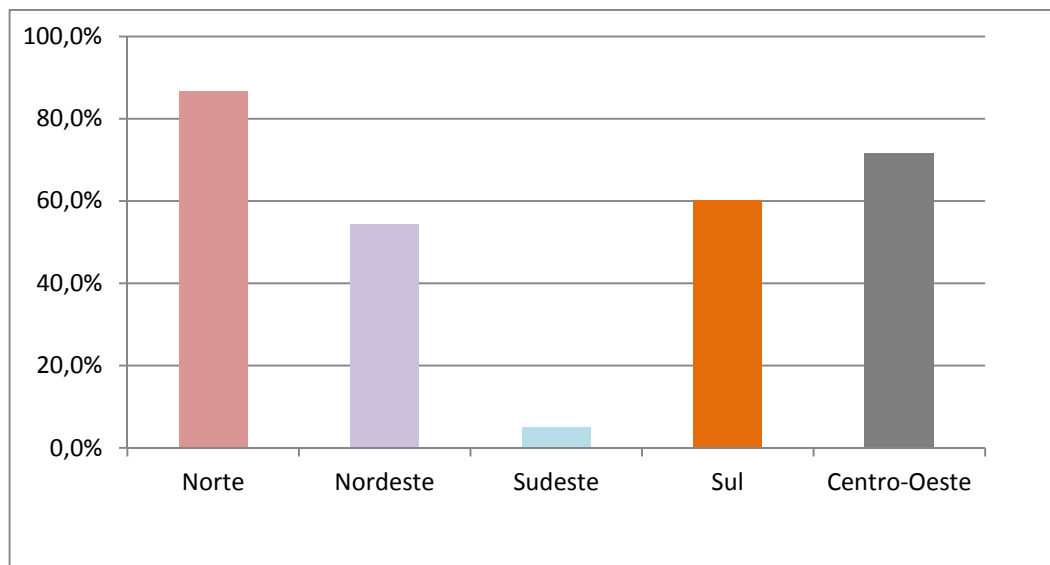


Figura 1. Porcentagem de municípios brasileiros sem rede de coleta de esgoto, por região administrativa (adaptado pelos autores de dados de IBGE, 2009)

Temos, portanto, em relação a gestão há dois aspectos: (i) quantitativos, de relação quantidade de água por habitante e (ii) qualitativos, a qualidade desta água disponível. A melhoria da qualidade de vida da população passa por melhorias nestes indicadores (HERCULANO, 2000). A abordagem deste trabalho é apenas quantitativa.

3.1 Índices de avaliação da disponibilidade hídrica

O Índice de Falkenmak foi utilizado como parâmetro básico de análise; ele estabelece níveis de confortabilidade a partir da quantidade de água disponível por habitante, com base nos dados de disponibilidade hídrica. O nível de conforto leva em consideração não apenas as necessidades domésticas, mas também de água utilizadas nas diversas atividades humanas (produção de alimentos, produtos industrializados, etc.).

Segundo Hспанhol (2008), discutindo o índice de Falkenmark, ele cita a Tabela 1 desenvolvida por Falkenmark em 1992. Outros autores, como Brow e Matlock (2011) expõem valores distintos, considerando como forte pressão por recursos hídricos valores abaixo de $1.700\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$. Para cada faixa de valores atribui-se uma classe, variando de 1 (situação mais crítica) a 5 (situação mais confortável).

Tabela 1. Relação entre Disponibilidade Hídrica por habitante por ano e problemas na Gestão dos Recursos Hídricos (adaptado de Hспанhol, 2008).

Disponibilidade de água específica ($\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$)	Problemas na gestão dos recursos hídricos	Classe
Acima de 10.000	Sem ou problemas limitados	5
Entre 10.000 e 2.000	Poucos problemas de gestão	4
Entre 2.000 e 1.000	Forte pressão sobre os recursos hídricos	3
Entre 1.000 e 500	Escassez crônica de água	2
Abaixo de 500	Além do limite da escassez	1

Atualmente outros índices tentam relatar e expressar de uma forma real a problemática da falta de água, ainda que discutível do ponto de vista de que realmente condiz com o real estado de uma população/localidade, o índice de Falkenmark é o mais utilizado.

O ponto forte do índice de Falkenmark é praticidade e confiabilidade dos dados, dando uma noção intuitiva de uma quantidade de água por habitante (RIJSBERMAN, 2005). Mas têm falhas, por exemplo: (a) médias de chuvas anuais escondem escassez importante em escalas menores, (b) o indicador não leva em conta a disponibilidade de infraestrutura hidráulica que modifica a disponibilidade de água para os usuários e (c) os limites das classes não refletem variações importantes na demanda entre regiões devido a, por exemplo, estilo de vida ou desigualdade social (RIJSBERMAN, 2005). Neste contexto, há também o conceito de água virtual, que permite que uma região com escassez de água possa importar na forma de produtos terminados (alimentos, roupas, ferramentas etc.).

Outro índice, publicado pelo Keele Economics Research Papers, discute as outras influências nos impactos da falta d'água, como a renda familiar, concluindo que populações mais pobres sofrem mais com a falta de água do que populações mais ricas (LAWRENCE, 2002). O Índice de Pobreza da Água (Water Poverty Index)- IPA- sofre influência de fatores socioeconômicos e ambientais, dividindo-se em cinco categorias: (a) Quantidade de recursos hídricos por habitante, (b) Acesso: % de casas com saneamento, % de casas com abastecimento de água, % de terras irrigadas/terras aráveis, (c) Capacidade: PIB per capita (US\$), mortalidade infantil (por 1000 nascidos vivos), Coeficiente de Gini (desigualdade), Relatório de educação do PNUD, (d) Uso (gasto): industrial, agrícola e doméstico, (e) Índices de Meio Ambiente: qualidade da água, regulamentação ambiental e gestão da biodiversidade, informativos com base na capacidade das espécies ameaçadas. Rijsberman (2005) define este índice como complexo e não intuitivo. Entretanto, para este autor, o IPA será em breve o substituto do índice de Falkenmark, pela sua análise holística da questão. Quanto à aplicabilidade, o IPA é válido para análises macro (nível nacional) e micro (municípios e bairros), sendo bastante versátil (SULLIVAN et al., 2005).

Este trabalho objetiva i) mapear as regiões potenciais de conflito pelo uso da água em nível municipal em todo o Brasil, por meio de dados públicos, tendo em vista a quantidade de água disponível frente às necessidades humanas; ii) correlacionar o impacto da escassez com questões socioeconômicas, gerando, assim, um resultado não só baseado em aspectos quantitativos ou físicos da água, mas também da vulnerabilidade humana para esta escassez.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A análise se deu em nível municipal, na totalidade dos 5.654 municípios brasileiros, referentes a malha municipal IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2005 (IBGE, 2005). País de grande diversidade climática, pela classificação de Köppen vai de temperado ao tropical, de alta a baixa pluviosidade (SPAROVEK, 2007).

Para tanto, foram utilizados os índices de Falkenmark e o de desenvolvimento humano por município (IDH-M). Ainda que o IPA seja mais completo e resultaria em dados mais reais em nível municipal, este foi descartado por requerer muitas variáveis, dificultando o estudo por carência de dados. Portanto, a partir da disponibilidade hídrica, buscar no IDH-M as diferenças sociais e econômicas presentes no Brasil, fator essencial, segundo Lawrence et al. (2002) para entender os reais impactos da escassez de água.

O IDH-M, que parte de índices de mortalidade infantil, PIB per capita e expectativa de vida, se torna um parâmetro interessante para esta análise (PNUD/ONU, 2001). A esta análise será dado o nome de Análise da Vulnerabilidade Humana por Estresse Hídrico.

Para o desenvolvimento dos dados numéricos brutos e sua formatação, utilizaram-se ferramentas de planilhas do EXCEL (MICROSOFT, 2007). A confecção dos mapas, a partir dos dados processados pelo EXCEL, utilizou-se um programa de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o TNT- MIPS (MICROIMAGES, 2008).

Pela dimensão dos cálculos considerou-se que a água disponível é a precipitação menos a evapotranspiração. Usou-se a equação 1, abaixo indicada.

$$\text{Vazão} = \text{Precipitação} - \text{Evapotranspiração} \quad (1)$$

Para a determinação da Disponibilidade Hídrica, considerou-se a Vazão como a Água Disponível. Há descrições de outras metodologias para se chegar a estes valores (DE LEÓN, 2008), considerando o valor da infiltração da água no solo, entretanto, a modelagem em nível nacional utilizando tal metodologia se mostrou bastante complexa. Para tanto, embora desconsidere as águas subterrâneas, a medição de vazão de uma bacia é a forma freqüentemente preconizada pela ONU para determinar a disponibilidade hídrica (ANA, 2005). Este método foi escolhido pela indisponibilidade de estações fluviométricas em rios de menor porte, o que inviabilizaria a análise em nível municipal ou por bacias de menor porte.

Os cálculos foram executados a partir de dados 1.308 estações hidrometeorológicas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), da FAOCLIM (Rede Mundial de dados Agroclimáticos da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) e da Agência Nacional de Águas (ANA) distribuídas pelo Brasil (Figura 2).

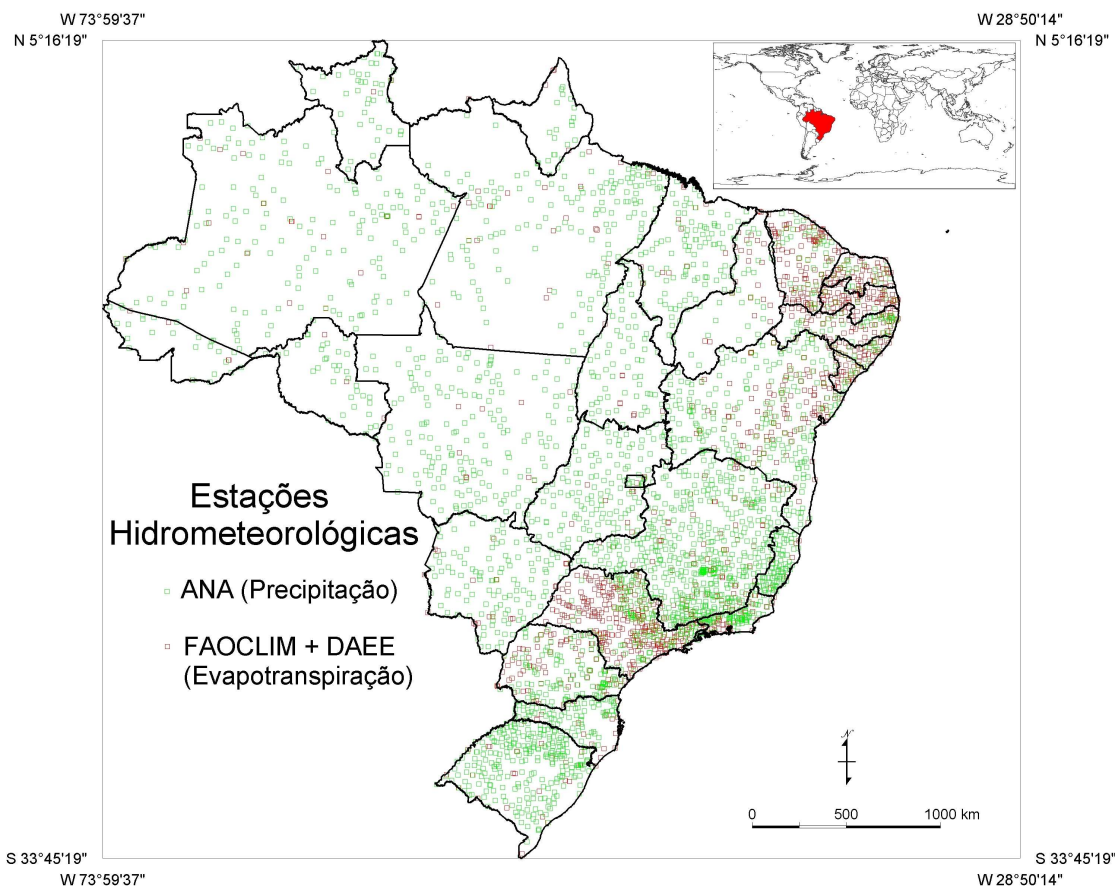


Figura 2. Mapa da localização das Estações Hidrometeorológicas da ANA e da FAOCLIM

A partir deste banco de dados, o cálculo da Evapotranspiração Anual, por meio do Balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite & Mather (1955 apud PEREIRA et al., 2002), se deu utilizando o software BHIDRICO (DOURADO NETO & JONG VAN LIER, 1992), com as seguintes variáveis: Temperatura Média Mensal, Temperatura Média Anual, Latitude, Longitude, Hemisfério, Capacidade de Armazenamento no Solo ($CAD_{média} = 50\text{mm}$) e Precipitação Mensal. Este valor baixo de CAD justifica-se para ter um efeito de rigor no modelo.

Após o cálculo da Evapotranspiração por estação, utilizando a ferramenta de *krigagem* do software TNT MIPS, obteve-se os valores, em nível nacional, por pixel. O método de *krigagem* é considerado adequado para variáveis climatológicas (MELLO et al., 2003).

Para o cálculo da Precipitação Anual, o banco de dados utilizado foi da Agência Nacional de Águas (ANA) por ter maior número de estações no Brasil, conforme visualizado na Figura 3. Para a obtenção dos valores de Precipitação Anual por pixel, também se utilizou a ferramenta de *krigagem* do TNT MIPS.

Após os cálculos da evapotranspiração anual (mm) e precipitação anual (mm) por pixel, com base na equação 1, chegou-se ao valor de disponibilidade hídrica anual (mm) por área por pixel.

O mapa matricial de disponibilidade hídrica foi cruzado com a malha municipal, atribuindo-se os valores de disponibilidade aos referentes municípios. Com este dado e com a

população municipal de 2005 (IGBE, 2005) obteve-se a disponibilidade hídrica por habitante por ano (Equação 2), possibilitando classificar as localidades de acordo com o índice de Falkenmark (HESPANHOL, 2008), tendo limite para a classificação de pressão sob recursos hídricos maior que discutido por Brown e Matloc (2011), $2000 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ contra $1.700 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{ano}$.

$$\text{Disp. Hídrica por habitante} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hab}/\text{ano}} \right) = \frac{\text{Disponibilidade Hídrica} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right)}{\text{População do Município (hab)}} \quad (2)$$

Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa R-project (R Core Team, 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos dados, foram gerados mapas e tabelas de forma a auxiliar o trabalho interpretativo. A primeira representação é a da disponibilidade hídrica por habitante por ano no Brasil, com divisão municipal, Figura 3.

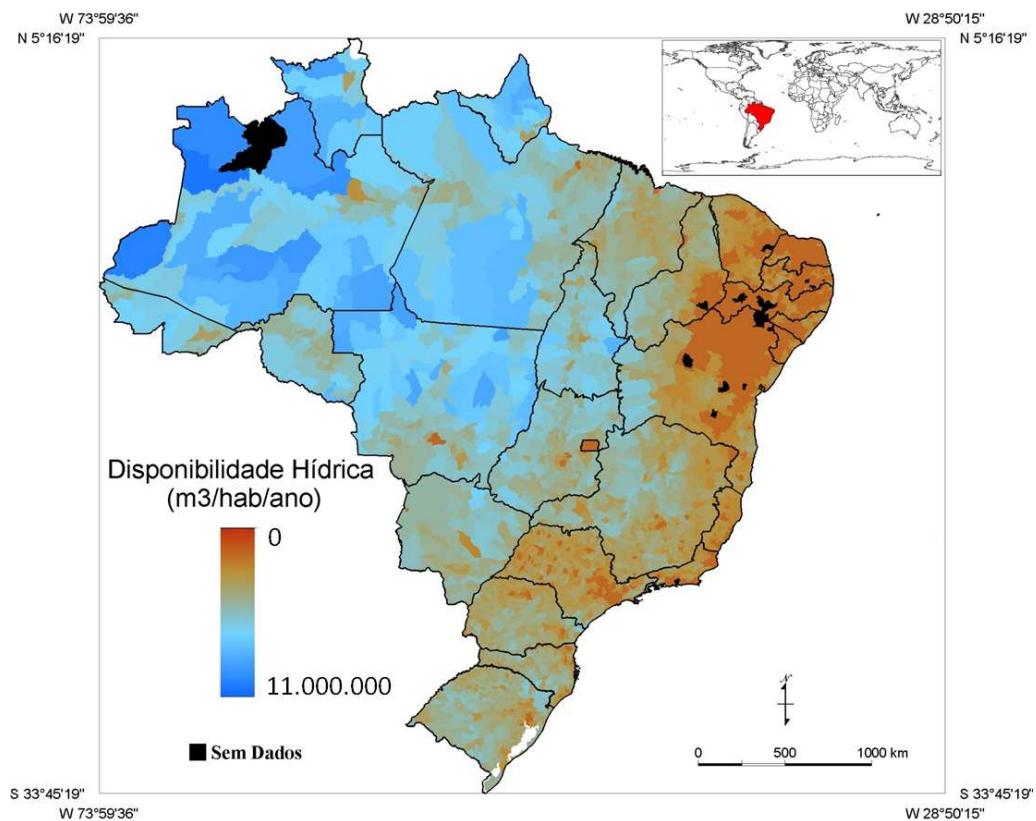


Figura 3. Mapa da Disponibilidade Hídrica do Brasil

Embora tenha um das médias mais altas do mundo de disponibilidade hídrica, cerca de 20% do total mundial (ANA, 2005), o Brasil tem sérias diferenças regionais. A região Norte e a porção norte da região Centro-Oeste concentra tem alta disponibilidade, já nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul verificam-se quantidades bem menores. Duas variáveis determinam esta diferença: a alta disponibilidade de água com baixa densidade demográfica

na região Amazônica e menor disponibilidade com maior densidade demográfica nas demais regiões, principalmente no Nordeste e Sudeste.

A partir da classificação preconizada por Falkenmark (Tabela 1), gerou-se um novo mapa (Figura 4). Neste, é possível categorizar a problemática da escassez de água no Brasil. Faz-se evidente que os problemas se concentram na região nordeste e nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

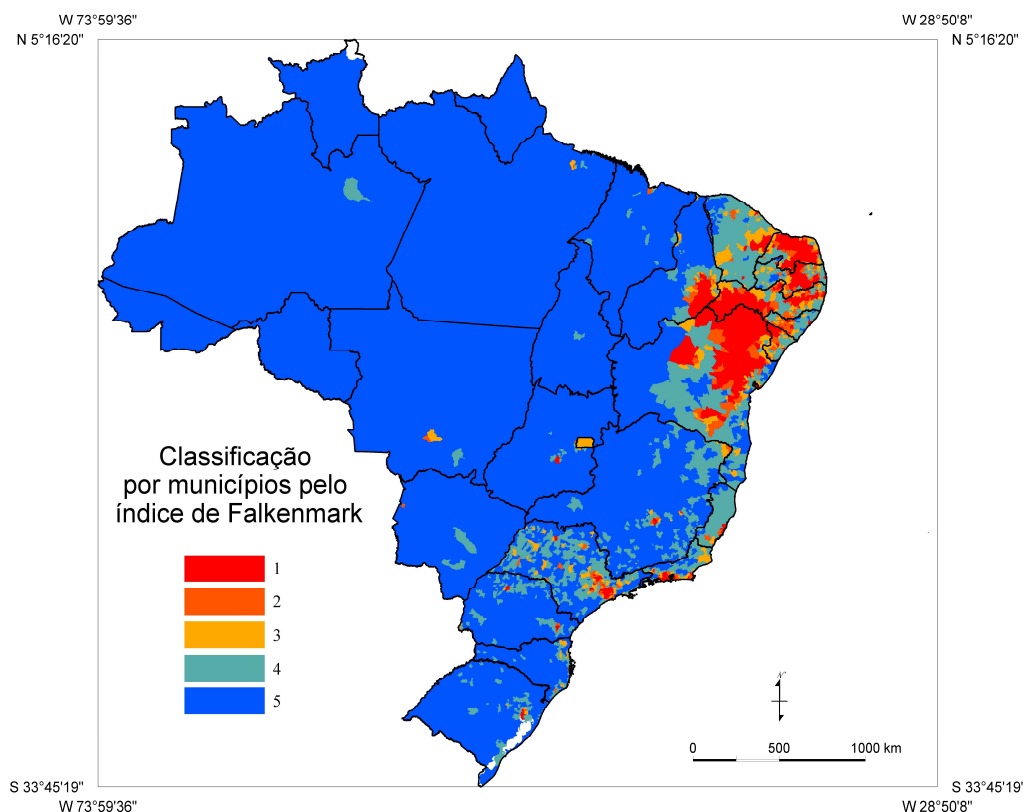


Figura 4. Mapa de Classificação, a partir do Índice de Falkenmark, para o Brasil, em nível municipal. Classe 1– Além do Limite de Escassez; Classe 2– Escassez crônica de água; Classe 3- Forte pressão sobre recursos hídricos; Classe 4 - Poucos problemas de gestão e Classe 5- Sem ou problemas limitados

Na análise municipal (Figura 5), 17,2% dos municípios brasileiros têm alguma pressão sobre os recursos hídricos (classe 1, 2 e 3- ou seja, disponibilidade hídrica por habitante de até $2.000\text{m}^3/\text{ano}$). Regionalizando esta análise, verificamos que a região Nordeste tem os números mais altos, com 41% dos municípios nestas condições. No restante do Brasil, os percentuais são mais modestos, o mais alto na região Sudeste com 10% dos municípios com alguma pressão.

A avaliação da quantidade de municípios transmite uma ideia limitada sobre o problema, uma vez que não se tem a dimensão de áreas ou população afetada. Para tanto, quantificou-se a população dos municípios, para cada classe do Índice de Falkenmark (Figura 6). Mais de 50% da população brasileira reside em municípios com nível menor que $2.000\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$.

Podemos inferir, analisando os dados da Figura 6 e da Tabela 2, que as cidades com maiores problemas com recursos hídricos tendem a serem as mais populosas, pois o percentual de cidades (17,2%) com problema é muito menor que o percentual da população (52,8%).

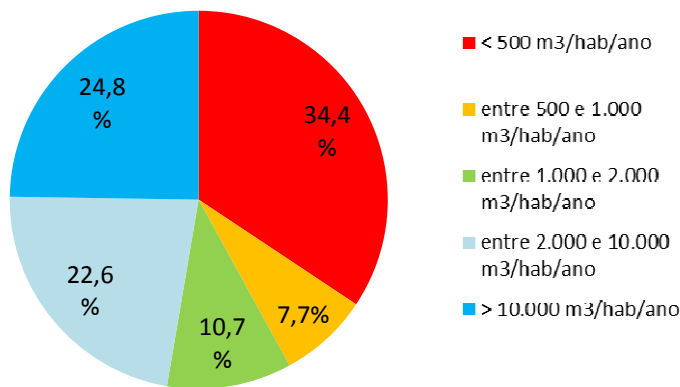


Figura 6. Divisão percentual da população brasileira nas cinco classes do Índice de Falkenmark

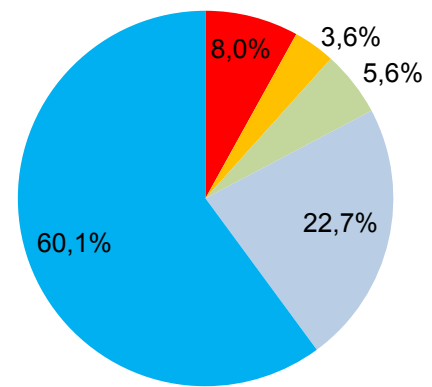


Figura 5. Divisão percentual dos Municípios brasileiros nas cinco classes do Índice de Falkenmark

Tabela 2. Poluição média dos municípios, para cada classe de disponibilidade hídrica de Falkenmark

Classe Falkenmark	População média dos municípios
1	142.063
2	70.537
3	63.174
4	32.999
5	13.678

Agora, buscando destacar as diferenças regionais na análise da população, foi gerada a Figura 8. A região Sudeste, conta com 64,2% de sua população vivendo em municípios com menos de 2.000 m³/hab/ano, seguido pela região Nordeste com 61,2%, sendo estas regiões as que se destacam pelo alto percentual. As demais regiões apresentam uma distribuição menos comprometida; sendo que a região Centro-Oeste tem 39,4% de sua população nas condições acima indicadas, a região Sul tem 31% e a região Norte tem 13,3%.

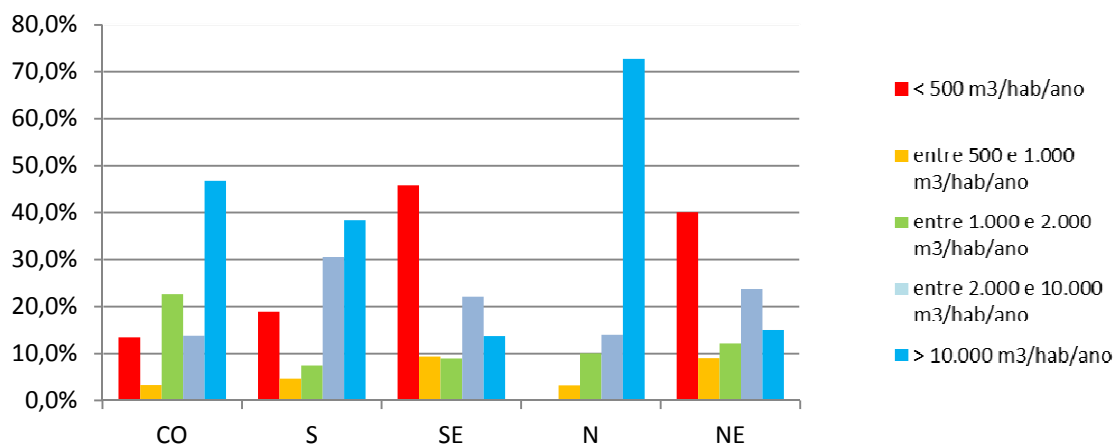


Figura 8. Divisão percentual da população, por região administrativa nas cinco classes do Índice de Falkenmark

A partir dos dados de IDH-M e Índice de Falkenmark, buscou-se, no entendimento de que populações com IDH-M mais baixos são mais vulneráveis à falta de água que populações mais “desenvolvidas”, uma análise social, gerando o mapa, representado na Figura 9. IDH-M é considerado baixo (até 0,488), médio (0,488- 0,669), alto (0,669-0,784) e muito alto (0,784-1,000). A análise estatística, por meio do teste de Tukey ($\alpha=0.95$) confirma a análise visual do mapa (Tabela 3). A média do IDH-M dos municípios da região Nordeste nestas condições é estatisticamente abaixo da média dos municípios nas mesmas condições em outras regiões.

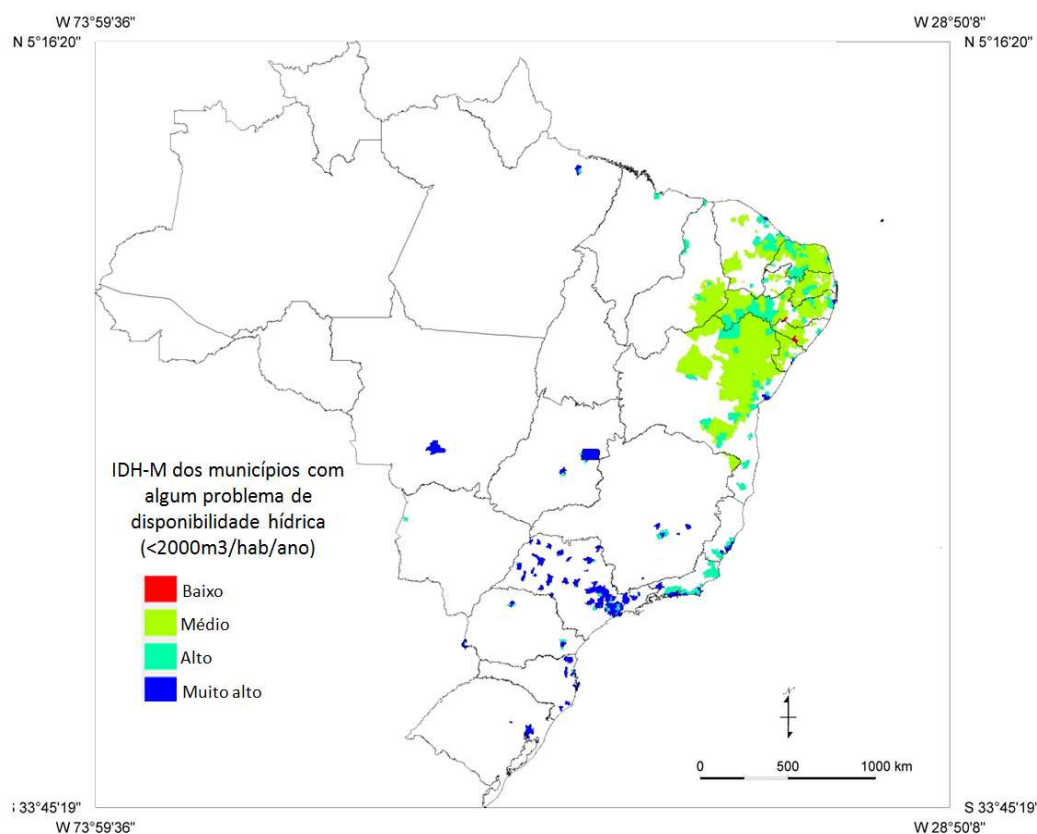


Figura 9. Mapeamento da Análise da Vulnerabilidade Humana por Estresse Hídrico: Mapa dos municípios brasileiros com forte pressão sobre os recursos hídricos (classes 1, 2 e 3), subdivididos pelo IDH-M (baixo, médio, alto e muito alto).

Tabela 3. Teste de comparação de médias (Tukey, $\alpha=0.05$) e estatísticas básicas do IDH-M dos municípios com menos de 2.000 m³/hab/ano por região administrativa.

Região	Média	Mediana	Desvio Padrão	CV	Tukey
S	0.815	0.814	0.037	0.047	a
SE	0.790	0.796	0.048	0.061	a
CO	0.787	0.79	0.042	0.053	a
N	0.767	0.782	0.048	0.061	a
NE	0.620	0.615	0.054	0.069	b

Este trabalho preconiza prioridades que o setor público deve ter para o atendimento das duas regiões problema, Nordeste e Sudeste. A região Nordeste se mostra mais vulnerável a escassez de água que o Sudeste, pelo seu menor IDH e conseqüente desigualdade na distribuição da água. O foco das políticas públicas na resolução de problemas nas duas regiões deve ser compatível com a característica de cada região.

O resultado, mais que expõe a situação de disponibilidade hídrica no Brasil, qualifica as situações por meio de uma variável socioeconômica da população residente nestes locais. A qualificação destas situações de escassez por meio do IDH pode subsidiar ações de gestão pública neste setor.

6 CONCLUSÕES

Como uma alternativa simplificada, o uso do IDH local como um indicador de vulnerabilidade por estresse hídrico se mostra válido. A criação de um índice a partir da variável ambiental (disponibilidade hídrica) e social (IDH-M) pode ser um caminho para a compreensão do problema em localidades com poucos dados disponíveis.

Evidenciaram-se as diferenças regionais de disponibilidade hídrica, alertando para uma porcentagem considerável da população brasileira (52,8%) com algum problema de disponibilidade hídrica, concentrados principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste. Nessas regiões as características da escassez de água são distintas: no Nordeste concentra-se em municípios pouco populosos do interior, junto ao Bioma Caatinga e baixos indicadores sócio-econômicos (IDH-M baixo); no Sudeste concentra-se em municípios bastante populosos e com boas condições sócio-econômicas (IDH-M alto).

A simplificação do método de análise da disponibilidade hídrica e a inserção de uma variável socioeconômica são caminhos para a determinação de áreas prioritárias de atuação da gestão dos recursos hídricos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cadernos de recursos hídricos: disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2005.

BEEKMAN, G.B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura, 1999.

BROWN, A.; MATLOC, M. D. A review of water scarcity indices and methodologies. **Sustainability Consortium White Paper**, Arkansas, White Paper n. 106, 2011.

DE LÉON, G. S. Variación espacial y temporal de la disponibilidad hídrica en lacuenca del río Valles, Huasteca, México. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL AIDIS, 21., 2008, Santiago. **Anais...** Santiago: AIDIS, 2008.

DOURADO NETO, D., JONG VAN LIER, Q. **BHIDRICO: Balanço hídrico para cultura anuais e perenes**. Piracicaba, 1992.

HERCULANO, S. C. A qualidade de vida e seus indicadores In: HERCULANO, S. et al. (org). *Qualidade de Vida e Riscos Ambientais*. Selene Herculano et al. (org.). Niterói: Eduff, 2000.

HESPANHOL, I., A new paradigm for water resource management. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p. 131-157, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal digital 2005. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#mapas. Acesso em: 02 de jun. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/defaulttab.shtm>. Acesso em 10 de outubro de 2009.

LAWRENCE, P, MEIGH, J, SULLIVAN, C. The Water Poverty Index: an International Comparison. Keele Economics Research Papers, Keele, Staffordshire, UK, 2002.

MARANHÃO, N. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2007. P.397. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MELLO, C. R., LIMA, J. M., SILVA, A. M., MELLO, J. M., OLIVEIRA, M. S. Kriging and inverse-square-distance for the interpolation of rainfall equation parameters. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:925-933, 2003.

MICROSOFT. **Microsoft Office System**. São Paulo, 2007. 1 CD-ROM.

MICROIMAGES. **TNT- MIPs**: scientific software- the map and image processing system; version 7.2. Washington, 2008.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba, 2002.

PNUD/ONU - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO NO BRASIL. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Brasília, DF, 2001.

R CORE TEAM (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.80, n.3, p. 5-22, 2005.

SÁNCHEZ-ROMÁN; R.M.; ZOLIN; C.A.; GONZÁLEZ; A.M.G.O.; FOLEGATTI, M.V. Simulação da oferta e demanda de recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá: uma análise em dinâmica de sistemas. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 284-298, 2012.

SOUZA, A.C.M.; SILVA, M.R.F.; DIAS, N.S. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p. 280- 196, 2012.

SPAROVEK, G., VAN LIER, Q. J., DOURADO NETO, D. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. *International Journal of Climatology*, Chichester, v. 27, n. 2, p. 257–266, 2007.

SULLIVAN, C., MEIGH, J., LAWRENCE, P. Application of the Water Poverty Index at Different Scales: A Cautionary Tale Agriculture Ecosystems and the Environment. *Water Internation*, Staffordshire, v.31, n.3, p. 412-426, 2005.