

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NA DEMANDA HÍDRICA DE CENTROS URBANOS: ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA - CE

*Thaís Antero de Oliveira³; Francisco de Assis de Sousa Filho¹; Taís Maria Nunes Carvalho²;
Gabriela de Azevedo Reis²; Renata Locarno Frota²*

RESUMO – Devido ao aumento da demanda hídrica, do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico, do índice de urbanização, somado à limitação dos recursos disponíveis, as cidades brasileiras apresentam um importante desafio relativo à disponibilidade hídrica. Dessa forma, as pessoas responsáveis pelo processo de tomada de decisão precisam buscar o equilíbrio da demanda humana por água, para isso, é necessário um embasamento técnico e científico. O presente estudo, assim, pretende analisar o comportamento da influência de dados socioeconômicos na demanda residencial por setores censitários em centros urbanos, aplicando o método de regressão multinível lmer nos dados de Fortaleza (CE). Foi utilizada uma série de demanda de 2009 a 2017, bem como dados de IDH e renda média por setor. Os índices socioeconômicos foram divididos em cinco classes cada. Após aplicação do método, foram obtidas 25 equações do segundo grau, sendo cada uma referente à relação de uma classe de IDH com uma de renda. Pode-se concluir que no tempo de estudo os setores apresentaram uma tendência semelhante de evolução no tempo e que ao observar o intercepto das equações geradas, deduz-se que setores com IDH mais baixo, bem como renda média menor, apresentam valores de demanda, geralmente, menores, pois iniciam com quantidade mais reduzida no ano inicial.

ABSTRACT– Due to the increase in water demand, population growth, economic development, urbanization index, and the limited resources available, Brazilian cities present an important challenge which it is the water availability. In this way, the people responsible for the decision-making process need to seek the balance of human demand for water, thus it is necessary to have a technical and scientific basis. So, the present study intends to analyze the behavior of the influence of socioeconomic data on the residential demand by census tracts in urban centers, applying the lmer multilevel regression method in the data of Fortaleza (CE). A series of demand from 2009 to 2017 was used, as well as data of HDI and average income by sector. Socioeconomic indexes were divided into five classes each. After applying the method, 25 equations of the second degree were obtained, each one referring to the relation of an HDI class with an income class. It can be concluded that in the study time the sectors presented a similar tendency of evolution in time and that when observing the intercept of the generated equations, it was deduced that sectors with lower HDI, as well as lower average income, present values of demand, usually, smaller, since they start with a smaller quantity in the initial year.

Palavras-Chave – DEMANDA; LMER; REGRESSÃO.

1) Professor associado na Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental assis@ufc.br.

3) Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. thais.antero@gmail.com

2) Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. taiismarianc@gmail.com gabrielareisazevedo@gmail.com renata.locarno@hotmail.com

Um dos grande desafios dos centros urbanos brasileiros é a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequada (SANTOS; 2011). Isso ocorre em decorrência do aumento da demanda hídrica, devido ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico e da elevada taxa de urbanização, juntamente, com a limitação dos recursos hídricos disponíveis (SOUSA, 2017). Estima-se que 80% da população mundial vive em áreas com riscos de segurança hídrica (VÖRÖSMARTY et al., 2010).

Diante dessa conjuntura de crescente deterioração dos recursos hídricos e a intensificação dos conflitos entre os variados usuários, incentivou discussões sobre a situação presente e futura desse recurso (SOUSA, 2017). As pessoas responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos encontram-se, portanto, com um desafio crítico, o qual exige que eles equilibrem a demanda humana por água (FIELDING et al., 2013).

Outro ponto importante é que, segundo a ANA (2017), o abastecimento urbano representa grande contingente da água retirada no Brasil: da média anual brasileira computada, a parcela destinada ao consumo urbano foi de 23,3%, a segunda maior parcela, depois da irrigação. Com isso, é de suma relevância o desenvolvimento de diversas metodologias de estudo sobre a demanda hídrica de abastecimento de centros urbanos para analisar de abrangente forma e, assim, capacitar tomadores de decisões de gerenciamento hídrico.

Assim, este trabalho propõe aplicar o método lmer de regressão multinível entre dados de demanda hídrica residencial com do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e da renda média de setores censitários em um centro urbano, no caso, Forteleza (CE). Com isso, obter uma equação para cada classe de renda média (classes de 1 a 5, de acordo com o número de salários mínimos) relacionada com as classes de IDH (classes de 1 a 5), e, assim, analisar o comportamento da influência desses dados socioeconômicos na demanda residencial de água por setor.

MÉTODO

Os modelos multinível são uma extensão dos modelos de regressão linear, nos quais a estruturação dos dados em grupos permite a variação dos coeficientes da regressão de acordo com o nível hierárquico das observações [GELMAN, HILL; 2006]. Essa abordagem é útil quando se deseja analisar o comportamento das variáveis dependentes em diferentes níveis hierárquicos, assumindo que há elementos explicativos diferentes em cada um deles.

Nesse estudo, as observações individuais correspondem a demanda per capita de água para os setores censitários da cidade de Fortaleza. Os dados de demanda são longitudinais, ou seja, foram medidos repetidamente ao longo do tempo.

A demanda média diária de água per capita foi obtida a partir dos dados de consumo de água fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). A CAGECE disponibilizou o consumo mensal de água por número de inscrição (residência) para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2017. Para obter a demanda diária per capita, o consumo de água residencial foi agregado por setor censitário e dividido pela população total em cada setor.

Para avaliar como diferenças no rendimento e no IDH dos setores censitários podem influenciar na demanda de água residencial, foram especificados dois níveis hierárquicos. O nível 1 corresponde as classes de IDH, e o nível 2, as classes de renda. As equações do modelo estão descritas abaixo:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}t_{ij} + \beta_{2j}t^2_{ij} + R_{ij}, R_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + U_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + U_{1j}$$

$$\beta_{2j} = \gamma_{20} + U_{2j}$$

Em que Y corresponde a variável dependente e γ_{00} a média global da demanda de água. R é a componente aleatória do nível 1 e U é o efeito aleatório associado ao nível 2. Assume-se que ambos os efeitos seguem distribuição normal. Nesse modelo, são atribuídos modelos de probabilidade ao intercepto e aos coeficientes de regressão.

Foram definidas cinco classes de renda e cinco classes de IDH. Os grupos de renda foram determinados de acordo com as faixas de salário-mínimo utilizadas pelo IBGE para definição de classes sociais. As faixas de IDH correspondem às consideradas pelo Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil [PNUD; IPEA; FJP, 2014].

Tabela 1 – Classes de IDH e renda.

Classe de Renda	Número de Salários-Mínimo (SM)
E	De 0 a 2 SM
D	De 2 a 4 SM
C	De 4 a 10 SM
B	De 10 a 20 SM
A	Acima de 20 SM
Classes de IDHM	Faixas de IDHM
MB	0 a 0,499

B	0,500 a 0,599
M	0,600 a 0,699
A	0,700 a 0,799
MA	0,800 a 1

Os dados de renda e IDH foram obtidos a partir do censo de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O modelo foi implementado através do pacote lme4, desenvolvido e aplicado com a linguagem de programação R [BATES et al., 2015].

RESULTADOS

Após a aplicação do método descrito, foram obtidas 25 equações do segundo grau, sendo cada uma referente à relação de uma classe de IDH com uma de renda, como, por exemplo, a equação referente às duas classes mais baixas é representada por “MB:E” (classe MB de IDH e E de Renda).

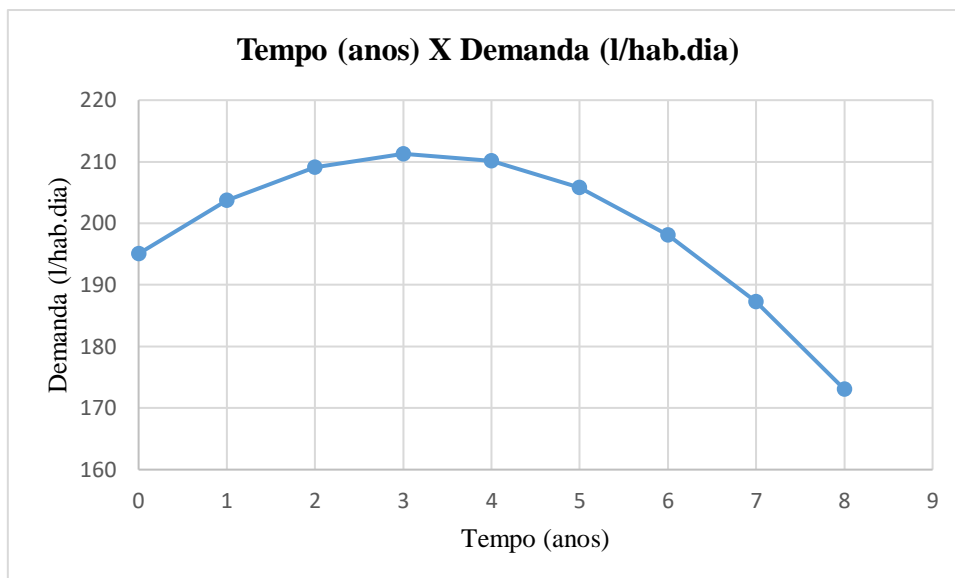
Tabela 2 – Planilha de coeficientes de cada equação gerada

IDH:Renda	Intercepto	Tempo	Tempo2
MB:E	124,7939	7,342625	-1,07708
MB:D	134,5545	7,75024	-1,15408
MB:C	142,2392	8,07446	-1,21471
MB:B	136,6198	7,837855	-1,17037
MB:A	130,4439	7,577229	-1,12165
B:E	135,6239	7,7949	-1,16252
B:D	119,5281	7,118834	-1,03553
B:C	125,8967	7,385363	-1,08578
B:B	120,5713	7,161302	-1,04376
B:A	121,4958	7,200885	-1,05106
M:E	164,9078	9,028002	-1,39355
M:D	139,0563	7,939781	-1,1896
M:C	139,9309	7,975887	-1,1965
M:B	134,4934	7,747154	-1,1536
M:A	113,4047	6,858628	-0,98722
A:E	203,4697	10,65379	-1,69777
A:D	172,8112	9,362209	-1,4559
A:C	180,5744	9,691206	-1,51714
A:B	163,8206	8,983171	-1,38497
A:A	184,1794	9,842954	-1,54559
MA:E	79,00611	5,41003	-0,71584
MA:D	166,7569	9,10762	-1,40813
MA:C	146,1377	8,23906	-1,24546
MA:B	184,305	9,848478	-1,54658
MA:A	195,0714	10,29988	-1,63152

Fonte: A autora.

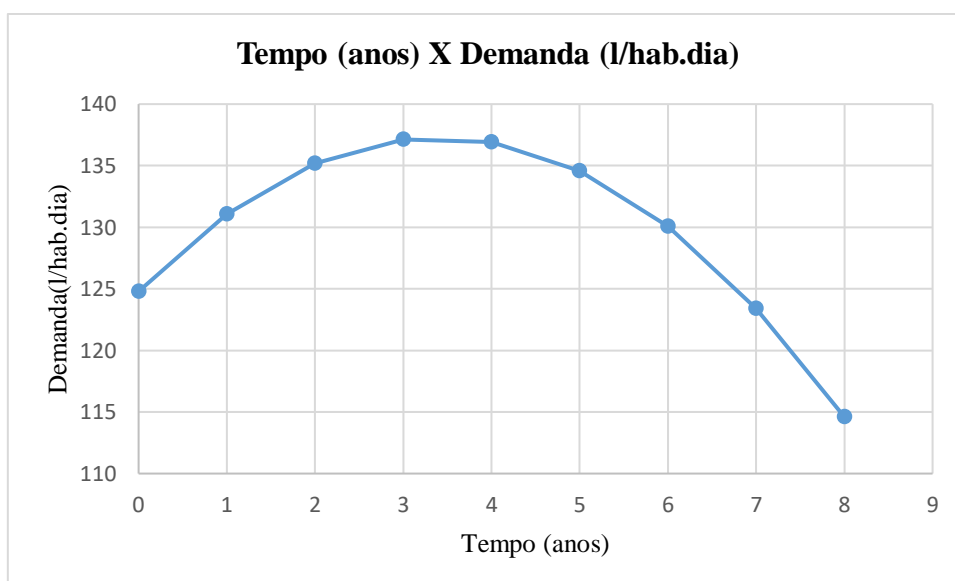
Para visualizar de forma mais clara a diferença dos resultados, a primeira última equação foram plotadas, as quais estão ilustradas na Figura 01 e 02 abaixo.

Figura 01 – Gráfico da equação das classes MB:E



Fonte: A Autora.

Figura 02 – Gráfico da equação das classes MA:A



Fonte: A Autora.

Diante disso, é possível concluir que todas equações apresentam coeficiente do segundo grau negativo e com valores bem parecidos, o que mostra que, em geral, os setores de Fortaleza aumentaram a demanda até, aproximadamente, o ano de 2013 e depois decaíram, talvez em decorrência da crise hídrica iniciada em 2012. Ao analisar o coeficiente do primeiro grau das equações é visto que possuem valores semelhantes, também, com uma amplitude de 5,4 a 10,6. Com isso,

deduz-se que em relação aos dois coeficientes da equação os setores apresentam comportamento bastante semelhante. Contudo, o que se mostra bastante interessante é a diferença de valores entre os interceptos das equações, na qual possui uma tendência de quantidade superior em formulações referentes a classes mais altas. Isso é visto de forma clara ao observar os gráficos plotados da primeira classe (MB:E) com o da última e mais elevada classe (MA:A), os quais reiteram que todas as equações apresentaram um comportamento semelhante, sendo este de uma parábola com coeficiente do segundo grau negativo, porém com intercepto com valor maior de acordo com a elevação da classe, sendo 124,79 da MB:E e 195,07 o da MA:A.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se ver que no tempo de estudo (de 2009 a 2017) os setores apresentaram uma tendência semelhante de evolução no tempo, o que mostra que dados socioeconômicos distintos não têm influência relevante na mudança no tempo da quantidade de consumo por setor censitário. Ademais, ao observar o intercepto das equações geradas, deduz-se que setores com IDH mais baixo, bem como de renda média menor, apresentam valores de demanda, geralmente, menores, pois iniciam com quantidade mais reduzida no ano 0 (2009). Recomenda-se, assim, para estudos futuros uma maior quantidade de índices socioeconômicos, bem como uma série de dados mais extensa, a fim de obter uma análise mais complexa.

REFERÊNCIAS

- SANTOS, C. C. Previsão de demanda de água na região metropolitana de São Paulo com redes neurais artificiais e condições socioambientais e meteorológicas. 2011. 1p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SOUSA, L. C. O. Gestão da demanda de água no agreste pernambucano. 2017. 16p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2017.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. 54p. Brasília: ANA, 2017.
- VÖRÖSMARTY, C.J., MCINTYRE, P.B., GESSNER, M.O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., GLIDDEN, S., BUNN, S.E., SULLIVAN, C.A., REIDY LIERMANN, C., DAVIES, P.M. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, n. 467, p. 555-561. 2010.
- FIELDING, K.S., SPINKS, A., RUSSELL, S., MCCREA, R., STEWART, R., GARDNERS, J. An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management. *Journal of Environmental Management*, n. 114, p. 343-351. 2013.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. (2015). “*Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4*”. *Journal of Statistical Software*, 67(1), pp. 1–48.

GELMAN, A.; HILL, J. (2006). “*Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*”. Cambridge university press.

PNUD; IPEA; FJP. (2014). Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas. Brasília: PNUD. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/publicacao_atlas_rm_en.pdf> Acesso em: 13 jan. 2019.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).