

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS: MODELO HIDRO ECONÔMICO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA

William Dantas Vichete¹ ; Arisvaldo Vieira Mélo Júnior²

RESUMO – Em vista de que os recursos hídricos são os motores do desenvolvimento, a gestão sustentável pode apresentar impactos significativos no desenvolvimento econômico regional e até mesmo em escala nacional. A utilização de um modelo hidro econômico de alocação apresenta uma análise mais ampla quanto a alocação de água e permite avaliar os instrumentos de cobrança de uso da água e as tarifas cobradas aos usuários finais pelas companhias de saneamento. Nesse artigo é apresentado o modelo hidro-econômico de alocação (módulo econômico) do Sistema de Suporte a Decisão Acquanet em uma alocação de água hipotética para análise dos resultados entre os modelos de alocação por prioridade de atendimento das vazões demandadas e um modelo hidro-econômico de alocação. O modelo hidro-econômico de alocação de água, operacionalmente, apresentou uma melhor redistribuição do fornecimento de água para as demandas urbanas adotadas, aumentando o benefício social, permitindo uma melhor fruição deste recurso natural para a sociedade. Com a utilização desse tipo de modelo de otimização, torna-se possível a incorporação de mais instrumentos de gestão, definidos na Política Nacional de Recursos Hídricos, como a outorga de direito de uso da água e a cobrança pelo uso da água. Esse tipo de modelo de alocação se apresenta eficiente e deve sofrer melhorias para a incorporação de análises multiobjectivos na alocação de água, levando em consideração a prioridade de atendimento e a curva de demanda por água para cada setor usuário.

ABSTRACT– Water resources are the engines of development, however, sustainable management can have significant impacts on regional economic development and even on a national scale. The use of a hydro-economical allocation model presents a wide analysis of the water allocation and allows the evaluation of the instruments for water costs and the tariffs charged to end-users by sanitation companies. This paper presents the hydro-economical allocation model of the Acquanet Decision Support System in a hypothetical system for the analysis of the results among the priority-based allocation model and a hydro-economic model of allocation. The hydro-economical model of water allocation, operationally, presented a better redistribution of the water supply to the urban demands adopted, increasing the social benefit, allowing better fruition of this natural resource for the society. With the use of this type of optimisation model, it is possible to incorporate more management tools, defined in the National Water Resources Policy in Brazil, such as the granting of water use rights and water use charges. This type of allocation model is efficient and must be improved to incorporate multi-objective analysis in water allocation, taking into account the priority of service and the water demand curve for each user sector.

Palavras-Chave – Sustentabilidade, Alocação, Hidro-econômico

1) Aluno do Programa de Doutorado no Departamento de Hidráulica e Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa do politécnico – número 380, CEP – 05508-010 – São Paulo – SP, (11) 3091-5549. williamvichete@usp.br.
2) Professor Doutor na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa do politécnico – número 380, CEP – 05508-010 – São Paulo – SP, (11) 3091-5549. arisvaldo@usp.br.

INTRODUÇÃO

Em uma condição de múltiplos usos da água, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão; entretanto, as incertezas hidrológicas, as variações das vazões demandadas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos, De Carvalho (2009). Os sistemas de otimização de alocação de água se apresentam como uma importante ferramenta para a gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo uma análise robusta da alocação à medida que os modelos de otimização passam a levar em consideração os aspectos quantitativos, qualitativos, econômicos, sociais e ambientais.

Nas questões de alocação de água, foi encontrado softwares como Resource Allocation Model (REALM), Sistema de apoio a decisão espacial (SADE) e Global Hydro-economic Model (GHeM) – (Perera *et. al*, 2005; James e Kularathna, 2005; De Moraes *et. al*, 2015 e Kahil, 2016). Esses modelos como no caso do REALM não possui um módulo de análise hidro-econômico, enquanto o SADE possui esse módulo, porém foi desenvolvido em uma plataforma que possui um custo de implantação. O modelo GHeM apresenta um modelo global de consumo de água e otimização dos benefícios econômicos, sendo utilizado para questões globais de alocação. Por sua vez, Lopez (2017) desenvolveu um modelo econômico espacial para a análise da alocação de água com transferência de vazões entre duas regiões. Niayifar e Perona (2017) avaliaram as questões da vazão demandada para geração de energia e vazão ambiental a jusante de usinas hidroelétrica por meio de algoritmos evolutivos com multi-objetivos para buscar a melhor eficiência (ótimo de Pareto) entre essas duas demandas. Mohor e Mendiondo (2017) desenvolveram uma análise de indicadores de sustentabilidade para previsão de um fundo de seguro que uma comunidade pagaria para cobrir eventuais déficits hídricos. Já a queda na produção agrícola, a redução da renda e o aumento do desemprego foram constatadas em um modelo de alocação de água por Roobavannan (2017).

Esse tipo de análise se torna importante pois a demanda mundial de água deve aumentar em 55% até 2050 devido ao aumento populacional e respectivamente as necessidades de produção, geração de energia e consumo humano; ainda é previsto que em 2030 haverá um déficit hídrico de até 40%, Connor (2015). A utilização de tecnologias de gestão de sistemas de abastecimento e mecanismos de uso racional, permite uma melhor alocação da água, inclusive com a conciliação da necessidade de preservação dos ativos ambientais a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Os diversos modelos de otimização da alocação de água em muitos casos são elaborados para questões específicas, por esse motivo se optou pela utilização de um modelo de otimização generalizado que possui um módulo econômico de alocação e possui a licença de uso gratuito. Esse artigo apresenta que o modelo hidro-econômico de alocação de água utilizado resultou em uma melhor eficiência na alocação da água, despachando água de forma mais igualitária entre as demandas de consumo, o que por

sua vez pode ser entendido como a promoção do aumento do benefício social, em outras palavras, a redução da escassez para abastecimento urbano.

1. METODOLOGIA

A utilização de modelos hidro-econômicos para otimização da alocação da água busca considerar os aspectos econômicos e a sua importância para as necessidades produtivas que necessitam atender as demandas de produção para a população atual e futura, incluindo o desenvolvimento econômico (Harou *et. al.*, 2009 e Heinz *et. al.*, 2007). Esses modelos estão sendo utilizados no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos para o desenvolvimento de novas políticas públicas e para a operação das infraestruturas de recursos hídricos (Lund e Ferreira, 1996; Watkins Jr e Moser, 2006; Ward e Pulido-Valázquez, 2008 e Maneta, 2007). Os modelos hidro-econômicos de alocação são normalmente utilizados para fornecer suporte a tomada de decisão principalmente em períodos de escassez hídricas, esses modelos também são utilizados em regiões que possuem um elevado desenvolvimento econômico, que torna-se altamente dependente do gerenciamento da alocação da água (Jenkins, 2004; Pulido-Valázquez *et. al.*, 2006).

Destaca-se que Harou (2009) analisou mais de 80 modelos hidro-econômicos e listou as melhores aplicações de cada um. Resumidamente esse autor também conseguiu observar as principais limitações e desafios no desenvolvimento desse tipo de modelo. Os modelos hidro-econômicos de alocação de água têm implicações em políticas econômicas, políticas públicas e são utilizados em diversas áreas: (i) Operação e expansão da infraestrutura; (ii) Alocação de água e impacto no mercado econômico; (iii) Planejamento com base em mudanças climáticas; (iv) Desenvolvimento de políticas institucionais para alcançar objetivos sociais, ambientais e econômicos; (v) Análises de impactos de políticas econômicas; (vi) Base para legislação e regulações.

Nesse artigo, foi utilizado o SSD Acquanet que foi inspirado no modelo de rede de fluxo denominado ModSim, Porto (2006), desenvolvido por Labadie (1990, 1993 e 1995). Os modelos de rede de fluxo fazem parte de uma classe de modelos de simulação que possuem um algoritmo de otimização Porto e Azevedo (1997). O SSD Acquanet utiliza o algoritmo out-of-Kilter, que é uma variação do método simplex e utiliza a técnica prima-dual para minimizar os custos na rede de fluxo representada por nós e arcos Labsid (2013).

O SSD Acquanet desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LABSID), na sua versão de 2007 v 3.16 possui um módulo econômico de alocação de água proposto por Baltar (2001), esse módulo tem-se apresentado eficiente nas questões de alocação de água em sistemas complexos de abastecimento urbano sob uma ótica da gestão sustentável dos recursos hídricos.

1.1. Metodologia da Otimização da Alocação

A otimização da rede de fluxo é dada conforme uma função objetiva de minimização dos custos da rede (equação 1).

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} x Q_{ij} \quad (1)$$

A função objetiva a ser otimizada corresponde ao custo, onde esse custo é determinado pela prioridade de atendimento a demanda (módulo de alocação) e no caso do modelo hidro-econômico, corresponde a um valor que é dado pela curva de demanda econômica por água da respectiva demanda (setor de consumo), ou seja, esse custo é variável conforme a vazão fornecida pelo SSD. Na equação 1, a vazão corresponde a demanda de água.

A equação 1 está sujeita ao balanço de massa em cada nó “j” da rede conservativa (equação 2) e sujeita as restrições de capacidade de vazão nos arcos (equação 3), ou seja, as vazões mínimas e máximas em todos os arcos (I,J) da rede conservativa.

$$\min \sum_{i \in I_j} q_{ij} - \sum_{k \in O_j} q_{ik} \quad (2)$$

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (3)$$

Onde: Q_{ij} = vazão que transita do nó j; C_{ij} = custo ou prioridade da unidade de vazão que transita entre os nós i e j, N = número total de nós de rede; I_{ij} = limite inferior da vazão no arco ij; S_{ij} = limite superior da vazão no arco ij e I_j = conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó j; $i \in I_j$ significa que todos os nós i sejam elementos do conjunto I_j ; e O_j = conjunto de todos os nós com os arcos que se originam no nó j.

No módulo de alocação, a prioridade de atendimento pode ser dada para as demandas da rede de fluxo. Nesse módulo o custo é determinado pelo usuário e pode variar de 1 a 99 (OPRPi), sendo 1 a maior prioridade de atendimento. Esse custo é inserido pelo usuário e é calculado no SSD pela equação 4.

$$C_{ij} = - (1000 - 10 * OPRPi) \quad (4)$$

No módulo de análise econômica, o custo em cada arco (link) é dado em função da curva de demanda. Sendo o custo oriundo da curva de demanda, adotado como o valor igual ao valor negativo do seu benefício econômico (equação 5) conforme uma curva de demanda econômica inserida pelo usuário - Labsid, (2013).

$$C_{ij} = -B_i \quad (5)$$

Em outros termos, o custo será correspondente ao arco econômico oriundo da curva de demanda econômica por água, referente a cada unidade faixa de vazão (Figura 1).

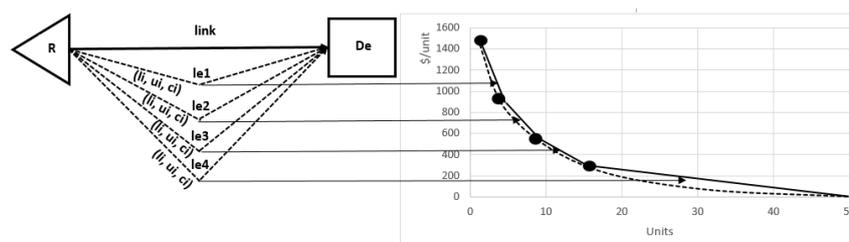


Figura 1 - Arcos econômicos, representando trechos linearizados da curva de demanda

Onde: l_i é a capacidade mínima do link (m^3/s); u_i é a capacidade máxima do link (m^3/s); c_i é o custo mínimo para a faixa respectiva da curva de demanda ($R\$/m^3.s$); B_i é o benefício. Além dos valores

l_i , u_i e c_i calculados para cada um dos arcos econômicos, é necessário obter também o valor da demanda econômica. Esse valor é igual a vazão máxima existente na curva de benefício marginal - Labsid (2013).

O benefício do arco está associado as faixas linearizadas da curva de demanda econômica por água. O benefício em cada um dos arcos econômicos é obtido dividindo-se o benefício total pela capacidade máxima do trecho respectivo. O valor do benefício total, em cada arco, é igual a integral da curva de benefício marginal calculada no trecho respectivo (Baltar, 2001), cujo valor é numericamente igual a área sob esse mesmo trecho. Assim, no arco econômico i , o benefício será dado por:

$$B_i = \frac{A_i}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} \cdot u_i \cdot \frac{1}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} \quad (6)$$

A construção das curvas de demanda econômica e/ou de benefícios econômicos marginais possui o seu embasamento na economia e valoração de bens e serviços ambientais, oriundos da economia ambiental.

1.2. Demanda urbana por água

A demanda por água possui características específicas e uma elevada complexidade para a sua determinação. Cabe ressaltar que há uma diferença entre a demanda física por água (vazão demandada) e a demanda por água. A demanda física por água corresponde a quantidade física desse elemento para suprir o consumo dos setores usuários, enquanto que a demanda econômica por água (doravante denominada demanda por água) representa a resposta do consumidor (seja os usuários finais ou empresas de saneamento, indústrias, setor agrícola, entre outros) em relação a variação do custo unitário do bem³. A determinação de uma curva de demanda econômica por água para o consumo urbano possui seu embasamento na valorização de bens e serviços ambientais oriundos da economia ambiental Nogueira e Medeiros (1998). A Figura 2 apresenta uma curva de demanda por água.

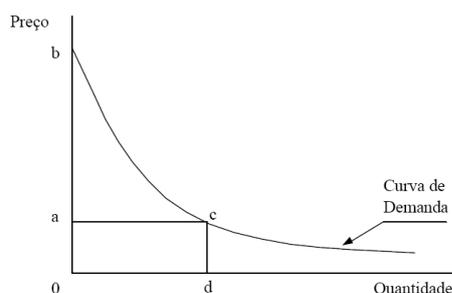


Figura 2 - Curva de Demanda (fonte: Baltar, 2001)

Na construção da curva de demanda por água a elasticidade⁴ do consumo é importante para se definir a relação que os consumidores possuem com a variação de preço de cada unidade do bem, nesse caso, a água. De acordo com James e Lee (1971) a elasticidade é muito mais elástica em climas úmidos do que em climas áridos, mas o preço tem um efeito significativo no uso da água em qualquer tipo de

³ Alguns estudos econométricos já apontaram que por questões de simplificações, essas curvas podem possuir uma forma linear e no caso dos recursos hídricos (Ruijis *et. al.*, 2008), devido a água não possuir nenhum substituto, a resposta do consumidor pode ser incerta (Olmstead *et. al.* 2007 e Olmstead 2009).

⁴ Elasticidade do consumo ou do preço na demanda é um conceito econômico que visa medir a variação percentual na quantidade demandada de um bem ou serviço, dada uma variação percentual no preço destes, Marshall (1961).

região. Do ponto de vista de uma curva de demanda urbana por água, a elasticidade pode fornecer aspectos quanto à sensibilidade no consumo com a variação do preço da água, Foster e Beattie (1979). A utilização de curvas de demanda por água deve ser utilizada com precaução, visto que questões regionais e culturais podem afetar a construção desse tipo de curva, o que pode acarretar em uma resposta incerta da demanda em relação a variação do preço, Olmstead *et al* (2007) e Olmstead (2009).

Por exemplo, Scheich e Hillenbrand (2009) avaliaram que na Alemanha, os totais de chuva não afetam o consumo de água e sim os padrões de chuva, enquanto a temperatura não apresentou impacto algum na demanda, resultando em uma elasticidade do preço da água igual a - 0,24. Entretanto na Região Metropolitana de São Paulo, Ruijs *et al* (2008) avaliaram a demanda de água sob uma função de modelos de preços médios e marginais que resultou em uma elasticidade do preço da água entre -0,45 e -0,50, utilizando dados de consumo, tarifa cobrada para os usuários, temperatura e precipitação.

A determinação de uma curva de demanda por água por meio de estudos econométricos é complexa pois a água não possui um substituto e possui uma variação de preço muito baixa, Olmstead (2009). No caso do Brasil, a variação de preço no âmbito da cobrança pelo uso da água é quase inexistente e para as tarifas aplicadas pelas companhias de saneamento, são variações que compensam custos supervenientes ou apenas a correção da inflação, não havendo um aumento do valor real. Nesse artigo foi utilizada as curvas de demanda hipotética apresentada na Figura 3.

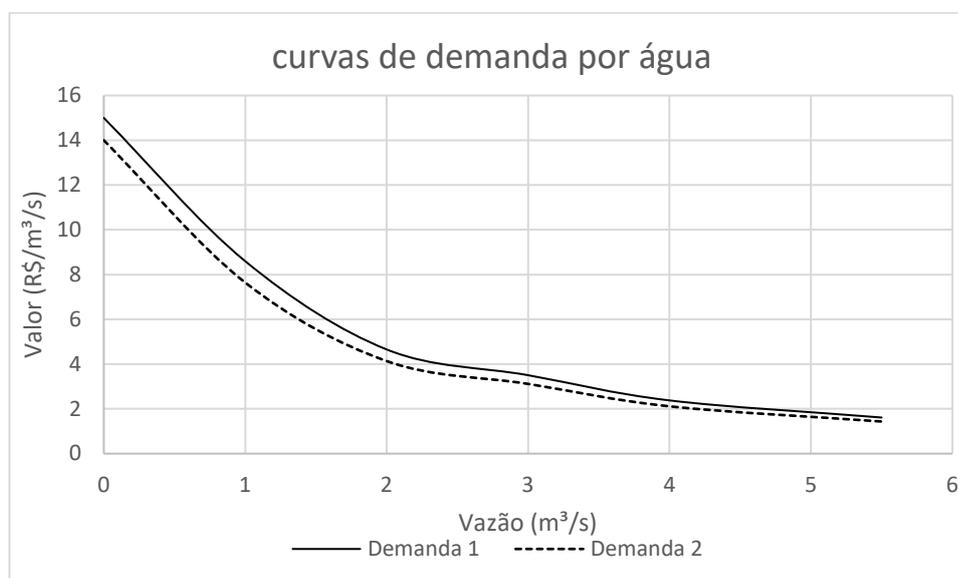


Figura 3 – curva de demanda por água hipotética utilizada.

1.3. Estudo de Caso Hipotético

Para a otimização de uma rede de fluxo por meio de um modelo hidro-econômico foi utilizado uma situação hipotética onde um reservatório que regulariza água para duas regiões urbanas e que possuem a mesma demanda física por água para consumo urbano. Os cenários avaliados foram:

- **Cenário 1:** simular um reservatório que oferta água para dois municípios com a mesma demanda física por água com a mesma prioridade e considerando uma vazão afluente com um período longo de estiagem;

- **Cenário 2:** idem ao cenário 1, mas utilizando o módulo de análises econômicas por meio da utilização de duas curvas de demanda por água diferentes (uma para cada região urbanizada).

A análise considerou o período entre os anos de 2000 e 2019, totalizando um período de 20 anos. As Figura 4 e Figura 5 apresenta uma ilustração simplificada dos cenários a serem otimizados.

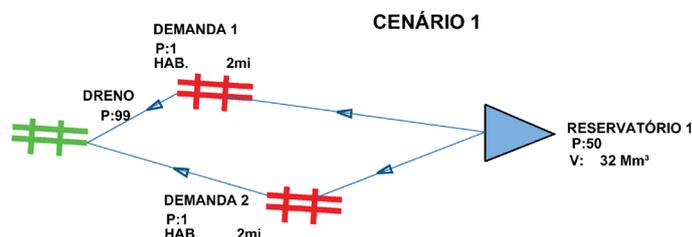


Figura 4 – Cenário 1 da otimização hipotética

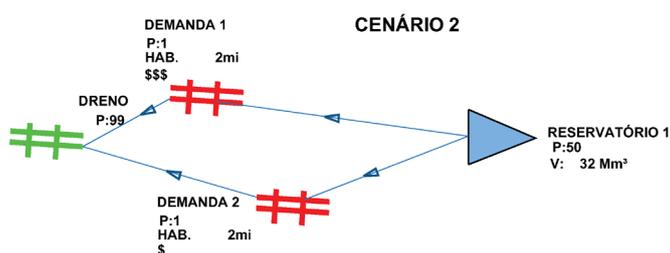


Figura 5 – Cenário 2 da otimização hipotética

No cenário 1, as duas regiões urbanas possuem a mesma demanda física por água e a mesma prioridade de atendimento dessas demandas. Já no cenário 2, se mantém as características do Cenário 1, entretanto é considerado uma curva de demanda por água para cada região urbana.

O reservatório hipotético utilizado nos dois cenários possui um volume útil total de 32,00 hm³ e apresenta o aporte de vazões conforme a Figura 6.

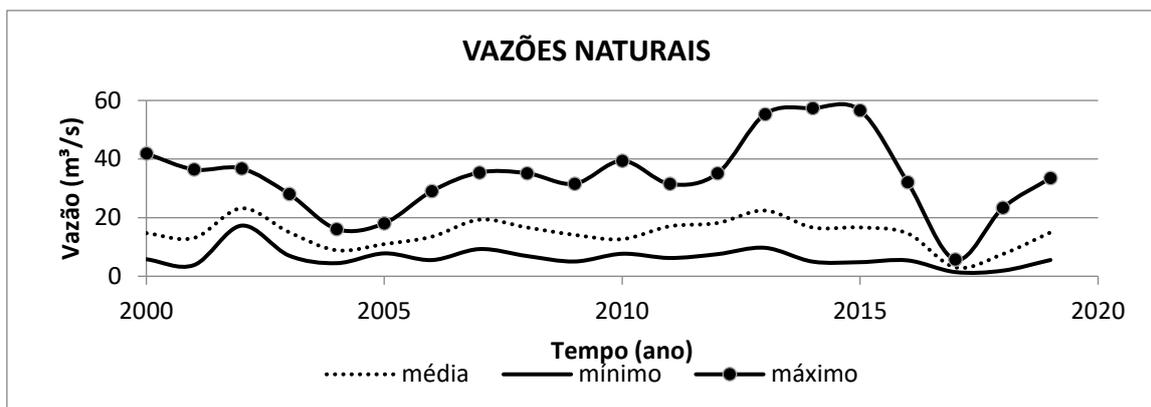


Figura 6 – vazões naturais aportadas pelo reservatório hipotético

A demanda física por água foi admitida crescente ao longo do tempo conforme apresenta a Figura 7, variando entre 4,5 m³/s a 5,5 m³/s para cada região urbana (um aumento de 22% no período considerado).

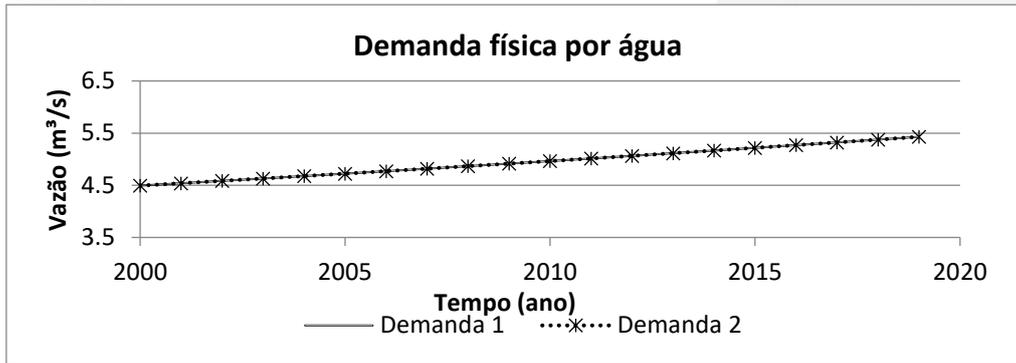


Figura 7 – demanda física por água para consumo urbano.

E a curva de demanda por água para consumo urbano foi calculada para que uma região possuísse um maior benefício econômico do que o outro. Essa situação pode ser justificada pela renda média da população de cada região. Foi utilizada a equação para determinação da demanda por água apresentada em Baltar (2001), variando-se apenas a renda média da população para diferenciação entre as regiões de demanda física por água. A Figura 3 apresenta a curva de demanda utilizada para cada região urbanizada no Cenário 2.

2. RESULTADOS

As Figura 8 e Figura 9 apresentam os resultados das vazões despachadas para cada região urbana nos Cenários 1 e 2.

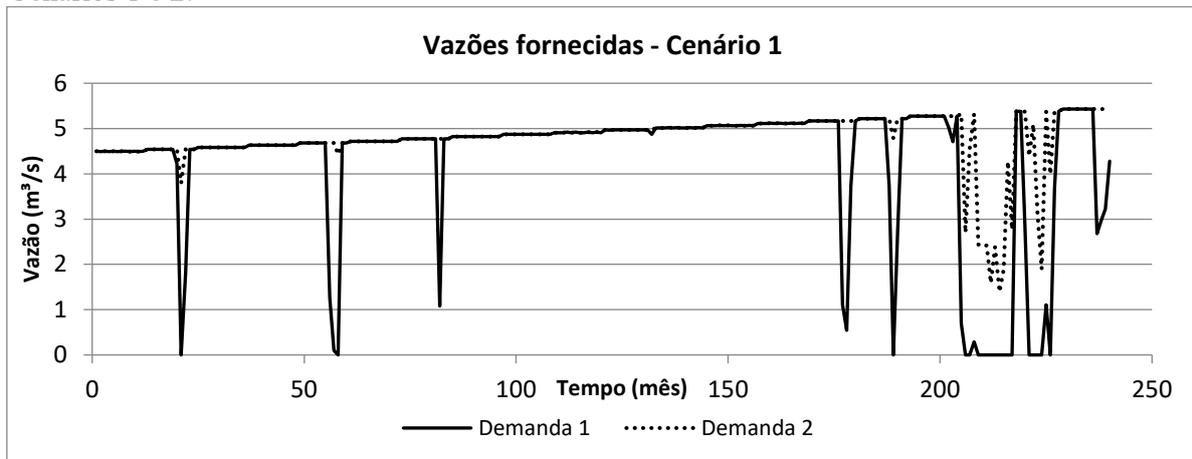


Figura 8 – resultados do cenário 1 (vazões fornecidas para cada região urbana)

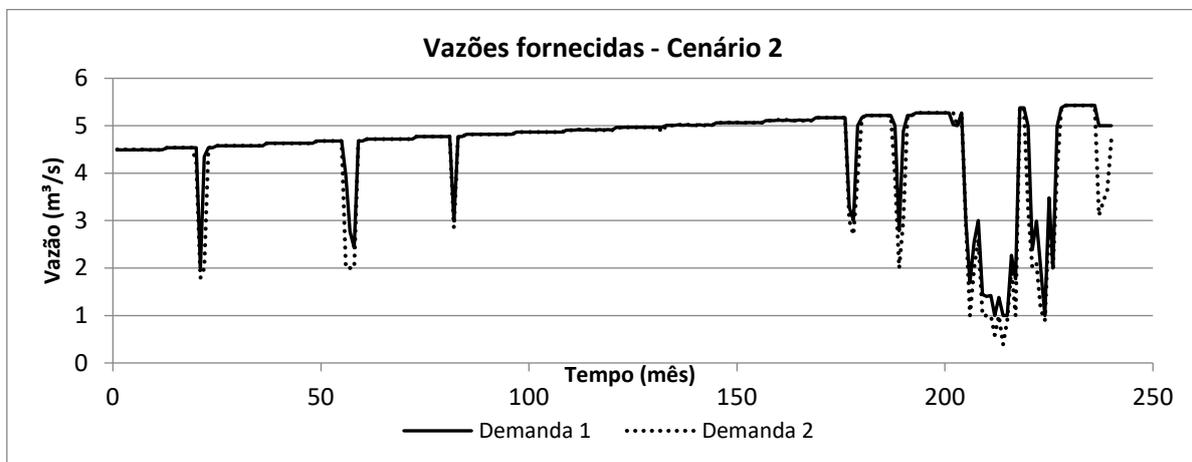


Figura 9 - resultados do cenário 2 (vazões fornecidas para cada região urbana)

3. DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a utilização de um modelo hidro-econômico de alocação de água apresentaram que para uma região urbana (Demanda 1) ocorre uma redução de 6,30% no volume total ofertado no período analisado, enquanto para a outra região urbana (Demanda 2), ocorre um aumento de 7,05% no volume total ofertado no período analisado. Essa melhoria na eficiência representa impactos na operação de reservatórios, para o controle do despacho das vazões, sendo mais complexo quando se trata de sistemas de reservatórios integrados. Pode-se notar que o fornecimento de água para as regiões urbanas é melhor distribuído no Cenário 2, pois o despacho de vazões é realizada com base na maximização dos benefícios econômicos oriundos da curva de demanda por água. A utilização desse tipo de modelo de otimização na alocação de água se apresenta eficiente quando do ponto de vista: (i) dos benefícios sociais; (ii) utilizados em questões da qualidade da água na alocação; (iii) inclusão de curvas de demanda por água com a internalização da escassez hídrica que afeta o potencial de diluição das cargas poluidoras; (iv) maximização dos benefícios econômicos regionais, mesmo que distribuídos entre os setores usuários e geograficamente nos municípios e companhias de saneamento.

4. CONCLUSÃO

A utilização de modelos hidro-econômicos na alocação de água em reservatórios promove melhorias nas análises de recursos hídricos e permite incorporar ferramentas para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A utilização desse tipo de modelo de alocação também oferece a possibilidade de analisar políticas públicas como no caso da cobrança pelo uso da água e nas análises de aplicação de diferentes formas de tarifas de água utilizadas pelas companhias de saneamento, bem como a análise entre os múltiplos setores usuários dos sistemas de recursos hídricos, nas questões de vazões demandadas pelo meio ambiente e para o atendimento de vazões que garantem a qualidade da água. Os benefícios sociais que são observados são referentes a melhor operacionalização do despacho de água para as regiões urbanas, em outras palavras, seria a redução do déficit hídrico daquela região urbana.

REFERÊNCIAS

- BALTAR, A. M. (2001). *Sistema de apoio à decisão para avaliação econômica da alocação de recursos hídricos: Aplicação à bacia da barragem do rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF: Universidade de Brasília.
- CONNOR, Richard. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world*. UNESCO publishing.
- DE CARVALHO, M. A. E. A. (2009). *Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. v. 13, n. n. 1, p. p. 10-17.
- DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA, G. S.; EDUARDO, L.(2015). *Sistema de apoio a decisão espacial na gestão de recursos hídricos da bacia do rio São Francisco*. XXI simpósio de Brasileiro de recursos hídricos. Brasília: [s.n.].
- FOSTER, Henry S.; BEATTIE, Bruce R. (1979) *Urban residential demand for water in the United States*. Land Economics, v. 55, n. 1, p. 43-58.
- HAROU, J. . P. D. . H. K. . R. D. . T. A. . M.-A. J. .. & K. B. (2009). *HydroPlatform. org—an open-source generic software interface and web repository for water management models*. In: International Symposium on Environmental Software Systems. Venice: Italy.
- HEINZ, I. . P.-V. M. . L. J. R. . & A. J. (2007). *Hydro-economic modeling in river basin management: implications and applications for the European water framework directive*. Water resources management, v. v. 21, n. n. 7, p. p. 1103-1125.
- JAMES, Leonard Douglas et al. (1971) *Economics of water resources planning*. Economics of water resources planning.

- JENKINS, M. W. E. A. (2004). *Optimization of California's water supply system: results and insights*, v. v. 130, n. n. 4, p. p. 271-280, 2004.
- KAHIL TM, W. F. A. J. E. J. & S. D. (2016). *Hydro-economic modeling of conjunctive ground and surface water use to guide sustainable basin management*. In: European Geosciences Union (EGU) General Assembly. Vienna: Austria.
- LABADIE, J. W. (1990). *Dynamic programming with the microcomputer*. Encyclopedia of microcomputers, p. v. 5, p. 275-338.
- LABSID. (2013). *Manual do Usuário do software Acquanet*. São Paulo, SP.
- LOPEZ, J. C. (2017). *Interbasin water transfers and the size of regions: An economic geography example*. Water Resources and Economics.
- LUND, J. R.; FERREIRA, I. (1996). *Operating rule optimization for Missouri River reservoir system*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. v. 122, n. n. 4, p. p. 287-295.
- MARSHALL, Alfred.(1961). *Principles of Economics: Text*. London; New York: Macmillan for the Royal Economic Society.
- MANETA, M. P. E. A. (2007). *A Detailed Hydro-Economic Model for Assessing the Effects of Surface Water and Groundwater Policies: A Demonstration Model from Brazil*. In: American Agricultural Economics Association Annual Meeting. American Agricultural Economics Association. Portland: Oregon.
- MOHOR, G. S.; MENDIONDO, E. M. (2017). *Economic indicators of hydrologic drought insurance under water demand and climate change scenarios in a Brazilian context*. Ecological Economics, p. v. 140, p. 66-78.
- NIAYIFAR, A.; PERONA, P. (2017). *Dynamic water allocation policies improve the global efficiency of storage systems*. Advances in Water Resources, p. v. 104, p. 55-64.
- NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. D. (1998). *Valoração econômica do meio ambiente: aspectos teóricos e operacionais*. Trabalho apresentado na 50a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC).
- OLMSTEAD, S. M. (2009). *Reduced-form versus structural models of water demand under nonlinear prices*. Journal of Business & Economic Statistics, p. v. 27, n. 1, p. 84-94.
- OLMSTEAD, S. M.; HANEMANN, W. M.; STAVINS, R. N. (2007). *Water demand under alternative price structures*. Journal of Environmental Economics and Management, p. v. 54, n. 2, p. 181-198.
- PERERA, B. J. C.; JAMES, B.; KULARATHNA, M. D. U. (2005). *Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management*. Journal of Environmental Management, v. v. 77, n. n. 4, p. p. 291-300.
- PORTO, R. L. L. . M. J. A. V. . R. A. N. . R. B. (2006). *Plataforma Generalizada para Análise de Outorga para Captação de Água e para Lançamento de Efluentes*. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Curitiba, PR: [s.n.].
- PORTO, R. L.; AZEVEDO, L. T. (1997). *Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos*. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Ed. Da Universidade/UFGS/ABRH, p. p. 42-95.
- PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; ANDREU, J.; SAHUQUILLO, A. (2006). *Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. v. 132, n. n. 6, p. p. 454-467.
- ROOBAVANNAN, M. . K. J. . P. S. . V. S. . & S. M. (2017). *Allocating environmental water and impact on basin unemployment: Role of a diversified economy*. Ecological Economics, p. v. 136, p. 178-188.
- RUIJS, A.; ZIMMERMANN, A.; VAN DEN BERG, M. (2008). *Demand and distributional effects of water pricing policies*. Ecological Economics, p. v. 66, n. 2-3, p. 506-516.
- SCHLEICH, J.; HILLENBRAND, T. (2009). *Determinants of residential water demand in Germany*. Ecological economics, p. v. 68, n. 6, p. 1756-1769.
- WARD, F. A.; PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2008). *Efficiency, equity, and sustainability in a water quantity-quality optimization model in the Rio Grande basin*. Ecological economics, v. v. 66, n. n. 1, p. p. 23-37.
- WATKINS JR, D. W.; MOSER, D. (2006). *A Economic-based optimization of Panama Canal system operations*. Journal of water resources planning and management, v. v. 132, n. n. 6, p. p. 503-512.