



## **GESTÃO INTEGRADA DE RESERVATÓRIOS PARA ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA: NOVA ESPACIALIDADE E POLÍTICAS DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Walter Manoel MENDES FILHO<sup>1</sup>, Demerval Aparecido GONÇALVES<sup>1</sup>, Wilson Cabral DE SOUSA JÚNIOR<sup>1</sup>**

*1. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias, 12228-900 São José dos Campos/SP - Brasil, walter.mendesfilho@gmail.com, demervas@gmail.com, wilson@ita.br*

### **RESUMO**

Cidades em todo o mundo vêm atuando há muito tempo no planejamento e no gestão de recursos hídricos em meio ao desafio de equilibrar o crescimento urbano e os usos múltiplos da água, agravado nas últimas décadas, com a degradação de ecossistemas e as condições de vulnerabilidades às mudanças climáticas, evidenciando a necessidade de uma gestão integrada de recursos hídricos com estratégias de adaptação. Essa complexidade aumenta quando considerados os cenários de mudança climática que, de acordo com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês), indicam períodos secos mais longos e mais frequentes, uma combinação de fatores que aumentaria o risco de escassez hídrica prolongada. Adotando a Dinâmica de Sistemas é possível estruturar e entender as relações causais das variáveis físicas dos processos hidrológicos e socioeconômicos, considerando os aspectos que influenciam a demanda por água e a infraestrutura disponível. Desse modo, esse estudo busca discutir o processo de estruturação de modelo associado ao sistema Cantareira, o principal sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil. Com isso, pretende-se subsidiar discussões para orientar as políticas de gestão integrada, incluindo a nova espacialidade criada por estruturas de transferência de água e oferecendo alternativas operacionais eficientes.

**Palavras-Chave:** disponibilidade hídrica; abastecimento de água; mudanças climáticas; Dinâmica de Sistemas.

### **1. INTRODUÇÃO**

Para Brown et al. (2015), a prática atual para a análise de sistemas de recursos hídricos aborda as questões mais desafiadoras de nossos tempos, incluindo escassez de água e seca, mudança climática, fornecimento de água para produção de alimentos e energia, tomada de decisões em meio a objetivos conflitantes e incentivos econômicos para o uso da água.

No papel de auxiliar na gestão dos sistemas de abastecimento urbano de água, torna-se necessário o estabelecimento de melhores políticas para o setor, sobretudo voltadas para o armazenamento de água para múltiplos usos, que requer uma gestão controlada no uso de reservatórios. Estes por sua vez, na maioria dos casos, estão conectados a diferentes regiões de abastecimento, compondo um sistema complexo.

Nesse sentido, Carmo e Anazawa (2017) destacam que a conexão física criada por estruturas de transferência de água exige decisões que considerem a grande heterogeneidade regional de metrópoles. Nesse sentido, é importante que os gestores públicos tenham em mente, que o potencial de conflito em uma situação de escassez prolongada é ampliado de maneira significativa.

Acrescentando a essa problemática, as componentes de urbanização que visam melhorar a qualidade de vida nas regiões metropolitanas, esse estudo analisa algumas características do principal sistema de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), no Brasil – o Sistema Cantareira.

Assim, para elicitar as relações causais entre os processos hidrológicos, e os aspectos socioeconômicos que influenciam significativamente na demanda da RMSP, utiliza-se como abordagem a Dinâmica de Sistemas (DS) proposta por Forrester, (1987), voltando-se para as interdependências entre algumas variáveis associadas à disponibilidade hídrica.



Segundo Zomorodian et al. (2018), a DS tem como uma das principais vantagens, a possibilidade de lidar com a complexidade da modelagem integrada do sistema, com um foco particular na aplicação a sistemas de recursos hídricos.

Desse modo, diante de nova espacialidade desencadeada por estruturas de transferência de água, busca-se promover maior integração de *stakeholders* em um processo participativo, com melhor entendimento sobre a grande heterogeneidade regional de metrópoles, no que se refere ao setor de abastecimento urbano de água, elaborando mecanismos para a gestão integrada desses sistemas, atuando na identificação de políticas públicas de adaptação de regiões metropolitanas, considerando os cenários de mudanças climáticas e disponibilidade hídrica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Pedro-Monzonis et al., (2015), a água representa um elemento essencial para a vida no planeta. Mas a natureza aleatória deste recurso, que se manifesta pela alternância de períodos úmidos e períodos secos, o torna ainda mais importante. Desse modo, seja qual for a abordagem (planejamento hídrico, gestão da água, seca, economia), é necessário um entendimento das relações entre variáveis físicas como precipitação, temperaturas, vazões, volumes de reservatórios, níveis piezométricos, gestão de demandas e infraestruturas hídricas.

Com projeções de secas mais longas e mais frequentes para a América do Sul (IPCC, 2014), a região sudeste do Brasil enfrentou secas prolongadas nos últimos anos (Coutinho et al., 2015; Coelho et al., 2016; Nobre et al., 2016), tornando evidente a necessidade de melhorar os mecanismos de gestão visando o planejamento de estratégias adaptação às mudanças climáticas, especialmente em bacias com estruturas de transferência de água.

### 2.1. Estudo de caso: Sistema Cantareira

O Cantareira é formado por uma série de reservatórios, túneis e canais, que captam e desviam água de alguns dos cursos de água da bacia do rio Piracicaba para a bacia do rio Juqueri, realizando, a transferência de águas para a bacia do Alto Tietê, constituindo o maior sistema de abastecimento da RMSP, atendendo aproximadamente 8,8 milhões de habitantes (Agência Nacional de Águas, 2016).

Segundo Coutinho et al. (2015) o volume de água no sistema Cantareira diminuiu acentuadamente desde meados de 2013, a capacidade operacional do reservatório foi esgotada em julho de 2014. Então, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) começou a reduzir as retiradas em janeiro de 2014.

Para obter informações sobre o comportamento desse sistema, no que se refere ao mapeamento de elementos associadas a heterogeneidade regional materializada a partir das estruturas de transferência de água, consideram-se as principais bacias contribuintes para esse sistema, bacias PCJ e Alto Tietê, além de alguns elementos de planejamento referentes aos múltiplos usos da água.

#### 2.1.1. Dinâmica de Sistemas: estruturação com diagrama causal

De acordo com Carmo e Anazawa (2017), a transferência de água entre bacias cria interdependência hídrica entre os municípios em uma região metropolitana. Além disso, a recente escassez hídrica verificada entre 2013 e 2015, mostrou que o setor de abastecimento urbano de água nas grandes metrópoles da região Sudeste do país estão vulneráveis à falta de água.

Para considerar essa nova espacialidade associada à transferência de água, na gestão integrada desse sistema, adota-se a abordagem de Dinâmica de Sistemas (DS), que pode capturar características essenciais de muitos tipos de sistemas. Em aspectos gerais, essa abordagem visa descobrir e representar os processos com feedback, estoque e estruturas de fluxo, *delays*, e as não-linearidades, que juntas determinam a dinâmica de um sistema.

##### 2.1.1.1. Hipótese dinâmica

A gestão dos sistemas de abastecimento urbano de água pode apresentar falhas, por não considerar a grande heterogeneidade regional para a integração entre as bacias que abastecem o sistema e as zonas de abastecimento.

## 3. DISCUSSÃO

Vários fatores atuam como indutores do crescimento urbano, porém, considerando a hipótese dinâmica do problema, as estruturas de transferência de água operando em um sistema integrado, verificamos relações causais que podem subsidiar a estruturação do problema, destacando os efeitos do ciclo (crescimento urbano), no aumento da demanda por água.

Na Figura 1, admite-se o desenvolvimento urbano na RMSP e nas bacias PCJ, representados por ciclos de crescimento (R1 e R2, respectivamente). Entretanto, conforme discutido em Mirchi et al., (2012), a região melhor desenvolvida cresce continuamente enquanto a outra declina gradualmente e possivelmente entra em colapso. Isso pode resultar em considerável desigualdade e desequilíbrio, ameaçando a sustentabilidade do sistema.

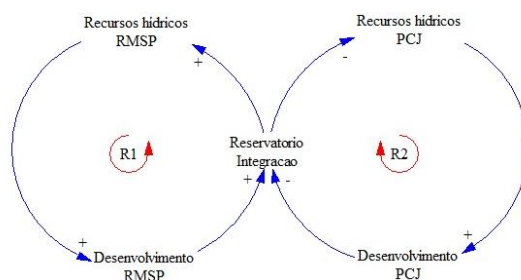


Figura 1. Diagrama desenvolvimento urbano. Fonte: adaptado Mirchi et al., (2012).

Como alternativa, apresenta-se à Figura 2, um diagrama de desenvolvimento sustentável. Tomando por base o considerável desigualdade e desequilíbrio, observado na Figura 1, a escassez de água intensa pode levar os gestores de água a iniciar projetos de transferência de água para aumentar o abastecimento de água, o que reduzirá temporariamente a escassez.

Porém, conforme Mirchi et al., (2012), o fornecimento contínuo de água abundante em uma região de estresse hídrico gera uma mensagem “falsa” aos moradores e habitantes de áreas vizinhas sobre o potencial de desenvolvimento. Consequentemente, em uma análise de longo prazo, enquanto os recursos hídricos estão sendo esgotados, o aumento do desenvolvimento e na demanda por água podem provocar uma escassez mais severa (o ciclo de crescimento/reforço – R, passa a dominar o ciclo de equilíbrio/balanço – B)

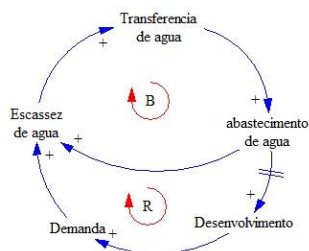


Figura 2. Diagrama desenvolvimento sustentável a curto prazo. Fonte: adaptado Mirchi et al., (2012).

Desse modo, como mecanismos para conter a demanda por água, considerando as projeções do Produto Interno Bruto (PIB) como variável regulatória do crescimento urbano (desenvolvimento), acrescentam-se as políticas públicas de controle, que podem atuar em instrumentos de regulação (Figura 3). Entretanto, buscando uma gestão integrada mais eficiente, incorporando a grande heterogeneidade da nova espacialidade criada por estruturas de transferência de água, e as vulnerabilidades às mudanças climáticas, a modelagem do problema deve promover um processo participativo, envolvendo desde usuários até decisores no estabelecimento dessas políticas públicas.

# 14. SILUSBA

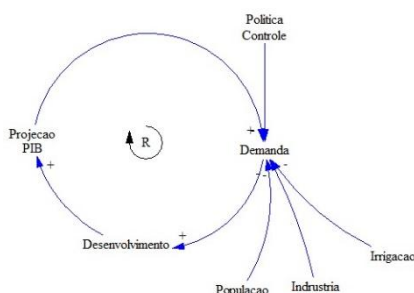


Figura 3. Diagrama “crescimento urbano”.

## 4. CONCLUSÕES

No que se refere à disponibilidade hídrica, diante do cenário recente de secas prolongadas vivido no Brasil, sobretudo nos estados da região sudeste, observa-se uma lacuna importante de sistematização na interface entre a gestão integrada de recursos hídricos e a vulnerabilidade às mudanças climáticas, visando a elaboração de estratégias de adaptação em sistemas públicos de abastecimento em grandes centros urbanos.

Desse modo, a gestão integrada de reservatórios para abastecimento urbano, adotando como abordagem a Dinâmica de Sistemas, pode propiciar uma análise participativa e subsidiar em etapas futuras, a estruturação de um modelo integrado para simulação desses sistemas complexos e dinâmicos, além de já incorporar particularidades da nova espacialidade, e melhorar a capacidade dos gestores para analisar cenários, para estabelecer políticas públicas mais eficientes e auxiliar tomada de decisão.

## AGRADECIMENTOS

A pesquisa é desenvolvida com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Águas, Departamento de Águas e Energia Elétrica - SP. Dados de referência acerca da outorga do sistema Cantareira. Brasília, DF; 2016. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/Renovacao\\_Outorga/DDR\\_Sistema\\_Cantareira.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/Renovacao_Outorga/DDR_Sistema_Cantareira.pdf).
- Brown, Casey M. et al. The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management. *Water resources research*, v. 51, n. 8, p. 6110-6124, 2015.
- Carmo, Roberto Luiz do; Anazawa, Tathiane Mayumi. Hidromegalópole São Paulo-Rio de Janeiro: escassez hídrica, sobreposição de espacialidades e conflitos. 2017.
- Coelho, C. A.; Cardoso, D. H.; Firpo, M. A. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, Springer, v. 125, n. 3-4, p. 769-784, 2016.
- Coutinho, R. M.; Kraenkel, R. A.; Prado, P. I. Catastrophic regime shift in water reservoirs and São Paulo water supply crisis. *PloS one*, Public Library of Science, v. 10, n. 9, p., 2015.
- Forrester, J. W. Lessons from system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, v. 3, n. 2, p. 136-149, 1987.
- International Panel on Climate Change, IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. 2014.



# 14. SILUSBA

Pedro-Monzonís, M.; Solera, A.; Ferrer, J.; Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology, Elsevier*, v. 527, p. 482-493, 2015.

Mirchi, Ali et al. Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. *Water resources management*, v. 26, n. 9, p. 2421-2442, 2012.

Zomorodian, Mehdi et al. The state-of-the-art system dynamics application in integrated water resources modeling. *Journal of environmental management*, v. 227, p. 294-304, 2018.