

**CIEA**

Congresso Internacional de Engenharia Ambiental  
&

**10ª REA**

Reunião de Estudos Ambientais

**ANAIS**

Artigos Completos

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e  
Gestão de Recursos Naturais**



***Organizadores***

Cristiano Poletto

Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Guilherme Fernandes Marques

José Gilberto Dalfré Filho

**ANAIS do Congresso Internacional de  
Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de  
Estudos Ambientais  
Artigos Completos**

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e  
Gestão de Recursos Naturais**



Gráfica & Editora

Toledo – PR

2020

**Copyright © 2020, by Editora GFM.**

Direitos Reservados em 2020 por **Editora GFM.**

**Editoração:** Cristiano Poletto

**Organização Geral da Obra:** Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho

**Diagramação:** Juliane Fagotti

**Revisão Geral:** Espaço Histórico e Ambiental

**Capa:** Eventos Consulting Design Informática

**CIP-Brasil. Catalogação na Fonte**

---

Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores)

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais – Artigos Completos – Volume 2 – Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais / Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores) – Porto Alegre, RS: Editora GFM, 2020.

609p.: il.;

ISBN 978-65-87570-07-5

CDU 502.3/.7

***É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.***

---



## VAI TER ÁGUA? CAMINHOS PARA A ADAPTAÇÃO DOS SISTEMAS HÍDRICOS AO FUTURO INCERTO

| ID 15891 |

**1Ana Paula Dalcin, 2Guilherme Fernandes Marques, 3Iporã Possanti, 4Gláucio Gonçalves de Souza,  
5Nicole Valentini Fedrizzi, 6Cristiane Martins de Sousa Nava Castro**

*1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: ana.dalcin@ufrgs.br; 2Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: guilherme.marques@ufrgs.br; 3Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: possantti@gmail.com; 4Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: souza.glaucioeng@gmail.com; 5Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: nicole.fedrizzi@ufrgs.br; 6Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cris\_navacastro@hotmail.com*

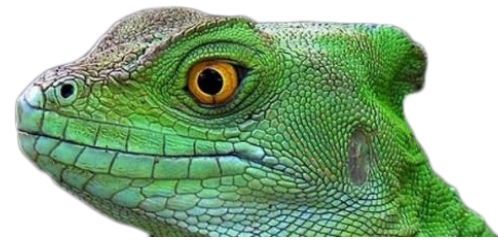
### | RESUMO |

A falta da água traz o assunto da crise hídrica para as manchetes de forma contundente, pelo menos enquanto perdura a estiagem. Embora as causas das crises envolvem uma combinação de fragilidades na gestão hídrica, clima, uso do solo, eventos críticos de estiagem e limitações em investimentos em infraestrutura, as soluções normalmente propostas ainda apresentam caráter emergencial de curto prazo, sem condições de atacar as verdadeiras causas da crise. Na busca de soluções duradouras e capazes de tornar os sistemas hídricos mais adaptados a um futuro complexo e incerto, o presente artigo reúne um conjunto de elementos essenciais à gestão, apresentados como recomendações aos diversos atores nas áreas de saneamento, recursos hídricos e gestão pública a partir de resultados recentes de pesquisa, métodos inovadores e experiências. Concluímos que é possível encontrar caminhos de adaptação que passam pela combinação de estratégias de gestão adaptativa, trade-offs, diversificação, visão de futuro, integração dos sistemas, soluções baseadas na natureza, pesquisa e criação de salvaguardas. Entretanto, a busca desses caminhos requer uma mudança fundamental em nossa forma de entender os problemas e planejar, abandonando a percepção de que eventos hidrológicos críticos são os principais elementos das crises, e concentrando na busca de soluções que irão tornar os sistemas hídricos mais adaptados para esses eventos críticos ao longo prazo.

**Palavras-chave:** crise hídrica; gestão de risco; vulnerabilidade de sistemas hídricos.

### | INTRODUÇÃO |

Sempre que ocorre, a falta da água nas regiões urbanas traz o assunto da crise no abastecimento para as manchetes de forma contundente, pelo menos enquanto perdura a estiagem. Em sua crise hídrica mais recente, os anos de 2014 a 2015 apresentaram baixos níveis de armazenamento em diversas regiões brasileiras, com reflexos para usos como o abastecimento residencial, geração de energia e irrigação. Na região sudeste, o armazenamento nos Sistemas



Cantareira e Paraíba do Sul foi completamente deplecionado. Nesse período, foram registrados volumes de precipitação especialmente anômalos na região. Em 2020, enquanto alguns desses sistemas demonstraram sinais de recuperação, com reservatórios nas regiões SE e NE entre 80% e 100% (ANA, 2020), a região Sul do país enfrenta uma estiagem significativa, com armazenamento abaixo de 50% em alguns reservatórios e 275 municípios com decretos de emergência (dos quais 163 reconhecidos pela união até o mês de abril/2020) (Becker, 2020).

Nesse contexto, as causas das crises envolvem uma combinação de fragilidades na gestão hídrica (ANA, 2017), efeitos do clima, alterações no uso do solo, ocorrência de eventos críticos de estiagem e limitações em investimentos em infraestrutura. Rodrigues & Villela (2015) destacam, dentre as atribuições da gestão governamental sobre o planejamento preventivo de longo prazo, o investimento em infraestrutura de armazenamento, redução de perdas e interligação de sistemas. No caso da região metropolitana de São Paulo, esses investimentos já eram considerados emergenciais antes do estabelecimento da crise em 2014. Com respeito à estiagem, ANA (2015) indicou que para 50% das estações pluviométricas com mais de 50 anos de dados no estado de São Paulo, a chuva nesse período ficou entre as três piores já registradas, marcando assim, a ocorrência simultaneamente do verão mais quente e mais seco das últimas décadas. Segundo ainda ANA (2015), os totais pluviométricos na região do semiárido foram considerados como secos em aproximadamente 90% das 163 estações em 2012, 36% das quais registraram totais de chuva classificados como as 3 piores já registradas. Finalmente, alterações no uso do solo e seus reflexos sobre o ciclo hidrológico (a exemplo de infiltração natural e recarga de aquíferos) chamam a atenção para a necessidade de soluções de planejamento urbano sensível à manutenção de funções hidrológicas de modo a contribuir para a melhoria na disponibilidade hídrica (Seraphim, 2018). Embora o presente artigo aborde as crises hídricas sob a perspectiva da escassez, em áreas urbanas as mesmas funções hidrológicas associadas à infiltração também contribuem para eventos de alagamento igualmente impactantes.

A combinação de todas essas fragilidades com o crescimento das demandas vem gradualmente aumentando a vulnerabilidade dos sistemas hídricos e de abastecimento. Vários sistemas encontram-se no limite da sua capacidade e os próximos eventos críticos deixarão nossas falhas e limitações quanto ao planejamento cada vez mais evidentes e custosas. Quando demandas competitivas são abundantes, decisões sobre a alocação da água se tornam mais controversas e potencialmente conflituosas. Embora a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) tenha estabelecido diversos instrumentos para a gestão, a sua efetividade hoje esbarra especialmente na (a) falta de integração entre os diferentes instrumentos; (b) pouca ou nenhuma visão de futuro das decisões de alocação de água; (c) falta de conexão com políticas de desenvolvimento, envolvendo,



por exemplo, expansão na produção de energia, abastecimento urbano e proteção ambiental e (d) falta de políticas hídricas que criem diretrizes para a aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Enquanto persistem essas limitações, o crescimento das demandas invariavelmente resulta em sistemas hídricos cada vez mais vulneráveis.

À medida que se agravam as condições de abastecimento com uma crise hídrica estabelecida, busca-se junto ao corpo técnico soluções de curto e médio prazos. É a gestão da crise, que nos apresenta vários exemplos recentes. O Distrito Federal passou por recente crise a partir de setembro de 2016. Na ocasião, a publicação da Resolução ADASA nº 15 declarou situação crítica de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria, junto com a adoção de medidas emergenciais de mitigação para enfrentamento da crise, dentre elas: tarifa de contingência, campanhas de incentivo de redução no consumo, redução de pressão na rede, restrições aos irrigantes e sistema de rodízio de abastecimento de água. Se, por um lado, as medidas citadas impediram que o reservatório atingisse níveis inferiores ao volume morto e que as regiões administrativas atendidas pelo reservatório do Descoberto ficassem totalmente sem acesso a água, por outro, uma série de impactos econômicos, sociais e ambientais foram gerados, principalmente aos produtores rurais e usuários urbanos.

Esses impactos chamam a atenção para a necessidade de soluções de adaptação mais duradouras, de modo a complementar, e até substituir em alguns casos, as soluções comuns de enfrentamento hoje empregadas de forma bastante disseminada. No caso do Distrito Federal, simulações recentes elaboradas em Fedrizzi (2018) e Castro (2019), para o período de 2008 a 2017, indicam que o sistema apresenta uma situação de alta vulnerabilidade. A implementação de medidas diversas de melhoria na eficiência, reuso e redução em perdas tem grande potencial em reduzir tal vulnerabilidade. Porém, mesmo uma combinação otimista dessas medidas, o que eliminaria os *déficits* no atendimento aos usuários durante o período crítico, ainda resultou no reservatório chegando ao final desse período com níveis baixos. Esses resultados apontam que as medidas são urgentes, ou seja, já deveriam estar em curso de implementação, e devem ser complementadas com outras estratégias para permitir a adaptação do sistema a outros cenários futuros e ainda incertos, como crescimento em demandas e mudanças climáticas.

Por fim, o período de estiagem enfrentado pelo Rio Grande do Sul no verão recente 2019/2020, com perdas estimadas para milho em 33% e soja em 13% (Embrapa, 2020), desafia os produtores a buscar alternativas de curto prazo para mitigar os efeitos da estiagem.

Esses exemplos nos mostram que, no calor das demandas imediatas, é importante não perder de vista o longo prazo, onde consequências das soluções atuais são percebidas tanto localmente quanto em outras partes do sistema. De forma mais ampla, devemos extrapolar a gestão da crise e



ser capazes de gerir o risco, o que envolve, mais do que soluções técnicas ou vontade política, uma mudança na forma de pensar e agir para tornar nossos sistemas hídricos mais robustos, adaptáveis e menos vulneráveis ao futuro que se avizinha. O presente artigo reúne um conjunto de elementos essenciais a essa forma de pensar, apresentados como recomendações aos diversos atores nas áreas de saneamento, recursos hídricos e gestão pública partir de resultados recentes de pesquisa, métodos inovadores e experiências.

### | GESTÃO ADAPTATIVA |

A gestão adaptativa pode ser definida como uma abordagem onde a gestão é conduzida simultaneamente com o aprendizado (Williams, 2011) e existe já há vários anos, tendo recebido contribuições pioneiras para a área de recursos naturais no trabalho de Beverton e Holt (1957). Para Gregory et al. (2005), o conceito de gestão adaptativa incorpora uma abordagem explicitamente experimental onde o aprendizado é tomado como forma de reduzir a incerteza. No lugar de utilizar o conhecimento já disponível para desenhar o melhor plano de gestão possível, a gestão adaptativa propõe uma faixa de alternativas de gestão que devem ser testadas e refinadas no tempo por meio de uma comparação cuidadosa dos resultados. O contexto de aplicação dessa abordagem são aqueles recursos que respondem a ações de gestão, porém encontram-se também sujeitos a incertezas dos efeitos dessas ações. Williams (2011) destaca quatro características comuns em exemplos de aplicação da gestão adaptativa:

- i. O sistema sendo gerido é dinâmico e muda no tempo em resposta às condições ambientais e ações de gestão, que também mudam;
- ii. A variação no ambiente é apenas parcialmente previsível e em alguns casos não reconhecível. Tal variação resulta em estocasticidade em processos biológicos e ecológicos associados ao recurso sendo gerido;
- iii. O sistema está sujeito a intervenções de gestão periódicas que mudam no tempo e influenciam o comportamento do sistema de forma direta ou indireta, alterando o seu estado na forma dos estoques (ex.: volume de água armazenado), processos (ex.: fluxos migratórios) e taxas (ex.: mortalidade, migração de contaminantes);
- iv. Uma gestão efetiva é limitada pela incerteza sobre a natureza dos processos naturais e pela influência das ações de gestão sobre os mesmos.

Gregory et al. (2005) apontam tanto para abordagens passivas e ativas de gestão adaptativa. Abordagens passivas envolvem o desenvolvimento de hipóteses sobre o desempenho de um sistema,



implementação da ação de gestão baseado na melhor informação disponível e cuidadoso monitoramento dos efeitos para testar e refinar a hipótese. Nesse caso, a gestão adaptativa deve ser capaz de antecipar como as ações de gestão devem variar conforme os resultados do experimento. Por outro lado, abordagens ativas envolvem a manipulação planejada do meio físico por meio do teste de uma faixa de ações de gestão alternativas, de forma simultânea ou sequencial. Em ambos os casos, uma abordagem de gestão adaptativa se diferencia de uma abordagem simples de tentativa erro na medida em que aplica a tomada de decisão de forma estruturada, onde a definição de objetivos, alternativas de gestão, previsão das consequências da gestão, reconhecimento de incertezas e monitoramento estão articulados entre si. Essa articulação cria um *feedback loop* entre o aprendizado e a tomada de decisão, que é uma característica marcante da gestão adaptativa. Dessa forma, o aprendizado contribui para a gestão ao dar suporte à tomada de decisão e a gestão contribui para o aprendizado ao monitorar e avaliar as intervenções e permitindo conhecer melhor os processos naturais e os impactos nos mesmos (Williams, 2011). Aplicações diversas de gestão adaptativa incluem operação de reservatórios para mitigar efeitos de mudanças climáticas (Georgakakos et al, 2011), apresentação de novos métodos científicos e ferramentas práticas para avaliação da participação dos usuários no projeto NeWater em Pahl-Wostl (2007) e desenho de contornos institucionais e conexões entre atores políticos legítimos para efetivação da gestão adaptativa em sistemas hídricos na Califórnia em Kallis et al. (2009).

No contexto da atual estiagem e crises hídricas enfrentadas por diversas regiões do Brasil, sendo o estado do Rio Grande do Sul a mais recente, a gestão adaptativa pode ser vista como abordagem capaz de melhorar a capacidade de adaptação do sistemas hídricos geridos, sendo essa capacidade de adaptação definida como o potencial que o sistema tem em se ajustar, alterando suas características e comportamento, para lidar com estressores presentes e futuros. A próxima seção descreve alguns dos principais pontos e caminhos para tornar os sistemas hídricos mais adaptados, a partir de trabalhos diversos de pesquisa, passando por desafios e recomendações à implementação de uma estratégia de gestão adaptativa.

## | CAMINHOS PARA ADAPTAÇÃO DOS SISTEMAS HÍDRICOS |

### **Prepare-se**

Existem diversas limitações a serem contornadas para tornar sistemas hídricos mais adaptados. Se a gestão adaptativa for uma abordagem considerada para esse propósito, o ponto focal





é “*aprender a gerir via gestão do aprendizado*” (Pahl-vostl, 2007). Nesse contexto, Boesch et al. (2006) destacam os seguintes aspectos: (1) Confie em modelos quantitativos, mas não dependa exclusivamente dos mesmos. Modelos são úteis para prever o comportamento de sistemas complexos, mas só é possível construir confiança no processo de gestão quando ações são tomadas e os resultados dessas ações são comparados com os resultados dos modelos. (2) Monte uma estratégia de monitoramento para resolver as incertezas enfrentadas pela gestão. Esse ponto requer identificar quais os indicadores mais sensíveis e os limiares de resposta (a partir de quando se deve agir). (3) Avalie o sistema de forma periódica, integrada e no momento certo para a tomada de decisão. A avaliação deve ser conduzida observando-se os ciclos de tomada de decisão. (4) Desenvolva e exercite conexões entre as áreas de planejamento, avaliação e tomada de decisão. A construção dessas conexões deve começar pela divulgação de uma visão comum de como a questão adaptativa deve funcionar e quais as expectativas, resultados e incertezas. (5) Amplie a capacidade para gestão adaptativa em todos os níveis: pesquisa, gestão, modelagem e formuladores de políticas. (6) Engaje as partes interessadas. O processo de implementação da gestão adaptativa pode ser dificultado pelo ceticismo dos participantes, que ainda não perceberam a importância do aprendizado e tendem a defender seus interesses no processo. Esse engajamento deve ser feito logo no início com estratégias de gestão adaptativa colaborativa (GAC). Light et al. (2013) discute algumas formas inovadoras e flexíveis para estratégias de GAC, como soluções compósitas (criadas a partir de análise transdisciplinar e multiobjectivo) no lugar de “dividir para conquistar (buscar soluções otimizadas para subsistemas individuais como irrigação ou geração hidrelétrica), evitar zonas de instabilidade (soluções com alto risco de falha devido à incerteza) para desenhar políticas mais robustas e até propor políticas de resposta baseadas em conhecimento novo gerado a partir da colaboração entre os participantes.

### **Faça as contas**

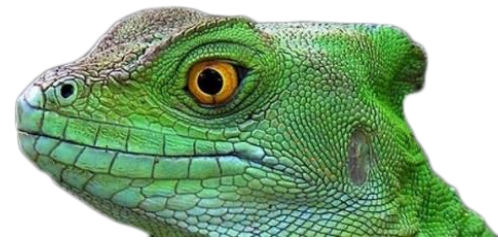
Devemos avaliar as perdas e ganhos (*trade-offs*) associadas à adoção de diferentes estratégias de uso dos recursos naturais (solo, água, planícies de inundação) na bacia a longo prazo. Cada estratégia tem vantagens e benefícios diferentes. Modelos hidroeconômicos têm sido aplicados com sucesso na água de gestão e planejamento de recursos hídricos com o objetivo de avaliar estratégias economicamente otimizadas de alocação de água entre diferentes usuários e cenários (Harou et al., 2009).



Bof (2018) abordou o problema de usos competitivos entre agricultura irrigada e geração hidrelétrica na Bacia do Rio São Marcos (localizada na divisa entre Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais). Os trade-offs econômicos entre geração de energia e produção agrícola irrigada foram avaliados a fim de embasar soluções de alocação negociada entre ambos os setores e resolver conflitos pelo uso da água. Os resultados obtidos pela aplicação de um modelo hidroeconômico demonstram que, em condições hídricas favoráveis, o setor de geração hidrelétrica chega a produzir R\$ 443 milhões/ano, o que equivale a 66% da geração de benefício econômico na bacia. A agricultura, por sua vez, contribui com um total de R\$ 224,3 milhões/ano, nas condições mais favoráveis, que equivale a aproximadamente 33% do benefício total da bacia. A alocação da água para a agricultura irrigada produz *trade-offs* para a produção de energia da ordem de R\$ 19 a R\$ 31 milhões anuais, dependendo das condições hidrológicas, porém traz ao sistema valores de mais de R\$ 200 milhões anuais. Com base em dados como estes, o autor conclui que é possível encontrar soluções alternativas mediante a implementação de um sistema de contabilidade hídrica capaz de acompanhar, de forma dinâmica, as variações em (1) fluxos de água, (2) valor econômico da água e (3) demandas agrícolas. Esse sistema seria a base de um instrumento de alocação negociada com compensação econômica, onde usuários econômicos de grande escala ajustam seus usos e pagam conforme o uso, o valor e a solução de alocação editada.

Em Mattiuzi et al. (2019), foram calculados os custos econômicos da escassez hídrica para a produção agrícola de arroz e soja na bacia do Rio Santa Maria (RS) com o objetivo de avaliar estratégias de alocação da água e de uso conjunto de água superficial e subterrânea capazes de reduzir esses custos em eventos de estiagem. Os resultados do modelo hidroeconômico empregado indicam que realocação de água entre usuários e culturas irrigadas de arroz e soja é capaz de reduzir a escassez de água e o custo da escassez sem gerar déficit hídrico para os usuários a jusante. Para um período de 15 anos, os valores alcançam 41 milhões de m<sup>3</sup> em redução de escassez hídrica, o que corresponde a um total de R\$ 252 milhões em redução de custos comparado a um cenário sem implantação de medidas de realocação (13% de redução). Os resultados também apontam que, quando as estratégias de realocação são empregadas de forma integrada com o uso conjunto de água superficial e subterrânea, a redução da escassez hídrica é ainda maior. Neste cenário, a redução de custos alcança 98%, o que equivale a uma redução de custos de 2 bilhões para 34 milhões em 15 anos de projeção.

Avaliações como as apresentadas são a base para a determinação de critérios que irão nortear a aplicação dos instrumentos de gestão da água e do território, permitindo a sua exploração a curto e longo prazo com redução de conflitos com outros usuários e o meio ambiente. Essa recomendação é dirigida aos comitês de bacia hidrográfica e órgãos gestores.



## **Olhe para o futuro**

Devemos avaliar alternativas diversificadas de abastecimento de água a longo prazo, considerando o risco, o custo e os impactos ambientais de cada alternativa. A meta aqui é produzir e gerenciar um portfólio de alternativas que seja robusto, econômico e financeiramente viável a longo prazo.

A seca de 1988-1992 na Califórnia trouxe profundos impactos generalizados para as áreas urbanas, com cortes obrigatórios de 20 a 30% (Lund et al., 2018). Após a seca de 1988-1992, as cidades individualmente, regionalmente e com apoio estatal instituíram ações como, medidas de conservação de água mais eficazes e permanentes, redes de abastecimento regionais, projetos de armazenamento de água, armazenamento de águas subterrâneas, reutilização de águas residuais, acordos de mercado de água e planos de contingência. Ações como estas possibilitaram enfrentar o severo período de estiagem de 2012 a 2016 com reduzidos impactos econômicos. As perdas econômicas totais foram da ordem de \$ 10 bilhões em 5 anos, o que representa menos que 0,09% da geração de \$ 2,3 trilhões/ano do estado.

No Brasil, a redução nas perdas na distribuição de água, cujo índice se aproxima dos 38%, para 15% desejáveis em um sistema considerado eficiente, poderia produzir até 1,84 bilhões m<sup>3</sup> adicionais, evitando ainda uma perda financeira de R\$ 10 bilhões/ano (Trata Brasil, 2018). Por outro lado, diversos municípios lidam com pressões econômicas para expansão urbana em áreas de mananciais de produção de água, com risco de comprometer as (já limitadas) opções futuras.

Em Fraga et al (2017), os autores mostram que o planejamento da expansão de sistemas de abastecimento de água pode ser aprimorado integrando decisões de longo prazo (investimentos na expansão) com decisões de curto prazo (qual fonte usar, quando e quanto) evitando perda de ativos da empresa de abastecimento, subutilização da infraestrutura ou ainda limitação no atendimento por falta de capacidade instalada. Quando estratégias de redução de perdas no sistema são acrescentadas ao planejamento, os resultados apontam que a necessidade de expansão da infraestrutura de abastecimento pode ser atenuada, contribuindo para o aumento da confiabilidade do sistema e redução de custos. Para o sistema modelado Alvorada-Viamão, localizado na região metropolitana de Porto Alegre (RS), a implementação de um programa que reduza as perdas pela metade geraria uma economia líquida de 2,7% em relação aos custos anuais totais do sistema e aumentaria a confiabilidade do abastecimento de 87% para 95%.

A principal pergunta que essa análise deve responder é: quais decisões de investimentos em expansão da infraestrutura estão sendo tomadas hoje, e como irão impactar as fontes de produção



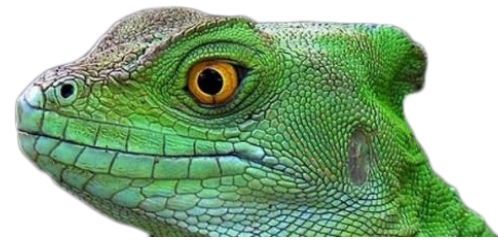
de água no município nos próximos 20 anos? Essa recomendação é dirigida aos governos municipais e às empresas de saneamento e abastecimento de água.

### **Antes de montar o quebra-cabeça, reúna todas as peças**

Devemos analisar de forma integrada soluções de gestão e engenharia. Soluções que visam a expansão da infraestrutura, entre elas as transposições de bacia, certamente irão se tornar mais comuns no rol de alternativas para abastecimento urbano. Se por um lado essas soluções ampliam a oferta hídrica na bacia receptora, por outro integram duas regiões de demanda, com desdobramentos futuros econômicos, sociais e ambientais.

O estudo de Dalcin & Marques (2020) mostra os benefícios econômicos da integração de instrumentos de gestão voltados para a alocação da água (outorga), qualidade (enquadramento) e cobrança pelo uso da água e seus reflexos em investimentos em infraestrutura hídrica e saneamento. O trabalho permite identificar estratégias economicamente mais eficientes para emissão de novas outorgas no futuro (quem, em que quantidade e onde na bacia, bem como permite determinar metas de enquadramento e diretrizes para aplicação de cobrança pelo uso da água compatíveis com a estratégia delineada (seguindo projeções econômicas e preferências pelo uso da água). Para a bacia de estudo do Rio dos Sinos (RS), os resultados do modelo desenvolvido apontam que a visão integrada permite alcançar uma redução de 6% em gastos com infraestrutura de saneamento, comparando-se com a implementação não integrada (situação atual). Além disso, o modelo aponta que quando as externalidades do uso da água (poluição) são consideradas na avaliação, restringir outorgas (conservação da água) em determinadas regiões pode ser uma solução economicamente mais eficiente do que tratar a poluição gerada (internalização dos custos). Ou seja, os gastos com tratamento de esgotos necessário para o atingimento de metas de enquadramento podem não justificar os benefícios econômicos de um determinado uso da água. Nesses casos, o aumento da oferta hídrica deve ser sempre analisado integradamente para que a sua implementação seja coerente e eficaz.

Todas as soluções envolvendo desde a aplicação de instrumentos de gestão e investimentos em infraestrutura devem ser tratadas sob uma abordagem mais ampla que apenas gestão da oferta, integrando de forma efetiva o planejamento do uso do solo e da água em bacias e municípios diferentes. Essa recomendação é dirigida aos governos municipais e estaduais (secretarias de obras, desenvolvimento e infraestrutura), órgãos gestores e às empresas de saneamento e abastecimento de água.



### **Meio Ambiente não é problema, é solução**

Uma perspectiva ecológico-econômica está se consolidando na área da gestão dos recursos hídricos na forma das chamadas Soluções baseadas na Natureza (SbN) – estratégias que usam ou imitam processos naturais, pouco onerosas se comparadas às estratégias convencionais. O conceito de SbN está sendo forjado de forma a unificar abordagens técnicas e de gestão de longa data já conhecidas: práticas sustentáveis na drenagem urbana e rural, conservação de solo e água na agricultura, proteção de margens de rios com vegetação ripária, usos diversos de áreas úmidas naturais ou construídas, ordenamento territorial sensível às inundações, etc. A percepção é que essas abordagens técnicas e de gestão podem ser vistas como provedoras de serviços ambientais de regulação da disponibilidade hídrica, da qualidade da água, de eventos extremos e de suporte à qualidade ambiental. Em se tratando de gestão da disponibilidade de água, tendo em vista a prevenção de crises, as SbN essencialmente exploram dois imensos reservatórios naturais: o solo e as áreas úmidas. Nesse caso, as SbN basicamente objetivam ampliar o processo de infiltração ou, no caso de áreas úmidas, sua retenção superficial. Em face às pressões sobre os recursos hídricos prognosticadas para o futuro, tais como mudança climática e crescimento populacionais, as SbN têm o potencial de trazer a sistemas hídricos vulneráveis às crises um ganho incremental de capacidade e resiliência, assim como fôlego suficiente postergar expansões onerosas como as transposições de bacias. Mesmo que o foco seja aumentar a disponibilidade hídrica, as SbN contribuem ainda para melhorar a qualidade da água, e dar suporte à qualidade ambiental e, com um arranjo adequado, a oferecer oportunidades de novas ocupações e fontes de renda. Espera-se que as SbN, quando bem implantadas, exerçam um amplo leque de externalidades positivas, tanto no âmbito dos próprios sistemas hídricos quanto em outras esferas de ação, como a conservação da biodiversidade e criação de oportunidades de trabalho. Assim, um desafio metodológico para a implantação de SbN em bacias hidrográficas consiste na otimização das ações no espaço territorial. Nesse sentido, Possantti et al (2018) apresentam uma proposta metodológica baseada em sistema de informação geográfica para o mapeamento e hierarquização de áreas aptas para a restauração de áreas úmidas. Finalmente, essa recomendação é dirigida aos governos municipais e estaduais (secretarias de meio ambiente, obras, desenvolvimento e infraestrutura) uma vez que são soluções que devem ser integradas às demais soluções estruturais já em uso.

### **Adote salvaguardas**

Em vista dos riscos e suas consequências para as pessoas, sistemas hídricos precisam, mais do que nunca, ser operados com salvaguardas (*hedging*). Essa operação deve ser embasada por



programas de monitoramento de cheias e estiagem e os programas devem conter um conjunto de índices de monitoramento e critérios de disparo de medidas de resposta, permitindo que ações sejam tomadas em função das condições do sistema e dos custos econômicos da estiagem e dos danos das cheias, minimizando o risco de colapso e grandes perdas, incluindo vidas das pessoas. Schefer (2016), explorou a aplicação de uma estratégia de *hedging* no sistema Cantareira (São Paulo) onde reduções prévias no abastecimento foram efetuadas de modo a criar uma salvaguarda (aumento no volume armazenado) e reduzir a probabilidade de um racionamento severo no futuro. O custo da escassez da água foi calculado sob diferentes estratégias de operação e com a verificação de outros critérios de desempenho. Os resultados mostraram que a estratégia reduziu os custos da escassez da água, tornando o sistema de reservatórios menos suscetível a déficits de grandes magnitudes. Essas ações podem ser ainda mais efetivas se for buscada a coordenação operacional dos sistemas hídricos (operação integrada de sistemas de reservatórios e transposições). Essa recomendação é dirigida aos órgãos gestores (nacional e estaduais) e outras instituições e órgãos envolvidos com a operação de elementos de infraestrutura hídrica.

### **Pesquisar é preciso**

Isso significa melhorar o conhecimento sobre as demandas, econômicas e ambientais. Grande parte da água considerada como demanda hídrica não é um requerimento fixo essencial à vida humana. Diversos usos econômicos da água dependem de escolhas feitas pelos usuários e essas escolhas mudam de acordo com o seu valor econômico e intervenções que alteram a sua disponibilidade. Dessa forma, o avanço e aprimoramento de técnicas de valoração econômica da água são essenciais para gerir os sistemas hídricos de forma dinâmica, eficaz e transparente.

Frente às externalidades decorrentes do uso econômico da água (poluição, perda da biodiversidade, entre outros), fez crescer a necessidade de melhorar a qualidade dos corpos hídricos, bem como compreender os ecossistemas e os benefícios da sua preservação. É esperado que a representação ambiental em modelos seja cada vez mais explorada, seja através da representação física de vazões ambientais ou técnicas de valoração sócio econômicas, de maneira que os benefícios dos usos ambientais não sejam viesados por usos consuntivos. Essa recomendação é dirigida aos órgãos gestores (nacional e estaduais), universidades e centros de pesquisa.



## | CONCLUSÕES |

Pouco tem se discutido sobre a gestão do risco. As crises recentes têm nos mostrado que ainda não aprendemos com o passado e que decisões de investimento, ocupação do solo e proteção ambiental ainda seguem sem visão de futuro. A situação de alta vulnerabilidade em que diversos sistemas hídricos brasileiros se encontram, somadas às limitações e falta de planejamento, seguramente irão potencializar as perdas nas próximas crises.

Em vista das características dos sistemas e do arcabouço legal e institucional que temos no país, concluímos que é possível encontrar caminhos de adaptação, sendo alguns deles destacados como recomendações nesse artigo. Esses caminhos passam pela combinação do conhecimento sobre estratégias de gestão adaptativa, *trade-offs*, diversificação, visão de futuro, integração dos sistemas, soluções baseadas na natureza, pesquisa e criação de salvaguardas. Entretanto, a busca desses caminhos requer uma mudança fundamental em nossa forma de entender os problemas e planejar.

É necessário abandonarmos a percepção de que eventos hidrológicos críticos são os principais elementos das crises, e nos concentrarmos na busca de soluções que irão tornar os sistemas hídricos mais adaptados para esses eventos críticos ao longo prazo. Enquanto a gestão do risco não for tratada de forma direta, e a forma de pensar e resolver os problemas não mudar para uma visão de longo prazo, nos restará gerir as crises e repetir o ciclo de perdas a cada nova estiagem ou cheia.

## | REFERÊNCIAS |

- ANA. (2015). *Encarte especial sobre a crise hídrica*. Brasília, DF. Retrieved from <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf>
- ANA. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*. Brasília. <https://doi.org/10.5700/rausp1110>
- ANA. (2020). SAR - Sistema de acompanhamento de reservatórios. Retrieved from <https://www.ana.gov.br/sar/>
- Becker, L. (2020). Chega a 275 número de municípios gaúchos com decreto de emergência por conta da estiagem: Cidades com decreto reconhecido pela União atingem marca de 154. Retrieved April 15, 2020, from <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/chega-a-275-numero-de-municipios-gauchos-com-decreto-de-emergencia-por-conta-da-estiagem-ck8z6frlh02rj01ntr7bhslb5.html>
- Bof, P. H. (2018). *Uma proposta de instrumento de alocação negociada na bacia do rio São Marcos baseada no valor econômico da água*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



- Castro, C. M. de S. N. (2019). *Emprego de indicadores e índices de sustentabilidade na avaliação de medidas emergenciais de gestão da água: caso da bacia do Rio Descoberto, DF*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10183/194913>
- Dalcin, A. P., & Marques, G. F. (2020). Integrating water management instruments to reconcile a hydro-economic water allocation strategy with other water preferences. *Water Resources Research*, e2019WR025558. <https://doi.org/10.1029/2019WR025558>
- Embrapa. (2020). Estiagem desafia experiência do produtor no RS. Retrieved from <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/49411777/estiagem-desafia-experiencia-do-produtor-no-rs>
- Fedrizzi, N. V. (2018). *Caminhos para o enfrentamento de crises hídricas : estudo de caso do Sistema Descoberto, Distrito Federal*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10183/196366>
- Fraga, C. C. S., Medellín-Azuara, J., & Marques, G. F. (2017). Planning for infrastructure capacity expansion of urban water supply portfolios with an integrated simulation-optimization approach. *Sustainable Cities and Society*, 29, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.003>
- Harou, J. J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2009). Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 627–643. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.037>
- Lund, J., Medellín-Azuara, J., Durand, J., & Stone, K. (2018). Lessons from California's 2012–2016 Drought. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(10), 04018067. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000984](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000984)
- Mattiuzi, C. D. P., Marques, G. F., & Medellín-Azuara, J. (2019). Reassessing Water Allocation Strategies and Conjunctive Use to Reduce Water Scarcity and Scarcity Costs for Irrigated Agriculture in Southern Brazil. *Water*, 11(6), 1140. <https://doi.org/10.3390/w11061140>
- Rodrigues, C., & Villela, F. N. J. (2015). Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo. Elementos-chave para se compreender a origem da atual crise de abastecimento. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, 19(3), 399. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2015.111496>
- Schefer, J. (2016). *Técnicas de hedging para operação de reservatórios buscando minimizar perdas econômicas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Trata Brasil. (2018). *Perdas de água 2018 (SNIS 2016): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*. Trata Brasil, Go associados (Vol. 2018). São Paulo. Retrieved from <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>
- Byron K. Williams. 2011. Adaptive management of natural resources - framework and issues. *Journal of Environmental Management* 92 (2011) p. 1346-1353
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Gregory, R.; Failing, L.; Higgins, P. Adaptive management and environmental decision making: A case study application to water use planning. *Ecological Economics* 58 (2006) 434–447
- Georgakakos, A.P.; Yao, H.; Kistenmacher, M.; Georgakakos, K.P.; Graham, N.E.; Cheng, F.-Y.; Spencer, C.; Shamir, E. 2011. Value of adaptive water resources management in Northern California under climatic variability and change: Reservoir management. *Journal of Hydrology* 412–413 (2012) 34–46
- Pahl-Wostl, C. 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resour Manage* (2007) 21:49–62





- Kallis, G.; Kiparsky, M.; Norgaard, R. 2009. Collaborative governance and adaptive management: Lessons from California's CALFED Water Program. *Environmental science & policy* 12 (2009) 631-643
- Boesch, D.F.; Manley, P.N.; Melis, T.S. 2006. The Future of Water Resources Adaptive Management: Challenges and Overcoming Them. *Water Resources IMPACT*, Vol. 8, No. 3, Adaptive Management of Water Resources (May 2006), pp. 21-23
- Light, S.; Medema, W.; Adamowski, J. 2013. Exploring Collaborative Adaptive Management of Water Resources. *Journal of Sustainable Development*; Vol. 6, No. 3; 2013
- Possanti, I; Marques, G. Uma proposta metodológica para identificar a distribuição e extensão de locais aptos para a restauração de Áreas Úmidas com enfoque nos serviços ecossistêmicos associados à segurança hídrica. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁREAS ÚMIDAS, 1, 2018, Brasília. Anais. Brasília, 2018.